



Universidade Federal
de Campina Grande



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA DE RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E GESTÃO DE
RECURSOS NATURAIS**

**DEGRADAÇÃO, AVALIAÇÃO AMBIENTAL E
RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS EM
CAMALAÚ-PB, SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

EZEQUIEL SÓSTENES BEZERRA FARIAS

Campina Grande, 2024

EZEQUIEL SÓSTENES BEZERRA FARIAS

**DEGRADAÇÃO, AVALIAÇÃO AMBIENTAL E RECUPERAÇÃO DE ÁREAS
DEGRADADAS EM CAMALAUÍ-PB, SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais.

Área de concentração: Engenharia de Recursos Naturais

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Murilo Santos de Araújo
Coorientador: Prof. Dr. Daniel Duarte Pereira

Campina Grande, 2024

F244d Farias, Ezequiel Sóstenes Bezerra.
Degradação, avaliação ambiental e recuperação de áreas degradadas em Camalaú-PB, semiárido brasileiro / Ezequiel Sóstenes Bezerra Farias. – Campina Grande, 2024.
164 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2024.
"Orientação: Prof. Dr. Sérgio Murilo Santos de Araújo, Prof. Dr. Daniel Duarte Pereira".
Referências.

1. Degradação Ambiental. 2. Mata Ciliar. 3. Conservação de Solo e Água. 4. Sistema Agroflorestal. 5. Desenvolvimento Sustentável. I. Araújo, Sérgio Murilo Santos de. II. Pereira, Daniel Duarte. III. Título.

CDU 504(043)

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECÁRIA SEVERINA SUELI DA SILVA OLIVEIRA CBB-15/225



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA E GESTAO DE RECURSOS NATURAIS
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

EZEQUIEL SÓSTENES BEZERRA FARIAS

**“DEGRADAÇÃO, AVALIAÇÃO AMBIENTAL E RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS EM CAMALAUÍ-PB,
SEMIÁRIDO BRASILEIRO”**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais como pré-requisito para obtenção do título de Doutor Engenharia e Gestão de Recursos Naturais.

Aprovada em: 09/12/2024

Dr. Sérgio Murilo Santos de Araújo (Orientador PPGEGRN).

Dr. Daniel Duarte Pereira/UFPB (Segundo Orientador).

Dra. Viviane Farias Silva/PPGEGRN (Examinador Interno).

Dr. Carlos Antônio Costa dos Santos/PPGEGRN (Examinador Interno).

Dr. José Dantas Neto/UFCG (Examinador Externo).

Dr. Beranger Arnaldo de Araújo/UFCG (Examinador Externo).



Documento assinado eletronicamente por **VIVIANE FARIAS SILVA, COORDENADORA DE PÓS GRADUAÇÃO**, em 13/12/2024, às 08:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **CARLOS ANTONIO COSTA DOS SANTOS, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 13/12/2024, às 08:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Beranger Arnaldo de Araújo, Usuário Externo**, em 13/12/2024, às 09:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **SERGIO MURILO SANTOS DE ARAUJO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/12/2024, às 10:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOSÉ DANTAS NETO, Usuário Externo**, em 16/12/2024, às 14:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **5080558** e o código CRC **C84F711A**.

Referência: Processo nº 23096.079982/2024-21

SEI nº 5080558



Documento assinado digitalmente
DANIEL DUARTE PEREIRA
Data: 07/02/2025 09:53:58-0300
Verifique em <https://validar.itb.gov.br>

Ame ao teu próximo como a ti mesmo, mas ame também a natureza. Porque aquele que degrada o ambiente, torna questionável o verdadeiro amor por si próprio e pelos seus semelhantes. (Conhecimento dos povos originários da América do Norte).

DEDICATÓRIA

Dedico esse meu trabalho acadêmico ao meu irmão e amigo João de Deus Farias Júnior (in memoriam), que, após a sua ascensão ao Oriente Eterno, nos deixou tantas lições, reflexões e ótimas lembranças. Nossa estadia terrena é breve, mas extremamente significativa pelos dos marcos que estabelecemos em tantas vidas e histórias. João, sua musicalidade e a alegria, guardadas na lembrança, foram grandes companheiras nas madrugadas de estudo, que, embora penosas, deixaram de ser solitárias, me fazendo lembrar que a cada dia é uma oportunidade única de aprender e compartilhar. Assim, o immortalizo neste humilde trabalho, regado de tanto suor e adubado com tanta energia, como nosso eterno Doutor da Alegria.

Essa conquista é nossa!

AGRADECIMENTOS

Ao Grande Arquiteto do Universo pela vida.

Aos meus pais João de Deus Farias e Maria do Carmo Bezerra Farias, pelos valores, princípios e virtudes exemplares e basilares em minha vida.

Aos meus irmãos Roberta Denise Bezerra Farias, João de Deus Farias Júnior (*in memoriam*), Débora Cristiane Bezerra Farias e Deise Raquel Bezerra Farias, pela força e união que nos protege e estimula.

À minha esposa, Roseane de Assis Farias, pelo amor e companheirismo, fundamentais na manutenção do nosso lar e da nossa família.

Aos meus filhos, Caio Adan Bezerra Farias e Nicolas Cauã Bezerra Farias, por me abençoarem com as suas existências, me ensinando, me amando e me alegrando.

À Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais (PPGEGRN), pelos diversos recursos disponibilizados durante o processo de desenvolvimento intelectual.

Aos “MESTRES DA EDUCAÇÃO” dos Ensinos Infantil, Fundamental, Médio, Profissional e Superior, do Brasil e do exterior, que estiveram presentes desde o princípio, durante a sementeira e a colheita do meu Projeto de Vida.

Ao AMIGO e coorientador Dr. Daniel Duarte Pereira, pela parceria duradoura e pelo compartilhamento de seus sonhos e ensinamentos por um Cariri cada vez mais desenvolvido.

Ao AMIGO e orientador Dr. José Dantas Neto, pelas orientações e por ter sido tão decisivo em momentos especiais e delicados da minha vida.

Ao ORIENTADOR e professor Sérgio Murilo Santos de Araújo, por ser uma referência em nossa área de pesquisa e por aceitar compor esse nosso sonho/projeto.

Ao “IRMÃO” e parceiro Márden de Sousa Chaves, pela disponibilidade de seus espaços, esforços, tempo e conselhos, tornando-se, de fato, o padrinho de todo esse processo.

Aos coordenadores, professores, funcionários e colegas de turma do PPGEGRN, pelo apoio e incentivo.

Aos professores avaliadores, pelas contribuições no produto final desse processo de doutoramento.

*Aos agricultores, pescadores,
estudantes, motoristas, pesquisadores,
funcionários públicos, técnicos,
legisladores, comunicadores, gestores e
colegas de trabalho que transformaram
nossa unidade experimental em um
espaço interativo, dinâmico e
construtivo.*

*Às instituições e aos programas com os
quais estabelecemos inúmeras parcerias
desde o início do projeto, ainda durante
o Mestrado.*

O meu muito obrigado!

RESUMO

A função das Áreas de Preservação Permanente-APPs, é proteger os recursos hídricos, a paisagem, a biodiversidade, a estabilidade geológica e o solo. Na pesquisa procurou-se avaliar o processo de degradação e aplicar técnicas de recuperação de áreas degradadas no município de Camalaú-PB, no Alto Curso do rio Paraíba, Semiárido Brasileiro. Diferentes técnicas foram utilizadas: 1ª) A análise do comportamento temporal da cobertura vegetal do município de Camalaú-PB entre os anos de 1985-2020, usando sensoriamento remoto, com base no MapBiomas, e elaborado análise estatística de Mann-Kendall e Pettit; 2ª) O Manejo e conservação dos solos como estratégia de recuperação de área degradada construindo-se curvas de nível e cordões de contorno utilizando-se podas de árvores, pedras e pneus usados e depois implantando-se o sistemas agroflorestal; 3ª) Mapeamento da fertilidade dos solos em processo de recuperação através de modelo paramétrico simplificado de fertilidade natural do solo utilizando geoprocessamento; 4ª) Avaliação da umidade do perfil do solo nas áreas em manejo e degradada de região semiárida determinado pelos métodos da estufa e forno elétrico, em que, os dados foram analisados utilizando software R[®] através do modelo longitudinal de efeitos mistos.; 5ª) Analisar dos parâmetros biométricos de desenvolvimento do Agave Híbrido 11648 correlacionando com as variáveis tempo de coleta, precipitação e cota topográfica. A mudança espaço temporal do Bioma Caatinga ao longo da série de 36 anos no município de Camalaú-PB foi influenciada por diversos fatores, como uso e ocupação, práticas de manejo adotada pelos agricultores, tipo de exploração e mudanças climáticas. Aumentaram as áreas susceptíveis a desertificação na área em estudo. A prática mecânica com cordões de pedra e pneus além de auxiliar no controle do processo erosivo, ainda possibilitou a formação de bancos de sementes. O cultivo de agave em curva de nível, permitiu a formação de cordões que barraram a velocidade da água e auxiliam na sua infiltração, evitando o processo erosivo. No sistema agroflorestal as espécies de mandacaru (*Cereus jamacaru DC*) e palma orelha de elefante (*Opuntia stricta Howard*) apresentaram as maiores taxas de sobrevivência. O baixo teor de P, Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺, e matéria orgânica (MO), combinada com a alta Acidez Potencial (H⁺+Al³⁺) e a CTC Total influenciaram na classificação da fertilidade natural dos solos como Muito Baixa e Baixa. As cotas de menor altitude ocorreram maior retenção de água do solo em todas profundidades. A área degradada apresentou menores níveis de umidade na profundidade de 0-10 cm em comparação com a manejada. O cultivo de palma e de agave promoveu maior retenção de água nos solos na área manejada. A produção do agave Híbrido Embrapa 11648 cultivado em curva-de-nível como prática mecânico-vegetativa em áreas declivosas e em processo de recuperação apresentou resultados positivos quanto ao crescimento e desenvolvimento das plantas.

Palavras-chave: Degradação Ambiental; Mata ciliar, Conservação de solo e água, Sistema agroflorestal.

ABSTRACT

The function of Permanent Preservation Areas (APPs) is to protect water resources, landscape, biodiversity, geological stability, and soil. The research sought to evaluate the degradation process and apply techniques to recover degraded areas in the municipality of Camalaú-PB, in the Upper Course of the Paraíba River, Brazilian Semi-Arid. Different techniques were used: 1st) Analysis of the temporal behavior of the vegetation cover of the municipality of Camalaú-PB between 1985-2020, using remote sensing, based on MapBiomass, and statistical analysis by Mann-Kendall and Pettit; 2nd) Soil management and conservation as a strategy for recovering degraded areas by constructing contour lines and contour lines using tree pruning, stones, and used tires and then implementing agroforestry systems; 3rd) Mapping of soil fertility in the recovery process through a simplified parametric model of natural soil fertility using geoprocessing; 4th) Evaluation of soil moisture profile in managed and degraded areas of a semiarid region determined by the greenhouse and electric oven methods, in which the data were analyzed using R® software through the longitudinal mixed effects model.; 5th) Analysis of the biometric parameters of development of 11648 correlating with the variables collection time, precipitation and topographic elevation. The spatiotemporal change of the Caatinga Biome over the 36-year series in the municipality of Camalaú-PB was influenced by several factors, such as use and occupation, management practices adopted by farmers, type of exploration and climate change. The areas susceptible to desertification in the study area increased. The mechanical practice with stone cords and tires, in addition to helping to control the erosion process, also enabled the formation of seed banks. The cultivation of agave on contour lines allowed the formation of cordons that blocked the speed of water and helped its infiltration, preventing the erosion process. In the agroforestry system, the species of mandacaru (*Cereus jamacaru DC*) and elephant ear palm (*Opuntia stricta Howard*) presented the highest survival rates. The low content of P, Ca²⁺, Mg²⁺ and K⁺, and organic matter (OM), combined with the high Potential Acidity (H⁺+Al³⁺) and total CEC influenced the classification of the natural fertility of the soils as Very Low and Low. The lower altitudes showed greater soil water retention at all depths. The degraded area presented lower moisture levels at the depth of 0-10 cm compared to the managed area. The cultivation of palm and agave promoted greater water retention in the soils in the managed area. The production of the Embrapa 11648 Hybrid agave cultivated in contour lines as a mechanical-vegetative practice in sloping areas and in the recovery process showed positive results regarding plant growth and development. **Keywords:** Environmental degradation; Riparian forest, Soil and water conservation, Agroforestry system.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	21
DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO PARAÍBA E APLICAÇÃO DE METODOLOGIAS DE RECUPERAÇÃO EM ÁREA DEGRADADA	21
1. INTRODUÇÃO	21
1.1. Introdução Geral	21
1.2. Inovação e Ineditismo	23
1.3. Aspectos Socioeconômicos e Ambientais	24
1.4. Objetivos do Desenvolvimento Sustentável	24
2. OBJETIVOS	25
2.1. Objetivo Geral	25
2.2. Objetivos Específicos	25
3. HIPÓTESES	26
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
4.1. Região Semiárida	27
4.2. Bioma Caatinga	28
4.3. Matas Ciliares	29
4.1. Matas Ciliares em Ambientes Hídricos no Domínio das Caatingas	29
4.4. Degradação Ambiental e Desertificação	30
4.4.1. Degradação Ambiental em Áreas de Preservação Permanente (APP's)	31
4.5. Sistemas Agroflorestais (SAF's)	32
4.6. Recuperação de Áreas Degradadas Utilizando Sistemas Agroflorestais	33
4.7. Técnicas e Tecnologias de Uso e Conservação dos Solos Adaptadas para o Semiárido	34
5. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	36
5.1. Localização e Descrição	36
5.2. Caracterização da Unidade Experimental	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
Capítulo I	50
DINÂMICA ESPAÇO TEMPORAL DO USO E COBERTURA DO SOLO NO MUNICÍPIO DE CAMALAU-PB, BRASIL	50
1. INTRODUÇÃO	50
2. MATERIAL E MÉTODOS	51
2.1. Dados derivados de satélite (projeto MapBiomas Brasil)	51
2.2. Dados de precipitação	52

2.3 Análise e Tratamento dos Dados	53
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
4. CONCLUSÃO.....	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
Capítulo II.....	66
IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA AGROFLORESTAL E DE TÉCNICAS DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DOS SOLOS COMO ESTRATÉGIA DE RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA	66
1. INTRODUÇÃO.....	66
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	68
2.2. Etapas de Execução	68
2.1.1. Seleção e Delimitação da Área	68
2.1.2. Estabelecimento das Curvas de Nível e Produção dos Cordões de Contorno com Galhos, Pedras e Pneus.....	69
2.1.3. Plantio de Agaves Híbrido Embrapa 11648.....	70
2.1.4. Plantio das Cactáceas	71
2.1.5. Plantio de Umbuzeiros e Quixabeiras	74
2.1.6. Abertura de Sucos de Captação de Água <i>in Situ</i>	75
2.1.7. Plantio de Palma Forrageira.....	75
2.1.8. Plantio de Canafístula.....	77
2.1.9. Geoprocessamento das Áreas de Estudo.....	77
2.2. Método de Estudo e Análise dos Dados	78
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	78
4. CONCLUSÃO.....	96
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
Capítulo III	103
FERTILIDADE DO SOLO DE ÁREA DEGRADADA EM PROCESSO DE RECUPERAÇÃO ATRAVÉS DE MODELAGEM EM SIG.....	103
1. INTRODUÇÃO.....	103
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	105
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	107
4. CONCLUSÃO.....	119
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119
Capítulo IV	127
ANÁLISE DO TEOR DE UMIDADE DO SOLO EM ÁREAS DEGRADA E EM PROCESSO RECUPERAÇÃO.....	127
1. INTRODUÇÃO.....	127

2. MATERIAL E MÉTODOS.....	130
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	132
4. CONCLUSÃO.....	138
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	138
Capítulo V.....	147
AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS BIOMÉTRICOS DO AGAVE HÍBRIDO EMBRAPA 11648 UTILIZADO COMO PRÁTICA MECÂNICO-VEGETATIVA NA RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA	
1. INTRODUÇÃO.....	147
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	150
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	152
4. CONCLUSÃO.....	156
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	157
CONSIDERAÇÕES GERAIS E RECOMENDAÇÕES.....	162

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Localização do Município de Camalaú-PB.....	36
Figura 2. Precipitação pluviométrica do município de Camalaú (1994-2023).....	37
Figura 3. Solos e localização da área de estudo.	38
Figura 4. Levantamento Planialtimétrico da Unidade Experimental, sítio Viegas, Camalaú-PB.....	39
Figura 5. Altitude da área de estudo.	40
Figura 6. Declividade da área de estudo.....	41
Figura 7. Localização das unidades experimentais.	42
Figura 8. Precipitação anual (mm) de 1994 a 2023 para estação pluviométrica da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs) instalada no município de Camalaú, Paraíba.	53
Figura 9. Mapas temáticos de uso e cobertura do solo no município de Camalaú -PB, Brasil referentes aos anos de 1985 (a), 2003 (b) e 2020 (c).	55
Figura 10. Uso de práticas conservacionista no processo produtivo da propriedade (a), percepção em relação ao aumento, redução ou não percepção em relação ao bioma (b), dados obtidos do questionário aplicado aos produtores inseridos no município de Camalaú.	57
Figura 11. Perfil de produção vegetal (a) e animal (b) dos agricultores inseridos na área de estudo.	58
Figura 12. Utilização de broca (a), coivara (b) pelos produtores rurais inseridos no local de estudo.....	59
Figura 13. Média para Formação Savânica quando submetida ao teste de Pettitt para os anos de (1985 a 2020) no município de Camalaú-PB.	61
Figura 14. Média para formação do Mosaico de Agricultura e Pastagem quando submetida ao teste de Pettitt para os anos de (1985 a 2020) no município de Camalaú.	62
Figura 15. Delimitação e sinalização da área experimental.	68
Figura 16. Utilização do pé-de-galinha e produção dos cordões de contorno.....	69
Figura 17. Croqui da Área Experimental.....	70
Figura 18. Plantio de Agave.	71
Figura 19. Plantio de Cactáceas.....	72
Figura 20. Plantio de Umbuzeiros e Quixabeiras.	74
Figura 21. Abertura de Sucos de Captação de Água.	75
Figura 22. Plantio de Palma Forrageira.	76
Figura 23. Parcelas de Plantio da Palma Forrageira.	76
Figura 24. Esquema de Plantio da Canafístula.	77
Figura 25. Levantamento Planialtimétrico.	78
Figura 26. Imagem aérea da Área 01 com “linha mestra”.....	79
Figura 27. Imagem aérea da Área 02 com “linha livre”.....	80
Figura 28. Escoamento superficial na Área TA01 e 01.....	81
Figura 29. Cordão de contorno com galhos secos.....	82
Figura 30. Barreira física com pneus, pedras e galhos secos.	83

Figura 31. Barreira física com pedras e formação de banco de sementes.	84
Figura 32. Produção de agave em curva de nível.	85
Figura 33. Cordões vegetativos com agave.	86
Figura 34. Implantação de lavoura xerófila na Área 02.	86
Figura 35. Sobrevivência de cactáceas na Área 02.	87
Figura 36. Sobrevivência de cactáceas por níveis topográficos na Área 02.	87
Figura 37. Umbuzeiros e quixabeiras nas Área 01 e 02.	88
Figura 38. Sobrevivência de umbuzeiros e quixabeiras nas áreas 01 e 03.	89
Figura 39. Assoreamento dos sulcos sem barramentos e captação de água em sulcos com barramentos.	90
Figura 40. Registro temporal de variedade de palma cultivadas na Área 01.	91
Figura 41. Sobrevivência de variedade de palma na Área 01.	92
Figura 42. Ataque de fitopatógeno em palma Orelha de Elefante.	93
Figura 43. Cultivo de canafístula na Área 01.	94
Figura 44. Sobrevivência de canafístula por linha topográfica na Área 01.	95
Figura 45. Comparativo de imagens aéreas da Área 01.	96
Figura 46. Boxplot das variáveis das amostras. (a) pH do solo (adimensional); (b) P (cmolc kg ⁻¹); (c) Ca ²⁺ (cmolc kg ⁻¹); (d) Mg ²⁺ (cmolc kg ⁻¹); (e) Al ³⁺ (cmolc kg ⁻¹); (f) K ⁺ (cmolc kg ⁻¹); (g) SB (cmolc kg ⁻¹); (h) Ac. Pot. (H ⁺ +Al ³⁺) (cmolc kg ⁻¹); (i) CTC (pH 7,0) (cmolc kg ⁻¹); (j) CTC (efetiva) (cmolc kg ⁻¹); (k) V – Sat. Base (%); (l) m - Saturação por Al (%); (m); PST (%); (p) MOS (g kg ⁻¹); IFSN (adimensional).	109
Figura 47. Boxplot das variáveis: (a) pH do solo (adimensional); (b) P (cmolc kg ⁻¹); (c) Ca ²⁺ (cmolc kg ⁻¹); (d) Mg ²⁺ (cmolc kg ⁻¹); (e) Al ³⁺ (cmolc kg ⁻¹); (f) K ⁺ (cmolc kg ⁻¹); (g) SB (cmolc kg ⁻¹); (h) Ac. Pot. (H ⁺ +Al ³⁺) (cmolc kg ⁻¹); (i) CTC (pH 7,0) (cmolc kg ⁻¹); (j) CTC (efetiva) (cmolc kg ⁻¹); (k) V – Sat. Base (%); (l) m - Saturação por Al (%); (m); PST (%); (p) MOS (g kg ⁻¹); IFSN (adimensional).	110
Figura 48. Correlação das variáveis.	112
Figura 49. (a) pH do solo (adimensional); (b) P (cmolc kg ⁻¹); (c) Ca ²⁺ (cmolc kg ⁻¹); (d) Mg ²⁺ (cmolc kg ⁻¹); (e) Al ³⁺ (cmolc kg ⁻¹); (f) K ⁺ (cmolc kg ⁻¹).	114
Figura 50. (a) SB (cmolc kg ⁻¹); (b) Ac. Pot. (H ⁺ +Al ³⁺) (cmolc kg ⁻¹); (c) CTC (pH 7,0) (cmolc kg ⁻¹); (d) CTC (efetiva) (cmolc kg ⁻¹); (e) V – Sat. Base (%); (f) m - Saturação por Al (%).	115
Figura 51. (a) PST (%); (b) MOS (g kg ⁻¹).	115
Figura 52. Fertilidade natural da camada superficial dos solos.	116
Figura 53. Pontos de coleta nas Áreas TA01 (esquerda) e 01 (direita).	130
Figura 54. Pesagem e secagem das amostras de solos pelo método do forno elétrico.	131
Figura 55. Pluviosidade anual de 2022 do município de Camalaú.	132
Figura 56. Pluviosidade anual de 2023 do município de Camalaú.	133
Figura 57. (a) Coeficiente de determinação da secagem de 35 minutos, (b) secagem de 175 minutos.	134
Figura 58. Umidade do solo (%) em diferentes profundidades e cotas topográficas nas áreas degradada e manejada ao longo de quatro avaliações mensais. Nota: Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa (p<0,05) entre a área degradada e a área manejada dentro de cada cota topográfica e avaliação.	136

Figura 59. Distribuição espacial das curvas de nível.....	151
Figura 60. Pluviosidade anual de 2018 (a) e 2024 (b) do município de Camalaú-PB.	152
Figura 61. Altura de plantas e comprimento de folhas de agave em diferentes cotas topográficas e épocas de avaliação. Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa ($p<0,05$) entre épocas, dentro de uma mesma linha topográfica. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa ($p<0,05$) entre linhas topográficas, para uma mesma época de avaliação.....	155
Figura 62. Evolução da recuperação da área de estudo.....	156

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Intervalos de Declividade em classes, do Município de Camalaú-PB	42
Tabela 2. Histórico de áreas da pesquisa	43
Tabela 3. Área (hectares) e porcentagens (%) das classificações de uso e cobertura do solo.....	56
Tabela 4. Valor de Tau de Kendall da Formação Savânica e do Mosaico de Agricultura e Pastagem correlacionando com os dados do questionário aplicado aos agricultores de Camalaú-PB.....	60
Tabela 5. Parâmetros de classificação das variáveis da fertilidade dos solos	106
Tabela 6. Análise física dos solos.....	107
Tabela 7. Dados estatísticos das variáveis.....	108
Tabela 8. Testes de normalidade	111
Tabela 9. Distribuição espacial das variáveis	113
Tabela 10. Amostras aleatórias em peso (%) obtidas em forno elétrico e estufa	133
Tabela 11. Variância dos parâmetros biométricos de plantas de agave em função da cota topográfica (L), épocas de avaliação (E) e interação destes fatores	153
Tabela 12. Médias dos parâmetros biométricos de plantas de agave em diferentes épocas de avaliação	154

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
ANOVA - Análise de Variância
APP - Área de Preservação Permanente
BDIA - Banco de Dados de Informações Ambientais
Bsh - Clima semiárido quente
CCA - Centro de Ciências Agrárias
CNA - Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTC - Capacidade de Troca de Cátions efetiva
DAP - Declaração de Aptidão ao Pronaf
DFCA - Departamento de Fitotecnia e Ciências Ambientais
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMPARN - Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte
ESRI - Environmental Systems Research Institute
GNSS - Global Navigation Satellite System
GRASS - Geographic Resources Analysis Support System
Ha - Hectares
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFNS - Índice de Fertilidade Natural do Solo
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INSA - Instituto Nacional do Semiárido
LASAG - Laboratório de Solos e Água
LDN - Estratégia de Neutralidade da Degradação da Terra
LME - Longitudinal de efeitos mistos
lmerTest - Tests in Linear Mixed Effects Models
MAGRO - Módulo de Agroecologia
MAP - Meses após plantio
MBS - B-spline multinível
MMA - Ministério do Meio Ambiente
MME - Ministério de Minas e Energia
MO - Matéria orgânica
Ms - Massa seca

Mu - Solo úmido

NDTS - Núcleo de Desenvolvimento e Tecnologias Sociais

ONU - Organização das Nações Unidas

PEASA - Programa de Estudos e Ações para o Semiárido

pH - Potencial Hidrogeniônico

PMC - Prefeitura Municipal de Camalaú

PRONAF - Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar

PST - Porcentagem de sódio trocável

QGIS - Quantum Geographic Information System

RAD - Recuperação de Áreas Degradadas

REML - Máxima verossimilhança restrita

RTK - Real Time Kinematic

SAB - Semiárido Brasileiro

SAF - Sistema Agroflorestal

SAGA - Sistema de Análises Geocientíficas Automatizado

SB - Soma de Base

SDTF - Seasonally Dry Tropical Forest

SEAD - Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário

SIG - Sistema de Informações Geográficas

SIRGAS - Sistema de Referência de Coordenadas

SUDENE - Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste

TOPGEO - Empresa de Topografia e Geoprocessamento

UFMG - Universidade Federal de Campina Grande

UFPB - Universidade Federal da Paraíba

UNCCD - Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação

UNCCD - Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca

Us - Umidade do solo

**DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO
PARAÍBA E APLICAÇÃO DE METODOLOGIAS DE RECUPERAÇÃO EM
ÁREA DEGRADADA**

1. INTRODUÇÃO**1.1. Introdução Geral**

A exploração dos recursos naturais pela sociedade de forma exaustiva e inadequada é motivo de preocupação em razão do comprometimento quanto a sua disponibilidade no futuro. Em detrimento disso, o desenvolvimento e a aplicação de estudos para amenizar as pressões antrópicas e que possibilitem uma exploração sustentável das potencialidades do ambiente é de extrema importância para garantir a sua utilização racional.

De acordo com Oliveira (2019), as atividades econômicas são responsáveis pelo uso indiscriminado dos recursos naturais, este, que, tem intensificado ao longo dos anos a degradação ambiental no Brasil e no mundo.

Para Lima (2004), a degradação ambiental, aliada a fatores climáticos e socioeconômicos, se não cuidados a tempo, podem levar a consequências mais drásticas, intensificando o processo natural de desertificação na região.

Sendo o Bioma Caatinga, exclusivo do Brasil e predominante na região Semiárida, Perez-Marin et al. (2012) destacaram que as técnicas tradicionalmente utilizadas para o manejo da caatinga na efetivação das atividades econômicas demandam o desmatamento da vegetação arbórea arbustiva endêmica, que, associada ao uso de técnicas inadequadas de irrigação e a alta densidade dos solos, desencadeiam a salinização, compactação e a acentuação de processos erosivos, caracterizando a degradação destas áreas.

Neste bioma, os espaços mais providos de água atraíram historicamente os processos de ocupação em razão da capacidade de abastecimento básico dos seres humanos, com uma diversidade de recursos naturais, como cobertura vegetal, recursos hídricos, entre outros.

As áreas que antes eram ocupadas intensamente por matas ciliares, são as que mais sofreram impactos ambientais, segundo Botelho e Davide (2002), dentre vários fatores naturais e humanos, por possuírem os solos mais férteis e úmidos para a agricultura e o extrativismo vegetal.

Os corpos d'água são essenciais para a manutenção da vida animal e vegetal. Estes espaços naturalmente deveriam estar cobertos por matas, que segundo Rodrigues e Shepherd (2000), são denominadas de mata ciliar, um termo mais popular, presente, inclusive, na legislação ambiental brasileira e que se refere à formação florestal ocorrendo ao longo dos cursos de água.

A bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Norte possui áreas que apresentam problemas de antropização a partir das suas matas ciliares. Segundo Araújo et al. (2010), a região mais vulnerável aos impactos ambientais e antropogênicos são a sub-bacia do Rio Taperoá e a região do Alto Paraíba, pois esse setor é o mais seco do Estado, com menor índice pluviométrico e, conseqüentemente, ocasiona intensa degradação no meio ambiente e a população residente.

Para Marcuzzo et al. (2012), o uso do solo na bacia do Rio Paraíba é caracterizado intensivamente pela prática da agricultura e da pecuária, contudo há também uma grande porção ocupada por vegetação remanescente.

A região do Cariri Paraibano além de sofrer a ação dos fenômenos naturais, passa por níveis intensos de antropização no que se refere aos processos de agriculturização e pecuarização. Dentre estes, o desflorestamento intensivo para ampliação de áreas agrícolas e de pastagem; o uso intensivo do solo; o desrespeito à capacidade de suporte animal nas pastagens nativas e artificiais; a presença acentuada de processos erosivos e assoreamento de cursos d'água e mananciais, e o surgimento de áreas afetadas por sais ou salinizadas (PEREIRA, 2008).

De acordo com Moura (2015), o desenvolvimento e a aplicação de sistemas de manejo do solo aliado a revegetação da área degradada, são ações importantíssimas para devolver à área gradativamente o seu potencial produtivo.

Portanto, conforme Oliveira et al. (2020), os processos de recuperação de uma área degradada podem ser iniciados através de diferentes métodos, os principais são por meio de medidas de intervenção do homem, através do reflorestamento com mudas e manejo adequado, regeneração natural da vegetação ainda existente. Ainda, o equilíbrio de um ecossistema deve estar combinado com características físicas, químicas e

biológicas do solo, por meio de processos eficazes que impliquem na sua auto sustentabilidade, retornando a uma condição sustentável (SHRESTHA et al., 2010).

Várias pesquisas e ações em matas ciliares no Semiárido, como Dias et al. (2007) e Silva et al. (2015), trazem propostas mais de ordem ecológica e que nem sempre atraem a atenção dos proprietários rurais, em sua maioria ribeirinhos.

A legislação pertinente identificada pela Resolução CONAMA N° 429, de 28 de fevereiro de 2011, que dispõe sobre a metodologia de recuperação das Áreas de Preservação Permanente – APPs (MMA, s.d.) permite que, a recuperação de áreas de matas ciliares possa ser realizada através da implementação de sistemas agroflorestais (SAF's), que inclusive apresentam marco legal próprio representado pela Lei Federal n° 12.854/13 que “Fomenta e incentiva ações que promovam a recuperação florestal e a implantação de sistemas agroflorestais em áreas rurais desapropriadas e em áreas degradadas, nos casos que especifica” (BRASIL, 2013).

Neste contexto, os Sistemas Agroflorestais se tornam importantes como metodologia sustentável na recuperação de áreas degradadas, sendo estes, segundo Yana e Weinert (2001), uma forma de produção agrícola e florestal, que tenta se aproximar ao máximo da dinâmica e estrutura de uma floresta natural, combinando espécies nativas, espécies exóticas adaptáveis e espécies para alimentação humana e animal.

Áreas degradadas podem ser recuperadas através da escolha de diferentes métodos, estes, que, devem levar em consideração diferentes fatores climatológicos, edáficos e vegetativos. Para tanto, vários estudos estão sendo desenvolvidos afim de mitigar os impactos antrópicos negativos e de avaliar a eficiência e eficácia de modelos de recuperação ambiental, para só então, torna-los efetivos.

Desta forma, após avaliação do processo de degradação ambiental no município de Camalaú-PB, foi selecionada uma área degradada do município, esta, estando na Bacia do Rio Paraíba do Norte, região do Alto Paraíba, para a implantação de uma unidade experimental, realização de pesquisas envolvendo a introdução de modelos de SAF's em APP's, análise do processo de degradação, introdução e avaliação de técnicas e tecnologias de manejo e conservação do solo.

1.2. Inovação e Ineditismo

Os estudos *in loco* da dinâmica espaço temporal do uso e ocupação do solo na região do Cariri paraibano tornam-se muitas vezes inviáveis em função, inclusive, dos

custos operacionais, da dinâmica da caatinga e da variabilidade das características do solo. Sendo assim, a inovação em retratar o comportamento espaço temporal do Bioma Caatinga por meio da dinâmica de uso e ocupação comparando as ferramentas tecnológicas com dados de vivência dos agricultores inseridos no Cariri paraibano pôde cientificamente essa associação e tornar esse tipo de análise ainda mais prática.

Diversos estudos já foram realizados no Brasil e no exterior, os quais analisaram os parâmetros biométricos de diversas variáveis do agave, inclusive, considerando variáveis como tempo de coleta, precipitação, entre outros. No entanto, sendo cultivado em curva de nível como prática mecânico-vegetativa de contenção de água e solo, além de produção de banco de energia animal em área em processo de recuperação ambiental no Semiárido é uma condição inédita, inclusive, ao se analisar também as diferentes cotas topográficas como variável.

1.3. Aspectos Socioeconômicos e Ambientais

Ao se promover a recuperação de uma área degradada localizada às margens do Rio Paraíba através de uma proposta econômico-ecológica, se possibilitou atender adequadamente a legislação vigente que trata sobre APP's, desconhecida por boa parte dos produtores ribeirinhos, sem causar danos consideráveis na atividade produtiva desenvolvida nestas áreas, principalmente no aspecto econômico. Muito pelo contrário, frente ao processo de desertificação evidenciado no município em questão e a consequente perda produtiva dos solos degradados, o uso de tecnologias sociais, a viabilização da implantação de sistemas agroflorestais e as técnicas de manejo e conservação do solo tornam-se viáveis economicamente, ambientalmente corretas, socialmente justas, politicamente praticáveis e que através do processo de disseminação dos resultados, deverão gradativamente ser culturalmente aceitas, através da produção agrícola, produção de forragem animal, reflorestamento e recuperação de solos degradados.

1.4. Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

O presente estudo trabalhou mais diretamente com os objetivos 2 e 15 da Agenda 2030 (ONU, 2015) para o Desenvolvimento Sustentável divulgado pela Organização das Nações Unidas, através dos quais se destacam a promoção da agricultura sustentável; a

proteção, recuperação e promoção do uso sustentável dos ecossistemas terrestres; gerenciamento de forma sustentável das florestas; combate à desertificação; inibição da degradação da terra e da perda de biodiversidade.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral é avaliar o processo de degradação e aplicar técnicas de recuperação de áreas degradadas no município de Camalaú-PB, no Alto Curso do rio Paraíba, Semiárido Brasileiro.

2.2. Objetivos Específicos

Analisar o comportamento espaço temporal do Bioma Caatinga entre os anos de 1985 e 2020 com uso de sensoriamento remoto, relacionando-o com as práticas de exploração e de produção tradicionais dos agricultores no município de Camalaú-PB, Brasil.

Avaliar metodologias de recuperação de áreas degradadas com a implantação de sistemas agroflorestais e de técnicas de manejo e conservação dos solos em uma Área de Preservação Ambiental Pluvial em avançado processo de desertificação na bacia hidrográfica do Alto Paraíba.

Estimar e mapear a fertilidade dos solos de área semiárida em recuperação através de modelagem.

Estimar e avaliar estatisticamente a umidade do perfil do solo de área em manejo e degradada de região semiárida.

Analisar os parâmetros biométricos de desenvolvimento do Agave Híbrido 11648, cultivado em curva de nível como prática mecânico-vegetativa de contenção de água e solo, além de produção de banco de energia animal, correlacionando com as variáveis tempo de coleta, precipitação e cota topográfica.

3. HIPÓTESES

A técnicas e tecnologias de manejo e conservação do solo conjuntamente aplicadas com os sistemas agroflorestais se apresentarão como eficientes e eficazes na recuperação de áreas degradadas.

As técnicas/tecnologias de captação de água e de manejo/conservação dos solos irão aumentar a taxa de umidade do solo na área em processo de recuperação em comparação com a área testemunha.

Os parâmetros biométricos do agave híbrido em condições de sequeiro e cultivado em curvas de nível, comprovarão a viabilidade econômica/ecológica da sua introdução em áreas como prática conservacionista do solo e como produção de forragem animal em solos degradados e declivosos.

O modelo utilizado no espaço temporal relacionado aos questionários aplicados aos produtores irá detectar a tendência que o Bioma Caatinga possui no município de Camalaú-PB quanto a diminuição de áreas ocupadas por Formação Savânica, enquanto tenderá a um aumento de Mosaico de Agricultura e Pastagem.

As análises química e física do solo na área degradada indicarão a baixa fertilidade do solo, sugerindo a introdução de técnicas de conservação.

A presente tese apresenta-se em cinco capítulos, além de uma introdução geral. Sendo assim dividida:

- No primeiro capítulo apresenta-se um estudo sobre a dinâmica espaço temporal do uso e cobertura do solo no município de Camalaú-PB, Brasil;
- No segundo capítulo é analisada a implantação de sistema agroflorestal e de técnicas de manejo e conservação dos solos como estratégia de recuperação de área degradada;
- No terceiro capítulo é estabelecida a fertilidade do solo de área degradada em processo de recuperação através de modelagem em SIG;
- No quarto capítulo é analisado o teor de umidade do solo em áreas degradadas e em processo de recuperação;
- No quinto capítulo é feita uma avaliação de parâmetros biométricos do agave híbrido Embrapa 11648 utilizado como prática mecânico-vegetativa na recuperação de área degradada.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Região Semiárida

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- IBGE (2018), o Semiárido brasileiro é uma região delimitada pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE, considerando condições climáticas dominantes de semiaridez, em especial a precipitação pluviométrica. Como reflexo das condições climáticas, a hidrografia é frágil, em seus amplos aspectos, sendo insuficiente para sustentar rios caudalosos que se mantenham perenes nos longos períodos de ausência de precipitações.

De acordo com Francisco (2013), o Ministério da Integração Nacional definiu em 2005, uma nova delimitação do Semiárido brasileiro a partir de três critérios técnicos: precipitação pluviométrica média anual inferior a 800mm; índice de aridez de até 0,5 calculado pelo balanço hídrico, que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial, no período entre 1961 e 1990; risco de seca maior que 60% tomando-se por base o período entre 1970 e 1990.

É o Semiárido mais chuvoso do planeta: a pluviosidade é, em média, 750 mm/ano (variando, dentro da região de 250 a 800 mm/ano). É também o mais populoso. O grande problema é que a chuva que cai é menor do que a água que evapora. No Semiárido brasileiro, a evaporação é de 3.000 mm/ano, três vezes maior do que a precipitação. Outra característica é a variação das chuvas, no tempo e no espaço. Não há período fixo, nem lugar certo para chover (MALVEZZI, 2007).

No Semiárido brasileiro, a adoção de sistemas agrícolas totalmente extrativistas. Na pecuária, o que sobressai é o superpastoreio. A agricultura é desenvolvida à custa de um desmatamento indiscriminado, queimadas e períodos de pousio inadequados. Há ainda intensa extração de lenha e madeira para atender à demanda familiar, de cerâmicas e padarias, contribuindo enormemente para a redução da vegetação da caatinga (ARAÚJO FILHO, 2002).

Na delimitação do Semiárido Brasileiro – SAB, em 2021 foram identificados 1.427 municípios que atingiram pelo menos um dos critérios para classificação, estes, distribuídos entre os Estados de Alagoas (38), Bahia (283), Ceará (171), Espírito Santo (6), Maranhão (16), Minas Gerais (209), Paraíba (188), Pernambuco (137), Piauí (215), Rio Grande do Norte (141) e Sergipe (23). Com a nova delimitação, o Semiárido passou a ter uma área de 1.318.750 km² (SUDENE, 2021).

4.2. Bioma Caatinga

A vegetação predominante do Semiárido é a Caatinga, integrante do único bioma exclusivamente brasileiro, rica em espécies vegetais que não existem em nenhum outro lugar do planeta (ASA BRASIL, 2010; OLIVEIRA et al., 2009). O termo Caatinga refere-se também a uma floresta tropical sazonalmente seca (SDTF) que apresenta um mosaico de diferentes fisionomias (DA SILVA, 2018).

Caatinga é de origem Tupi e significa mata branca, referindo-se ao aspecto da vegetação durante a estação seca, quando caem as folhas na maioria das árvores e os troncos aparecem esbranquiçados e brilhantes dominando a paisagem (PRADO, 2003).

Apenas 3,56% da Caatinga estão protegidos em Unidades de Conservação Federais, e apesar da sua importância ambiental e ameaças de antropização, a Caatinga tornou-se um dos ecossistemas brasileiros menos protegidos e mais ameaçados (NATURE CONSERVANCY DO BRASIL, 2000). A preocupação com os recursos hídricos deve ser constante, pois a falta de água afeta 2 bilhões de pessoas no mundo. Portanto, é premente que se faça ações efetivas, no que diz respeito à proteção dos rios, uma vez que, a água potável e acessível para o consumo e corresponde a menos de 1% da água do planeta. Para tanto, é preciso que se preserve a mata ciliar dos corpos hídricos (ONU, 2021).

Dornelas e Marques (2013) evidenciam uma urgência na elaboração de estudos que visam à obtenção de informações que colaborem para conservação do bioma Caatinga, sem dissociar da convivência harmoniosa das pessoas com as características da região.

Segundo o IBGE/BDIA (2021), o Bioma Caatinga apresenta uma área de 862.639,52 km² com um remanescente de Vegetação de 532.388,23 km² (61,72%) e uma área antropizada de 330.145,49 km² (38,27%) predominando nesta, a Agropecuária (22,92%), a Pecuária (8,49%) e a Agricultura (5,46%).

Para Silva et al. (2017), o Bioma Caatinga apresentou uma área de 912.512,0 km² com um impacto total de 63,3% e impactos pontuais de Estradas (37,9%), Desflorestamento (34,1%) e Fogo (15,3%).

Tabarelli et al. (2018) verificaram que, a diversidade encontrada na Caatinga é de 3.150 espécies de plantas vasculares, das quais 23% são endêmicas, com predominância de Leguminosas e Euphorbiaceas.

4.3. Matas Ciliares

Segundo Lustosa et al. (2010), o termo mata ciliar vem do fato de serem tão importantes para a proteção de rios e lagos, como são os cílios para nossos olhos. A ausência de mata ciliar provoca o aumento da erosão do solo, o assoreamento dos rios e escassez de recursos hídricos, uma vez que, sem esta importante cobertura vegetal, o solo fica mais exposto a agentes erosivos como a chuva, acelerando os processos de deterioração. Essas massas de vegetação natural se formam espontaneamente às margens dos rios, riachos e córregos de água (AB-SABER, 2001).

A Lei Federal 12.651, de 25 de maio de 2012, determinou que as faixas marginais (mata ciliar) de qualquer curso d'água, rural ou urbano, seja considerada Área de Preservação Permanente (APP) em seu Art. 4º e inciso I. O texto da Lei define o tamanho da área de preservação, de acordo com a largura do leito do rio, considerando as suas barreiras (BRASIL, 2012).

4.1. Matas Ciliares em Ambientes Hídricos no Domínio das Caatingas

Segundo Lacerda et al. (2006), as matas ciliares que estão em ambiente mais úmido dentro do domínio vegetacional da caatinga, abrigam uma flora rica em espécies, composta, principalmente, por espécies arbóreas e arbustivas, sob condições especiais, com influências de vários fatores abióticos, dentre eles: lençol freático, fertilidade do solo, microclimas, etc.

Para Ribeiro e Schiavini (2008), o contato das áreas de mata ciliares com as atividades antrópicas, na maioria das vezes acarreta na redução da biodiversidade, afetando principalmente, as espécies nativas da caatinga.

Sampaio et al. (1987) *apud* Lacerda (2006), afirma que, as matas ciliares dentro do domínio das caatingas, praticamente perderam a sua vegetação nativa, por situar-se em ambientes cobijados para produção agrícola no Semiárido.

A mata ciliar além de estar preservando os rios, córregos e nascentes, atua como uma barreira física contra possíveis degradações, como a erosão. As matas ciliares são sistemas que funcionam com reguladores de fluxo de água, evitando o assoreamento dos rios o que prejudica o *habitat* de muitos animais aquáticos e terrestres, causando transtornos para as pessoas que dependem deste recurso hídrico. A ausência da cobertura

vegetal das matas ciliares altera as condições locais gerando desequilíbrio ecológico de grandes dimensões (NASCIMENTO, 2022).

De acordo com Martins (2001), as matas ciliares são extremamente importantes para a manutenção da qualidade ambiental dos rios, pois atuam como barreira física, regulando os processos de troca entre os ecossistemas terrestres e aquáticos, funcionando dessa maneira como filtro, retendo poluentes que seriam carregados para o rio, reduzindo significativamente a possibilidade de contaminação dos cursos d'água por sedimentos, resíduos de adubos e defensivos agrícolas, o que afeta diretamente a quantidade e a qualidade da água e, finalmente, a fauna aquática e os recursos pesqueiros.

A destruição das matas ciliares compromete uma das suas mais importantes funções, que é reter os sedimentos e evitar o assoreamento dos rios (DURIGAN & SILVEIRA, 1999).

4.4. Degradação Ambiental e Desertificação

De acordo com a Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, “tem-se a degradação ambiental por consequência do impacto ambiental negativo, ou seja, que ocasiona alteração adversa das características do meio ambiente” (BRASIL, 1981).

Para Salomão (2020), qualquer procedimento ou processo que possa causar uma interação negativa no ambiente, representando um desequilíbrio ou comprometimento total ou parcial do ecossistema são definidos como degradação ambiental. A forma como o fator ocorre pode ser de suma importância, ressaltando a diferença com que a área foi impactada, sendo possível dessa forma observar se a área foi degradada ou perturbada em sua composição.

O conceito oficial de desertificação, estabelecido pela Organização das Nações Unidas (ONU), é a “degradação da terra nas regiões áridas, semiáridas e subúmidas seca se resulta de vários fatores, entre eles, citam-se as variações meteorológicas e as ações antrópicas”, cujas áreas suscetíveis localizam-se no Semiárido Brasileiro, onde as atividades humanas são mais danosas nesses ambientes (BRASIL, 2005).

São vários os possíveis fatores que resultam na desertificação, como por exemplo, o uso inapropriado do solo pela ação do homem, causando o esgotamento e o desmatamento de diversos ecossistemas; mas não só as ações antrópicas causam esse problema, como também fatores naturais, como grandes períodos de estiagem, entre

outros. Assim pode-se dizer que a desertificação acontece por meio de causas naturais e humanas, e que só costuma ocorrer em áreas que já são previamente suscetíveis. Por esse motivo, o levantamento de informações sobre a vulnerabilidade de uma área à desertificação é muito importante, pois só assim se faz possível a tomada de decisões para que esses processos sejam minimizados (SILVA, 2022).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2020), o uso inadequado do solo, da água e da vegetação que decorrem em processos de desertificação e de degradação da terra, afetam a qualidade de vida das populações e reduzem a segurança alimentar. O solo é essencial para a vida no planeta, servindo de *habitat* para inúmeras espécies e como excelente reservatório de água e de nutrientes. Ainda, o Brasil faz parte da Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação (UNCCD) desde 1998, e um dos avanços no País foi a adesão à Estratégia de Neutralidade da Degradação da Terra (LDN).

4.4.1. Degradação Ambiental em Áreas de Preservação Permanente (APP's)

Para Graziano Neto (1991), uma das ações mais impactantes do homem moderno nos ecossistemas foi a intensificação das atividades agrícola e florestal, fundamentadas na ótica da maximização de uso e exploração dos recursos naturais sem considerar a capacidade de suporte dos ecossistemas. Tais atividades, movidas sob a lógica do capital, tem gerado uma cadeia de danos ao meio ambiente com o exaurimento de vários recursos e com o desaparecimento de matas ciliares em alguns locais, em um perfil de degradação ambiental, por vezes, imensurável em larga escala.

De acordo com Terres e Muller (2008), a degradação de um ecossistema ocorre quando este perde a resiliência, ou seja, a capacidade de recuperação natural após uma interferência, geralmente antrópica. Sendo, pois, áreas de alto nível de degradação, como as APP's fluviais no âmbito do Semiárido, muitas vezes tornam-se inviáveis até mesmo para a produção de interesse econômico, necessitando de intervenções emergenciais de manejo e recuperação das áreas.

As APP's são definidas pela Lei nº 12.651/2012, em seu Art. 3º, inciso II como “área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas” (BRASIL, 2012).

4.5. Sistemas Agroflorestais (SAF's)

O uso de sistemas agroflorestais é uma importante estratégia para amenizar a degradação do solo, auxiliando satisfatoriamente a agricultura. Dentro deste processo é possível combinar várias plantas com suas qualidades e propriedades dentro de uma mesma área (MACEDO, 2023).

Nair (1998) *apud* Souza (2012) definiu agrossilvicultura como sendo a ciência e a arte que, ao combinarem simultaneamente ou sequencialmente espécies lenhosas perenes com culturas agrícolas anuais ou criação de animais em uma mesma área, na forma de arranjos espacial e temporal, proporcionam interações ecológicas e econômicas significativas. Essa prática pode aumentar a produção total por meio de aplicação de técnicas de manejo compatíveis aos padrões da população local. Vários modelos de sistemas de produção podem ser propostos, destacando-se os silvipastoris, os agrossilvipastoris, os agropastoris e agroflorestais. A combinação da agricultura com a exploração madeireira e a pecuária priorizam as quatro características básicas: sustentabilidade, estabilidade, produtividade e equabilidade.

Os SAFs são mais praticados nos trópicos, onde apresentam as condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento do sistema, destacando-se as elevadas temperaturas e estações chuvosas. Em regiões próximas aos trópicos, percebe-se que existe uma estratégia de acúmulo de biomassa na parte aérea da vegetação para impedir a perda de nutrientes pela lixiviação dos solos, e árvores em alta densidade e diversidade que crescem graças às condições favoráveis à diversidade e abundância de vida (AMADOR, 2003).

Os SAFs apresentam inúmeras vantagens que contribuem para o estabelecimento de modelos de produção mais estáveis e que podem amenizar as adversidades encontradas pela agropecuária nas regiões semiáridas (MAIA et al., 2006).

Existe a necessidade de mudanças significativas na forma do uso da terra, com a busca de sistemas produtivos sustentáveis que considerem, além da produtividade, os aspectos socioeconômicos e ambientais. Nessa perspectiva, os sistemas agroflorestais (SAFs) surgem como alternativa sustentável para a construção de novos cenários, por apresentarem semelhanças com os ecossistemas naturais, devido à grande biodiversidade e à valorização das espécies arbóreas na composição de sistemas produtivos, formando agroecossistemas abertos, complexos e dinâmicos, favorecendo a interação ecológica

existente entre os animais e as plantas. Além disso, colaboram para a restauração e para a preservação do solo (PADOVAN & PEREIRA, 2012).

4.6. Recuperação de Áreas Degradadas Utilizando Sistemas Agroflorestais

No território brasileiro, os procedimentos que promovem a recuperação das áreas degradadas são denominados de Ecologia de Restauração. Porém, o que se destaca é a importância do processo para uma estabilidade ecológica, independente do tempo a ser empregado. Ainda assim, para muitos o conceito de tal procedimento se torna fundamental para análise dos processos técnicos aplicados na área (SALOMÃO, 2020).

Para Fávero et al. (2008), os Sistemas Agroflorestais (SAF), consistem em sistemas produtivos diversificados e com estrutura semelhante à vegetação original que promovem melhorias relacionadas às condições do solo e as interações positivas entre seus componentes, sendo, pois, um dos modelos mais indicados para a recuperação de áreas degradadas. Para Lima Lobo (2021), devem estar aliados ao desenvolvimento sustentável, onde desempenham papéis ambientais e socioeconômicos importantes, dentre eles a geração de renda e a melhoria da qualidade de vida do produtor.

A combinação entre algumas condições climáticas do Semiárido, em especial da região do Cariri paraibano, aliadas às práticas inadequadas de uso e ocupação do solo, e da exploração indevida dos recursos naturais tem desconfigurado a paisagem da região, além de elevado a perda da biodiversidade e o processo da desertificação (ABÍLIO & GOMES, 2010).

De acordo com Filho (2007), as áreas de reserva legal e das áreas de preservação permanente possuem uma importância ambiental e ecológica significativa, reconhecida por diversos setores da sociedade, conscientes do seu relevante papel no resgate e preservação da biodiversidade, bem como na proteção dos recursos naturais: solo e água.

Diante dos múltiplos interesses econômicos em torno dessas áreas, e de acordo com o seu processo de ocupação, que resultou em um cenário de forte degradação, praticamente não existem incentivos econômicos para a recomposição e conservação destas áreas.

Para Ewert et al. (2016), existe arcabouço legal para a compatibilização do uso de sistemas agroflorestais com a conservação ambiental e o uso de práticas agrícolas adequadas aos objetivos das áreas legalmente protegidas, no caso das APP's.

De acordo com Nair (1983) *apud* Pollmann (2008), o objetivo da maioria dos sistemas agroflorestais é otimizar os efeitos benéficos das interações que ocorrem entre os componentes arbóreos e as culturas e/ou animais, a fim de obter a maior diversidade de produtos, diminuir as necessidades de insumos externos e reduzir os impactos ambientais (NAIR, 1989).

No entanto, Silva et al. (2004) *apud* Souza (2012), relatam que a falta de tradição do segmento florestal na região; o desconhecimento dos benefícios dos SAF's; o ensino e práticas voltadas para o monocultivo (culturas isoladas); a ausência de pesquisas que quantifiquem e qualifiquem as melhores alternativas agroflorestais, por zona ecológica; o desconhecimento de práticas conservacionistas; a divulgação dos resultados de pesquisas; a ausência de modelos através de unidades demonstrativas nas comunidades; dentre outros, constituem-se grandes entraves para o desenvolvimento dos SAF's de forma assegurada na região Semiárida.

4.7. Técnicas e Tecnologias de Uso e Conservação dos Solos Adaptadas para o Semiárido

O aumento da intensidade do uso do solo e a redução da cobertura vegetal nativa do Semiárido Brasileiro têm levado à degradação dos recursos naturais, e em especial a redução da fertilidade do solo (MENEZES et al., 2002). Em termos gerais, a maioria dos solos do Semiárido apresenta características químicas adequadas, mas possuem limitações físicas (OLIVEIRA et al., 2003).

Os problemas de ordem ambiental e antrópica da Caatinga são agravados pela baixa fertilidade natural dos seus solos que sofrem limitações, tanto pela presença de pedregosidade como pela escassez de água (PAES-SILVA, 2002).

Para evitar a erosão, podem-se adotar medidas de controle do escoamento superficial, que tem como objetivo transportar as partículas do solo eliminando o desprendimento das mesmas que são causadas pelo impacto das gotas de chuva (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2014).

A degradação dos solos, pelo mau uso da terra, sem técnicas de conservação, relacionadas à diminuição da produtividade agrícola, que vem ocorrendo, vão reduzir o potencial produtivo futuro (STOCKING, 2003).

De acordo com Griebeler et al. (2005), várias são as práticas utilizadas para controlar a erosão hídrica em solos agrícolas, sendo normalmente divididas em práticas

edáficas, vegetativas e mecânicas. As práticas mecânicas são aquelas nas quais são utilizadas estruturas artificiais para a redução da energia do escoamento da água, sendo a produção em curva de nível em terras agrícolas a prática mecânica mais difundida e utilizada.

Práticas vegetativas, mecânico-vegetativas e mecânicas (barreiras físicas), captação de água *in situ* constituem-se como técnicas complementares de conservação do solo agrícola e água, permitindo, inclusive, a recuperação de áreas degradadas e a posterior produção de alimentos nessas áreas (VERDUM et al., 2006).

Segundo Silva et al. (1993), em função da grande variação das chuvas registradas nas unidades geoambientais, identificadas na região semiárida do Nordeste brasileiro, é de fundamental importância também o preparo do solo com técnicas de captação de água de chuva *in situ*, visando assegurar os cultivos implantados em regime de sequeiro, principalmente para amenizar os efeitos do déficit hídrico ocorrido em anos de pouca precipitação pluviométrica.

De acordo com Brito et al. (2008), o sistema de preparo do solo com sulcos barrados (captação de água *in situ*) apresenta os menores valores de perdas de água e de solo, comparando com o sistema tradicional de preparo do solo.

O pé-de-galinha é uma tecnologia rudimentar da topografia que historicamente vem sendo utilizado na demarcação de curvas de nível, no cálculo da diferença de nível entre dois pontos e no cálculo de declividade de terreno. Segundo Chaves (1982), trata-se de um aparelho simples cujo formato é de um "A". O fio que desce do vértice do aparelho serve para encontrar os pontos de mesma altura ou cota. Sendo ideal para trabalhar com curvas de nível.

Estudos preliminares desenvolvidos por Silva e Paiva (1985) afirmam que, os cordões de pedra em contorno constituem promissora técnica antierosiva, a partir de observações de redução do assoreamento em reservatórios de água, alertando para os benefícios que os sedimentos retidos por essa prática poderiam proporcionar, em curto prazo, na melhoria das propriedades dos solos Litólicos.

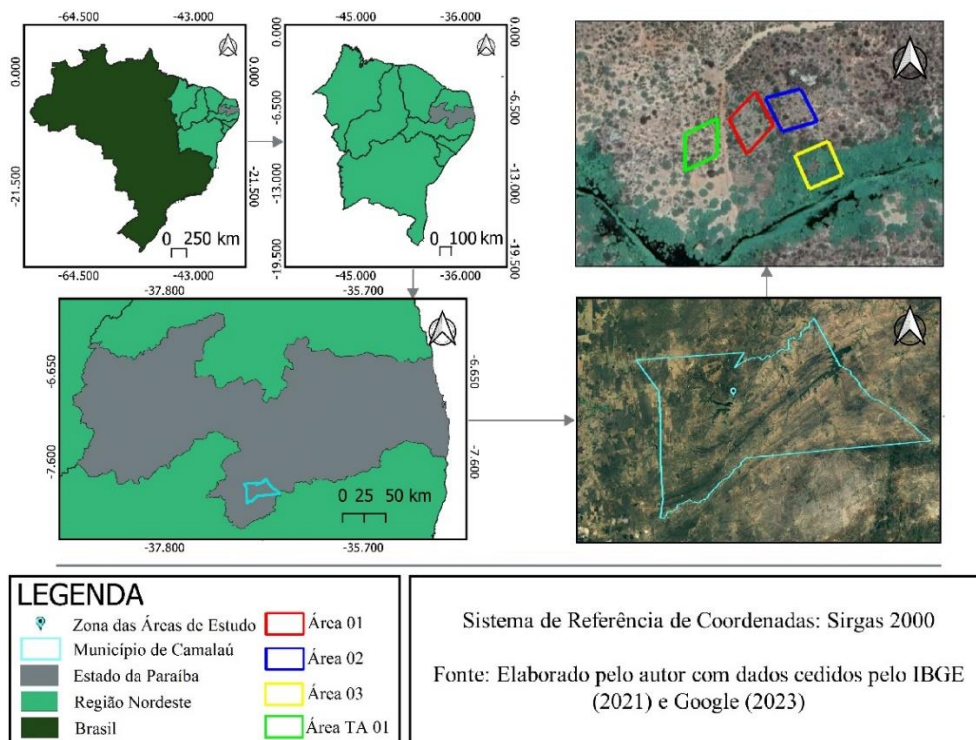
5. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

5.1. Localização e Descrição

A área de estudo localiza-se no município de Camalaú-PB, este, dista 331,7 km da capital João Pessoa, além de estar inserido na Região Imediata de Monteiro e na Região Intermediária de Campina Grande. Segundo estimativas do IBGE (2021), possui aproximadamente 6.048 habitantes, detendo uma unidade territorial de 541,84 km². O município possui uma densidade demográfica de 10,57 hab/km² e está localizado na parte ocidental do Estado da Paraíba (IBGE, 2021).

Camalaú é delimitado pelas latitudes 7°53'10" S e longitudes 36°49'25" W, localizado na parte ocidental do Estado, estando situado no Alto do Paraíba, e apresenta cotas altimétricas médias de 513 metros. Está localizado na região fisiográfica paraibana do Sertão dos Cariris Velhos, conhecida também como Cariri (MOREIRA, 1989), onde fica localizada a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Norte, região do Alto Paraíba. Na Figura 1 pode-se observar a área de estudo.

Figura 1. Mapa de Localização do Município de Camalaú-PB.

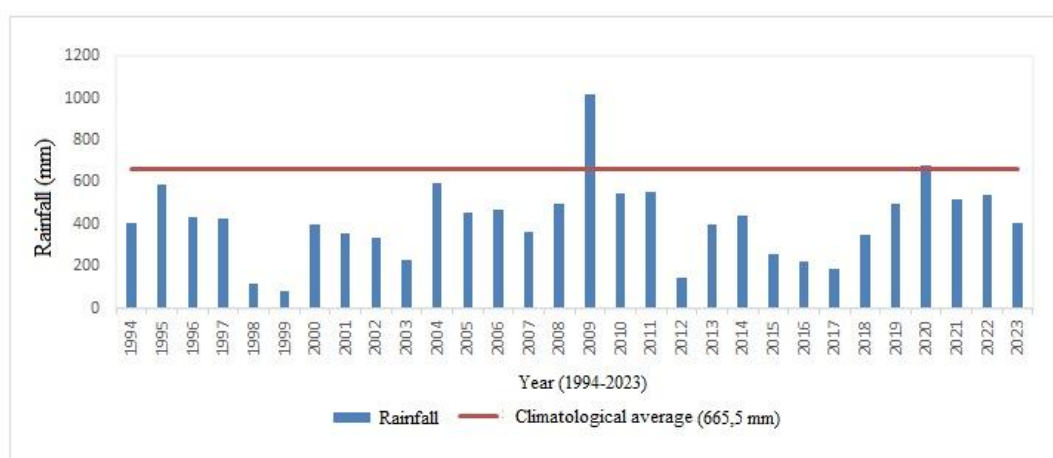


Fonte: adaptado de IBGE (20201) e Google Earth (2023).

Conforme Francisco (2010), a área de estudo encontra-se inserido na Região de Cariris de Princesa – corresponde, no terço médio do Estado, as cabeceiras do rio Paraíba. São áreas mais elevadas (>550m), ao longo da divisa com o Estado de Pernambuco.

De acordo com a classificação de Köppen o clima da área de estudo é considerado do tipo Bsh - Semiárido quente (ALVARES et al., 2013), precipitação predominantemente, abaixo de 600 mm.ano⁻¹, e temperatura mais baixa, devido ao efeito da altitude (400 a 700 m). As chuvas da região sofrem influência das massas Atlânticas de sudeste e do norte (FRANCISCO, 2010) (Figura 2).

Figura 2. Precipitação pluviométrica do município de Camalaú (1994-2023).



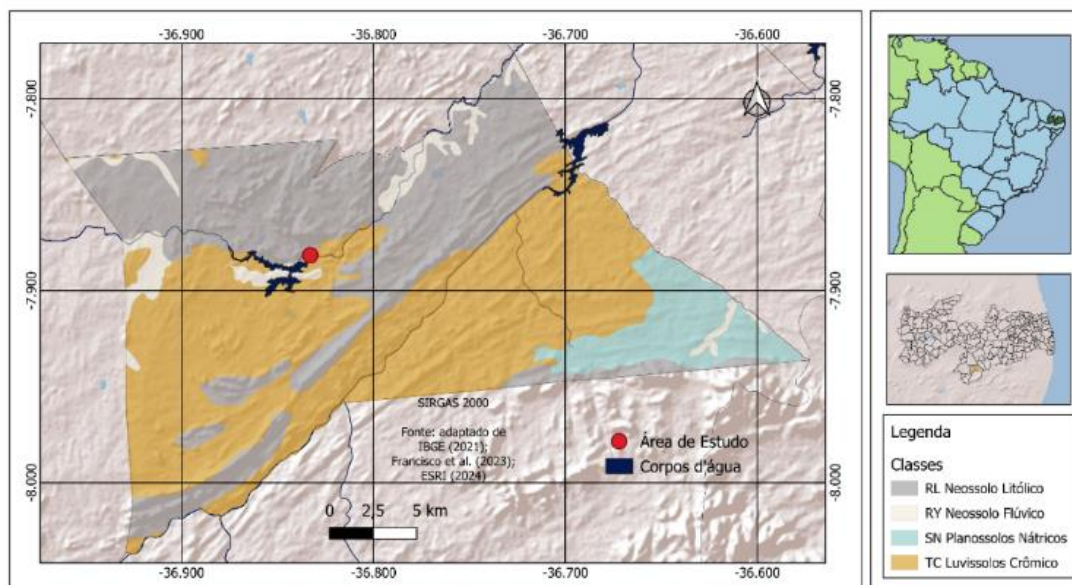
Fonte: adaptado de AESA (2024).

De acordo com Sousa et al. (2007), a vegetação representativa da área de estudo é do tipo caatinga hiperxerófila com as espécies mais encontradas sendo o marmeleiro (*Croton sonderianus* Muell. Arg.), jurema preta (*Mimosa tenuiflora* Willd. Poiret.), pereiro (*Aspidosperma pyrifolium* Mart.), e catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul). Outras espécies nativas da região estão presentes com poucos exemplares, como o angico (*Anadenanthera columbrina* Vell. Brenan) e a aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão). Já os cactos são bastante diversificados.

Os solos (Figura 3), de acordo com EMBRAPA (2018), Campos e Queiroz (2006) e Francisco et al. (2023), identificados na área são, os Luvisolos Crômicos órtico típico em que são constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural com argila de atividade alta e alta saturação de bases, imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A; e os Neossolos flúvicos Ta eutróficos solódicos em que são jovens com pouco desenvolvimento dos perfis devido a diversas causas. São solos derivados de

sedimentos aluviais, com horizonte A assente sobre horizonte C constituído de camadas estratificadas, sem relação pedogenética entre si.

Figura 3. Solos e localização da área de estudo.



A área de estudo, denominada Sítio Viegas, apresenta 0,0254 km² (2,54 ha), com histórico de uso de extrativismo vegetal, caprinocultura, bovinocultura e cultivo de olerícolas. Apresentam curvas de nível com cordões de contorno de pedras com valas de 0,25 m de largura e 0,25 m de profundidade em fileiras duplas entre as curvas de nível, distando 1,50 m. A área ao Norte é composta por agave híbrido (*Agave* sp), umbuzeiros (*Spondias tuberosa* Anacardiaceae) e quixabeiras (*Sideroxylon obtusifolium* Sapotaceae), na área central palma de espinho (*Opuntia dillenii*), mandacaru (*Cereus jamacaru* Cactaceae), xique-xiques (*Pilosocereus gounellei*) Cactaceae, e na área ao Sul é composta por algarobal (*Prosopis* sp), umbuzeiros (*Spondias tuberosa*) Anacardiaceae, e por quixabeiras (*Sideroxylon obtusifolium*) Sapotaceae.

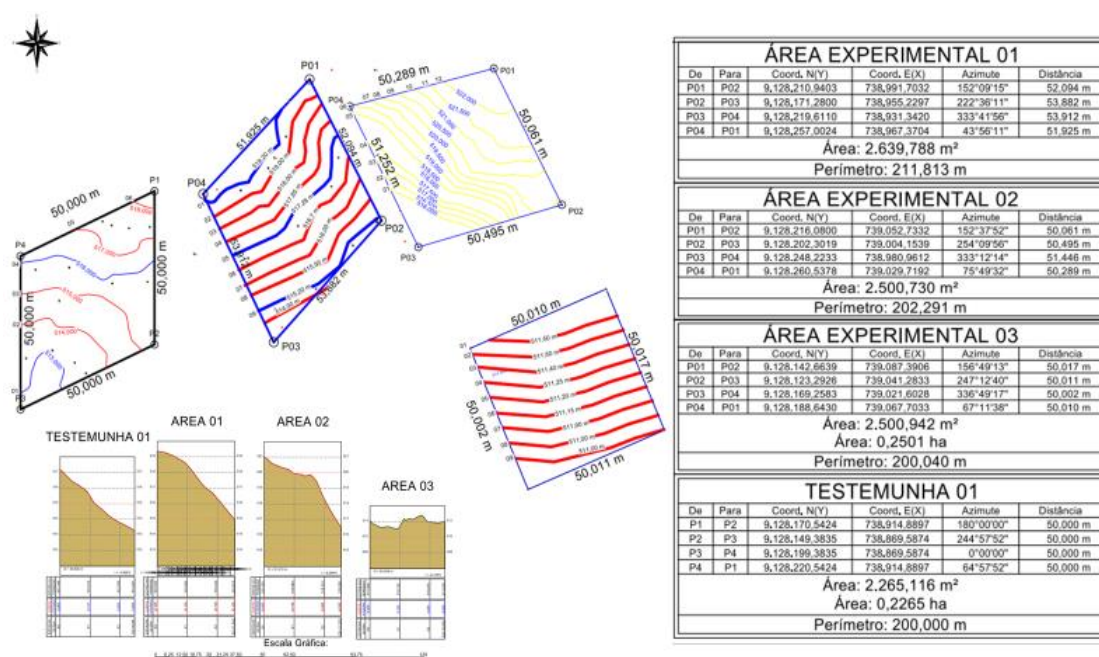
A Área TA 01 (Degradada) (0,25 ha), área de recuperação com 6 curvas de nível. A Área 01 (~0,25 ha) (Manejada) apresenta 9 curvas de nível com cordões de contorno de pedras entre as curvas, servindo como barramento físico, com 16 sulcos de captação de água e com produção agave híbrido Embrapa 11648 e de palma Baiana (*Nopalea cocholenifera* Salm Dyck), Orelha de Elefante (*Opuntia stricta* Howard) e Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck).

5.2. Caracterização da Unidade Experimental

A unidade experimental foi instalada no ano de 2017 através de parceria estabelecida entre os seguintes órgãos: Prefeitura Municipal de Camalaú – PMC; Instituto Nacional do Semiárido – INSA; Núcleo de Desenvolvimento e Tecnologias Sociais – INSA/NDTS; Universidade Federal da Paraíba/Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Fitotecnia e Ciências Ambientais, Módulo de Agroecologia – UFPB/CCA/DFCA/MAGRO; Universidade Federal da Paraíba – UFPB; Programa de Estudos e Ações para o Semiárido – UFCG/PEASA; Escola Estadual de Ensino Médio Pedro Bezerra Filho; Centro Nacional de Pesquisa do Algodão - Embrapa Algodão.

Assim como representado na Figura 4, a unidade experimental foi dividida em quatro áreas (Área 01, Área 02, Área 03 e Área TA01), tendo as mesmas as seguintes áreas: 01 (2.639, 788 m²); 02 (2.500,730 m²); 03 (2.500,942 m²); TA01 (2.265,116 m²); Perímetro: 200 m.

Figura 4. Levantamento Planialtimétrico da Unidade Experimental, sítio Viegas, Camalaú-PB.



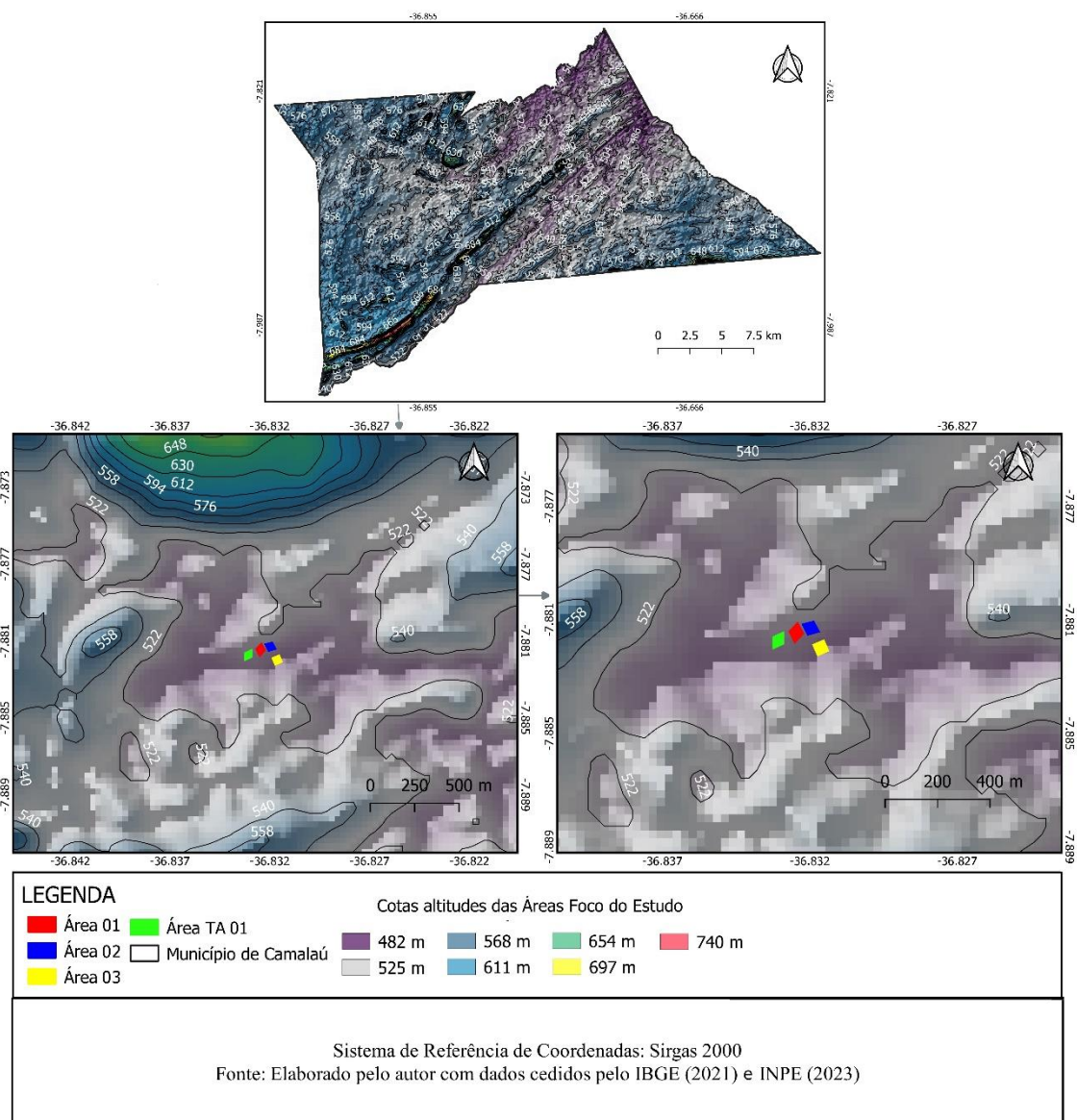
Fonte: Elaborado pelo autor com dados produzidos pela TOPGEO (2024).

As áreas encontram-se no Sítio Viegas, de propriedade do Sr. Márden Souza Chaves, município de Camalaú, Paraíba, nas seguintes coordenadas geográficas: Área 01 (7°52'52" S e 36°49'57" W), Área 02 (7°52'50" S e 36°49'56" W), Área 03 (7°52'54" S

e 36°49'54" W) e Área TA01 (7°52'52" S e 36° 49'59" W), situadas na cota altitude entre 482 e 525 m, tendo, inclusive, uma área contida na cota mais baixa do município.

Na Figura 5 compreende-se as cotas altitudes presentes no município, denotando características inerentes ao relevo, as quais inúmeros agricultores e produtores lidam diariamente. Derivado do produto hipsométrico do Município de Camalaú como um todo, os dois mapas de cotas altitudes abrangem as quatro (4) áreas foco do estudo, para evidenciação de características ambientais referentes às atitudes às quais as áreas de estudos se encontram, assim como contrastes com seu entorno.

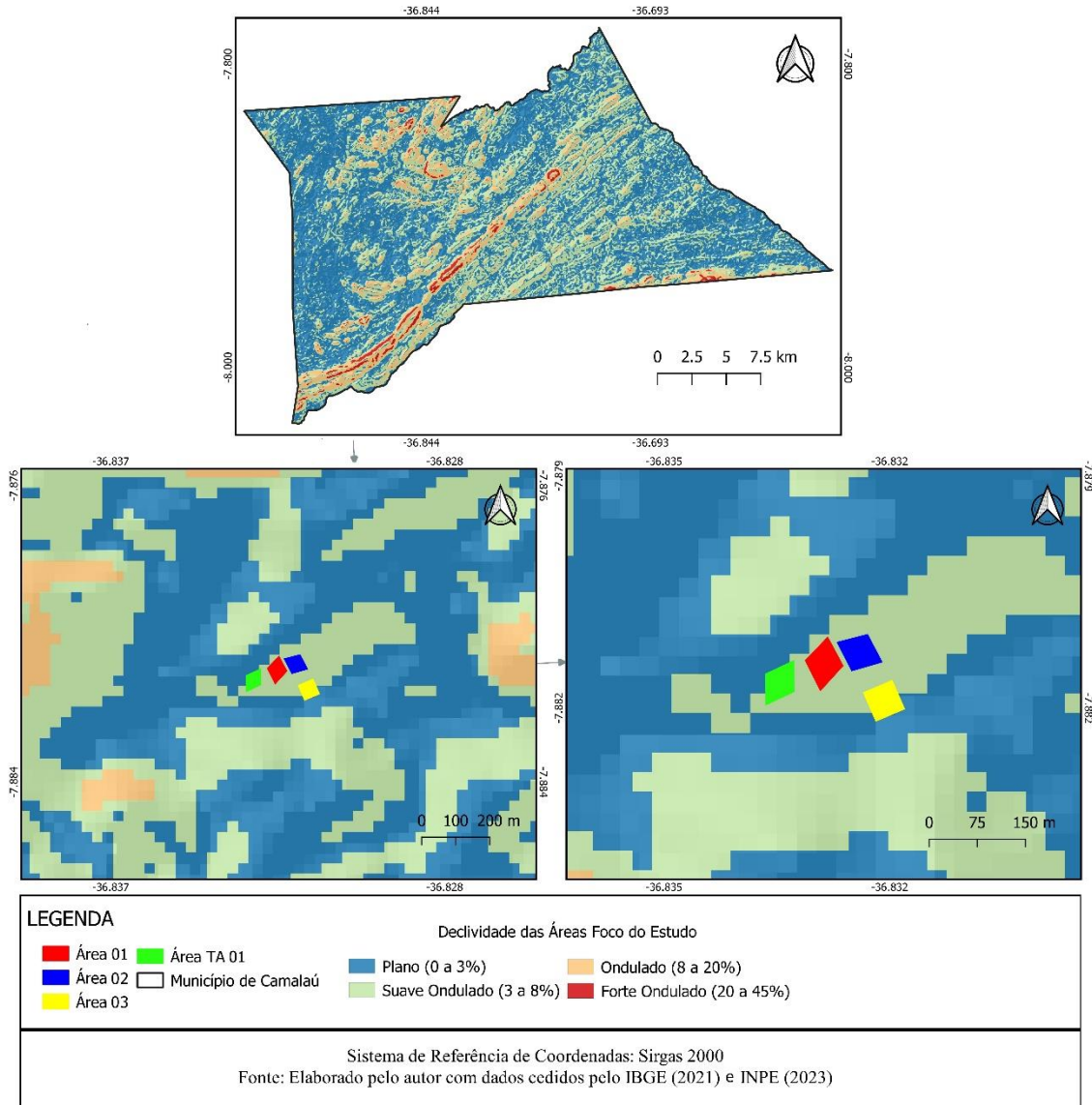
Figura 5. Altitude da área de estudo.



Fonte: adaptado de INPE (2023); IBGE (2021).

Através da Figura 6, compreende-se o relevo do município, onde os dois mapas de declividade das áreas em estudo, apontam características do relevo inerente as declividades das áreas.

Figura 6. Declividade da área de estudo.



Fonte: adaptado de INPE (2023); IBGE (2021).

As quatro áreas possuem grau de declividade Plano e Suave Ondulado conforme a Tabela 1.

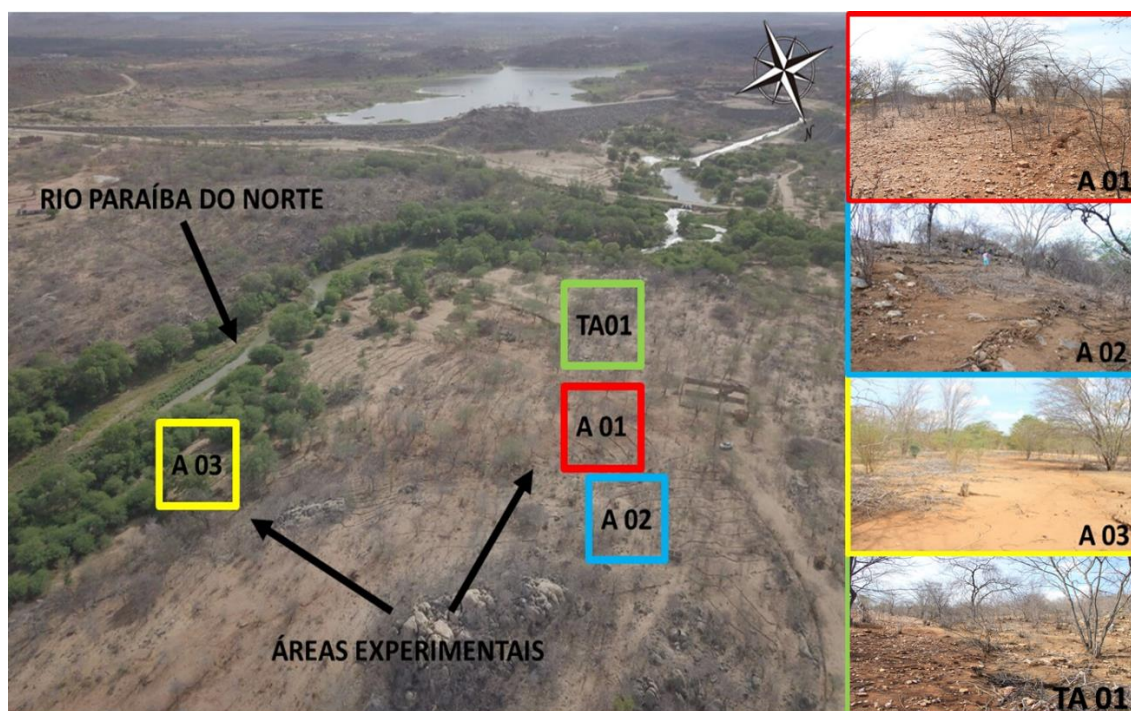
Tabela 1. Intervalos de Declividade em classes, do Município de Camalaú-PB

Intervalo de declividade	Classe
0 – 3%	Plano
3 – 8%	Suave Ondulado
8 – 20%	Ondulado
20 – 45%	Forte Ondulado
45 – 75%	Montanhoso

Fonte: Elaborado pelo autor com dados cedidos pela EMBRAPA, 2007.

A unidade experimental foi instalada em uma área em processo de degradação, distante cerca de 2 km do centro da cidade em uma propriedade com 800 m de leito do Rio Paraíba do Norte, que atravessa a mesma no sentido oeste-leste. Ainda, a unidade experimental foi dividida em quatro áreas (Figura 7).

Figura 7. Localização das unidades experimentais.



Fonte: dados do autor (2018).

As áreas 01; 02 e 03 correspondem as áreas degradadas que passaram por processos de intervenção através da implantação de uma SAF e de técnicas de manejo e conservação do solo, cada uma com metodologias de intervenção diferenciadas em

relação as suas características edáficas, geomorfológica, histórico de uso e aptidão produtiva. A área TA 01, degradada e sem nenhuma intervenção foi utilizada como área testemunha para efeitos de comparação perante os estudos que foram realizadas nas áreas.

Tabela 2. Histórico de áreas da pesquisa

Características	Área 01	Área 02	Área 03	Área TA 01
Solo	Luvissole	Luvissole	Neossolo	Luvissole
	Crômico	Crômico	Flúvico	Crômico
Declividade	Suave	Suave	Suave e plana	Suave
	Ondulada	Ondulada		Ondulada
	(menos acentuada)	(mais acentuada)		(mais acentuada)
Pedregosidade	Mediana	Elevada	Nenhuma	Mediana
Nome Regional	“Barro Vermelho”	“Serrote”	“Baixio”	“Barro Vermelho”
Vegetação predominante	Nativa e Algaroba	Nativa	Algaroba	Nativa e Algaroba
	(<i>Prosopis juliflora</i>)		(<i>Prosopis juliflora</i>)	(<i>Prosopis juliflora</i>)
Uso anterior	Pastagem	Pastagem	Pastagem e Olericultura	Pastagem

Fonte: Acervo da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB’SÁBER, A. N. O suporte geocológico das florestas beiradeiras (ciliares). In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. de F. Matas Ciliares: Conservação e Recuperação. 2.ed. São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2004. Cap.1, p.15–25.
- ABÍLIO, F. J. P.; GOMES, C. S. Problemáticas ambientais no bioma Caatinga e rio Taperoá: percepção de educandos no ensino básico de São João do Cariri, Paraíba. In: ABÍLIO, F. J. P. (Org.). Educação ambiental e ensino de ciências. João Pessoa: Editora da UFPB, 2010. p.247-260.
- AMADOR, D. B. Restauração de ecossistemas com sistemas agroflorestais. Restauração de ecossistemas naturais. Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais–FEPAF. São Paulo. Botucatu, 2003.

ARAÚJO FILHO, J. A. Caatinga: agroecologia versus desertificação. *Ciência Hoje*, v.30, n.180, p.44-45, 2002.

ASA BRASIL. Leonardo Boff. *O Semiárido: o mais chuvoso do planeta*. 2010. Disponível em: <https://www.asabrasil.org.br>. Acesso em: 20/06/2011.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. 9. ed. São Paulo: Ícone, 2014. 1450p.

BOTELHO, S. A.; DAVIDE, A. C. Métodos silviculturais para recuperação de nascentes e recomposição de matas ciliares. In: *Simpósio Nacional sobre Recuperação de Áreas Degradadas: Água e Biodiversidade*, 5, 2002, Belo Horizonte. *Anais...Belo Horizonte*, 2002.

BRASIL, Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Brasília, 25 de maio de 2012. 38p.

BRASIL. Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, 02 de setembro de 1981. Seção 1, p.16509.

BRASIL. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm. Acesso em: 10 de janeiro de 2023.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional. *Nova Delimitação do Semi-Árido Brasileiro*. Brasília, DF, 2005. 35p.

BRITO, L. T. L. et al. Perdas de solo e de água em sistemas de captação in situ no Semi-Árido brasileiro. *Engenharia Agrícola*, v.28, n.3, p.507-515, 2008.

CHAVES, R. de S. *Controle da erosão pelo plantio em curva de nível*. FCAP, 1982.

DA SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. (Ed.). *Caatinga: the largest tropical dry forest region in South America*. Springer, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/322381347_Caatinga_The_Largest_Tropical_Dry_Forest_Region_in_South_America/link/5c7679c4a6fdcc47159fc65b/download. Acesso em: 20 fev. 2023.

DIAS, C. T. de V.; SILVA, P. P. da; KIILL, L. H. P. Levantamento florístico de remanescentes de mata ciliar do Rio São Francisco, no município de Petrolina, PE. In: *Reunião Nordestina de Botânica*, 30, 2007, Crato. *Anais...Crato*, 2007.

DORNELAS, M. A. S.; MARQUES, M. W. C. F. Na Convivência com o Semiárido: O Manejo Florestal Comunitário. Uma conversa sobre sustentabilidade. Associação Plantas do Nordeste, Recife, 2013. 22p.

DURIGAN, G.; SILVEIRA, E. R. Recomposição da vegetação ripária em domínio de cerrado. *Scientia Forestalis*, n.56, p.135-144, 1999.

EWERT, M.; VENTURIERI, G. A.; STEENBOCK, W.; SEOANE, C. E. S. Sistemas agroflorestais multiestrata e a legislação ambiental brasileira: desafios e soluções. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v.36, p.95–114, 2016.

FILHO, L. O. R. Uso de sistemas agroflorestais para a recuperação de APP e Reserva Legal na Agricultura Familiar. In: Fórum sobre Área de Preservação Permanente e Reserva Legal na Paisagem e Propriedade Rural, 1, 2007, Piracicaba. Anais...Piracicaba, 2007.

FRANCISCO, P. R. M. Os Limites do Semiárido Brasileiro. In: PEREIRA, F. C. et al. Manejo de planta xerófilas no semiárido. Campina Grande: EDUFPG, 2013. p.163-183.

GRAZIANO NETO, F. Questão agrária e ecologia: crítica da moderna agricultura. São Paulo: Brasiliense, 1991. 240p.

GRIEBELER, N. P. et al. Modelo para o dimensionamento e a locação de sistemas de terraceamento em nível. *Engenharia Agrícola*, v.25, n.3, p.696-704, 2005.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/camalau/panorama>. Acesso em: 20/06/2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2018. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 10/05/2021.

IBGE/BDIA. Banco de Dados de Informações Ambientais. Disponível em: www.ibge.gov.br.

LACERDA, A. V. de. A semi-aridez e a gestão em bacias hidrográficas: visões e trilhas de um divisor de ideias. João Pessoa: Autor Associado/UFPB, 2003. 164p.

LACERDA, A. V. Matas ciliares no domínio da Caatinga. João Pessoa: Editora Universitária - UFPB, 2016.

LIMA LÔBO, R. L. et al. Sistemas agroflorestais na recuperação de áreas degradadas. *Brazilian Journal of Development*, v.7, n.4, p.38127-38142, 2021.

LUCENA, R. L.; PACHECO, C. O Cariri paraibano: aspectos geomorfológicos, climáticos e de vegetação, In: Encontro de geógrafos de America Latina, 12, 2009, Montevideu. Anais...Montevideu, 2009.

LUSTOSA, S. P. et al. A ocorrência do assoreamento às margens do rio Pau D'arco, na Região Sul do Estado do Pará. 2010. Disponível em: <https://docplayer.com.br/8154565-A-ocorrencia-doassoreamento-as-margens-do-rio-pau-d-arco-naregiao-sul-do-estado-do-para.html> Acesso em: 26 de jul. 2021.

MACEDO, J. L. V. de. Sistemas Agroflorestais: princípios básicos. 2013. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/87232/1/Cartilha-SAFs.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2023.

MAIA, S. M. F. et al. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido cearense. Revista *Árvore*, v.30, p.837-848, 2006.

MALVEZZI, R. Semiárido: uma visão holística. Brasília: Confea, 2007. Disponível em: [semiarido.pdf](#) (agrisustentavel.com). Acesso em: 18 fev. 2023.

MARCUZZO, F. F. N. et al. Detalhamento Hidromorfológico da Bacia do Rio Paraíba. CPRM, 2012. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/1095/1/Evento_Hidro_Marcuzzo.pdf. Acesso em: 22 de 12 de 2022.

MARCUZZO, F. F. N.; OLIVEIRA, N. DE L.; CARDOSO, M. R. D.; TSCHIEDEL, A. F. Detalhamento Hidromorfológico da Bacia do Rio Paraíba. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 11, 2012, João Pessoa. Anais....Porto Alegre: ABRH, 2012.

MARTINS, S.V. Recuperação de Matas Ciliares. Viçosa, MG: Aprenda Fácil. 2001. 143p.

MENEZES, R. S. C.; SALCEDO, I. H.; ELLIOTT, E. T. Microclimate and nutrient dynamics in a silvopastoral system of semiarid northeastern Brazil. *Agrofor. Syst.*, v.56, p.27-38, 2002.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Combate à desertificação e degradação da terra. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/climaazoniodesertificacao/desertificacao>.

MOREIRA, E. R. F. Mesorregiões e microrregiões da Paraíba: Delimitação e caracterização. João Pessoa: Gasplan, 1989.

MOURA, D. J. Recuperação de áreas degradadas pela mineração. Monografia (Bacharelado em Tecnologia em Mineração). Universidade Estadual de Goiás. Niquelândia, 2015.

NAIR, P. K. R. Classification of agroforestry systems. In: NAIR, P. K. R. *Agroforestry systems in the tropics*. London: Kluwer Academic, 1989. 338p.

NASCIMENTO, B. K. S. Avaliação do potencial de restauração ambiental de matas ciliares em São Luís do Maranhão-especificamente na APA da baixada maranhense. 2022.

NATURE CONSERVANCY DO BRASIL. Unidades de conservação na caatinga. Petrolina: Associação Caatinga, 2000. 9p.

OLIVEIRA, E. M. de; SELVA, V. Estudo da erosão no Seridó paraibano como indicador do processo de desertificação: Juazeirinho, Paraíba. Revista Brasileira de Geografia Física, v.12, n.3, p.876-894, 2019.

OLIVEIRA, L. B.; RIBEIRO, M. R.; FERRAZ, F. B.; JACOMINE, P. K. T, Classificação de solos Planossólicos do sertão do Araripe. Revista Brasileira de Ciência do Solo, n.4, v.27, p.685-693, 2003.

OLIVEIRA, W. M. de; CHAVES, I. de B.; LIMA, E. R. V. de. Índices espectrais de vegetação de caatinga em um Neossolo Litólico do semiárido paraibano. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009, Natal. Anais...Natal, 2009.

OLIVERA, M. M.; DA SILVA DANTAS, N.; DE ARAÚJO, S. M. S. Recuperação de áreas degradadas e mineração: análise da produção científica internacional na Web of Science (WoS). Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v.11, n.7, p.672-689, 2020.

ONU. Organização das Nações Unidas Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2021. pactoglobal.org.br, 2021. Disponível em: https://d15k2d11r6t6rl.cloudfront.net/public/users/Integrators/7ba73aaa-3da9-4cf1-abf2-ccc85dea5875/uid_3084837/Summary_PortugueseWWDR-2021.pdf. Acesso em: 15 de fev. 2023.

ONU. Organização das Nações Unidas. Agenda 2030. disponível em: <https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf>. Acesso em outubro de 2024.

PADOVAN, M. P.; PEREIRA, Z. V. Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. Convivência Harmônica. A Lavoura, n.690, p.15-18, 2012.

PAES-SILVA, A. P. Cobertura vegetal da bacia hidrográfica do Açude do Namorado no Cariri Oriental Paraibano. 107f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2002.

PEREIRA, D. D. Cariris paraibanos: do sesmarialismo aos assentamentos de reforma agrária. Raízes da desertificação? 370f. (Tese de Doutorado em Recursos Naturais).

Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais. Centro de Tecnologias e Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. 2008.

PEREIRA, F. C. et al. Implantação de uma Lavoura de Xique-Xique em Picuí-PB: Plantando Latas D'água no Semiárido Brasileiro (SAB). *Cadernos de Agroecologia*, v.10, n.3, 2016.

POLLMANN, G. da M. Indicadores de sustentabilidade na prática agroflorestal: um estudo de caso no Sítio São José, Sertão de Taquari, Município de Paraty-RJ. 2008. Disponível em: <http://rima.im.ufrj.br:8080/jspui/handle/1235813/2750>. Acesso em: 28 de jan. 2021.

PRADO, D. As caatingas da América do Sul. In: I. R. LEAL, M. TABARELLI; J. M. C. SILVA (eds.). *Ecologia e conservação da Caatinga*. Editora Universitária, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil. 2003. p.3-73.

RIBEIRO, J. F.; SCHIAVINI, I. Recuperação de matas de galeria: integração entre a oferta ambiental e a biologia das espécies. In: RIBEIRO, J. F. (ed.) *Cerrado: Matas de Galeria*. Planaltina: Embrapa – CPAC. 1998. 164p.

RODRIGUES, R. R.; SHEPHERD, G. J. Florestas Ciliares? Fatores condicionantes da vegetação ciliar. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. DE F. (Ed.). *Matas Ciliares: Conservação e Recuperação*. São Paulo: EDUSP, FAPESP, p.101-107. 2000.

SALOMÃO, P. E. A.; BARBOSA, L. C.; CORDEIRO, I. J. M. Recuperação de áreas degradadas por pastagem: uma breve revisão. *Research, Society and Development*, v.9, n.2, e57922057, 2020.

SAMPAIO, Y. de S. B.; SAMPAIO, E.; BASTOS, E. G. Parâmetro para a determinação de prioridades de pesquisas agropecuárias no Nordeste semi-árido. Departamento de Economia-PIMES. Universidade Federal de Pernambuco, 1987.

SHRESTHA, R. K.; LAL, R. Carbon and nitrogen pools in reclaimed land under forest and pasture ecosystems in Ohio, USA. *Geoderma*, v.157, n.3, p.196-205, 2010.

SILVA, C. da et al. Análise bibliográfica de indicadores de desertificação no Cariri Paraibano. 2022.

SILVA, F. B. R. E.; RICHÉ, G. R.; TONNEAU, J. P.; SOUZA NETO, N. C. de.; BRITO, L. T. de L.; CORREIA, R. C; CAVALCANTE, A. C; SILVA, F. H. B. B. da.; SILVA, A. B. da.; ARAÚJO FILHO, J. C. de. Zoneamento agroecológico do Nordeste: diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico. 1. Petrolina-PE: EMBRAPA - CPATSA/Recife: EMBRAPA - CNPS, Coordenadoria Regional Nordeste, 1993.

SILVA, F. G.; SILVA, R. H.; ARAÚJO, R. M.; LUCENA, M. F. A.; SOUSA, J. M. Levantamento florístico de um trecho de mata ciliar na mesorregião do Sertão Paraibano. *Revista brasileira de Biociências*, v.13, n.4, p.250-258, 2015.

SILVA, J. R. C.; PAIVA, J. B. Retenção de sedimentos por cordões de pedra em contorno em uma encosta de solo Litólico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.9, p.77-80, 1985.

SILVA, J. M. C. da et al. The Caatinga: understanding the challenges. *Caatinga: the largest tropical dry forest region in South America*, p.3-19, 2017.

SOUZA, A. D. de. Diagnóstico para implantação de modelos agroflorestais na Fazenda Nupeárido, Patos-PB. 79f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais. Centro de Saúde e Tecnologia Rural. Universidade Federal de Campina Grande. Patos, 2012.

STOCKING, M. A. Tropical soils and food security: the next 50 years. *Science*, v.302, p.1356-1359, 2003.

SUDENE. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Delimitação do Semiárido - 2021. Relatório Final. Recife, 2021. Disponível em: *02semiaridorelatorionv.pdf (www.gov.br). Acesso em: 15 fev. 2023.

TABARELLI, M. et al. Caatinga: legado, trajetória e desafios rumo à sustentabilidade. *Ciência e Cultura*, v.70, n.4, p.25-29, 2018.

TERRES, C. D.; MULLER, M. L. Proposta de recuperação de área degradada às margens do Arroio do Engenho na Vila Concórdia. *Revista Eletrônica Lato Sensu*, 2008.

VERDUM, R.; VIEIRA, C. L.; CANEPPELE, J. C. G. Métodos e técnicas para o controle da erosão e conservação do solo. 2016.

YANA, W.; WEINERT, H. Técnicas de sistemas agroflorestales Multiestrato: Manual práctico. La Paz: Interinstitucional Alto Beni, 2001. 56p. Disponível em: <<https://www.bivica.org/files/sistemas-agroflorestales-tecnica.pdf>>. Acesso em: 10 de jan. 2021.

**DINÂMICA ESPAÇO TEMPORAL DO USO E COBERTURA DO SOLO NO
MUNICÍPIO DE CAMALAÚ-PB, BRASIL**

1. INTRODUÇÃO

A dinâmica espaço temporal do uso e ocupação do solo da região semiárida do Brasil são fortemente influenciadas por fatores como albedo, vegetação, índices hídricos, pluviométrico, taxas de evaporação, solos rasos com baixa capacidade de retenção de água, o que aumenta os problemas relacionados a escassez hídrica (SOUSA et al., 2023; SILVA et al., 2019).

Esse conjunto de fatores tornam a região semiárida suscetível ao processo de desertificação, sendo agravada em decorrência das mudanças de uso e cobertura do solo que ocorrem de forma acelerada e torna-se importante detectar essas mudanças, para que possa ser identificado os níveis de degradação do ambiente semiárido ao longo do tempo (REFATI et al., 2023; SILVA et al., 2021).

A região semiárida brasileira, tem como bioma exclusivo, a Caatinga, possuindo como característica adaptativa a queda das folhas durante a estação de seca, menciona-se ainda outros atributos biofísicos que atribuem ao bioma elevada resistência à seca (SOUSA et al., 2023; REFATI et al., 2023).

Diante desse cenário, o estudo da dinâmica espaço temporal do uso e ocupação do solo da região semiárida, ocupada pelo bioma caatinga *in loco* é considerado um processo longo e oneroso em função de custos operacionais, problemas associados a sazonalidade das chuvas e variabilidade espacial das características do solo e da vegetação (Silva et al., 2021), contudo, com o advento das ferramentas tecnológicas de monitoramento ambiental tais como o sensoriamento remoto e dos sistema de informação geográfica (SIG), o estudo da dinâmica de uso e ocupação tem sido cada vez mais incentivado para condições do bioma Caatinga (SOUZA et al., 2020; ALBUQUERQUE et al., 2020).

As ferramentas tecnológicas contribuem de forma decisiva para obtenção de dados do uso do solo, cobertura vegetal, indicadores biofísicos, climáticos que auxiliam a monitorar os recursos naturais, a degradação do solo e a cobertura vegetal

(VELASTEGUI-MONTOYA et al., 2022). Nesse contexto, nossa hipótese é de que é possível associar dados de levantamento *in loco* por meio de pesquisa com agricultores da área de estudo com o comportamento espaço temporal do Bioma Caatinga entre os anos de 1985 e 2020 utilizando imagens obtidas do LANDSAT cedidas pelo MapBiomas (2022) da coleção 6.0.

Apesar de muitos trabalhos que discorrem sobre o uso e ocupação dos solos em ambiente semiárido, ainda são escassos os que retratam o comportamento espaço temporal do Bioma Caatinga por meio da dinâmica de uso e ocupação comparando as ferramentas tecnológicas com dados de vivência dos agricultores inseridos nesse bioma. Assim, objetivou-se com o presente estudo analisar o comportamento espaço temporal do Bioma Caatinga entre os anos de 1985 e 2020 com uso de sensoriamento remoto, relacionando-o com as práticas de exploração e de produção tradicionais dos agricultores no município de Camalaú-PB, Brasil.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Dados derivados de satélite (projeto MapBiomas Brasil)

Foram utilizados dados geoespaciais de uso e cobertura do solo do município de Camalaú-PB, pertencentes ao projeto MapBiomas Brasil (Projeto MapBiomas Brasil, 2022) da coleção 6.0, tendo como ferramenta imagens derivadas da série Landsat com resolução espacial de 30 m entre os anos de 1985 a 2020, no intuito de se obter mapas temáticos da região de estudo.

O projeto contou com uma metodologia considerada de baixo custo que tem como finalidade destacar mapas temáticos com informações a respeito do uso e cobertura do solo, as quais são validadas estatisticamente para cada uso do solo mapeado tais como: formação florestal natural e não natural, agricultura, área não vegetada e corpos d'água (PONTIUS JUNIOR & MILLONES, 2011; MAPBIOMAS, 2022).

Uma das principais finalidades da análise dos dados nas imagens foi de verificar se os produtores da região de município de Camalaú-PB conhecem e/ou aplicam as técnicas de Sistemas Agroflorestais (SAFs) e de Recuperação de Áreas Degradadas (RADs), frente ao processo avançado de desertificação na região, avaliando a importância da assistência técnica e do compartilhamento de conhecimentos afins para tornar o modelo produtivo cada vez mais sustentável.

Foram gerados mapas com auxílio do Software livre QGIS versão 3.10 para os anos de 1985, 2003 e 2020. As imagens classificadas foram da Coleção 6. Com os mapas gerados foi possível acompanhar as transformações ambientais do município e analisar se estão condizentes com os relatos dos produtores locais. Utilizou-se a série histórica das variáveis Formação Savânica e Mosaico de Agricultura e Pastagem para confrontar os resultados obtidos.

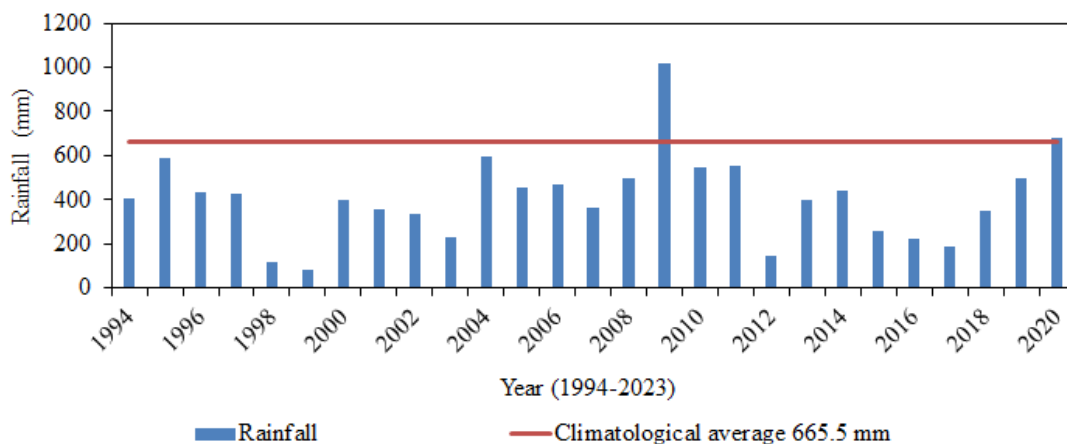
Para fins de comparação das imagens com os relatos dos produtores locais realizou-se levantamento *in locu* por meio da aplicação de questionários a 50 produtores, estes, pais dos estudantes envolvidos no projeto desde 2017, representando uma amostra de 10% dos produtores rurais do município de Camalaú-PB que possuem a Declaração de Aptidão ao PRONAF (DAP), vinculada a Casa Civil Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário (SEAD). Os 50 produtores foram escolhidos aleatoriamente para evitar risco de viés na obtenção dos dados.

Os produtores foram questionados visando construir um perfil socioeconômico dos mesmos; perceber o seu conhecimento quanto às práticas de manejo e conservação dos solos e do Bioma Caatinga; identificar as principais técnicas e tecnologias de produção utilizadas em suas áreas; conhecer o histórico de uso e ocupação das áreas; identificar as principais práticas causadoras de degradação ambiental existentes.

2.2. Dados de precipitação

Os dados pluviométricos da área de estudo referente as datas das imagens de 1994 a 2020 foram obtidos através da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESPA), conforme ilustrado na Figura 8. As precipitações totais de 1994 a 2002 foram de 349,4 mm; 2003 a 2020 foi de 439,4mm e média climatológica do período de 665,5 mm.

Figura 8. Precipitação anual (mm) de 1994 a 2023 para estação pluviométrica da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA) instalada no município de Camalaú, Paraíba.



Fonte: Acervo da pesquisa.

2.3 Análise e Tratamento dos Dados

Os dados comparativos foram compilados e analisados pelo método estatístico descritivo, onde os mesmos foram examinados de forma quantitativa. Utilizou-se a série histórica de 36 anos (1985-2020) aplicada aos testes estatísticos de Mann-Kendall e Pettitt, na premissa de analisar o comportamento dos dados dos questionários e assim entender se a realidade local descrita nos questionamentos, representam a realidade espacial do Município de Camalaú-PB.

Posteriormente foi realizada análise de tendência pelo teste não paramétrico de Mann-Kendall ao nível de 5% de significância estatística nas variáveis ano (1985-2020) e presença de Formação Savânica e Mosaico de Agricultura e Pastagem, foi quantificada conforme equação 1 proposta por (MANN, 1945; KENDALL, 1975).

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \cdot \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (\text{Eq.1})$$

Em que: sgn é a somatória dos sinais da diferença entre pares de todos os valores presentes na série de dados; (xi) relacionados aos valores remanescentes na ordem sequencial (xj); (j) representa os valores dos dados em sequência e, (n) o tamanho da série temporal.

O somatório dos sinais da diferença entre pares de todos os valores presentes na série de dados é quantificado conforme Equação 2.

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1, & \text{se } x_j - x_i > 0 \\ 0, & x_j - x_i = 0 \\ -1, & \text{se } x_j - x_i < 0 \end{cases} \quad (\text{Eq. 2})$$

Aplicou-se o Teste de Pettitt (1979) a nível de 5% de probabilidade, para os dados da série histórica dos anos (1985-2020) em relação as variáveis Formação Savânica e Mosaico de Agricultura e Pastagem, para quantificar as possíveis quebras de homogeneidade baseadas no teste não paramétrico, conforme Equações 3 e 4.

$$U(t, T) = U_{t-1, T} + \sum_{j=1}^T \text{sgn}(Y_i - Y_j); \quad (\text{Eq.3})$$

Para $t = 2, \dots, T$

$$\text{sgn}(x) = 1, \quad \begin{cases} 1 & x > 0 \\ x & = 0 \\ x & < 0 \end{cases} \quad (\text{Eq. 4})$$

Os dados obtidos por meio das imagens de Satélite provenientes do MapBiomas e levantamentos estatísticos foram comparados com a realidade apresentada pelos produtores nos questionários.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

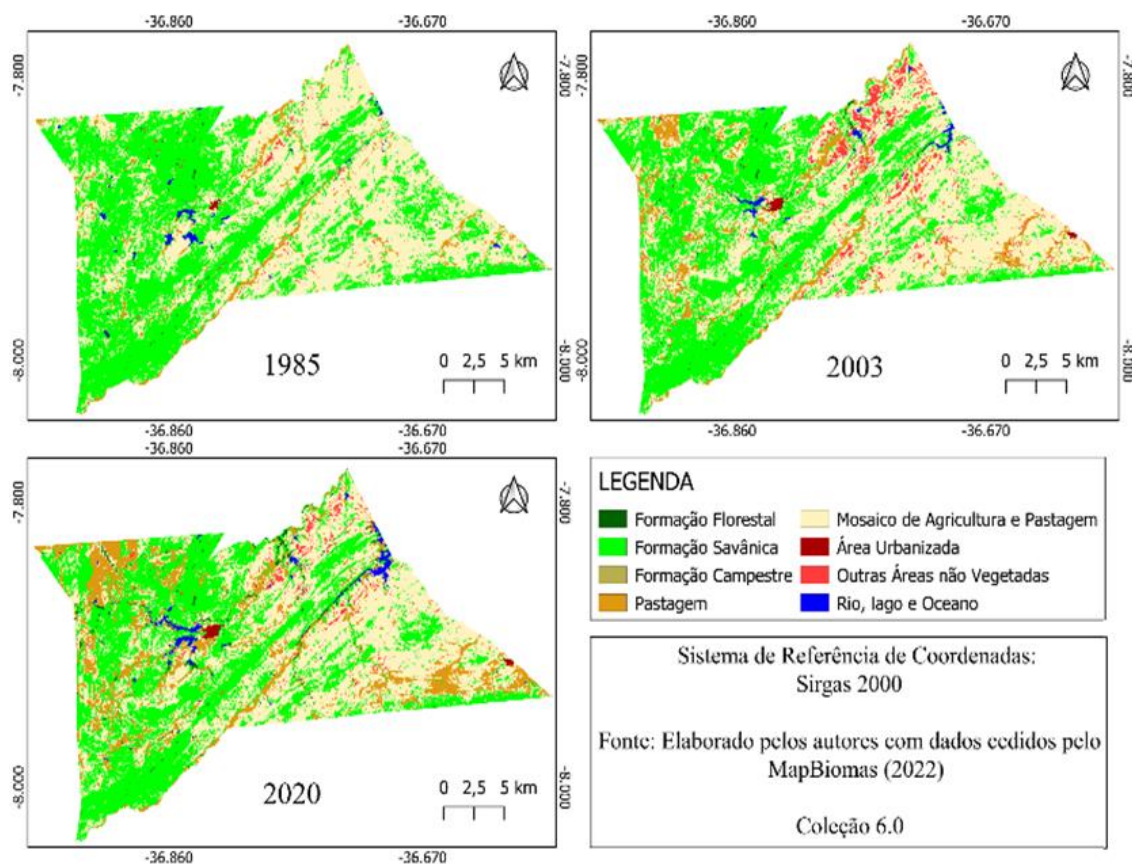
O processamento digital das imagens obtidas na plataforma MapBiomas forneceu os mapas de uso e ocupação do município de Camalaú-PB, para os anos de 1985, 2003, e 2020 (Figura 9). Os mapas obtidos permitiram a análise espacial do padrão de cobertura do município ao longo de 36 anos de uso de ocupação do bioma Caatinga.

Nota-se alterações na paisagem nos mapas da evidenciados na Figura 9. No três mapas 1985-2003-2020, é observado que a paisagem, principalmente quanto a Formação Savânica, vem diminuindo ao longo de 1985 e 2003, em contrapartida, outros usos e ocupações estão tomando seu lugar, como as áreas de pastagens que agora estão tomando possivelmente as áreas agricultáveis que se limitaram de 2012 à 2017 pela seca ocorrida (Figura 9).

É perceptível observar que no mapa referente ao ano de 1985 (Figura 9a) a vegetação de caatinga se encontrava predominantemente espalhada no município de Camalaú-PB, representada pela tonalidade verde claro que aponta no mapa de uso e ocupação do solo a presença de Formações Savânicas Vegetais, enquanto que Mosaico

de Agricultura e Pastagem possuem ocupações de território inferiores a Formação Savânica.

Figura 9. Mapas temáticos de uso e cobertura do solo no município de Camalaú -PB, Brasil referentes aos anos de 1985 (a), 2003 (b) e 2020 (c).



Fonte: Acervo da pesquisa.

Já em relação ao ano de 2003 (Figura 9b), ocorre uma mudança na paisagem ao se comparar com as informações expostas pela Figura 3a no ano de 1985, notando-se a redução de áreas de Formação Savânica, bem como o surgimento de áreas de Mosaico de Agricultura e Pastagens. Neste período observou-se um aumento de sua ocupação em áreas dentro do município por fatores climáticos ou socioeconômicos.

Salienta-se ainda que os valores de área em hectares (ha) e o percentual ocupado por cada classe de uso e ocupação, sejam elas Formação Savânica; Formação Florestal; Formação Campestre; Mosaico de Agricultura e Pastagem; Pastagem; Outras Áreas não Vegetadas; Infraestrutura Urbana; Rio, Lago ou Oceano encontram-se na Tabela 3.

Nota-se no ano de 1985 (Figura 9a) percentuais de cobertura de formações Savânica; Florestal e Campestre de 49,30; 0,15 e 0,07% (Tabela 3), respectivamente. Em

2003 (Figura 9b), houve decréscimos nessas áreas com valores de 42,70 e 0,03%, respectivamente, para as áreas de Formação Savânica e Campestres. Da mesma forma, para 2020 (Figura 9c), os percentuais foram de 40,20; 1,02 e 0,30%, respectivamente.

Tabela 3. Área (hectares) e porcentagens (%) das classificações de uso e cobertura do solo.

Rótulos das Classes	1985 (ha)	%	2003 (ha)	%	2020 (ha)	%
Formação Savânica	26.715,69	49,30	23.138,20	42,70	21.782,42	40,20
Formação Florestal	82,90	0,15	146,86	0,27	552,01	1,02
Formação Campestre	36,76	0,07	17,98	0,03	161,92	0,30
Mosaico de Agricultura e pastagem	24.807,56	45,78	24.908,69	45,97	22.704,86	41,90
Pastagem	1.855,93	3,43	3.564,58	6,58	7.410,12	13,68
Outras Áreas Não vegetadas	323,30	0,60	1.987,09	3,67	788,19	1,45
Infraestrutura Urbana	42,60	0,08	130,82	0,24	145,26	0,27
Rio, Lago ou Oceano	322,31	0,59	292,84	0,54	642,28	1,19
Total Geral	54.187,06	100,00	54.187,06	100,00	54.187,06	100,00

Fonte: Acervo da pesquisa.

Ao quantificar as classes nos mapas da Figura 9 e áreas e percentual na Tabela 3, pode-se observar que as de Formação Florestal; Campestre; Rio, Lago ou Oceano evidenciaram uma expansão de 6,6; 4,4 e 1,99 vezes em relação ao ano de 1984. Dessa forma essas classes passaram de 82,90; 36,76 e 322,31 ha para 146,86; 146,86; 17,98 e 292,84 ha no ano de 2003, para 552,01; 161,92 e 642,28 ha em 2020.

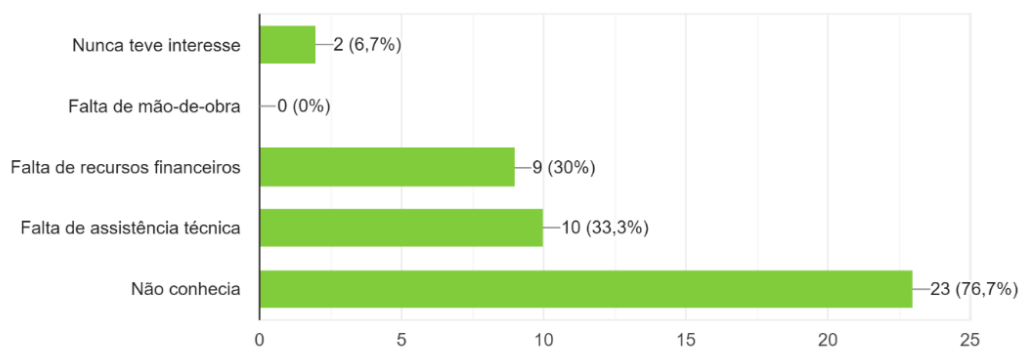
As áreas de Formação Florestal praticamente não existiam em 1984, assim como pouco era perceptível de áreas de Rio, Lagos e Oceanos, com o passar dos anos as áreas de Formação Florestal foram aumentando próximo as áreas de rios e lagos formando a mata ciliar, o que propiciou um aumento na preservação dos cursos hídricos, destaca-se ainda que os corpos hídricos podem ter aumentado em decorrência de construção de novos reservatórios na região.

No entanto, é importante frisar que esse fato possivelmente pode estar associado com a dinâmica do produtor inserido no Bioma Caatinga que apesar de responder em questionário aplicado não realizar práticas de preservação florestal ou mesmo utilizar práticas de cultivo como os sistemas agroflorestais por ausência de conhecimento ou de assistência técnica conforme (Figura 10a), tem realizado práticas isoladas que auxiliam na preservação, visto que 60% dos entrevistados relataram redução e tem sentido a

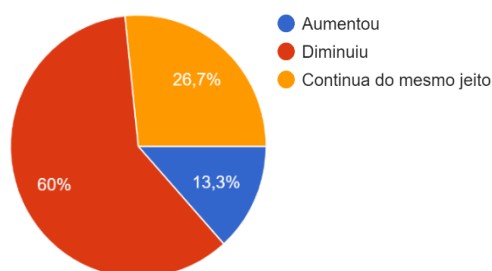
necessidade de melhorar o cenário, mesmo sem a devida assistência para correção (Figura 10b).

Figura 10. Uso de práticas conservacionista no processo produtivo da propriedade (a), percepção em relação ao aumento, redução ou não percepção em relação ao bioma (b), dados obtidos do questionário aplicado aos produtores inseridos no município de Camalaú.

A



B



Fonte: Acervo da pesquisa.

Ao estudar a dinâmica espaço-temporal do uso e cobertura do solo utilizando índices Físico-Hidráulicos com base em dados fornecidos pelo MapBiomas coleção 6, (SOUSA et al., 2023) observaram que o cenário foi alterado com o aumento de 1106,08% nas áreas cobertas por corpos hídricos de 2016 para 2018, justificando esse incremento com a construção de reservatórios nas áreas, assim como práticas agrícolas sustentáveis utilizadas pelos agricultores da área estudada, fato que associa-se ao presente estudo.

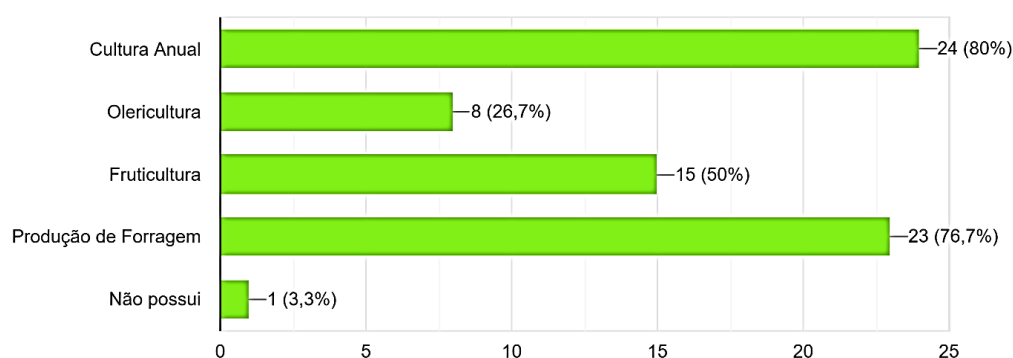
Salienta-se ainda que a presença desses reservatórios, ou mesmo rios e lagos pode modificar a disponibilidade hídrica local e potencialmente afetar a distribuição dos corpos d'água, levando a mudanças que influenciam na dinâmica geral da vegetação na área. Arelado a isso, a combinação de fatores climáticos e ações antrópicas (SINGH et al., 2021; SOUSA et al., 2021; BI et al., 2020).

Houve mudança no cenário com acréscimo de 3,99; 2,43 e 3,4 vezes para as áreas classificadas como de Pastagem; Outras Áreas não Vegetadas e Infraestrutura Urbana, respectivamente quando se analisa o ano de 2020 comparado ao de 1985. As áreas urbanas têm sido influenciadas pelo processo de crescimento demográfico em que as pessoas tem saído da zona rural para as áreas urbanas ao longo dos anos, fato esse justificado com dados do (SOUSA et al., 2023; IBGE, 2022; SILVA et al., 2019) informando que nas últimas duas décadas, a taxa de urbanização cresceu 13,67%.

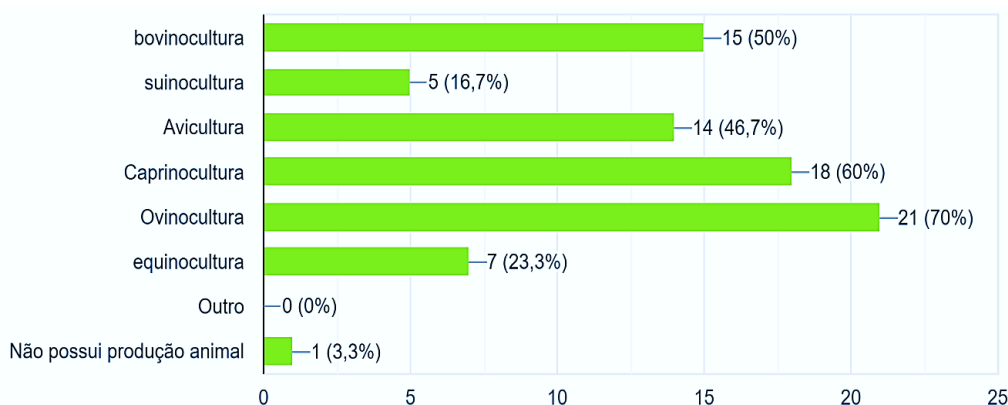
Com base nas informações obtidas dos produtores locais foi possível identificar que o aumento nas áreas de Pastagem está associado ao perfil dos produtores, visto que, 76,7% está voltada para produção de forragem, associado a isso grande parte dos entrevistados tem criação de bovinos, ovinos, caprinos dentre outros, que têm como base da alimentação a pastagem (Figuras 11a e 11b).

Figura 11. Perfil de produção vegetal (a) e animal (b) dos agricultores inseridos na área de estudo.

A



B



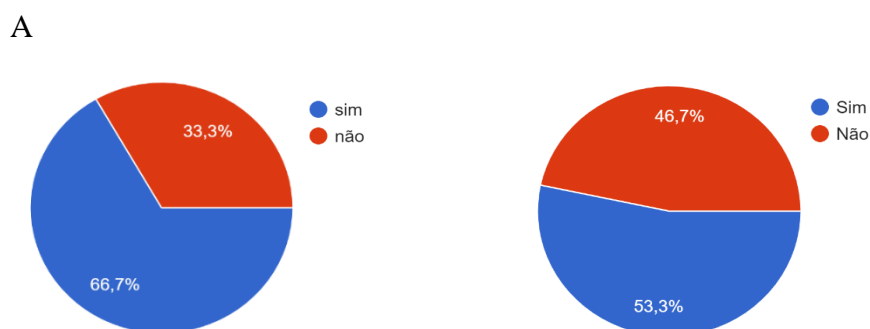
Fonte: Acervo da pesquisa.

Já o aumento das Outras Áreas não Vegetadas (Figuras 9a, 9b, 9c), evidenciam o processo de desertificação observado no bioma Caatinga. A desertificação que inicia com a degradação em função da substituição de vegetação nativa por pasto ou mesmo culturas de ciclo curto que se agrava em decorrência de irregularidade na precipitação, desmatamento, uso de fogo, broca ou coivaras como prática de manejo agrícola pelos produtores locais, plantio as margens de açudes, pastoreio em excesso, dentre outros (REFATI et al., 2023; SILVA et al., 2021).

O manejo inadequado do solo e a pouca cobertura vegetal praticados pelos produtores rurais inseridos no local de estudo, pode ser um dos fatores que inconscientemente acabam sendo precursores da desertificação observada no Bioma Caatinga (Figura 12 a e 12b).

Dentre os entrevistados mais de 66% responderam utilizar a broca/roçagem (Figura 12a) e coivara/queima 53,3% (Figura 12b) da Formação Savânica existente em sua propriedade para dar lugar a novas áreas de plantio.

Figura 12. Utilização de broca (a), coivara (b) pelos produtores rurais inseridos no local de estudo.



Fonte: Acervo da pesquisa.

As áreas de Formação Savânica evidenciaram uma redução de 0,81 vezes ao se comparar 2020 com 1985, ou seja, uma redução no bioma Caatinga, o que indica uma mudança nas práticas de uso da terra e um potencial conversão do bioma em áreas agrícolas e de pastagem (SOUSA et al., 2023). De modo geral, a Formação Savânica/vegetação caatinga presente no município foi reduzida em 4.933,27 hectares em ocupação de área devido as condições climáticas e/ou ações antrópicas, que impactaram e alteraram a paisagem ao longo do tempo. A seca ocorrida durante os anos de 2012 (143mm) e 2017 (189mm), pode ser um evento significativo que proporcionou uma

diminuição da resiliência natural da vegetação caatinga, bem como limitou a agricultura devido ao déficit hídrico que a mesma impõe.

A análise de comportamento que relacionou os dados do questionário aplicado aos agricultores locais com as imagens oriundas das informações obtidas no MapBiomias coleção 6, evidenciaram que houve diferença estatística ao nível de 5% pelo teste não paramétrico de Mann-Kendall (Tabela 4).

Tabela 4. Valor de Tau de Kendall da Formação Savânica e do Mosaico de Agricultura e Pastagem correlacionando com os dados do questionário aplicado aos agricultores de Camalaú-PB

Parâmetros	Formação Savânica	Mosaico de Agricultura e Pastagem
Tau de Kendall	-0,394	0,079
Sen's slope	-133,9	16,9

Fonte: Acervo da pesquisa.

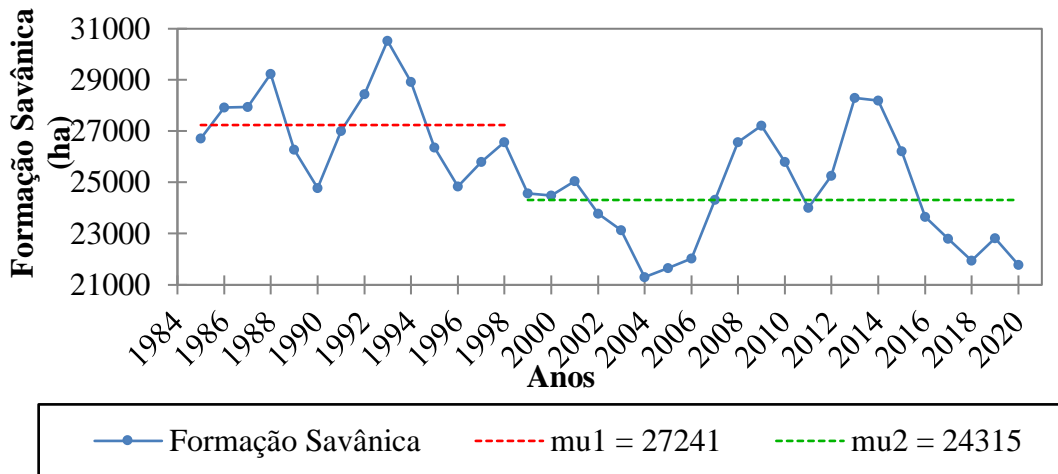
É possível observar pelo valor de Tau de Kendall que a variável Formação Savânica possui valor negativo (-0,394), ou seja, com o passar dos anos se tem a tendência referente a diminuição das áreas de Formação Savânica, ou seja, do bioma Caatinga no município de Camalaú-PB. Em contrapartida, a formação referente a Mosaico de Agricultura e Pastagem se encontra com valor positivo, que apontam uma tendência do aumento destas áreas, respectivamente (0,079) (Tabela 4), Observando-se um incremento na ocupação deste uso do solo, o que incide diretamente no bioma Caatinga, proporcionando a tendência de diminuição de áreas em Camalaú-PB.

Nota-se correlação inversa entre os dados do questionário e a Formação Savânica, entretanto a correlação é positiva para Mosaico de Agricultura e Pastagem. Constata-se ainda que o estimador de declive de Sen's evidencia a magnitude de tendência da série temporal de 36 anos de dados, o que reforça as observações das (Figuras 13a, b e c).

Ao se quantificar a quebra da homogeneidade pelo teste de Pettitt (Figura 14), no que diz respeito a Formação Savânica, observa-se uma quebra dos dados em hectares de vegetação do Bioma Caatinga, validada pelo teste de Pettitt, no qual o ponto de descontinuidade da série temporal de 36 anos de informação ocorreu no ano de 1998, em que houve uma brusca redução na área.

De acordo com Diniz (2018) entre os anos 1997/98, ocorreu o El Niño de intensidade forte, acarretando na diminuição da precipitação média anual no Cariri Paraibano, estas, que, ficaram muito abaixo da média dos anos considerados normais.

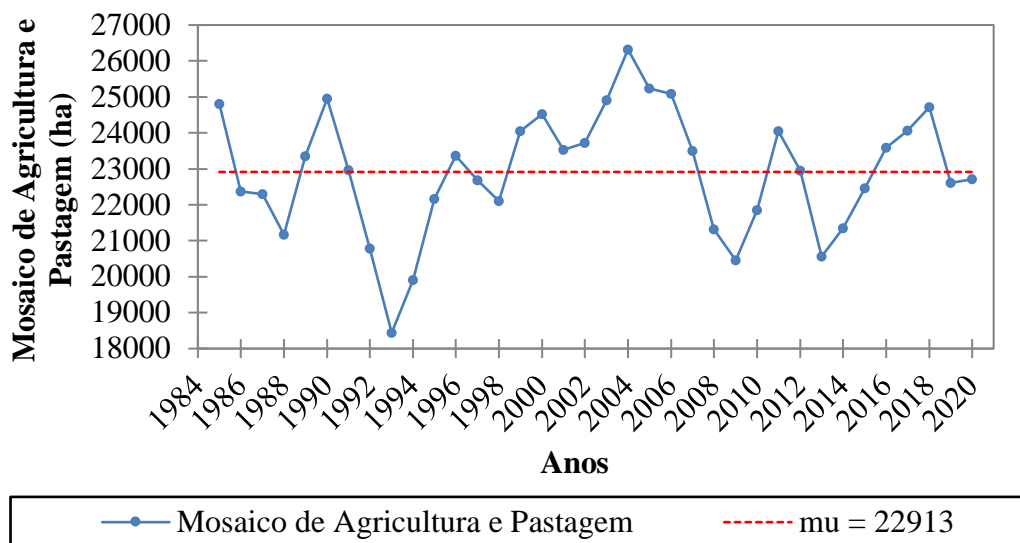
Figura 13. Média para Formação Savânica quando submetida ao teste de Pettitt para os anos de (1985 a 2020) no município de Camalaú-PB.



Fonte: Acervo da pesquisa.

No que diz respeito ao Mosaico de Agricultura e Pastagem, destacado na (Figura 14), também apresentado em hectares, é notório o decréscimo dos dados a partir do ano 1998. Torna-se perceptível o crescimento das Áreas de Agricultura e de Pastagem, principalmente no final da década de 80, sugerindo a hipótese de que decorreu das políticas públicas de recursos específicos destinados ao financiamento da agricultura familiar e os pacotes tecnológicos oferecidos.

Figura 14. Média para formação do Mosaico de Agricultura e Pastagem quando submetida ao teste de Pettitt para os anos de (1985 a 2020) no município de Camalaú.



Fonte: Acervo da pesquisa

Diante dos resultados evidenciados nessa pesquisa, percebe-se que foi possível associar os dados de levantamento *in locu* por meio de pesquisa com agricultores da área de estudo com o comportamento em relação ao uso e ocupação espaço temporal do bioma Caatinga entre os anos de 1985 e 2020 utilizando imagens obtidas do LANDSAT cedidas pelo MapBiomias (2022) da coleção 6.0.

Sobre a influência das questões climáticas principalmente sobre o bioma Caatinga, Marengo (2008) afirma que as projeções do relatório do IPCC AR4 para 2050 não são animadoras. O aumento da temperatura e a presença de menos água no solo em áreas reconhecidas hoje como semiáridas sofrerão processo de desertificação - fenômeno também previsto para áreas agricultáveis.

Sendo assim, as ferramentas baseadas nas geotecnologias serão cada vez mais necessárias e eficientes no monitoramento ambiental, servindo de suporte para tomada de decisão acerca de como tomar medidas mitigatórias dos problemas ambientais observados ao longo dos anos.

4. CONCLUSÃO

A mudança espaço temporal do Bioma Caatinga ao longo da série de 36 anos no município de Camalaú-PB foi influenciada por diversos fatores, como uso e ocupação, práticas de manejo adotada pelos agricultores, tipo de exploração e mudanças climáticas.

A expansão das atividades agrícolas levou a mudanças nos padrões de vegetação e na dinâmica dos corpos hídricos do município. Essas mudanças têm implicações importantes para o meio ambiente e a sustentabilidade dos recursos naturais da região.

Apesar dos produtores não possuírem assistência técnica e efetuarem práticas de manejo que influenciam na dinâmica do uso e ocupação do solo, algumas práticas podem ter contribuído para preservar os corpos hídricos e a formação florestal.

Com o uso das ferramentas do geoprocessamento foi possível notar o aumento das áreas susceptíveis a desertificação no município de Camalaú-PB, a exemplo de Outras Áreas não Vegetadas que aumentou 464,89 hectares.

A correlação entre as práticas agrícolas adotadas e o uso e ocupação do solo quanto a Formação Savânica é inversa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, P. I. D. M.; RODRIGUES, J. P. B.; PEIXOTO, F. D. S.; MIRANDA, M. D. P. Sensoriamento Remoto aplicado em indicadores de desertificação no município de Parelhas-RN. *Revista de Geografia*, v.37, p.241-261, 2020.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C., DE MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's Climate Classification Map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, p.711-728, 2013.

AZEVEDO NETTO, C. X.; ROSA, C. R.; SOUZA, T. F. Situação geomorfológica dos sítios arqueológicos no município de Camalaú - Paraíba. *Revista de Arqueologia*, v.34, p.177-195, 2021. <https://doi.org/10.24885/sab.v34i1.752>

BI, L.; FU, B. L.; LOU, P. Q.; TANG, T. Y. Delineation water of Pearl River basin using Landsat images from Google Earth Engine. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 2020. XLII-3/W10, 5-10. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-W10-5-2020>.

DINIZ, R. R. S. Avaliação dos efeitos do El Nino na pluviometria e nos sistemas hídricos do Cariri Ocidental Paraibano com utilização de geotecnologia. 52f. TCC (Engenharia em Biosistemas). Universidade Federal de Campina Grande. Sumé, 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Perfil do município de Camalaú. disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/camalau/panorama>. Acesso em: 12 de junho de 2024.

- KENDALL, M. G. Rank correlation methods. London, Charles Griffin, 1975. 272p.
- MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, v.13, p.245-259, 1945.
- MAPBIOMAS. Coleções Mapbiomas. Coleção 6.0 do bioma caatinga (1985, 2003 e 2020). Disponível em: https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR. Acesso em: 12 janeiro de 2022.
- MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. *Estudos avançados*, v. 22, p. 83-96, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/fXZzdm68cnzzt6Khr8zYx3L/>. Acesso em: 24 de janeiro de 2025.
- PETTITT, A. Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem. *Applied Statistics*. v.8, p.126-135, 1979.
- PONTIUS JR., R. G.; MILLONES, M. Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. *International Journal of Remote Sensing*, v.32, p.4407-4429, 2011.
- REFATI, J. L. B.; SILVA, R. S.; MACEDO, R. C. C.; LIMA, M. V.; SILVA, H.; PANDORFI, P. C.; SILVA, J. F.; OLIVEIRA-JÚNIO, A. A. Influence of drought and anthropogenic pressures on land use and land cover change in the Brazilian semiarid region. *Journal of South American Earth Sciences*, v.126, e104362, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104362>
- SILVA, J. L. B.; MOURA, G. B. A.; SILVA, Ê. F. F.; LOPES, P. M. O.; SILVA, T. T. F.; LINS, F. A. C.; SILVA, D. A. O.; ORTIZ, P. F. S. Spatial-Temporal dynamics of the caatinga vegetation cover by remote sensing in municipality of the Brazilian Semi-Arid. *Rev. Bras. Ciências Agrárias. J. Agric. Sci.*, v.14, p.1–10, 2019. <https://doi.org/10.15446/dyna.v87n215.87851>
- SILVA, H.; PANDORFI, G. L. P.; ALMEIDA, A. N. Spatio-temporal monitoring of soil and plant indicators under forage cactus cultivation by geoprocessing in Brazilian semi-arid region. *Journal of South American Earth Sciences*, v.107, e103155, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103155>
- SINGH, W. R; BARMAN, S.; TIRKEY, G. Morphometric analysis and watershed prioritization in relation to soil erosion in Dudhnai Watershed. *Applied Water Science*. 2021, 11, 151. <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01483-5>
- SOUSA, L. D. B.; MONTENEGRO, A. A. D. A.; DA SILVA, T. G. F.; DE CARVALHO, A. A; DA SILVA NETO, M. A. Estimativa da evapotranspiração real e

mapeamento de áreas cultivadas em uma bacia do Projeto de Integração do São Francisco (PISF), Semiárido Pernambucano. *Irriga*, v. 26, p.565–583, 2021. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2021v26n3p565-583>

SOUSA, L. D. B. D.; MONTENEGRO, A. A. DA; SILVA, M. V. D.; LOPES, P. M. O.; SILVA, J. R. I.; SILVA, T. G. F. D.; LINS, F. A. C.; SILVA, P. C. Spatiotemporal dynamics of land use and land cover through physical–hydraulic indices: insights in the São Francisco River Transboundary Region, Brazilian Semiarid area. *AgriEngineering*, v.5, p.1147-1162, 2023. <https://doi.org/10.3390/agriengineering5030073>.

SOUZA, C. M.; SHIMBO, J.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; A. ALENCAR, A.; RUDORFF, B. F. T.; HASENACK, H.; MATSUMOTO, M.; FERREIRA, L.; SOUZA-FILHO, P. W. M. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. *Remote Sens.*, v.12, e2735, 2020. <https://doi.org/10.3390/rs12172735>

VELASTEGUI-MONTOYA, A.; LIMA, A. D.; ADAMI, M. Space-Time dynamics of land use in the municipality of Goianésia do Pará, Brazil. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, v.11, e146, 2022. <https://doi.org/10.3390/ijgi110201467>

**IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA AGROFLORESTAL E DE TÉCNICAS DE
MANEJO E CONSERVAÇÃO DOS SOLOS COMO ESTRATÉGIA DE
RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA**

1. INTRODUÇÃO

Recentemente uma das questões ambientais mais discutidas no mundo é a desertificação, pois aliada à seca e à degradação dos solos, afeta mais de 3 bilhões de pessoas (UNCCD, 2022). No Brasil, as áreas em processo de desertificação encontram-se principalmente no Semiárido Brasileiro, em locais com degradação intensa da cobertura vegetal e do solo, classificadas como núcleos de desertificação (PEREZ-MARIN et al., 2012; MARENCO et al., 2018; REFATI et al., 2023).

Fenômenos como o pastoreio e extrativismo excessivo, processos erosivos associados principalmente ao estresse hídrico e queimadas são acentuados pela inserção dessas áreas em ecossistemas mais sensíveis, como a Caatinga (BARRETO-NETO & MARCHESI, 2019). O uso inadequado dos recursos naturais nestas áreas tem ameaçado a qualidade de vida da população (SOUSA et al., 2008).

Quanto a temática de recuperação de áreas degradadas, a mesma tem sido muito discutida nos últimos anos em razão da sua importância no contexto de gestão ambiental das áreas degradadas. De acordo com Costa et al. (2005), a temática se tornou visível no Brasil entre as décadas de 1980 e 1990, focando principalmente na degradação do solo em áreas agrícolas e de mineração.

As técnicas e tecnologias de recuperação de áreas degradadas dependem do grau de degradação da terra (MACEDO et al., 2008); assim, as mesmas devem ser baseadas em ações de manejo e conservação ecologicamente viáveis e socialmente aceitáveis (MENGISTU et al., 2005).

Os sistemas agroflorestais são definidos como atividades que reúnem em seu processo produtivo práticas florestais, agrícolas e/ou pecuárias, onde através da sua combinação garantem a sustentabilidade do sistema (CORDEIRO et al., 2018). Esse método de produção/recuperação promove inúmeros benefícios ambientais, sociais e

econômicos por meio da interação temporal ou sequencial de seus componentes (ALVES et al., 2020).

A utilização de sistemas agroflorestais tem sido, nas últimas décadas, bastante difundida como alternativa para recuperação de áreas degradadas, atribuindo-se à combinação de espécies arbóreas com culturas agrícolas e, ou, animais a melhoria nas propriedades físico-químicas de solos degradados, bem como na atividade de microrganismos, considerando a possibilidade de um grande número de fontes de matéria orgânica (REINERT, 1998; MENDONÇA et al., 2001). Esses sistemas, embora não restaurem aspectos importantes das comunidades florestais, como estrutura e biodiversidade, podem, se bem planejados, aproximar-se ecologicamente dessas comunidades, recuperando funções essenciais para a sustentabilidade, como a ciclagem de nutrientes, além de fornecerem alguma renda ou produção de subsistência ao produtor rural (MACDICKEN & VERGARA, 1990).

No contexto do Semiárido brasileiro, áreas degradadas rementem a situação de solo degradados, que, para Lal e Stuart (1990), refere-se ao declínio da qualidade do solo causado pelo mau uso humano. Portanto, o processo de recuperação de áreas deve considerar também a recuperação da qualidade do solo, esta, sendo entendida por Doran e Parkin (1994), como sendo a capacidade de funcionabilidade dos solos dentro de um ecossistema, sustentando a produtividade, mantendo a qualidade ambiental e promovendo a sanidade animal e vegetal.

De acordo com Stocking (2003), a degradação dos solos, pelo mau uso da terra, sem técnicas de conservação, reduz potencialmente a capacidade produtiva do mesmo. Para Cogo et al. (2003), a erosão é a degradação mais prejudicial ao solo, ela causa graves danos ambientais, pois, reduz a capacidade produtiva das culturas, como também, provoca o assoreamento e poluição das fontes de água.

Para tanto, Griebeler et al. (2005), destaca que as práticas utilizadas para controlar a erosão, principalmente hídrica em solos agrícolas, são divididas em práticas edáficas, vegetativas e mecânicas.

Assim, objetivou-se com esse estudo descrever e avaliar metodologias de recuperação de áreas degradadas com a implantação de sistemas agroflorestais e de técnicas de manejo e conservação dos solos em uma Área de Preservação Ambiental Pluvial em avançado processo de desertificação na bacia do Paraíba do Norte, Camalaú-PB, Brasil.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.2. Etapas de Execução

2.1.1. Seleção e Delimitação da Área

A unidade experimental foi instalada a partir de fevereiro de 2017 no sítio Viegas, zona rural do município de Camalaú-PB, na propriedade do produtor Márden de Sousa Chaves, em uma Área de Preservação Permanente (APP), nas margens do Rio Paraíba do Norte. A área está localizada a 2,0 km do centro da cidade e com 800,0 m de leito do rio Paraíba atravessando a mesma.

Após se constatar o avançado processo de degradação ambiental, foram observadas as características distintas entre as áreas no que diz respeito às questões edáficas, geomorfológica, histórico de uso e aptidão produtiva. Sendo assim, após mensurar as bordas da calha do leito regular do rio em 70,0 metros, foi estabelecido um comprimento mínimo de 100,0 m do rio em acordo com o Novo Código Florestal Brasileiro (GARCIA, 2012), a partir do qual, se delimitou a extensão da unidade experimental, dividida em quatro áreas (01; 02; 03 e TA01), devidamente sinalizadas (Figura 15).

Figura 15. Delimitação e sinalização da área experimental.



Fonte: Acervo da pesquisa (2017).

2.1.2. Estabelecimento das Curvas de Nível e Produção dos Cordões de Contorno com Galhos, Pedras e Pneus

No ano de 2017, as Áreas 01, 02 e 03 foram divididas de acordo com a sua declividade, logo após, iniciou-se as técnicas de manejo e conservação do solo, com o estabelecimento das curvas de nível utilizando da tecnologia social “*pé de galinha*” para o nivelamento das áreas de acordo com as cotas topográficas, sendo, que, nas Áreas 01 e 03 foi introduzida a técnica da curva de nível de referência (distâncias iguais entre curvas a partir de uma primeira curva marcada no centro da área) e na Área 02 a curva de nível livre. (Figura 16)

Figura 16. Utilização do pé-de-galinha e produção dos cordões de contorno.



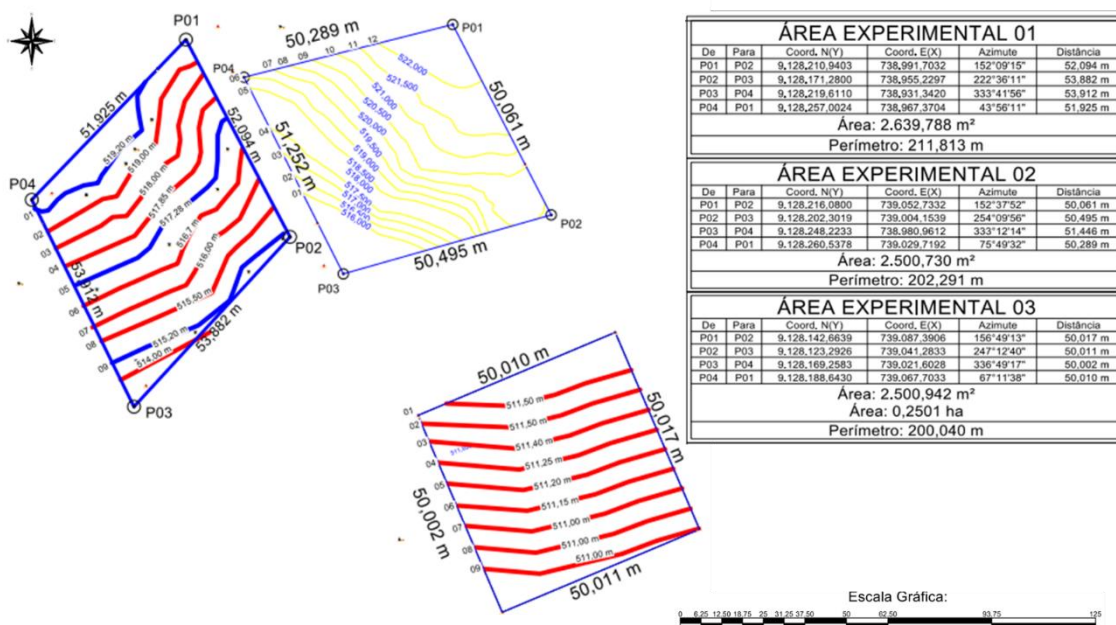
Fonte: Acervo da pesquisa (2017).

Nas Áreas 01 e 02, como prática conservacionista do solo de natureza mecânica, foram confeccionados cordões de pedra em contorno seguindo as curvas de nível, em razão da disponibilidade de material rochoso na área como barreira física, nas áreas em processo de ravinamento.

Já na Área 03, foram confeccionados cordões de contorno com material vegetal (galhos secos). Nos locais em processo mais acentuado de erosão, foram utilizados pneus e pedras para contenção de solo no intuito de se controlar os processos erosivos identificados como voçorocas, uma prática de conservação do solo e água, com o uso de materiais inertes (resíduos sólidos), como pneus desgastados.

Nas Áreas onde foram confeccionados os cordões de contorno a partir da técnica da curva de nível mestra, foi estabelecida a distância entre as mesmas de 5 m. Sendo assim, na Área 01 se estabeleceram oito curvas de nível mais a linha mestra com cordões de contorno utilizando a pedregosidade do local, na Área 02 se estabeleceram 12 curvas de nível livres com cordões de contorno utilizando a pedregosidade do local e na Área 03 se estabeleceram oito curvas de nível mais a linha mestra com cordões de contorno utilizando-se dos ramos e galhos depositados no solo por podas e cortes de algarobas. (Figura 17).

Figura 17. Croqui da Área Experimental.



Fonte: Elaborado pelo autor com dados produzidos pela TOPGEO (2024).

2.1.3. Plantio de Agaves Híbrido Embrapa 11648

Como prática mecânico-vegetativa e produção de forragem (banco de energia), em março de 2017 foram introduzidas na área experimental mudas de sisal/agave híbrido Embrapa 11648, adquiridas na unidade experimental da Embrapa Algodão, Monteiro, Paraíba. O sisal foi plantado no espaçamento de 1,0 m em linha totalizando cerca de 45 mudas por cordão de contorno, sendo os cordões distanciados em 5,0 m um do outro, resultando em um espaçamento de sisal de cerca de 5,0 x 1,0 m. Contudo, foram plantadas cerca de 405 mudas de agave na Área 01 (Figura 18).

Figura 18. Plantio de Agave.



Fonte: Acervo da pesquisa (2017).

2.1.4. Plantio das Cactáceas

O plantio das hastes/estacas de mandacaru *Cereus jamacaru*, alastrado/xique-xique *Pilosocereus gounelle*) e cladódios de palma de espinho *Opuntia dillenni* ocorreu em setembro de 2017, através de 233 estacas de mandacarus, 132 estacas de alastrado/xique-xique e 1.327 raquetes de palma de espinho em toda a área distribuída entre 12 curvas de nível livres, denominadas de linhas. As mudas de palma de espinho foram adquiridas no sítio Roça Velha, zona rural de Camalaú-PB. Já as mudas de mandacaru e de alastrado/xique-xique foram adquiridas na própria propriedade Viegas.

As mudas de mandacaru e alastrado/xique-xique foram plantadas em berços de 0,30 x 0,30 x 0,30 m. Em cada berço foi confeccionada uma microbacia de acumulação para captação de água in situ. As mudas de palma foram plantadas em berços de 0,15 m de profundidade e as mudas não receberam nenhuma rega ao longo da pesquisa (Figura 19).

Figura 19. Plantio de Cactáceas.



Fonte: Acervo da pesquisa (2017).

Sendo assim, a Área 02 ficou caracterizada através de uma lavoura xerófila com o seguinte esquema de cultivo:

Linha 1 - Foram plantadas dez estacas de mandacaru entre as linhas e distanciadas a cada 2,0 m entre plantas, dez estacas de alastrado/xique-xique entre as linhas e distanciadas a cada 2,0 m entre plantas e cinquenta e duas raquetes de palma de espinho plantadas na distância de 0,50 m entre raquetes plantadas no cordão de contorno.

Linha 2 - Foram plantadas onze estacas de mandacaru entre as linhas e distanciadas a cada 2,0 m entre plantas, dez estacas de alastrado/xique-xique entre as linhas e distanciadas a cada 2,0 m entre plantas e sessenta raquetes de palma de espinho plantadas na distância de 0,50 m entre raquetes plantadas no cordão de contorno.

Linha 3 - Foram plantadas quatorze estacas de mandacaru entre as linhas e distanciadas a cada 2,0 m entre plantas, onze estacas de alastrado/xique-xique entre as linhas e distanciadas a cada 2,0 m entre plantas e setenta e uma raquetes de palma de espinho plantadas na distância de 0,50 m entre raquetes plantadas no cordão de contorno.

Linha 4 - Foram plantadas quatorze estacas de mandacaru entre as linhas e distanciadas a cada 2,0 m entre plantas, onze estacas de alastrado/xique-xique entre as linhas e distanciadas a cada 2,0 m entre plantas e noventa e duas raquetes de palma de espinho plantadas na distância de 0,50 m entre raquetes plantadas no cordão de contorno.

Linha 5 - Foram plantadas dezesseis estacas de mandacaru entre as linhas e distanciadas a cada 2,0 m entre plantas, quatorze estacas de alastrado/xique-xique entre as linhas e distanciadas a cada 2,0 m entre plantas e setenta e oito raquetes de palma de espinho plantadas na distância de 0,50 m entre raquetes plantadas no cordão de contorno.

Linha 6 - Foram plantadas quinze estacas de mandacaru entre as linhas e distanciadas a cada 2,0 m entre plantas, quinze estacas de alastrado/xique-xique entre as linhas e distanciadas a cada 2,0 m entre plantas e cento e três raquetes de palma de espinho plantadas na distância de 0,50 m entre raquetes plantadas no cordão de contorno.

Linha 7 - Foram plantadas vinte estacas de mandacaru entre as linhas e distanciadas a cada 2,0 m entre plantas, treze estacas de alastrado/xique-xique entre as linhas e distanciadas a cada 2,0 m entre plantas e cento e vinte e quatro raquetes de palma de espinho plantadas na distância de 0,50 m entre raquetes plantadas no cordão de contorno.

Linha 8 - Foram plantadas vinte e quatro estacas de mandacaru entre as linhas e distanciadas a cada 2,0 m entre plantas, dez estacas de alastrado/xique-xique entre as linhas e distanciadas a cada 2,0 m entre plantas e cento e dezesseis raquetes de palma de espinho plantadas na distância de 0,50 m entre raquetes plantadas no cordão de contorno.

Linha 9 - Foram plantadas vinte e nove estacas de mandacaru entre as linhas e distanciadas a cada 2,0 m entre plantas, onze estacas de alastrado/xique-xique entre as linhas e distanciadas a cada 2,0 m entre plantas e cento e vinte e três raquetes de palma de espinho plantadas na distância de 0,50 m entre raquetes plantadas no cordão de contorno.

Linha 10 - Foram plantadas trinta e três estacas de mandacaru entre as linhas e distanciadas a cada 2,0 m entre plantas, doze estacas de alastrado/xique-xique entre as linhas e distanciadas a cada 2,0 m entre plantas e cento e vinte e sete raquetes de palma de espinho plantadas na distância de 0,50 m entre raquetes plantadas no cordão de contorno.

Linha 11 - Foram plantadas vinte e quatro estacas de mandacaru entre as linhas e distanciadas a cada 2,0 m entre plantas, seis estacas de alastrado/xique-xique entre as linhas e distanciadas a cada 2,0 m entre plantas e cento e vinte e seis raquetes de palma de espinho plantadas na distância de 0,50 m entre raquetes plantadas no cordão de contorno.

Linha 12- Foram plantadas vinte e três estacas de mandacaru entre as linhas e distanciado a cada 2,0 m entre plantas, oito estacas de alastrado/xique-xique entre as linhas e distanciado a cada 2,0 m entre plantas e cento e sessenta e cinco raquetes de palma de espinho plantadas na distância de 0,50 m entre raquetes plantadas no cordão de contorno.

2.1.5. Plantio de Umbuzeiros e Quixabeiras

Em junho de 2017, foram obtidas mudas de umbuzeiro e quixabeira no Viveiro da Estação Experimental Governador Miguel Arraes do Instituto Nacional do Semiárido – INSA, Campina Grande, Paraíba.

As mudas de umbuzeiro e quixabeira foram plantadas em berços de 0,30 x 0,30 x 0,30 m, ocorrendo a adição de 20 L de húmus de esterco bovino curtido e 0,500 kg de cinza de madeira como adubação de fundação e 20L de água. Em cada berço foi confeccionada uma microbacia de acumulação para captação de água *in situ*, esta, com cobertura morta de material vegetativo e maravalha proveniente de madeira. Os umbuzeiros e as quixabeiras foram plantados nas Áreas 01 e 03, distanciados 10 metros entre si na linha e 10 metros entre linhas (Figura 20)

Foram plantadas na Área 01, 15 mudas de umbuzeiro e 15 mudas de quixabeira e na Área 03, 12 mudas de umbuzeiro e 12 mudas de quixabeira.

Figura 20. Plantio de Umbuzeiros e Quixabeiras.



Fonte: Acervo da pesquisa (2017).

2.1.6. Abertura de Sucos de Captação de Água *in Situ*

Como técnica de captação de água e de contenção de sedimentos do solo, em fevereiro de 2018 foram confeccionadas valas de 0,25 m de largura e 0,20 m de profundidade em fileiras duplas entre as curvas de nível, distando 1,50 m entre as mesmas, estas, identificadas como captação de água *in situ* (Figura 21).

Figura 21. Abertura de Sucos de Captação de Água.



Fonte: Acervo da pesquisa (2018).

2.1.7. Plantio de Palma Forrageira

Em fevereiro de 2018, foram transplantados cladódios de três variedades de palma na Área 01, adquiridos em uma propriedade rural no município de Arcoverde-PE, este, que, passaram 8 dias de desidratação em local aberto e sombreado antes de serem plantados.

O esquema de transplante ocorreu em fileira dupla por linha entre os sulcos de captação de água *in situ*, obedecendo o espaçamento de 0,5 x 0,5 m entre cladódios. A Área 01 de 2.639,788 m² foi dividida em três parcelas com média de 16 x 50 m, com o espaçamento entre elas de 1 m, cada uma com a introdução de uma variedade diferente de palma, como Baiana (*Nopalea cocholenifera* Salm Dyck), Orelha de Elefante (*Opuntia stricta* Howard) e a Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck.) (Figura 22).

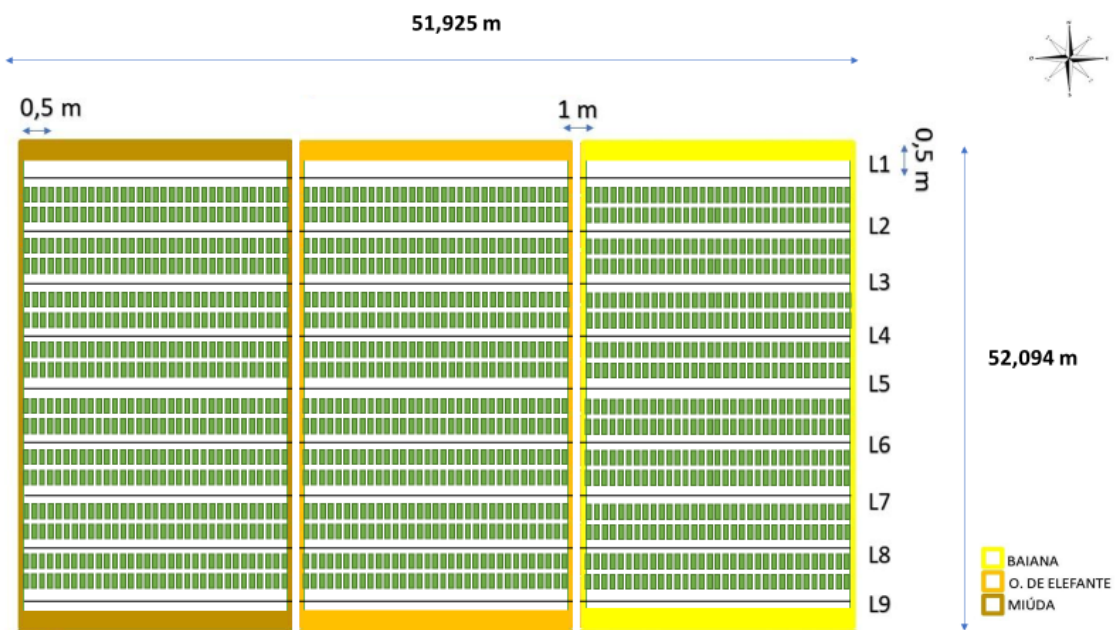
Figura 22. Plantio de Palma Forrageira.



Fonte: Acervo da pesquisa (2018).

Foram transplantados cerca de 198 cladódios entre linhas, sendo 66 de cada variedade em sua respectiva subárea. Ao todo, foram cultivados 1.584 cladódios, sendo 528 de cada variedade (Figura 23).

Figura 23. Parcelas de Plantio da Palma Forrageira.



Fonte: Acervo da pesquisa (2018).

2.1.8. Plantio de Canafístula

Em agosto de 2018 foram transplantadas na Área 01 mudas de canafístula (*Peltophorum dubium*). O esquema de transplântio ocorreu entre os sulcos de captação de água *in situ*, distanciando-se 4 metros entre si na linha e 5 metros entre linhas e as mudas de canafístula foram plantadas em berços de 0,20 x 0,20 x 0,20 m.

Ao todo, foram plantadas 13 mudas entre cada uma das seguintes linhas (L1-L2, L3-L4, L5-L6 e L7-L8), totalizando 52 plantas. (Figura 24).

Figura 24. Esquema de Plantio da Canafístula.



Fonte: Acervo da pesquisa (2018).

2.1.9. Geoprocessamento das Áreas de Estudo

Durante o mês de agosto de 2024 foi realizado o levantamento planialtimétrico georreferenciado com receptor GNSS 180 RTK amarrado ao levantamento fotogramétrico com drone Mavic 2 Pro Da DJI.

Para Grance 2021, o levantamento planialtimétrico consiste, basicamente, na união entre os levantamentos planimétrico e altimétrico. Esse método permite tanto a medição das projeções horizontais quanto das diferenças de alturas do relevo. Portanto, gera um mapeamento mais completo.

O levantamento foi realizado através de parceria estabelecida com a empresa TOPGEO (Figura 25).

Figura 25. Levantamento Planialtimétrico.



Fonte: Acervo da pesquisa (2024).

2.2. Método de Estudo e Análise dos Dados

O método de estudo utilizado foi o quali-quantitativo, com a descrição da área e das técnicas implantadas, além do levantamento de dados sobre taxa de sobrevivência das espécies em estudo, que foram organizados utilizando-se o software Microsoft Excel[®].

A análise e interpretação dos dados foram realizadas por meio de anotações em caderneta de campo e do registro de conteúdo visual *in loco*.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O pé-de-galinha é uma tecnologia rudimentar da topografia que foi utilizada na demarcação de curvas de nível, no cálculo da diferença de nível entre dois pontos e no cálculo de declividade de terreno. Segundo Chaves (1982), trata-se de um parêlo simples cujo formato é de um "A". O fio que desce do vértice do aparelho serve para encontrar os pontos de mesma altura ou cota.

A tecnologia social do pé-de-galinha, apesar de ser milenar, ainda é pouco difundida e utilizada na região do Cariri paraibano, muito embora, seja um equipamento de fácil construção, fácil manuseio e economicamente barato. Com significativa aplicabilidade, a tecnologia foi aceita por parte dos produtores e pesquisadores envolvidos no projeto perante a facilidade na sua construção e manuseio.

Sobre o nivelamento das áreas, o modelo de curva de “nível mestra” utilizado na Área 01 se apresentou como sendo mais prático na confecção e na distribuição espacial das espécies cultivadas, por manter uma divisão mais uniforme com as demais curvas de nível. No entanto, a depender da declividade do terreno e pelo fato das demais curvas não

estarem precisamente adequadas ao seu nivelamento, em alguns pontos a contenção de água e de sedimentos não se apresentou tão eficaz (Figura 26).

Figura 26. Imagem aérea da Área 01 com “linha mestra”.



Fonte: Acervo da pesquisa (2018).

O sistema agroflorestal deve levar em consideração a conservação do solo e da água. Portanto, a distribuição das faixas de plantio das árvores deverá ser em curvas de nível, que é uma forma eficiente de impedir a erosão do solo e a perda de água por escoamento superficial.

Dentre as técnicas de engenharia ecológica empregadas no manejo da erosão em terrenos declivosos, na bacia do Rio Xiaojiang, China, He et al. (2017), descreve a técnica de lavoura de contorno como um método básico e simples, empregado ao longo de curvas de nível, que serve como base para outras práticas de lavoura, pois altera a microtopografia, aumenta a rugosidade superficial e fortalece a infiltração das chuvas, sendo assim reduz o escoamento superficial da erosão do solo.

Ainda, para evitar o inconveniente das curvas de nível que se aproximam ou se afastam dependendo da declividade do terreno, utiliza-se o conceito de “linha-mestre” que favorece o plantio em faixas paralelas, mantendo a mesma distância de uma linha de árvore para outra. (PORFÍRIO-DA-SILVA, 2009).

Já o modelo de curva de “nível livre”, introduzido na Área 02, seguindo fielmente o nivelamento do terreno, por não ter um espaçamento entre as linhas tão uniforme, não se apresentou como adequado para áreas de cultivo agrícola, inclusive, para o consórcio mais habitual da região entre milho e feijão, frente ao espaçamento entre berços utilizados pelos produtores (Figura 27).

Figura 27. Imagem aérea da Área 02 com “linha livre”.



Fonte: Acervo da pesquisa (2018).

Ainda, a introdução de espécies arbóreas nesta área, em que, durante a fase adulta, desenvolvam um diâmetro de copa significativo, pode gerar um problema quanto a competição por luz, devido à interferência da parte aérea entre plantas próximas.

Fassbender (1984) recomenda que, na seleção de espécies associadas em um sistema agroflorestal deve-se evitar forte competição entre elas, inclusive por luz solar. Para King (1979), as espécies devem ser complementares e utilizarem de forma harmônica os fatores de produção.

Como prática conservacionista do solo de natureza mecânica, os cordões de pedra em contorno seguindo as curvas de nível, em razão da disponibilidade de material rochoso na área, ajudaram a diminuir o volume e a velocidade das enxurradas, forçando a deposição de sedimentos na área e a diminuição do assoreamento do rio Paraíba do Norte.

Durante a ocorrência de precipitações tornou-se nítida a diferença no processo de escoamento superficial e transporte de sedimentos na região limítrofe, dividida pela cerca entre a Área 01 (em recuperação) e Área TA 01 (degradada) (Figura 28).

Figura 28. Escoamento superficial na Área TA01 e 01.



Fonte: Acervo da pesquisa (2021).

A aplicabilidade da prática dos cordões de pedra é mais adequada nas áreas cujas unidades de solos apresentam pedregosidade superficial, como os Neossolos Litólicos e Luvisolos Crômicos, priorizando as áreas críticas da propriedade, e que haja disponibilidade de mão-de-obra (OLIVEIRA, 2001).

Em relação a área de manejo para construção dos cordões de pedra, é necessária a disponibilidade em quantidade de material rochoso na área ou nas proximidades, mesmo que em tamanho superior e que seja necessário à sua divisão em pequenos pedaços.

Silva e Silva (1997), ao estudar a influência de cordões de pedra em contorno na retenção de sedimentos perceberam que a quantidade de sedimentos retidos após treze anos, num solo Litólico sob pastagem, com declividade média de 3% e com precipitação média anual de 705mm, foi de 60 t ha⁻¹ ano.

Os cordões de contorno com material vegetal (galhos secos) na Área 03 se mostraram eficientes quanto a contenção de solo e material orgânico em terreno plano, no entanto, em razão do material destinado para produção do cordão, o mesmo tem pouca durabilidade temporal (Figura 29).

Figura 29. Cordão de contorno com galhos secos.



Fonte: Acervo da pesquisa (2021).

Nos locais de erosão tipificados como voçoroca e ravinamento, foram utilizados materiais inertes (resíduos sólidos), como pneus desgastados, estes, doados pela Prefeitura Municipal de Camalaú-PB.

Entre as práticas mecânicas mais conhecidas temos o plantio em curvas de nível, o terraceamento e a utilização de barramentos de pedras ou de pneus usados (LEPSCH, 2010).

A barreira física com pneus em linha não se mostrou eficiente frente a velocidade das enxurradas, precisando ser substituída pela barreira física com pneus em arco e/ou pelas barreiras mistas, com pneus, pedras e galhos secos (Figura 30).

Figura 30. Barreira física com pneus, pedras e galhos secos.



Fonte: Acervo da pesquisa (2017-2018-2022).

Os pneus vêm sendo cada vez mais utilizados em muros de contenções físicas para o controle de erosão, apresentando resultados satisfatórios de acordo com Machado (2007).

Ainda, sobre a utilização de pneus na contenção do processo erosivo, alguns fatores são relevantes, como: custos com transporte, mão-de-obra e aquisição do material. Nesse sentido, a construção de uma parceria com a Prefeitura Municipal de Camalaú foi decisiva, principalmente com a disponibilidade em quantidade necessária do material desgastado e o tipo de veículo adequado para o seu transporte. Deve ser levado em conta também, a rápida utilização dos pneus, principalmente pelo fato dos mesmos serem recipientes de acúmulo d'água, onde podem se alojar insetos vetores de algumas doenças como a dengue.

Sales et al. (2021), ao comparar a perda de solo entre duas microbacias no Cariri paraibano, percebeu que naquela onde houve a prática de conservação mecânica com o uso de barramentos de pedra associada ao regime de pousio favoreceu a redução da perda de solo, com redução da produção anual de sedimentos de até 80,56% em relação a segunda microbacia.

As deposições, provocadas pelos barramentos que obstaculizaram às enxurradas, estão formando gradualmente, patamares pelo nivelamento natural da superfície original do terreno.

A prática mecânica com cordões de pedra além de auxiliar o controle do processo erosivo, ainda possibilitou a formação de bancos de sementes com espécies nativas na área em processo de recuperação, realidade percebida na comparação no período de 270 dias entre imagens da mesma área em épocas distintas na Área 01 (Figura 31).

Figura 31. Barreira física com pedras e formação de banco de sementes.



Fonte: Acervo da pesquisa (2017-2018).

Confessor et al. (2014), afirmam que a principal finalidade das práticas edáficas de conservação do solo são a melhoria da fertilidade do solo quando associada ao controle da erosão. As práticas mecânicas auxiliam na execução de outros tipos de práticas conservacionistas, favorecem a regeneração e manutenção da vegetação.

Para Saraiva et al. (2023), os bancos de sementes presentes na camada superficial do solo têm fundamental importância na dinâmica regenerativa, sendo considerado um dos principais componentes da recomposição florestal de ambientes perturbados.

Sobre a prática mecânico-vegetativa que introduziu na área o sisal/agave híbrido Embrapa 11648, adquirido na unidade experimental da Embrapa de Monteiro-PB, Queiroga (2021), afirma que existe uma estreita relação do agave com os serviços ecossistêmicos através do uso dessa espécie para resolver problemas ambientais, sendo utilizada na neutralização da desertificação e da erosão do solo. Formando uma espécie de barreira natural de contenção de solo e auxiliando na retenção de água e orvalho.

Queiroga (2020), destaca a eficiência do agave utilizado em barreiras de contenção, ao afirmar que é uma planta muito útil, devido a uma série de adaptações morfológicas e fisiológicas. Essa espécie caracteriza-se pelo desenvolvimento em ambientes áridos e semiáridos em solos pobres, ajudando na retenção de água e conservação de solo por evitar a erosão (controle de escoamento).

Uma das necessidades vigentes na região em estudo é a conservação de água e solo, diante dessa demanda, o agave se apresentou de forma positiva para a confecção de barramentos, além de ser uma espécie muito resistente à estiagem e doenças. A variedade híbrida Embrapa 11648, conseguiu produzir em 45 meses após o plantio (MAP), com produção de fitomassa para ser utilizada no forrageamento de rebanhos (Figura 32).

Figura 32. Produção de agave em curva de nível.



Fonte: Acervo da pesquisa (2017-2021).

Ainda, em se tratando do agave, o seu fechamento rápido no espaçamento estreito utilizado na unidade experimental, permitiu a formação de cordões que barram a velocidade da água e auxiliam na sua infiltração, além de proporcionar o depósito de sedimentos entre as linhas, o que acarreta também na formação de bancos de sementes de espécies nativas. A sua função ecológica está sendo atendida por meio da estratégia de contenção de solo e água pela formação de um eficiente cordão de contorno (Figura 33).

Figura 33. Cordões vegetativos com agave.



Fonte: Acervo da pesquisa (2017-2021).

Os cultivos acompanhando os cordões de contorno se apresentam como barreiras parciais, bloqueando o livre escoamento de água concentrada das enxurradas, sem necessariamente modificar a topografia do terreno. No entanto, apenas com a prática do cultivo em curva de nível, sem haver outras técnicas de contenção de solo, frente as chuvas torrenciais da região Semiárida, o seu efeito é minimizado ou anulado, onde a água irá sobrepor as linhas e formar enxurradas.

Quanto a lavoura xerófila introduzida na Área 02, não se fez adubação e nem uso de tratos culturais, a mesma foi cultivada sob condições naturais de sequeiro (Figura 34).

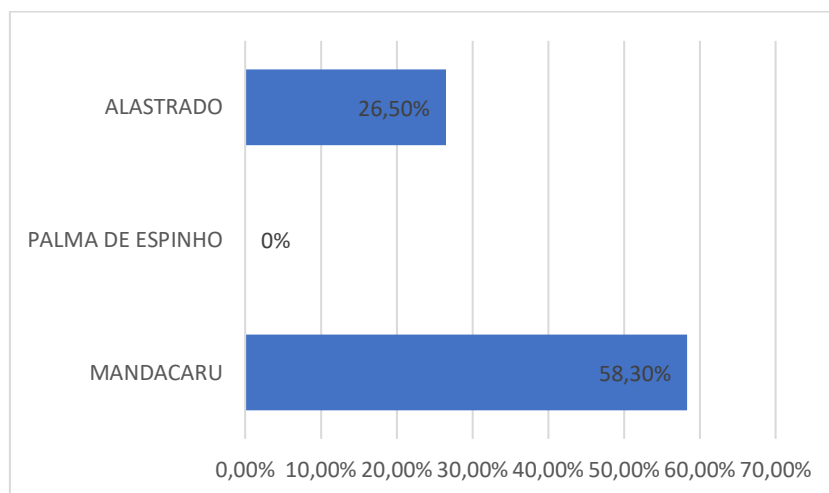
Figura 34. Implantação de lavoura xerófila na Área 02.



Fonte: Acervo da pesquisa (2017-2024).

A espécie que teve a maior taxa de sobrevivência foi o mandacaru (*Cereus jamacaru*) com (58,30%), em seguida, o alastrado (*Pilosocereus gounellei*) com (26,5%). No entanto, a palma de espinho (*Opuntia dillenni*) teve 100% de mortalidade, boa parte dessa sendo atribuída ao ataque de roedores nativos (Figura 35).

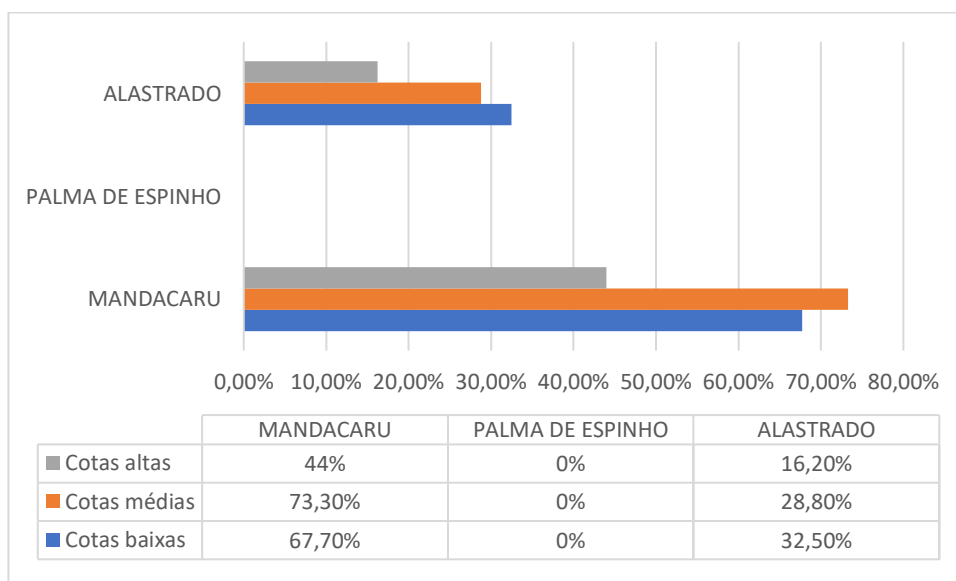
Figura 35. Sobrevivência de cactáceas na Área 02.



Fonte: Acervo da pesquisa.

Quanto a sobrevivência das espécies em relação a cota topográfica, percebe-se que nas cotas topográficas mais altas houve uma menor produção, tanto para mandacaru quanto para alastrado (Figura 36).

Figura 36. Sobrevivência de cactáceas por níveis topográficos na Área 02.



Fonte: Acervo da pesquisa.

O cultivo do umbuzeiro *Spondias tuberosa* vem sendo cada vez mais estimulado no âmbito do Semiárido. Entende-se que a espécie pode fazer parte de uma proposta de sistema agroflorestal com resultados a médio prazo pelo processo de enxertia. Outra espécie que pode fazer parte de uma proposta de reflorestamento seria a quixabeira *Sideroxylon obtusifolium* que tem sido utilizada mais como fitoterápico e que apresenta potencial como frutífera.

Tanto o umbuzeiro quanto a quixabeira são espécies nativas e que agregam características econômicas e ecológicas. O umbuzeiro mais econômico do que ecológico em razão da intensidade de produtos derivados do mesmo e a alta comercialização ao redor.

Sendo assim, avaliou-se a taxa de sobrevivência de ambas as espécies introduzidas nas Áreas 01 e 03 com 86 MAP (Figura 37).

Figura 37. Umbuzeiros e quixabeiras nas Área 01 e 02.

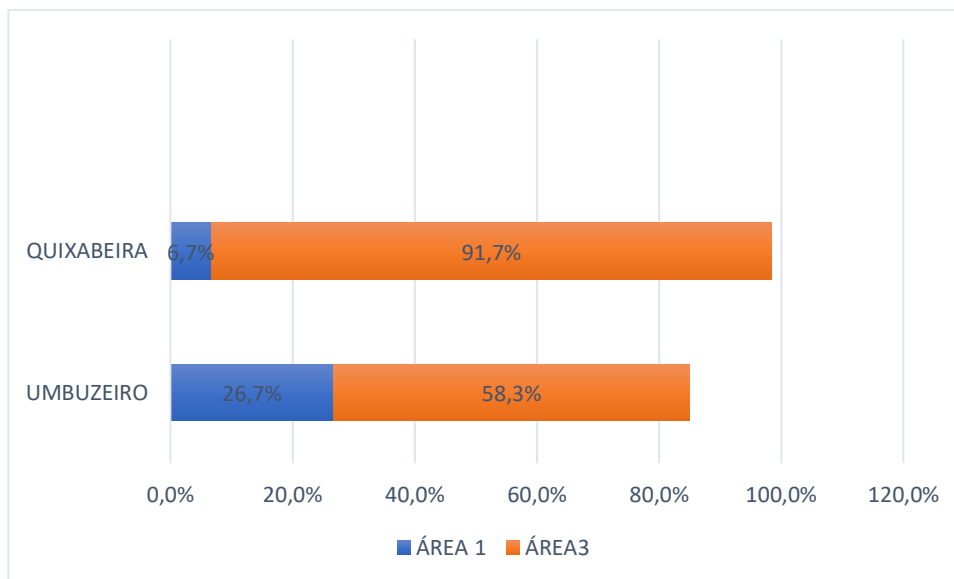


Fonte: Acervo da pesquisa (2024).

Em relação a sobrevivência do umbuzeiro e da quixabeira, ambos plantados nas Áreas 01 e 03, se obteve uma nítida diferença quanto a taxa de sobrevivência entre as espécies e entre as áreas. Em dados gerais, a quixabeira (98,4%) teve uma taxa maior que o umbuzeiro (85%). No entanto, ao serem comparadas as áreas com condições ambientais diferentes, na área com maior declividade, maior pedregosidade e solos menos profundos,

embora o umbuzeiro tenha apresentado uma taxa de apenas 26,7%, mas este, representou uma taxa quatro vezes superior à da quixabeira com apenas 6,7% (Figura 38).

Figura 38. Sobrevivência de umbuzeiros e quixabeiras nas áreas 01 e 03.



Fonte: Acervo da pesquisa.

No entanto, a quixabeira mostrou se adaptar bem aos solos mais férteis, profundos e úmidos, com uma sobrevivência 33,4% maior que a do umbuzeiro.

Ambas as espécies foram praticamente submetidas a produção em sistema de sequeiro, haja vista, que, houve uma interrupção brusca no fornecimento de água para irrigação logo após o seu cultivo. Sendo assim, nota-se um melhor desenvolvimento de ambas as espécies na área mais úmida, próxima das cabeceiras do rio Paraíba.

Para Camargo et al. (2002), a mortalidade de plantas também pode estar relacionada às condições climáticas adversas verificadas no período experimental, inclusive, de falta de água, possivelmente desestabilizando estruturas e funções vitais do organismo. Sendo, pois, a fase inicial de estabelecimento das plantas em áreas degradadas ainda a mais crítica.

Para Fernandes (1998), uma densa cobertura vegetativa através do reflorestamento com espécies nativas e naturalmente adaptadas, resistentes aos longos períodos secos, poderia ser uma alternativa para reverter os atuais processos de crescente degradação dos solos pela erosão e os consequentes danos as frágeis condições ambientais da caatinga. O umbuzeiro (*Spondias tuberosa*) e a quixabeira possuem essas qualidades, não só ecológicas, mas também econômicas. Entretanto, o crescimento de suas mudas em solos

já erodidos pode ser prejudicado pela degradação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, requerendo, portanto, correção dessas condições desfavoráveis.

A captação de água *in situ* se mostrou eficiente como técnica de captação de água e de contenção de sedimentos do solo. Diante disso, cabe ressaltar que quanto a escolha do modelo de curva de nível a ser implantado, se mestra ou livre, o primeiro é mais atrativo aos agricultores, em decorrência da uniformidade da espacialização do terreno para cultivo. No entanto, em se tratando da captação de água *in situ* e por, neste modelo, as linhas não acompanharem fielmente a declividade do terreno, os sulcos obrigatoriamente devem conter barramentos de dois em dois metros para diminuir o poder de arrasto do escoamento de água superficial e aumentar a drenagem de água no solo. (Figura 39).

Figura 39. Assoreamento dos sulcos sem barramentos e captação de água em sulcos com barramentos.



Fonte: Acervo da pesquisa.

As imagens I e II denunciam a ineficiência dos sulcos sem as barreiras, com forte presença de escoamento superficial da água e de erosão do solo em razão do seu desnivelamento. Do contrário, nas imagens III e IV, os sulcos que contém barramentos conseguem captar e armazenar água por mais tempo e diminuir o processo erosivo.

As barreiras dentro do sulco têm a finalidade de impedir o escoamento da água de chuva e promover maior infiltração, podendo ser confeccionadas antes ou depois de o cultivo ser implantado. A simplicidade do barrador de sulco e seu baixo custo viabilizam

a adoção dessa técnica pelos pequenos agricultores do Semiárido brasileiro (ANJOS et al., 2000).

De acordo com Brito et al. (2008), o sistema de preparo do solo com sulcos barrados apresenta os menores valores de perdas de água e de solo comparando com o sistema tradicional de preparo do solo.

Mesmo assim, percebeu-se a necessidade de reabertura dos sucos em razão do assoreamento dos mesmos após os períodos de precipitação, no entanto, a prática resulta em danos no crescimento radicular que se estende horizontalmente, principalmente com as espécies mais abundantes introduzidas na área, tipo palma e agave.

Segundo Rocha (2012), muitas áreas do Semiárido se encontram em estágio de degradação, tendo a palma como uma das culturas capazes de auxiliar na recuperação dessas áreas e a minimizar efeitos da erosão. Para Galindo *et al.* (2005), em consequência do seu formato achatado, quando plantadas adensadas acompanhando as curvas-de-nível, tornam-se barreiras de retenção de solo e água.

Embora em sistema de sequeiro e em área degradada, foram implantadas as três variedades de palma, Baiana (*Nopalea cocholenifera Salm Dyck*), Orelha de Elefante (*Opuntia stricta Howard*) e a Miúda (*Nopalea cochenillifera Salm Dyck.*), e analisadas as suas taxas de sobrevivência (Figura 40).

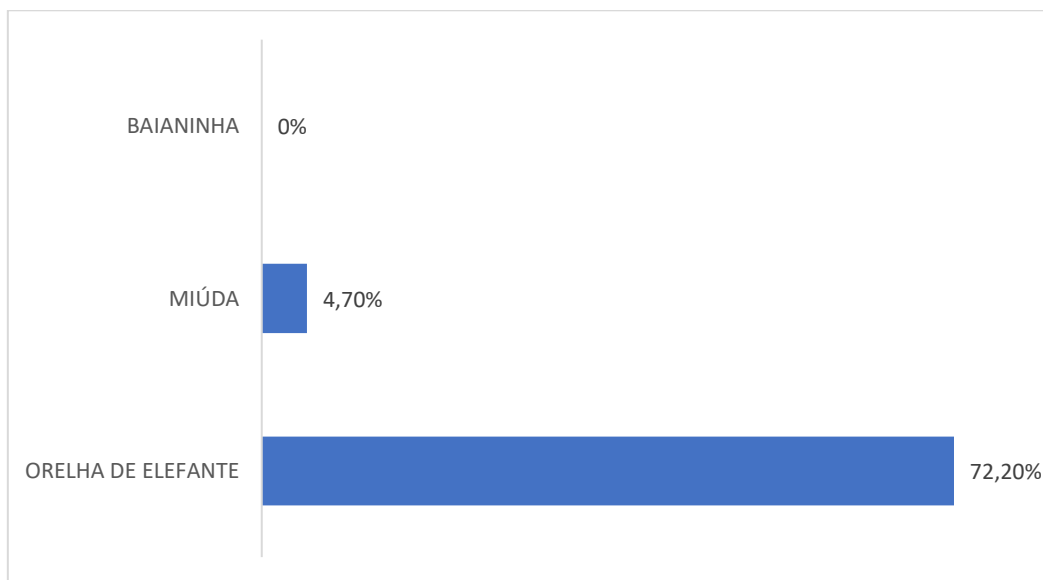
Figura 40. Registro temporal de variedade de palma cultivadas na Área 01.



Fonte: Acervo da pesquisa.

Após 70 MAP analisou-se que a variável orelha de elefante teve a maior taxa de sobrevivência, com 72,2%, sendo acompanhada da variável miúda com apenas 4,7%. A variável baianinha apresentou uma taxa de mortalidade de 100% (Figura 41).

Figura 41. Sobrevivência de variedade de palma na Área 01.



Fonte: Acervo da pesquisa.

Duas das condições favoráveis para a maior taxa de sobrevivência da Orelha de Elefante em uma área degradada na região semiárida diz respeito a mesma ser menos exigente quanto a fertilidade do solo (CAVALCANTI et al., 2008) e apresentar espinhos que servem para reduzir a temperatura do caule durante o dia, tornando-a mais resistente a seca. (NEVES et al., 2010).

Embora a forte presença de roedores (*Kerodon rupestres* e *Cavia aperea*) na área e do fitopatogênico *Scytalidium lignicola* tenha ameaçado algumas unidades, mesmo assim, a palma Orelha de Elefante teve uma produção considerável. O fungo causou uma podridão seca escamosa com morte celular nas bordas dos cladódios por ser essa variedade uma das mais vulneráveis ao mesmo (Figura 42).

Figura 42. Ataque de fitopatógeno em palma Orelha de Elefante.



Fonte: Acervo da pesquisa.

Mesmo assim, Saraiva (2017), ainda considera a palma uma das melhores opções para a produção de forragem em sistema de sequeiro no Semiárido. EMPARN (2015), considera uma importante alternativa como ferramenta para recuperação de áreas degradadas, no combate à erosão e na captação do CO₂, além possuir alta eficiência no uso da água e no manejo e proteção do solo.

Para Rocha (2012), o consórcio de palma com outras espécies também auxilia na conservação do solo e deve ser estimulado em áreas degradadas, principalmente com leguminosas.

Seguindo as orientações de Meneghello e Mattei (2004), as canafístulas foram introduzidas na Área 1 como método de recuperação de área degradada (Figura 43).

Figura 43. Cultivo de canafístula na Área 01.

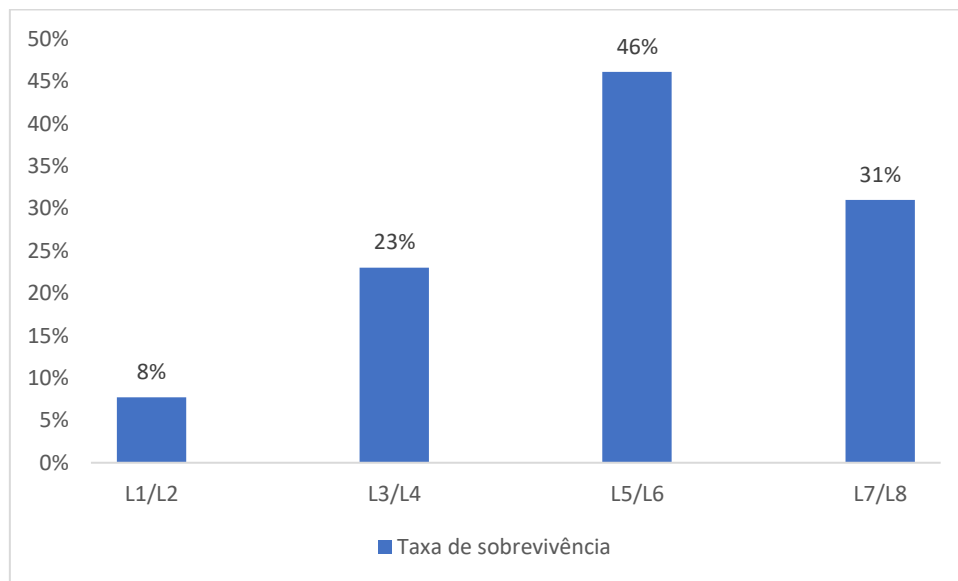


Fonte: Acervo da pesquisa.

Usando a técnica de adubação verde com leguminosas e com o cultivo de canafístulas (*Cassia fistula*) na Área 1, foi observado uma taxa de taxa de 26,92% de sobrevivência da espécie após 73,3 (MAP), não correspondendo aos resultados alcançados por Sousa (2016). Este, que, verificou-se que a canafístula apresentou potencial para recomposição da cobertura florestal de pastagem degradada, por apresentar alta taxa de sobrevivência, bem como forte incremento nas características de crescimento avaliadas. Os seus estudos indicam que espécies pioneiras de grupos iniciais de sucessão como a canafístula apresentaram maior porcentagem de sobrevivência e com um crescimento mais acelerado.

A menor taxa de sobrevivência da espécie esteve nas cotas topográficas superiores, principalmente entre as primeiras linhas L1 e L2 (Figura 44).

Figura 44. Sobrevivência de canafístula por linha topográfica na Área 01.



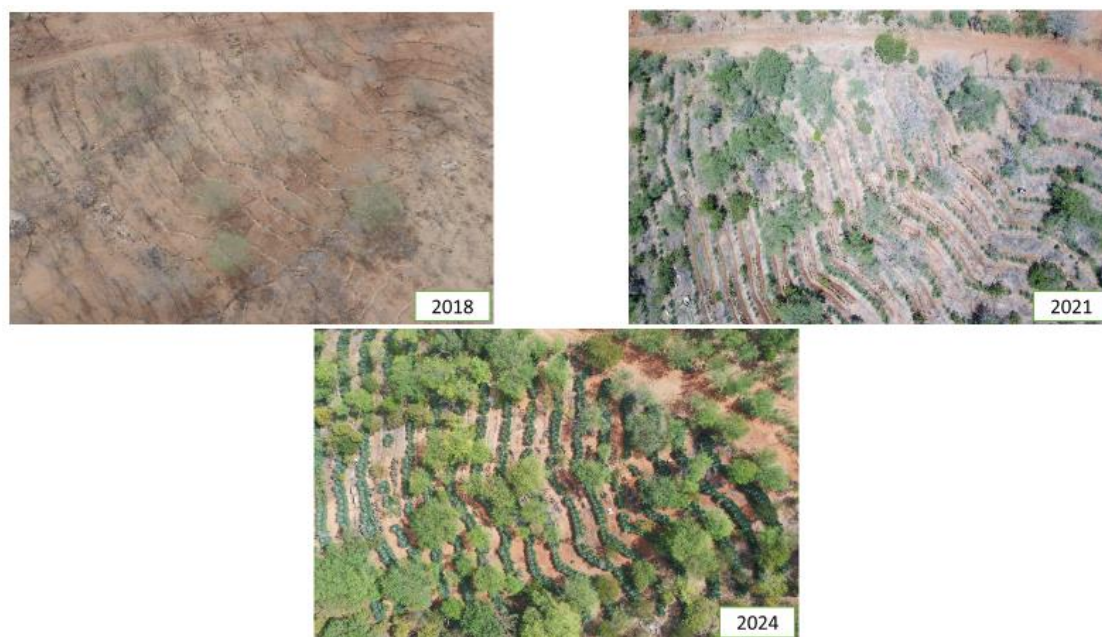
Fonte: Acervo da pesquisa.

Possivelmente o fato ocorreu devido aos mesmos fatores analisados por Ferreira (2007), em que, houve a influência do gradiente topográfico no crescimento de espécies arbóreas, sendo que, a densidade de plantas foi menor na área de maior declive. Ainda, segundo o mesmo, o crescimento das espécies foi afetado pela presença de camadas restritivas ao crescimento radicular e pelo gradiente topográfico, possivelmente devido a maior perda de solo.

Segundo Rizhsky et al. (2004), a mortalidade de plantas também pode estar relacionada às condições climáticas adversas, possivelmente desestabilizando estruturas e funções vitais do organismo. Condições estressantes tais como períodos de seca prolongados aliados a altas temperaturas podem reduzir a abertura estomática de forma a limitar a perda d'água, porém, suprime a fotossíntese e conseqüentemente, reduz as chances de sobrevivência.

As técnicas de manejo e conservação do solo aliadas ao sistema agroflorestal transformaram a realidade paisagística das áreas experimentais, perceptível por meio de análise temporal com fotografias aéreas da Área 01 (Figura 45).

Figura 45. Comparativo de imagens aéreas da Área 01.



Fonte: Acervo da pesquisa.

4. CONCLUSÃO

A ferramenta pé-de-galinha se mostrou eficiente na demarcação das curvas de nível, além de ser um equipamento de fácil construção, fácil manuseio e economicamente barato.

Quanto ao nivelamento das áreas, o modelo de curva de nível “mestra” é mais prático e aceito pelos produtores, no entanto, menos eficiente que o modelo curva de nível “livre” na contenção de água e de sedimentos.

Os cordões de pedra são eficientes como prática conservacionista do solo de natureza mecânica e são mais adequados nas áreas cujas unidades de solos apresentam pedregosidade superficial, como os Neossolos Litólicos e Luvisolos Crômicos.

Os cordões de contorno com material vegetal (galhos secos) se mostraram mais eficientes em locais com declividade menos acentuada, além de possuírem menor durabilidade.

As barreiras físicas em erosões categorizadas como voçorocas devem ocorrer em formato de arco com pneus e/ou com barreiras mistas, com pneus, pedras e galhos secos.

A prática mecânica com cordões de pedra além de auxiliar no controle do processo erosivo, ainda pode possibilitar a formação de bancos de sementes.

O fechamento das plantas de agave em curva de nível permite a formação de cordões que barram a velocidade da água e auxiliam na sua infiltração, além de conter o processo erosivo e de proporcionar a formação de bancos de sementes.

No cultivo de lavouras xerófilas, o mandacaru se apresentou como a espécie com maior taxa de sobrevivência, tendo maior produtividade nas cotas topográficas mais baixas.

Na área com Luvisolo Crômico o umbuzeiro apresentou uma taxa de sobrevivência quatro vezes maior que a da quixabeira. Mas ambos, aumentaram significativamente a sua taxa de sobrevivência na área com Neossolo Flúvico.

A espécie de palma orelha de elefante se mostrou mais resistente que as espécies miúda e baianinha para condições de cultivo em sequeiro em área degradada, muito embora mais susceptível ao ataque de alguns fitopatógenos. No entanto, as unidades devem ser substituídas com no máximo dois anos, para evitar a incidência de fungos do tipo *Scytalidium lignicola*.

A canafístula apesar de ser uma leguminosa sugerida na adubação verde e na recuperação de áreas degradadas, possui fragilidade quanto a sobrevivência em condições de sequeiro em Luvisolo Crômico e declivoso.

O levantamento planialtimétrico georreferenciado com receptor e amarrado ao levantamento fotogramétrico com drone se mostra uma excelente ferramenta para planejamento e acompanhamento da recuperação de áreas degradadas.

Conclui-se que as técnicas de manejo e conservação do solo como estratégia de recuperação de áreas degradadas devem acontecer anteriormente ou concomitantemente a introdução de sistemas agroflorestais nestas áreas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANJOS, J. B.; BRITO, L. T. de L.; SILVA, M. S. L. da. Métodos de captación de água de lluvia in situ e irrigación. In: FAO. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Roma, 2000. p.139-150. (Boletín de Tierras y Águas, 8).

BRITO, L. T. L. et al. Perdas de solo e de água em sistemas de captação in situ no Semi-Árido brasileiro. Engenharia Agrícola, v.28, n.3, p.507-515, 2008.

CHAVES, Rui de Souza. Controle da erosão pelo plantio em curva de nível. FCAP, 1982. Disponível em: <https://repositorio.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/471>.

CAMARGO, J. L. C.; FERRAZ, I. D. K.; IMAKAWA, A. M. Rehabilitation of degraded areas of central Amazonia using direct sowing of forest tree seeds. *Restoration Ecology*, v.10, p.636-644, 2002.

CONFESSOR, J. G.; MACHADO, D. F. T.; RODRIGUES, S. C. Avaliação dos resultados obtidos após a implementação de técnicas voltadas ao controle de erosão e recuperação de área degradada no município de Uberlândia-MG. In: *Simpósio Mineiro de Geografia: das Diversidades à Articulação Geográfica*, 1, 2014, Alfenas. Anais...Alfenas, 2014.

DE SOUZA CARNEVALI, N. H. et al. Sobrevivência e crescimento inicial de espécies arbóreas nativas implantadas em pastagem degradada. *Floresta*, v.46, n.2, 2016.

DEUS JUNIOR, J. C.; VIEGAS, L. B.; TONELLO, K. C. Proposta de recuperação florestal de uma área de pastagem no município de Agudos-SP com vista à apicultura. In: *Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: Recuperação de Áreas Degradadas Serviços Ambientais e Sustentabilidade*, 2, 2009, Taubaté. Anais... Taubaté, 2009.

FASSBENDER, H. W. Bases edafológicas de los sistemas de produccion agroforestales Turrialba: CATIE, 1984. 191p.

FERNANDES, R. N. N. Fase Inicial do Reflorestamento com Umbuzeiro para a Recuperação. Dissertação (Mestrado Acadêmico ou Profissional). Universidade Estadual do Ceará. Fortaleza, 1998.

KING, K. F. S. Concepts of agroforestry. In: *Conference on International Cooperation in Agroforestry*, 1979, Nairobi. Anais... Nairobi, ICRAF, 1979.

GARCIA, Y. M. O Código Florestal brasileiro e suas alterações no Congresso Nacional. *Geografia em Atos* (Online), v.1, n.12, 2012. <https://doi.org/10.35416/geoatos.v1i12.1754>. Acesso em: 24 de janeiro de 2025.

GRANCE, S. F. Geotecnia ambiental utilizando técnicas de bioengenharia de solos na recuperação de áreas degradadas nas margens do reservatório da Usina Hidrelétrica de Jupia. 2021. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstreams/079cfa0f-7fcf-4c9c-82c2-597dbfc93946/download>

PORFÍRIO-DA-SILVA, V. et al. Arborização de pastagens com espécies florestais madeireiras: implantação e manejo. 2009. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/866583/1/OK-ArborizacaoPastagensEspecies.pdf>.

SALES, E. S. G. et al. Influência de práticas conservacionistas na recuperação de áreas degradadas no semiárido. *Brazilian Journal of Development*, v.7, n.1, p.9298-9316, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-629>

QUEIROGA, V. de P. Sisal (*Agave sisalana*, Perrine): Tecnologias de plantio e utilização. 1 ed. (Org) QUEIROGA, V.; DE P.; SILVA, O. R. R. F. DA; MEDEIROS, J. DA C.; FRANCO, C. F. DE O. Campina Grande: AREPB, 2021. 217p.

QUEIROGA, V. de P. *Agave americana* L. tecnologias de plantio e produção de pulque. 1 ed. (Org) QUEIROGA, V. DE P.; GONDIM, T. M. DE S.; MEDEIROS, J. DA C.; FIGUEIRÊDO NETO, A. Campina Grande: AREPB, 2020. 189p.

LEPSCH, I. F. Formação e conservação dos solos. 2. ed. São Paulo, 2010. 180p.

MACHADO, R. L. Perda de solo e nutrientes em voçorocas com diferentes níveis de controle e recuperação no Médio Vale do rio Paraíba do Sul, RJ. 101f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.

RIZHISKY, L.; LIANG, H.; SHUMAN, J.; SHULAEV, V.; DAVLETOVA, S.; MITTLER, R. When Defense Pathways Collide. The response of Arabidopsis to a combination of drought and heat stress. *Plant Physiology*, v.134, n.4, p.1683-1696, 2004.

SARAIVA, M. M. T.; SILVA, C. X. DA; SILVA, L. F. DA; LUNDGREN, W. J. C. Banco de sementes e a otimização na recuperação de áreas degradadas da Caatinga. *Ciência Florestal*, v.33, n.2, e71507, 2023. <https://doi.org/10.5902/1980509871507>

SILVA, J. R. C.; SILVA, F. J. da. Eficiência de cordões de pedra em contorno na retenção de sedimentos e melhoramento de propriedades de um solo Litólico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.21, p.441-446, 1997.

SÁ, I. B. et al. Processos de desertificação no Semiárido brasileiro. 2010. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/861927>. Acesso em: 01/11/2024.

SONGTANG, H.; DAOJIE, W.; YINGHCAO, F.; HUIJUAN, L. Guidelines for integrating ecological and biological engineering technologies for control of severe erosion in mountainous areas - A case study of the Xiaojiang River Basin, China. *International Soil and Water Conservation Research*, v.5, 2017. 10.1016/j.iswcr.2017.05.001.

UNCCD. United Nation Convention to Combat Desertification. Global Land Outlook. Land Restoration for Recovery and Resilience. 2. ed. UNCCD, 2022.

PEREZ-MARIN, A. M. et al. Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica? 2012. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/309546679_Nucleos_de_desertificacao_no_semiarido_brasileiro_Ocorrencia_natural_ou_antropica. Acesso em: 19/09/2024.

MARENCO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. *Theoretical and Applied Climatology*, v.129, p.1189-1200, 2017.

REFATI, D. C. et al. Influence of drought and anthropogenic pressures on land use and land cover change in the Brazilian semiarid region. *Journal of South American Earth Sciences*, v.126, e104362, 2023.

BARRETO-NETO, A. A.; MARCHESI, A. F. Avaliação da vulnerabilidade socioambiental à desertificação no estado do Espírito Santo, Brasil. *Brazilian Journal of Environmental Sciences*, n.51, p.28-40, 2019.

SOUSA, R. F. et al. Vulnerabilidades e impactos socioeconômicos e ambientais em municípios do Cariri Paraibano. *Engenharia Ambiental*, v.5, n.3, p.63-78, 2008.

COSTA, P. da et al. Recuperação de áreas degradadas e restauração ecológica de ecossistemas: definições e conceitos. 2005.

MACEDO, M. O. et al. Changes in soil C and N stocks and nutrient dynamics 13 years after recovery of degraded land using leguminous nitrogen-fixing trees. *Forest Ecology and Management*, v.255, n.5-6, p.1516-1524, 2008.

MENGISTU, T. et al. The role of enclosures in the recovery of woody vegetation in degraded dryland hillsides of central and northern Ethiopia. *Journal of Arid Environments*, v.60, n.2, p.259-281, 2005.

CORDEIRO, S. A.; SILVA, M. L. da; OLIVEIRA NETO, S. N. de; OLIVEIRA, T. M. Simulação da variação do espaçamento na viabilidade econômica de um sistema agroflorestal. *Floresta e Ambiente*, v.25 n.1, p.1-8, 2018.

ALVES, R. M.; CHAVES, S. F. da. S.; GAMA, M. A. P.; PEDROZA NETO, J. L.; SANTOS, T. G. dos. Seleção simultânea de genótipos de cupuaçuzeiro e mogno brasileiro, em um sistema Agroflorestal no Pará, Brasil. *Acta amazônica*, v.50, n.3, p.183-191, 2020.

REINERT, D. J. Recuperação de solos em sistemas agropastoris. In: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V (Eds.). *Recuperação de áreas degradadas Viçosa: UFV, SOBRADE*, 1998. p. 163-176. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/340515120_RECUPERACAO_DE_SOLOS_EM_SISTEMAS_AGROPASTORIS. Acesso em: 19/10/2024.

MENDONÇA, E. S.; LEITE, L. F. C.; FERREIRA NETO, P. S. Cultivo de café em sistema agroflorestal: uma opção para recuperação de solos degradados. *Revista Árvore*, v.25, n.3, p.375-383, 2001.

MACDICKEN, K. G.; VERGARA, N. T. Introduction to agroforestry. In: MACDICKEN, K. G.; VERGARA, N. T. (Eds.). *Agroforestry: classification and management* New York: John Wiley & Sons, 1990. p.1-30. Disponível em: https://apps.worldagroforestry.org/Units/Library/Books/PDFs/32_An_introduction_to_a_groforestry.pdf. Acesso em: 19/10/2024.

LAL, R.; STUART, B. A. Soil degradation: a global threat. *Adv. Soil Sci.*, v.11, n.13-14, 1990. Doi/abs/10.1002/ldr.472.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and Assessing Soil Quality. In *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. (eds) DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B. A. 1994. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub35.c1>

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declives e níveis de fertilidade do solo. *Revista Brasileira Solo*, v.27, p.743-753, 2003.

STOCKING, M. A. Tropical soils and food security: the next 50 years. *Science*, v.302, p.1356-1359, 2003.

GRIEBELER, N. P. et al. Modelo para o dimensionamento e a locação de sistemas de terraceamento em nível. *Engenharia Agrícola*, v.25, n.3, p.696-704, 2005.

EMPARN. EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO RIO GRANDE DO NORTE. *Palma Forrageira: irrigada e adensada*. Natal: EMPARN, 2015.

SARAIVA, S. A. M. et al. Recuperação de área degradada com o cultivo da palma forrageira (*Opuntia stricta Haw*) adubada com biofósforo. 2017. Disponível em: <https://memoria.ifrn.edu.br/handle/1044/1401>. Acesso em: 28/10/2024.

ROCHA, J. E. da S. *Palma forrageira no Nordeste do Brasil: estado da arte*. 2012. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/979108/1/DOC106.pdf>. Acesso em: 20/10/2024.

CAVALCANTI, M. C. de A.; BATISTA, A. M. V.; GUIM, A.; LIRA, M. de A.; RIBEIRO, V. L.; RIBEIRO NETO, A. C. Consumo e comportamento ingestivo de caprinos e ovinos alimentados com palma gigante (*Opuntia ficus indica Mill*) e palma orelha de elefante (*Opuntia sp*). *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v.30, n.2, p.173-179, 2008.

NEVES, A. L. A.; PEREIRA, L. G. R.; SANTOS, R. D. dos; VOLTOLINI, T. V.; ARAÚJO, G. G. L. de; MORAES, S. A. de; ARAGÃO, A. S. L. de; COSTA, C. T. F. Plantio e uso da palma forrageira na alimentação de bovinos no semiárido brasileiro. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2010. 7p. (Embrapa Gado de Leite. Comunicado Técnico, 62). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/42960/1/Salete-Meta-2011.pdf>. Acesso em: 29/09/2024.

**FERTILIDADE DO SOLO DE ÁREA DEGRADADA EM PROCESSO DE
RECUPERAÇÃO ATRAVÉS DE MODELAGEM EM SIG**

1. INTRODUÇÃO

O aumento da intensidade do uso do solo e a redução da cobertura vegetal nativa do Semiárido Brasileiro têm levado à degradação dos recursos naturais, e em especial a redução da fertilidade do solo (MENEZES et al., 2002). A degradação do solo é definida como um processo que reduz e/ou elimina a capacidade atual ou potencial do solo para produzir bens ou serviços tornando-se, assim, uma ameaça aos ciclos hidrológicos e biogeoquímicos, à biodiversidade e à produtividade vegetal primária (MARCHETTI et al., 2012).

Os mecanismos associados à degradação dos solos podem ser evidenciados por meio de atributos físicos, tais como o declínio na agregação do solo, com consequente aumento da erosão e compactação do solo, atributos químicos, tais como a acidificação, salinização e esgotamento da fertilidade do solo e frações químicas da matéria orgânica e atributos biológicos no que tange à diminuição do aporte de carbono e da atividade e diversidade microbiana (MOEBIUS-CLUNE et al., 2011). A fertilidade dos solos está relacionada com a disponibilidade de elementos químicos e com a sua capacidade de fornecer nutrientes às plantas, podendo ser natural ou associada à aplicação externa. A fertilidade combina uma série de propriedades dos solos, como as propriedades biológicas, químicas e físicas. A fertilidade também é uma propriedade gerenciável do solo e seu manejo é de extrema importância para a otimização da nutrição de culturas, tanto de curto quanto de longo prazo, a fim de se atingir uma produção agrícola sustentável (BRUINSMA, 2003).

Souza et al. (2006) ressaltam que, as alterações ocasionadas pelo relevo podem alterar a dinâmica hídrica nos solos de uma área, condicionando uma distribuição diferenciada de suas propriedades. Desta forma, a avaliação destes atributos auxilia no estudo do comportamento do solo em áreas degradadas e em recuperação. Dentre estes atributos pode-se destacar a textura, a qual possui interferência direta nas demais

propriedades físicas do solo, como na estrutura, distribuição de tamanhos de poros, compactação e adensamento, selamento superficial, escoamento superficial, drenagem e processo de infiltração (OLIVEIRA et al., 2013). A infiltração de água no solo pode ser considerada como um indicador da qualidade física por integrar fatores que diretamente afetam o desenvolvimento das plantas (JOSÉ et al., 2012).

Para uma adequada caracterização das propriedades do solo é importante considerar sua variabilidade espacial (VIEIRA, 2000). De acordo com Lagacherie (2008), a variabilidade espacial e temporal dos nutrientes dos solos pode ser identificada e modelada por meio de métodos geoestatísticos ou de mapeamento digital de solos. De acordo com Brandão (2001), modelos matemáticos, aritméticos e lógicos, buscando representar propriedades e processos do meio físico natural, têm sido implementados nos SIG, com o objetivo de facilitar o seu estudo e compreensão, para que se possa atuar sobre o meio ambiente de forma mais responsável e cooperativa. Contudo, as propriedades naturais da superfície terrestre são espacialmente contínuas, sendo restritivo descrevê-las através de simples funções matemáticas. Modelos inferenciais para este objetivo vêm sendo propostos. A Geoestatística é um desses modelos e sua base conceitual está fundamentada na teoria das variáveis regionalizadas, formalizada por Matheron (1971).

Dentre os procedimentos geoestatísticos, se destaca como a técnica do algoritmo B-spline multinível (MBS) para interpolação espacial de dados dispersos (LEE et al., 1997). O algoritmo faz uso de uma hierarquia grosseira à fina de redes de controle para gerar uma sequência de funções B-spline bicúbicas, cuja soma se aproxima da função de interpolação desejada em que, grandes ganhos de desempenho são obtidos usando o refinamento do B-spline para reduzir a soma dessas funções em uma função B-spline equivalente.

O algoritmo B-spline multinível foi utilizada por diversos autores e áreas como por Lee et al. (2005), por Polizelli Júnior (2008), Osorio et al. (2011), Jiang e Zhang (2013), por Fanti (2016), por Moon e Ko (2018), Lyche et al. (2018), por Sabino e Macedo (2019), por Noël et al. (2020), por Cano (2022), por Kaya et al. (2021), e no mapeamento dos atributos químicos dos solos por Francisco et al. (2024).

Quanto ao mapeamento da variabilidade espacial de atributos dos solos, diversas pesquisas foram elaboradas, como por Souza et al. (2006), Brandão (2010), Santos et al. (2012), Campos et al. (2012), Marchetti et al. (2012), Silva et al. (2014), Leite et al. (2015), Lima et al. (2015), Francisco et al. (2022; 2023; 2024).

Portanto, este trabalho objetiva estimar e mapear a fertilidade dos solos de área semiárida em recuperação através de modelagem, utilizando índice de fertilidade e técnicas de geoprocessamento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Na metodologia deste trabalho, com o objetivo de elaborar as análises físicas e químicas dos solos, foram coletadas e georreferenciadas 13 amostras, conforme metodologia da EMBRAPA (DONAGEMA et al., 2011). Após, as amostras de solos para análise física e química foram enviadas para o Laboratório de Solos e Água (LASAG), da Universidade Federal de Campina Grande, campus Patos.

Em seguida foi criada uma planilha no Excel[®] onde utilizou-se dos dados dos atributos químicos obtidos de Potencial Hidrogeniônico - pH (adimensional), Fósforo disponível - P (g kg⁻¹), Potássio - K²⁺ (g kg⁻¹), Cálcio - Ca²⁺ (cmolc kg⁻¹), Magnésio - Mg²⁺ (cmolc kg⁻¹), Sódio - Na²⁺ (cmolc kg⁻¹), Alumínio Al³⁺ (cmolc kg⁻¹), Hidrogênio H⁺ (cmolc kg⁻¹), Soma de Base - SB (cmolc kg⁻¹), Saturação por Alumínio - m (%), Saturação de Base - V (%), e Matéria Orgânica - MO (g kg⁻¹).

Utilizando a metodologia adaptada de Francisco et al. (2023), em que, a partir dos dados obtidos, foram estimados a Capacidade de Troca de Cátions efetiva - CTC efetiva (cmolc kg⁻¹), CTC Total (cmolc kg⁻¹), Porcentagem de sódio trocável - PST (%) (Equações 5, 6 e 7).

$$CTC \text{ efetiva} = SB + Al^{3+} \text{ (Eq.5)}$$

$$CTC \text{ Total} = SB + (H^+ + Al^{3+}) \text{ (Eq.6)}$$

$$PST = Na^{2+} / (CTC \text{ Total}) * 100 \text{ (Eq.7)}$$

Em que: CTC efetiva – capacidade de troca de cátions efetiva (cmolc kg⁻¹); CTC Total – capacidade de troca de cátions total (cmolc kg⁻¹); SB (Na²⁺, K²⁺, Mg²⁺, Ca²⁺) – soma de bases trocáveis (cmolc kg⁻¹); Al³⁺ – concentração de alumínio trocável no solo (cmolc kg⁻¹); H⁺ - hidrogênio (cmolc kg⁻¹); argila (g kg⁻¹); SB – Saturação por Bases (%).

Utilizando-se o software QGIS[®] 3.38 foi delimitada a área de estudo na escala de 1:1.500. Em seguida, os valores de classificação obtido para os pontos foram

geoespacializados utilizando-se a interpolação B-Spline Multinível (MBS) através do plugin SAGA[®] 9.3.1. Em seguida as imagens *raster* foram classificadas conforme Tabela 1. Após, com o objetivo de realizar o cálculo das áreas, foi utilizado o *plugin r.report* do GRASS[®] 8.3.2.

Tabela 5. Parâmetros de classificação das variáveis da fertilidade dos solos

Variável/Atributo	Qualidade (Peso)				
	Muito Baixa (5)	Baixa (4)	Média (3)	Alta (2)	Muito Alta (1)
pH em Água	< 4,5 e > 7	4,5 - 4,8 e 6,7 - 7	4,8 - 5,1 e 6,4 - 6,7	5,1 - 5,4 e 6,1 - 6,4	5,4 - 6,1
P (cmolc kg ⁻¹)	< 10	10 - 20	20 - 30	30 - 45	> 45
Ca ²⁺ (cmolc kg ⁻¹)	< 0,4	0,4 - 1,2	1,2 - 2,4	2,4 - 4	> 4
Mg ²⁺ (cmolc kg ⁻¹)	< 0,15	0,15 - 0,45	0,45 - 0,9	0,9 - 1,5	> 1,5
Al ³⁺ (cmolc kg ⁻¹)	> 2	1 - 2	0,5 - 1	0,2 - 0,5	< 0,2
K ⁺ (cmolc kg ⁻¹)	< 0,15	0,15 - 0,4	0,4 - 0,7	0,7 - 1,2	> 1,2
SB (cmolc kg ⁻¹)	< 0,6	0,6 - 1,8	1,8 - 3,6	3,6 - 6	> 6
Ac. Pot. (H ⁺ +Al ³⁺) (cmolc kg ⁻¹)	> 9	5 - 9	2,5 - 5	1 - 2,5	< 1
CTC (pH 7,0)(cmolc kg ⁻¹)	< 1,6	1,6 - 4,3	4,3 - 8,6	8,6 - 15	> 15
CTC (efetiva)(cmolc kg ⁻¹)	< 0,8	0,8 - 2,3	2,3 - 4,6	4,6 - 8	> 8
V - Sat. Base (%)	< 20	20 - 40	40 - 60	60 - 80	> 80
m - Saturação por Al (%)	> 75	50 - 75	30 - 50	15 - 30	< 15
PST (%)	> 30	20 - 30	10 - 20	7 - 10	< 7
MOS (g kg ⁻¹)	< 0,7	0,7 - 2	2 - 4	4 - 7	> 7

Fonte: adaptado de Francisco et al. (2024).

A classificação da fertilidade natural dos solos foi estimada para a camada superficial do solo por modelo paramétrico simplificado denominado Índice de Fertilidade Natural do Solo adaptado de Francisco et al. (2024), utilizando linguagem algébrica através da calculadora *raster* do QGIS[®] (Equação 8). Este modelo considera que variáveis/atributos têm como pesos os valores de 1 a 5, e a resultante classe 1 indica qualidade Muita Alta, classe 2 denota qualidade Alta, classe 3 infere classe Média, classe 4 denota classe Baixa, e a classe 5 infere qualidade Muito Baixa.

$$IFNS = CA / NA \text{ (Eq.8)}$$

Onde: IFS = Índice de Fertilidade Natural do Solo; CA = somatória das classes de atributos: pH, P, Ca, Mg, Al, K, SB, H+Al, CTC Total, CTC efetiva, V, m, PST e MOS; NA = número de atributos.

No tratamento estatístico foi realizada a análise descritiva dos dados e o teste de normalidade utilizando o software RStudio[®] 2024. Para verificar se as amostras procediam de uma determinada distribuição de probabilidade, foram usados os testes de hipóteses não paramétricos Shapiro-Wilk (1965), Anderson-Darling (1954) e Lilliefors (1967). Buscou-se identificar uma correlação entre as variáveis utilizando o método de Pearson (1895).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 6, dos resultados da análise física dos solos, observa-se a textura dos solos amostrado onde apresenta-se em sua maioria classificado como Franco arenoso, estes localizados ao Norte da área de estudo sob os Luvisolos com maior altitude, e ao Sul classificam-se como Arenoso e Areia franca, devido estarem localizados próximo ao leito do riacho em áreas mais planas sob o Neossolo Flúvico.

Tabela 6. Análise física dos solos

Amostra/Ponto	Granulometria (g.kg ⁻¹)			Classificação Textural
	Areia	Silte	Argila	
A1.1	652	162	187	Franco arenoso
A1.2	631	182	187	Franco arenoso
A1.3	631	162	207	Franco argilo-arenoso
A1.4	652	162	187	Franco arenoso
A1.5	672	141	187	Franco arenoso
A2.1	692	162	146	Franco arenoso
A2.2	692	141	167	Franco arenoso
A2.3	652	162	187	Franco arenoso
A2.4	652	182	167	Franco arenoso
A3.1	732	141	126	Franco arenoso
A3.2	813	101	86	Areia franca
A3.3	914	20	66	Arenoso
A3.4	894	40	66	Arenoso

Fonte: autor (2024).

Nos dados estatísticos dos dados amostrados de fertilidade dos solos demonstrados na Tabela 7, pode-se observar que, entre os atributos Na⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺, a maior média apresenta-se no Ca²⁺ de 0,72 cmolc kg⁻¹, seguido pelo maior desvio padrão entre estas. A variável P apresenta o maior desvio padrão entre todas as variáveis de 9,65. Entre os atributos V, m e PST, o atributo V – Sat. Base (%) apresenta o maior desvio padrão de 8,44, seguida do atributo m (Saturação por Al³⁺) e do PST. O maior alcance na distribuição ocorre no atributo P. O atributo K⁺ apresenta a maior curtose positiva entre

as demais. Os atributos Al^+ e MOS não apresentam variabilidade dos dados na distribuição, portanto sem valores de alcance e curtose.

Observa-se ainda que os valores da média e da mediana para os atributos estão próximos, indicando que estes dados seguem uma distribuição simétrica. De acordo com Cambardella et al. (1994), os valores da média sendo próximos daqueles da mediana é um indicativo de que as medidas de tendência central são dominadas por valores típicos na distribuição.

Os valores de curtose ocorrem entre -1,74 a 0,50. Campos et al. (2012) afirmam que, os coeficientes de assimetria e curtose indicam se a distribuição dos dados de uma variável está próxima à distribuição normal (coeficientes iguais à zero). Apesar da normalidade dos dados não ser uma exigência da geoestatística, o importante é que a distribuição não se apresente muito alongada.

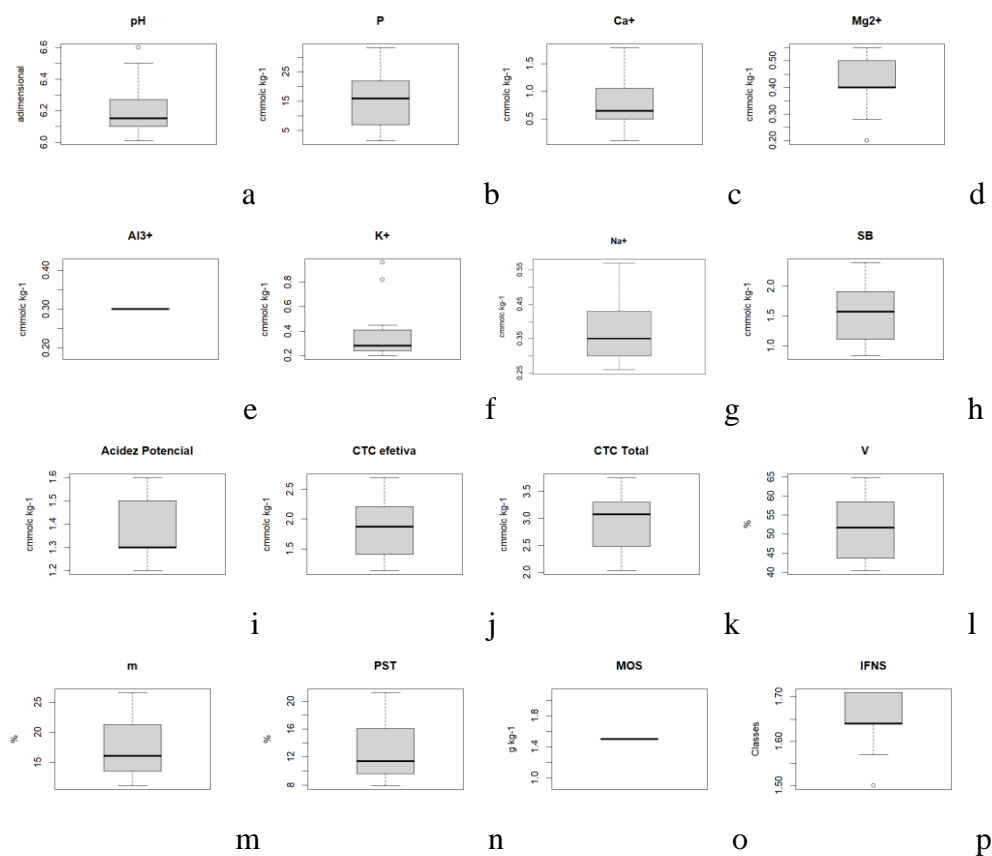
Tabela 7. Dados estatísticos das variáveis

Atributo/ Variável	Mín	Média	Mediana	Max	Desv. Pad	Alcance	Curtose	Q1	Q3
pH	6,01	6,20	6,15	6,60	0,18	0,59	-0,13	6,10	6,27
P	1,53	15,08	15,83	33,21	9,65	31,68	-1,23	6,94	21,83
Ca^{2+}	0,10	0,72	0,64	1,80	0,48	1,70	-0,41	0,50	1,05
Mg^{2+}	0,20	0,41	0,40	0,50	0,10	0,3	-0,77	0,40	0,50
Al^{3+}	0,30	0,30	0,30	0,30	0,00	0,00	0,00	0,30	0,30
K^+	0,20	0,38	0,28	0,96	0,24	0,76	0,50	0,24	0,41
Na^+	0,26	0,37	0,35	0,57	0,09	0,31	-0,63	0,30	0,43
SB	0,83	1,53	1,57	2,40	0,53	1,57	-1,55	1,11	1,91
Acidez Potencial	1,20	1,38	1,30	1,60	0,15	0,40	-1,74	1,30	1,50
CTC efetiva	1,13	1,83	1,87	2,70	0,53	1,57	-1,55	1,41	2,21
CTC Total	2,03	2,96	3,07	3,76	0,60	1,73	-1,53	2,48	3,30
V	40,37	51,12	51,61	64,88	8,44	24,49	-1,61	43,66	58,47
m	11,11	17,79	16,04	26,64	5,39	15,53	-1,54	13,57	21,28
PST	7,88	13,17	11,40	21,22	4,43	13,34	-1,36	9,59	16,06
MOS	1,50	1,50	1,50	1,50	0,00	0,00	0,00	1,50	1,50
IFNS	1,50	1,65	1,64	1,71	0,07	0,21	-0,72	1,64	1,71

Fonte: autor (2024).

Observa-se na Figura 46 que, pelos dados estatísticos, as menores variações de amplitude se apresentam nas variáveis P, Na^+ , SB, CTC efetiva e V. Com relação à variabilidade entre as observadas por meio das caixas interquartílicas do gráfico boxplot para cada atributo, verifica-se que as variáveis Acidez Potencial ($H^+ + Al^{3+}$) e o IFNS apresentam maior variabilidade.

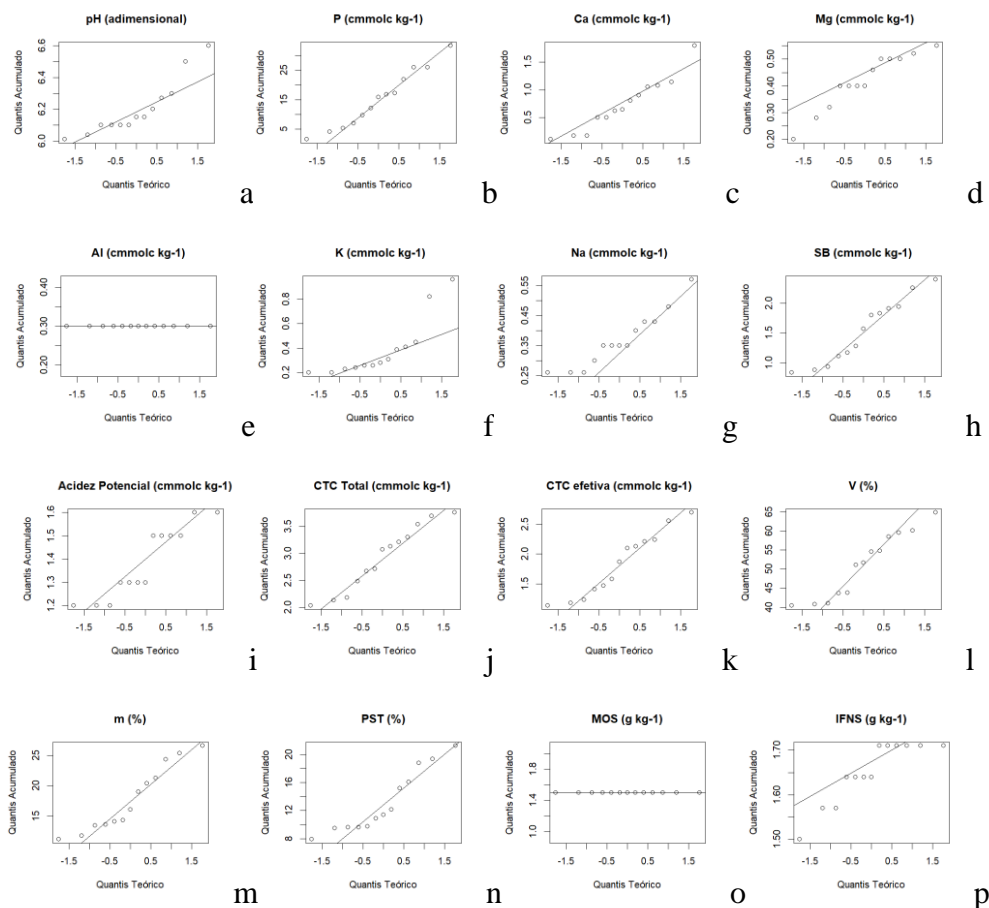
Figura 46. Boxplot das variáveis das amostras. (a) pH do solo (adimensional); (b) P (cmolc kg⁻¹); (c) Ca²⁺ (cmolc kg⁻¹); (d) Mg²⁺ (cmolc kg⁻¹); (e) Al³⁺ (cmolc kg⁻¹); (f) K⁺ (cmolc kg⁻¹); (g) SB (cmolc kg⁻¹); (h) Ac. Pot. (H⁺+Al³⁺) (cmolc kg⁻¹); (i) CTC (pH 7,0) (cmolc kg⁻¹); (j) CTC (efetiva) (cmolc kg⁻¹); (k) V – Sat. Base (%); (l) m - Saturação por Al (%); (m); PST (%); (n); (p) MOS (g kg⁻¹); IFSN (adimensional).



Fonte: autor (2024).

Nos boxplots dos quantis teórico e acumulado (Figura 47), observa-se uma distribuição normal na maioria das variáveis excluindo as variáveis Al³⁺ e a MOS que seguem comportamento de distribuição não normal.

Figura 47. Boxplot das variáveis: (a) pH do solo (adimensional); (b) P (cmolc kg⁻¹); (c) Ca²⁺ (cmolc kg⁻¹); (d) Mg²⁺ (cmolc kg⁻¹); (e) Al³⁺ (cmolc kg⁻¹); (f) K⁺ (cmolc kg⁻¹); (g) SB (cmolc kg⁻¹); (h) Ac. Pot. (H⁺+Al³⁺) (cmolc kg⁻¹); (i) CTC (pH 7,0) (cmolc kg⁻¹); (j) CTC (efetiva) (cmolc kg⁻¹); (k) V – Sat. Base (%); (l) m - Saturação por Al (%); (m); PST (%); (p) MOS (g kg⁻¹); IFSN (adimensional).



Fonte: autor (2024).

Na Tabela 8, nos resultados dos testes de normalidade de Anderson-Darling, Lilliefors e Shapiro-Wilk, apresentam-se semelhantes entre si, o que leva a aceitar a hipótese de normalidade nos dados. Os dados de Al³⁺ e MOS por terem valores idênticos entre si no resultado da amostragem não apresentam variação e não são identificados nos testes de normalidade.

Tabela 8. Testes de normalidade

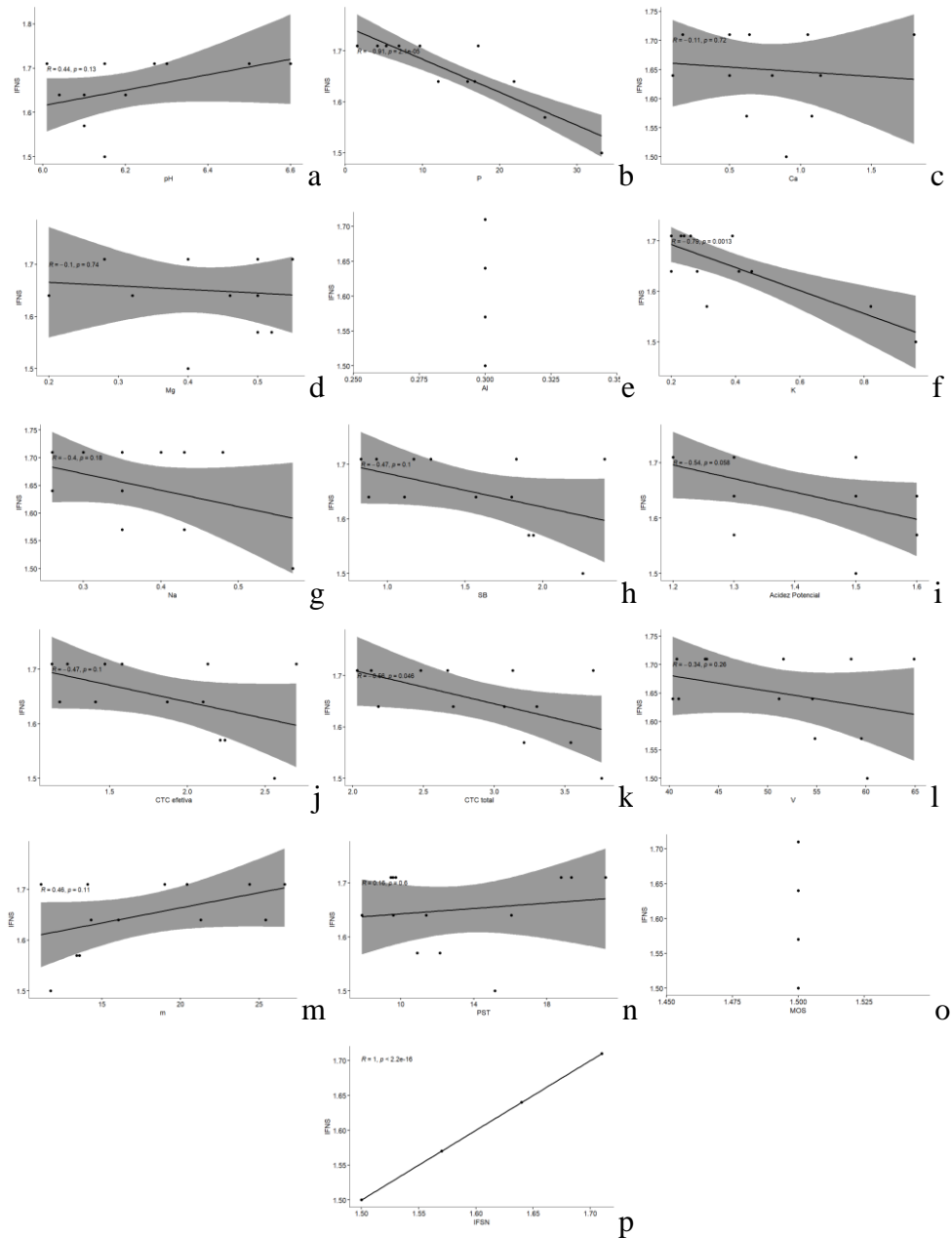
Atributo/Variável	Anderson-Darling		Lilliefors		Shapiro-Wilk	
	<i>A</i>	<i>p-valor</i>	<i>D</i>	<i>p-valor</i>	<i>W</i>	<i>p-valor</i>
pH	0,86283	0,01895	0,23058	0,05716	0,84423	0,02401
P	0,21614	0,80270	0,10824	0,94580	0,96084	0,76650
Ca ²⁺	0,28025	0,58210	0,11684	0,89770	0,94112	0,47160
Mg ²⁺	0,46954	0,20530	0,20102	0,16060	0,91964	0,24810
Al ³⁺	-	-	-	-	-	-
K ⁺	1,40070	0,00073	0,23965	0,03972	0,73991	0,00144
Na ⁺	0,39446	0,32100	0,19437	0,19700	0,92098	0,25860
SB	0,35451	0,40420	0,15433	0,54100	0,93082	0,34930
Acidez Potencial	0,81864	0,02479	0,24970	0,02598	0,85519	0,03331
CTC efetiva	0,35451	0,40420	0,14037	0,68960	0,93082	0,34930
CTC Total	0,27950	0,58440	0,15433	0,54100	0,93866	0,43980
V	0,44554	0,23730	0,19130	0,21590	0,91415	0,20900
m	0,47508	0,19850	0,20386	0,14700	0,90930	0,17940
PST	0,66521	0,06303	0,20687	0,13360	0,88404	0,08090
MOS	-	-	-	-	-	-
IFNS	0,99416	0,00853	0,26588	0,01251	0,81632	0,01072

Fonte: autor (2024).

Os resultados demonstram tendência à menor distorção e maior normalidade, na qual a maioria dos atributos apresenta distribuição normal pelos testes. Valores similares foram encontrados por Campos et al. (2013) e por Lima et al. (2015), estudando a variabilidade espacial de atributos físicos do solo.

Na Figura 48 pode-se observar os resultados da correlação não paramétrica entre as variáveis deste trabalho elaborada pelo método de Person, em que somente o pH, PST e m apresentam correlação ascendente, com *p-valor* 0,3; 0,6 e 0,11, respectivamente. As demais correlações apresentam-se descendentes.

Figura 48. Correlação das variáveis.



Fonte: autor (2024).

Observa-se pela Tabela 9 e pelas Figuras 49 e 50, a distribuição espacial dos atributos dos solos. Na distribuição espacial do pH do solo (Figura 49a), observa-se que se distribui em 100% das terras na classe de frequência Alta; a variável P (Figura 49b) ocorre em 50,74% das terras e apresenta-se na frequência Baixa, seguida da frequência Média (26,97%), Muito Baixa (20,95%), e Alta (1,34%).

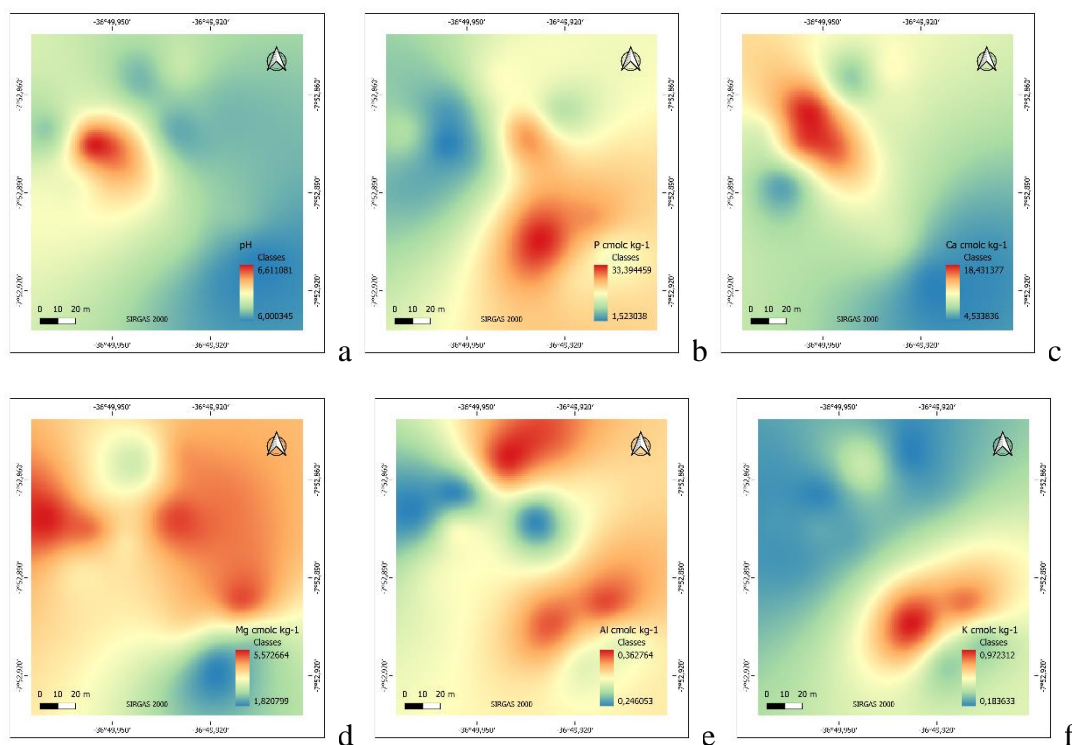
Tabela 9. Distribuição espacial das variáveis

Variável/ Atributo	Classe de Frequência									
	Muito Baixa		Baixa		Média		Alta		Muito Alta	
	(5)		(4)		(3)		(2)		(1)	
	Área (km ²)		Área (km ²)		Área (km ²)		Área (km ²)		Área (km ²)	
pH em Água							0,0254	100,00		
P (cmolc kg ⁻¹)	0,0053	20,95	0,0129	50,74	0,0069	26,97	0,0003	1,34		
Ca ²⁺ (cmolc kg ⁻¹)			0,0214	84,30	0,0040	15,70				
Mg ²⁺ (cmolc kg ⁻¹)			0,0160	62,96	0,0094	37,04				
Al ³⁺ (cmolc kg ⁻¹)							0,0254	100,00		
K ⁺ (cmolc kg ⁻¹)			0,0133	52,30	0,0121	47,70				
SB (cmolc kg ⁻¹)			0,0230	90,52	0,0024	9,48				
Ac. Pot. (H+Al) (cmolc kg ⁻¹)							0,0254	100,00		
CTC (pH 7,0) (cmolc kg ⁻¹)					0,0002	0,60	0,0123	48,53	0,0129	50,87
CTC (efetiva) (cmolc kg ⁻¹)	0,0009	3,47	0,0244	96,03	0,0001	0,50				
V – Sat. Base (%)	0,0254	100,0								
m - Saturação por Al (%)							0,0201	78,96	0,0053	21,04
PST (%)			0,0006	2,20	0,0205	80,73	0,0043	17,06		
MOS (g kg ⁻¹)			0,0254	100,00						
IFNS							0,0254	100,00		

Fonte: autor (2024).

A variável Ca²⁺ (Figura 49c) se distribui em 80,30% da área na frequência de classe Baixa seguida da classe Média contemplando 15,70% das terras. Quanto ao Mg²⁺ (Figura 49d), em sua maioria, se apresenta em 62,96% das terras na classe de frequência Baixa, seguida pela classe de frequência Média em 37,04% da área de estudo. Observa-se que o Al³⁺ (Figura 49e) se distribui em 100% da área na frequência Alta. A variável K⁺ (Figura 49f), se apresenta na classe de frequência Baixa em 52,30%, seguida pela classe de frequência Média em 47,70% da área de estudo.

Figura 49. (a) pH do solo (adimensional); (b) P (cmolc kg⁻¹); (c) Ca²⁺ (cmolc kg⁻¹); (d) Mg²⁺ (cmolc kg⁻¹); (e) Al³⁺ (cmolc kg⁻¹); (f) K⁺ (cmolc kg⁻¹).

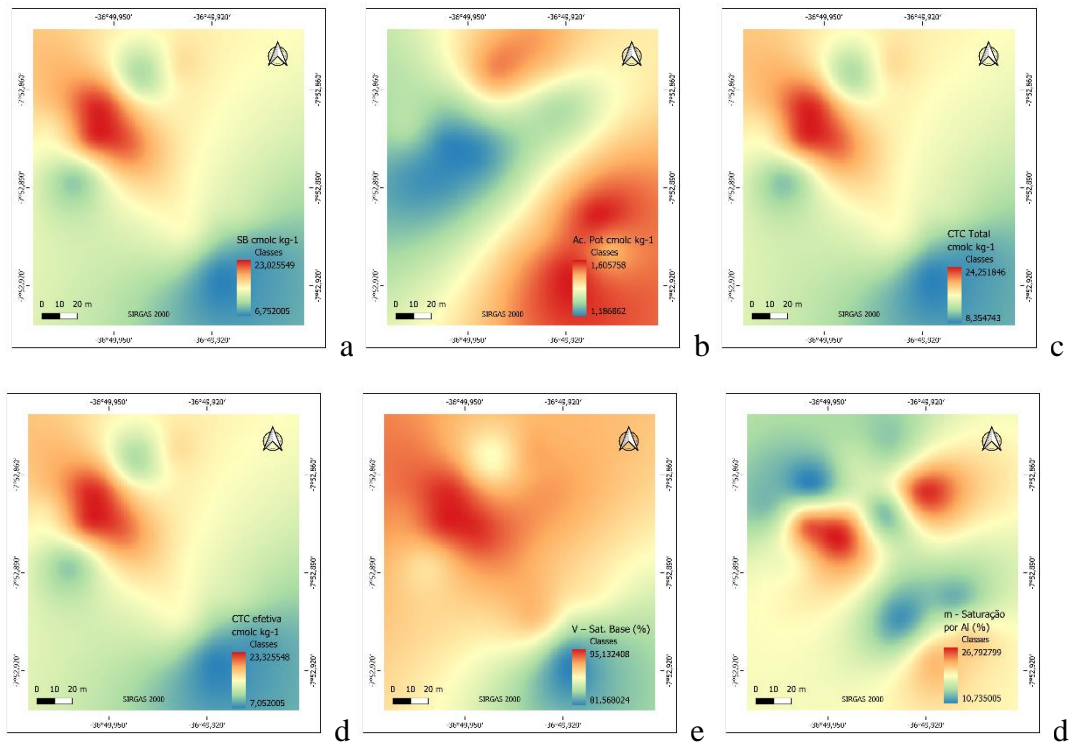


Fonte: autor (2024).

Através das Figuras 50a e 50b observa-se a distribuição espacial dos atributos onde observa-se que a SB se distribui em 90,52% na frequência Baixa seguida da classe Média em 9,48%; a Acidez Potencial, em sua totalidade na classe de frequência Alta. Observa-se que, a CTC Total (Figuras 50c) se distribui em 50,87% das terras na frequência Muito Alta, a classe de frequência Alta contempla 18,53% da área, e a classe de frequência Média somente em 0,60% da área mapeada.

Em relação à CTC efetiva, em sua maioria, se apresenta na classe de frequência Baixa em 90,63% das terras da área de estudo; seguida pelas classes de frequência Muito Baixa e Média em 3,47% e 0,50%, respectivamente. Observa-se que a Saturação de Base – V (%) (Figura 50e) se distribui em sua totalidade na frequência Muito Baixa. Em relação à Saturação por Al - m (%), predomina na maior parte da área de estudo 78,96% na classe de frequência Alta, seguida da frequência Muito Alta em 21,04% das terras.

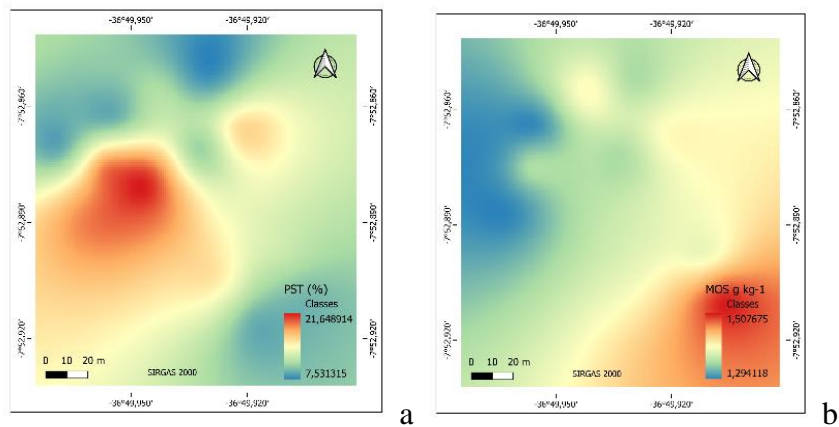
Figura 50. (a) SB (cmolc kg⁻¹); (b) Ac. Pot. (H⁺+Al³⁺) (cmolc kg⁻¹); (c) CTC (pH 7,0) (cmolc kg⁻¹); (d) CTC (efetiva) (cmolc kg⁻¹); (e) V – Sat. Base (%); (f) m - Saturação por Al (%).



Fonte: autor (2024).

Em relação ao atributo PST e espacialização, verifica-se na Figura 51a que, se distribui em sua maioria em 80,73% na frequência Média, seguida da classe de frequência Alta em 17,06% e pela Baixa em 2,20% da área. A MOS (Figura 51b) apresenta a totalidade na frequência Baixa.

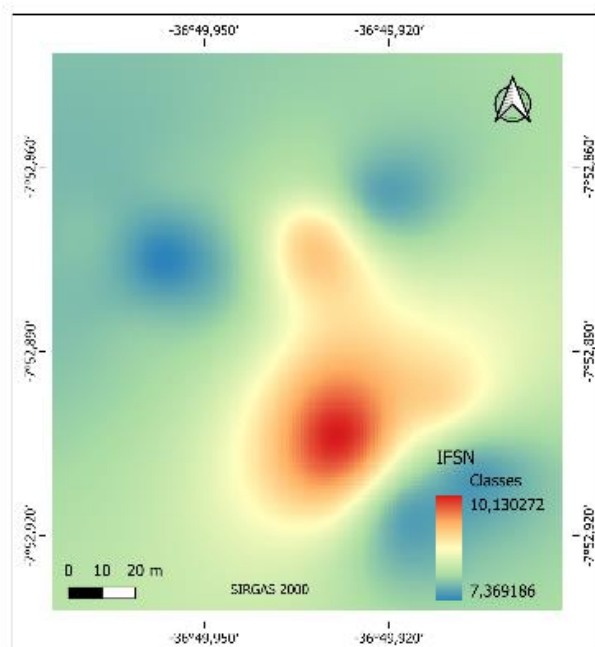
Figura 51. (a) PST (%); (b) MOS (g kg⁻¹).



Fonte: autor (2024).

Pela Figura 52, representativa da distribuição espacial da fertilidade natural da camada superficial dos solos, verifica-se que apresenta maior representatividade na classe de frequência Muito Baixa seguida da classe Baixa.

Figura 52. Fertilidade natural da camada superficial dos solos.



Fonte: autor (2024).

Silva (2013), para os Luvisolos da região de São João do Cariri-PB próxima a área de estudo deste trabalho, obteve a classificação textural como franco arenosa. Resultado similar a esta pesquisa.

Saraiva (2017), obteve em área degradada sob solo da região semiárida em Parazinho-RN, valores de areia, argila e silte em gkg^{-1} entre 700 a 810; 80 a 120; 100 a 110, respectivamente. Valores similares a este estudo somente quanto a areia, diferindo quanto ao silte e argila. Em Gilbués no Piauí, região semiárida, mas sob Argissolo Vermelho Amarelo, Leite et al. (2015) obtiveram valores de areia inferiores a este trabalho em g.kg^{-1} entre 519,50 e 614,40 e de silte e argila mais elevados de 389,50 e 91,00, respectivamente. Silva (2013) sob os Luvisolos de região semiárida observou valores de areia, argila e silte em gkg^{-1} entre 593 a 724; 62 a 120; 214 a 257, respectivamente. Quando comparado com este trabalho, os valores obtidos quanto ao silte, são mais elevados.

Batista (2015), avaliando os Neossolos Regolíticos; Luvisolos Háplicos e Planossolos Nátricos da região semiárida paraibana observou predominância da fração areia nas três classes de solo, enquanto que a fração argila obteve os mais baixos teores.

Silva et al. (2023), em região próxima a área de estudo deste trabalho, avaliando o pH do solo em São João do Cariri, obtiveram valores que variou de acidez fraca a levemente alcalino, resultado similar a este estudo com acidez fraca (6,01 a 6,6) que conforme Giongo e Cunha (2022) apresenta-se dentro da faixa ótima para o desenvolvimento de diversas culturas. Valores de pH, próximo à neutralidade estão relacionados ao baixo grau de desenvolvimento pedogenético frequentemente observados em solos de regiões semiáridas (CORRÊA et al., 2003). De acordo com Portugal et al. (2010), os maiores valores de pH contribuem para diminuição nos teores de acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) e acidez trocável (Al^{3+}); que são considerados tóxicos às plantas.

Os teores de fósforo obtidos por Batista (2015), foram classificados como muito baixo para as classes de solos, o que reflete uma condição geral dos solos tropicais que apresentam baixos teores de P. No entanto, o Luvisolo, os teores foram classificados como médio de acordo com o levantamento feito por Menezes et. al. (2005). Resultado similar a este trabalho.

Quanto ao Na^+ , Silva et al. (2023) observaram valores semelhantes, variando de 0,01 a 0,04 $cmolc\ kg^{-1}$, em que não apresentaram caráter solódico ou sódico, de acordo com a classificação de Ribeiro et al. (1999). Resultado este similar a este estudo.

Silva et al. (2023), ainda afirmam que, os elevados teores de Ca^{+2} e Mg^{+2} podem ser atribuídos à condição natural dos solos da região, tendo em vista que, é uma característica típica da região semiárida apresentar altos teores de bases trocáveis. Em Luvisolos, Silva (2013) observou que a SB das amostras em sua maioria apresentou valores superiores a 6 $cmolc\ dm^{-3}$, indicando níveis muito bons de acordo com a classificação proposta por Ribeiro et al. (1999). Valores similares a este trabalho.

Batista (2015), observou que no Luvisolo os teores de K^+ apresentaram teor de 0,22 $cmolc\ kg^{-1}$. Teores obtidos neste trabalho como valores mínimos, sendo atingido até 0,96 $cmolc\ kg^{-1}$, sendo considerado superior.

Silva (2013), em relação ao teor de Al^{+3} , obteve valores que variaram de 0,07 a 0,55 $cmolc\ kg^{-1}$, sendo considerado um teor baixo, segundo Ribeiro et al. (1999). De acordo com Alvarez et al. (1995), o teor de Al^{+3} na solução do solo depende do pH do solo, da saturação por alumínio, do teor de matéria orgânica e da presença de outros íons

na solução do solo. Conforme Silva et al. (2004), os níveis de alumínio podem comprometer o crescimento vegetal, afetando o crescimento radicular e influenciando, de diversas formas, na absorção e disponibilidade de nutrientes sendo, por isso, um dos fatores que mais limitam o desenvolvimento das plantas.

A capacidade de troca de cátions expressa à quantidade de cátions que pode ser retida em um determinado solo, indicando assim a sua densidade. Parte dessa carga é permanente e a outra é covalente ou dependente do pH (SILVA, 2013). Quanto ao nível de CTC efetiva e potencial, Silva (2013) obteve maiores na área sob vegetação nativa e degradada, o autor afirma que o fato se deve provavelmente aos elevados teores de K^+ e argila obtidos nas respectivas áreas. Resultado mais elevado comparado a este trabalho. De acordo com Canellas et al. (2000), a capacidade de troca de cátions é influenciada pelo conteúdo de carbono orgânico do solo, principalmente nos horizontes superficiais.

Para Malavolta (2006), de modo geral, a fertilidade química dos solos aumenta com o valor de saturação por bases (V), a qual serve para classificação dos mesmos. Silva (2013) obteve valores acima de 84,36%. No entanto, este trabalho apresenta valores máximos de 64,48%. Ribeiro et al. (1999) relata que, saturação por bases (V) acima de 50% é considerada elevada. Sendo a saturação por bases um excelente indicativo das condições gerais da fertilidade do solo, de acordo com Tomé Júnior (1997).

A área avaliada nesse trabalho apresenta valores baixos de MO (matéria orgânica), podendo ser considerada como degradada. Resultado similar ao de Silva et al. (2023). Os teores de matéria orgânica em áreas degradadas geralmente são baixos, devido principalmente à falta de cobertura vegetal (RIBEIRO et al., 1999). A perda de matéria orgânica em solos semiáridos se dá pela queima de resíduos vegetais, perdas contínuas durante o cultivo, remoção da madeira, aumento de erosão e, decomposição da MOS pela ação da temperatura e elevação da atividade biológica (SANTOS et al., 2021). Silva (2013) observou que, em área degradada, valores baixos entre 1,77 a 1,99 $g\ kg^{-1}$, que de acordo com Ribeiro et al. (1999), onde a concentração de matéria orgânica pode estar relacionada a pontos de solo sem cobertura vegetal, possivelmente lixiviados durante a estação chuvosa. Os teores de matéria orgânica em áreas degradadas geralmente são baixos, devido principalmente à falta de cobertura vegetal.

Batista (2015), concluíram que os Neossolos Regolíticos; Luvisolos Háplicos e Planossolos Nátricos apresentaram uma baixa fertilidade natural. Resultado similar a este trabalho quanto a área dos Luvisolos elaborada por este trabalho.

Com a distribuição espacial dos atributos do solo em mapas pode facilitar a tomada de decisão identificando as diferenças dos atributos e/ou adotando práticas conservacionistas como, terraços, cordões de isolamento e outras técnicas. Concordando com Santos et al. (2012) e Lima et al. (2015).

4. CONCLUSÃO

O uso das técnicas do geoprocessamento e da interpolação demonstraram serem uma ferramenta eficiente e rápida onde apresentou resultados satisfatórios no uso da modelagem por B-Spline multinível no mapeamento do índice de fertilidade natural dos solos.

Os testes de normalidade apresentaram-se semelhantes entre si e a correlação entre a maioria das variáveis apresentaram descendentes.

O uso da geoestatística demonstrou a variabilidade espacial dos dados, em que os valores da média e da mediana ficaram próximos, indicando que estes dados seguiam uma distribuição simétrica.

O baixo teor de P, Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ em cmolc kg⁻¹, influenciaram na baixa fertilidade dos solos.

O baixo teor de matéria orgânica (MO), a alta Acidez Potencial (H⁺+Al³⁺) a CTC total influenciaram na classificação da fertilidade natural dos solos como Muito Baixa e Baixa.

Recomenda-se práticas de controle da erosão e o aumento da matéria orgânica destes solos por técnicas de conservação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, R.; DIAZ, R. A.; BARBERO, N.; SANTANATOGLIA, O. J.; BLOTTA, L. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from three tillage systems. *Soil and Tillage Research*, v.33, p.17-28, 1995. [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(94\)00432-E](https://doi.org/10.1016/0167-1987(94)00432-E)
- ANDERSON, T. W.; DARLING, D. A. A test of goodness of fit. *Journal of American Statistical Association*, v.49, p.765-769, 1954. <https://doi.org/10.1080/01621459.1954.10501232>

BATISTA, F. R. Fertilidade de diferentes classes de solos sob um gradiente climático da região semiárida. Monografia (Engenharia Agrônômica). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2015.

BRANDÃO, W. Utilização de métodos geoestatísticos de krigagem ordinária e krigagem por indicação na interpolação de dados geoquímicos de solos: uma comparação. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10, 2001, Foz do Iguaçu. Anais...Foz do Iguaçu, 2001.

BRUINSMA, J. (Ed.). World agriculture: towards 2015/2030: an FAO perspective. London: Earthscan Publications, 2003. 432p. Disponível em: <https://www.fao.org/3/y4252e/y4252e.pdf>. Acesso em: 10 de junho de 2024.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. Soil Science Society of America Journal, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994. <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>

CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A. DE; SANTOS, L. A. C. DOS; AQUINO, R. E. DE; SOARES, M. D. R. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e umidade em áreas cultivadas com mandioca na região de Humaitá, AM. Revista Agro@mbiente On-line, v.6, n.1, p.9-16, 2012. <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v6i1.689>

CAMPOS, M. C. C.; QUEIROZ, S. B. Reclassificação dos perfis descritos no Levantamento Exploratório - Reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. Revista de Biologia e Ciências da Terra, v.6, n.1, 2006.

CANELLAS, L. P.; BERNER, P. G.; SILVA, S. G.; SILVA, M. B.; SANTOS, G. A. Frações da matéria orgânica em seis solos de uma topossequência no Estado do Rio de Janeiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.25, n.1, p.133-143, 2000. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000000100016>

CANO, É. V. Métodos de interpolação da batimetria adquirida por veículo de superfície não tripulado. 53f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais, Geoprocessamento Aplicado). Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. Campo Grande, 2022.

CORREA, M. M.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. S.; RUIZ, H. A.; BASTOS, R. S. Atributos físicos, químicos e mineralógicos da região das várzeas de Sousa-PB. Revista

Brasileira de Ciência do Solo, v.27, n.2, p.311-324, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000200011>

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. de; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p. (Embrapa Solos. Documentos, 132). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/990374/1/ManualdeMtdosdeAnilisedeSolo.pdf>. Acesso em: junho de 2023.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Santos et al. 5ª. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 359p.

ESRI. Mapa Topográfico Mundial. Disponível em: <http://www.arcgis.com/home/item.html?id=30e5fe3149c34df1ba922e6f5bbf808f>. Acesso em: julho de 2024.

FANTI, C. E. Reconstrução de superfícies tridimensionais utilizando B-splines com peso associado à redução do número de pontos de controle. 125f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2016.

FRANCISCO, P. R. M. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. 122f. Dissertação (Mestrado). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2010.

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D.; OLIVEIRA, F. P. DE; RIBEIRO, G. DO N.; SILVA, V. F.; SILVINO, G. DA S. Atualização do mapa de solos do Estado da Paraíba utilizando geotecnologias. *Scientific Journal of Environmental Sciences and Biotechnology*, v.9, n.2, p.20-28, 2023.

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D.; OLIVEIRA, F. P. DE; RIBEIRO, G. DO N.; SILVA, V. F.; RODRIGUES, R. C. M. Estimativa da capacidade de troca catiônica e variabilidade espacial dos atributos químicos da camada superficial dos solos do Estado da Paraíba. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.23, n.2, p.51-65, 2023.

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D.; OLIVEIRA, F. P. DE; SILVA, V. F.; RODRIGUES, R. C. M. Índice de fertilidade natural da camada superficial dos solos do Estado da Paraíba modelado através de geotecnologias. *Revista GeoUECE*, v. 13, n. 24, e2024001, 2024. <https://doi.org/10.59040/GEOUECE.2317-028X.v13.n24.e202401>

FRANCISCO, P. R. M.; SILVA, V. F.; SANTOS, D.; RIBEIRO, G. DO N.; AYRES, G. D. J. Mapping of restrictive factors of land in the hydrographic basin of the middle section of the Paraíba River. *Revista Agrogeoambiental*, v. 14, e20221694, 2022. <https://doi.org/10.18406/2316-1817v14n120221694>

GIONGO, V.; CUNHA, T. J. F. Sistema de produção de melão: manejo do solo. Petrolina: Embrapa. 2022. Disponível em: http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/sistema_producao/spmelao/manejo_do_solo.html. Acesso em: 12 julho 2024.

GRASS-GIS. Geographic Resource Analysis Support System. 2024. Disponível em: <http://grass.osgeo.org>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malhas Territoriais. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 10 de abril de 2024.

JIANG, Y.; ZHANG, N. Applications of scattered interpolation with multilevel B-splines to magnetic anomaly data. *Near Surface Geophysics*, v.11, n.5, p.579-585, 2013. <https://doi.org/10.3997/1873-0604.2013016>

JOSÉ, J. V.; REZENDE, R.; MARQUES, P. A. A.; GONÇALVES, A. C. A.; SOUZA, R. S. Variabilidade espacial de variáveis físico-hídricas de dois Latossolos da região noroeste do estado do Paraná. *Irriga*, v.17, n.2, p.208-219, 2012. <https://doi.org/10.15809/irriga.2012v17n2p208>

KAYA, H.; HARDY, D. J.; SKEEL, R. D. Multilevel summation for periodic electrostatics using B-splines. *Journal Chemical Physics*, v.154, n.14, e4105, 2021. <https://doi.org/10.1063/5.0040925>

LAGACHERIE, P. Digital soil mapping: a state of the art. In: HERTMINK, A. E.; MCBRATNEY, A.; MENDONÇA-SANTOS, M. de L. Digital soil mapping with limited data. Ed. Springer, 2008. p.3-14. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8592-5_1

LEE, S.; WOLBERG, G.; SHIN, S. Scattered data interpolation with multilevel bsplines. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, v.3, n.3, p.228–244, 1997. <https://doi.org/10.1109/2945.620490>

LEITE, L. F. C.; FERREIRA, J. DA S.; VELOSO, M. E. DA C.; MOUSINHO, F. E. P.; ROCHA JUNIOR, A. F. Variabilidade espacial das frações da matéria orgânica do solo em área degradada sob recuperação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e*

Ambiental, v.19, n.4, p.394-401, 2015. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p394-401>

LILLIEFORS, H. W. On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. *Journal of the American Statistical Association*, v.62, n.318, p.399-402, 1967. <https://doi.org/10.1080/01621459.1967.10482916>

LIMA, F. V. DE; SILVINO, G. DA S.; MELO, R. S. DE S.; LIRA, E. C.; RIBEIRO, T. DE S. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em área de encosta sob processo de degradação. *Revista Caatinga*, v.28, n.4, p.53-63, 2015. <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n406rc>

LUCENA, R. L.; PACHECO, C. O Cariri paraibano: aspectos geomorfológicos, climáticos e de vegetação, In: *Encuentro de Geografos de America Latina*, 12, 2009, Montevideu. *Anais...Montevideu*, 2009.

LYCHE, T.; MANNI, C.; SPELEERS, H. Foundations of Spline Theory: B-Splines, Spline Approximation, and Hierarchical Refinement. In: LYCHE, T.; MANNI, C.; SPELEERS, H. (eds) *Splines and PDEs: From Approximation Theory to Numerical Linear Algebra*. *Mathematics*, v.2219. Springer, Cham, 2018. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94911-6_1

MALAVOLTA, E. *Manual de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Ceres, 638p. 2006.

MARCHETTI, A.; PICCINI, C.; R. FRANCAVIGLIA, R.; MABIT, L. Spatial Distribution of Soil Organic Matter Using Geostatistics: A key indicator to assess soil degradation status in central Italy. *Pedosphere*, v.22, p.230-242, 2012. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(12\)60010-1](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(12)60010-1)

MATHERON, G. The theory of regionalized variables and its applications. *Le Cahiers du Centre de Morphologie Mathematique de Fontainebleu*. Paris, 1971. 211p.

MENEZES, R. S. C.; GARRIDO, M. da S.; PEREZ, M. A. M. Fertilidade dos solos no semiárido. In: *Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, 30, 2005, Recife. *Palestras...Recife: UFPE/SBCS*, 2005.

MENEZES, R. S. C.; SALCEDO, I. H.; ELLIOTT, E. T. Microclimate and nutrient dynamics in a silvopastoral system of semiarid northeastern Brazil. *Agrofor. Syst.*, v.56, p.27-38, 2002. <https://doi.org/10.1023/A:1021172530939>

MOEBIUS-CLUNE, B. N.; ELSEVIERB, I. H.; CRAWFORDC, B. A.; TRAUMANNND, N. M.; SCHINDELBECKA, R. R.; ESA, H. M. VAN. Moving authentic soil research

into high school classrooms: Student engagement and learning. *Natural Sciences Education*, v.40, p.102-113, 2011. <https://doi.org/10.4195/jnrlse.2010.0019k>

MOON, S.; KO, K. A point projection approach for improving the accuracy of the multilevel B-spline approximation. *Journal of Computational Design and Engineering*, v.5, p.173-179, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jcde.2017.10.004>

NOËL, L.; SCHMIDT, M.; MESSE, C.; EVANS, J. A.; MAUTE, K. Adaptive level set topology optimization using hierarchical B-splines. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, v.62, p. 669–1699, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00158-020-02584-6>

OLIVEIRA, D. P. DE; FERREIRA, T. O.; ROMERO, R. E.; FARIAS, P. R. S.; COSTA, M. C. G. Microrrelevo e a distribuição de frações granulométricas em Cambissolos de origem calcária. *Revista Ciência Agronômica*, v.44, n.4, p.676-684, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902013000400003>

OSORIO, D. S. Á.; LEÓN, J. C. M.; CONTRERAS, A. C. Bathymetric digital models generated by interpolation methods IDW, Kriging, Shepard and B-Spline in the archipelago of Rosario islands. *Revista Geomática*, v.5, p.3-14, 2011.

PEARSON, K. Notes on regression and inheritance in the case of two parents. *Proceedings of the Royal Society of London*, v.58, p.240-242, 1895. <https://doi.org/10.1098/rspl.1895.0041>

POLIZELLI JÚNIOR, V. Métodos implícitos para reconstrução de superfícies a partir de nuvens de pontos. 132f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Computação e Matemática Computacional). Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2008.

PORTUGAL, A. F.; JUNCKSH, I.; SCHAEFER, C. E. R. G.; NEVES, J. C. L. Estabilidade de agregados em Argissolo sob diferentes usos, comparado com mata. *Revista Ceres*, v.57, n.4, p.545-553, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2010000400018>

PRADO, R. B.; BENITES, V. M.; MACHADO, P. L. O. A.; POLIDORO, J. C.; DART, R. O.; NAUMOV, A. Mapping potassium availability from limited soil profile data in Brazil. In: HARTEMINK, A. E.; MCBRATNEY, A.; MENDONÇA-SANTOS, M. de L. (Ed.). *Digital soil mapping with limited data*. Wageningen: Springer, 2008. p.91-101. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8592-5_8

QGIS. Development Team. QGIS Geographic Information System. 2024. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. 2024. Disponível em: <https://www.R-project.org>. Acesso em: 23 de fevereiro de 2024.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. 360p.

SABINO, S. M. L.; MACEDO, D. R. Relação entre dados pluviométricos primários e modelos geoestatísticos interpolados em escala global. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 19, 2019, Santos. Anais...Santos, 2019.

SANTOS, K. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; ALMEIDA, B. G. DE; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANDRADE, T. DA S.; FONTES JÚNIOR, R. V. DE P. Variabilidade espacial de atributos físicos em solos de vale aluvial no semiárido de Pernambuco. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.16, n.8, p.828–835, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000800003>

SANTOS, U. J.; SAMPAIO, S. B. E. V.; ANDRADE, E. M. Nitrogen stocks in soil classes under different land uses in the Brazilian semiarid region. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, v.21, n.1, p.1621-1630, 2021. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00466-4>

SARAIVA, S. A. M. Recuperação de área degradada com o cultivo da palma forrageira (*Opuntia stricta haw*) adubada com biossólido. 75f. Dissertação (Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. Natal, 2017.

SHAPIRO, A. S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). Biometrika, v.52, n.3/4, p.591-611, 1965. <https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591>

SILVA, D. R. DA. Qualidade do solo em diferentes condições de uso no semiárido paraibano. 55f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2013.

SILVA, D. R. DA; OLIVEIRA, F. P. DE; SILVA, P. L. F. DA; MARTINS, A. F. Qualidade do solo sob diferentes condições de uso no semiárido paraibano. Revista Valore, v.8, n.ed. esp., p.25-36, 2023. <https://doi.org/10.22408/reva802023114525-36>

SILVA, J. M. C. T. M.; FONSECA, M. T. Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação. Ministério do Meio Ambiente. Universidade Federal de Pernambuco. Brasília, 2004.

SILVA, N. F. DA; CUNHA, F. N.; OLIVEIRA, R. C. DE; CABRAL FILHO, F. R.; TEIXEIRA, M. B.; CARVALHO, J. J. Características físico-hídricas de um Latossolo sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.8, n.5, p.375-390, 2014. <https://doi.org/10.7127/rbai.v8n500245>

SOUZA, Z. M. DE; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; BARBIERI, D. M. Small relief shape variations influence spatial variability of soils chemical attributes. *Scientia Agricola*, v.63, n.2, p.161-168, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162006000200008>

TOMÉ JÚNIOR, J. B. Manual para interpretação de análise de solo. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247p.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVARES, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). *Tópicos em Ciência do Solo*. v.1. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. cap.6. p.1-54.

**ANÁLISE DO TEOR DE UMIDADE DO SOLO EM ÁREAS DEGRADA E EM
PROCESSO RECUPERAÇÃO**

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento do regime de umidade no solo reveste-se de importância no fornecimento de informações destinadas a resolver problemas, como manejo de irrigação, escolha da época de semeadura, determinação do consumo de água pelas plantas, estudo dos processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera e planejamento dos sistemas de drenagem (ARAÚJO et al., 2001). Para Ávila et al. (2011), o conhecimento de técnicas alternativas e rápidas de determinação de umidade podem auxiliar em decisões de algumas operações agrícolas, como no manejo de irrigação.

Conforme Melo e Montenegro (2015), o conteúdo de água no solo é influenciado por um conjunto de fatores, dentre os quais se destacam a heterogeneidade nas características do solo, tais como textura, conteúdo de matéria orgânica, estrutura e existência de macroporosidade, que afetam a transmissividade do fluido e as propriedades de retenção da água no solo; o declive, por afetar o escoamento superficial e a infiltração, e ainda o tipo e a densidade da cobertura vegetal, os quais interferem no volume de água, através de mecanismos de evapotranspiração, radiação solar e outros fatores meteorológicos (GÓMEZ-PLAZA et al., 2000; ILLSTON et al., 2004; MEDEIROS, 2004; MEDEIROS & CLARKE, 2007; QIU et al., 2001).

Robinson et al. (2008) afirmam que, a topografia e a posição do declive são dominantes durante os períodos úmidos, enquanto os aspectos da vegetação, da textura do solo e da sua estrutura vertical são mais importantes nos períodos secos. Joshi et al. (2011) destacam que, os principais aspectos topográficos que influenciam na variabilidade da umidade do solo são a elevação, a declividade e a curvatura da superfície. A umidade do solo possui alta variabilidade no espaço e no tempo, em face da influência de diversos processos estáticos e dinâmicos no solo, além da interferência das mudanças sazonais no regime de chuvas (ÁVILA et al., 2011).

A quantidade de água retida no solo após a precipitação é variável com a cobertura existente (VENKATESH et al., 2011; WANG et al., 2013; GASHAW et al., 2018), desenvolvimento da vegetação (HUANG et al., 2016; SUN et al., 2018), exposição solar (GEROY et al., 2011), práticas de manejo adotadas (CARVALHO et al., 2009; JUNIOR et al., 2014; GUADAGNIN et al., 2018) e tipo de solo (BEUTLER et al., 2002; O'GEEN, 2012).

O monitoramento regular da umidade do solo (Us) é fator primordial para o manejo racional da água de irrigação. Ao longo do tempo foram desenvolvidas diversas metodologias e equipamentos para a determinação da umidade do solo, que define o teor de água existente no solo. Entre eles, existe grande variação de precisão, de custo e praticidade.

A umidade do solo pode ser conceituada como teor de água no solo é um atributo de grande importância para a tomada de decisão de quando e quanto irrigar. O método mais preciso para determinação da umidade do solo é o gravimétrico utilizado como padrão para a calibração de outros métodos. Nesse método, o teor de água no solo é determinado de forma direta e seu valor expresso em porcentagem de umidade em massa (base seca), é o mais preciso e utilizado como padrão para a calibração de outros métodos (BERNARDO et al., 2006).

A umidade a base de peso é a mais fácil de ser medida, pois envolve apenas medidas de peso, e a estrutura do solo pode ser destruída. Por isso, qualquer instrumento pode ser utilizado para retirar a amostra de solo, que deve ter, no mínimo, uma massa entre 10 a 100g de solo (SCARAMUZZA et al., 2003). O estudo de métodos alternativos para determinação de umidade em diferentes classes de solos é válido para gerar conhecimentos básicos sobre as técnicas de determinação do teor de água no solo. Diversos são os métodos de determinação da umidade do solo (FREITAS et al., 2012).

Pesquisas diversas foram elaboradas quanto a umidade do solo, por diversas técnicas e em diversos tipos de solos, como por Melo e Montenegro (2015) em Neossolos de região semiárida Pernambucana, Aleman e Mendes (2015) em Argissolos em São Paulo, Barbosa et al. (2019) em Minas Gerais em Latossolos, pelo método da frigideira por Taveira et al. (2011) em Latossolos em Goiás, pelo método do micro-ondas por Miranda et al. (2012); por Quintino et al. (2015) no Cerrado em Mato Grosso em diversos solos, por Tavares et al. (2008) em diversos solos do Paraná, pelo o método da estufa por

Ribeiro et al. (2017) em Latossolos de Minas Gerais, e pelo método do forno elétrico por Matos et al. (2017).

Em diversas áreas de pesquisa é comum a realização de experimentos em que são tomadas medidas repetidas de uma ou mais variáveis respostas em ocasiões sucessivas na mesma unidade experimental, ao longo de um certo intervalo de tempo, por exemplo, o que caracterizam os experimentos longitudinais (MAESTRE, 2014).

Considerando que essas medidas repetidas sejam feitas de modo sistemático em cada unidade experimental, ou seja, sem qualquer casualização, admite-se que as observações feitas nos distintos níveis do fator longitudinal sejam correlacionadas e as variâncias nos diferentes níveis sejam heterogêneas. A correlação entre medidas repetidas e a heterogeneidade de variâncias podem ser incluídas no modelo de análise com a especificação de modelos mistos (lineares ou não lineares) (PINHEIRO & BATES, 2000; WEST et al., 2007).

Para que esses modelos sejam ajustados a um conjunto de dados envolvendo presença de dois fatores longitudinais, existe a necessidade de se adaptarem algumas estruturas de variâncias e covariâncias que são comuns em experimentos com somente um fator longitudinal (MAESTRE, 2014). No método da máxima verossimilhança restrita (PATTERSON & THOMPSON, 1971), os estimadores obtidos com dados balanceados são idênticos aos estimadores ANOVA que são não-viesados e de variância mínima. Searle (1987) e Searle et al. (1992) ressaltam que, sob normalidade, os estimadores de máxima verossimilhança restrita além de idênticos aos estimadores ANOVA, podem ser obtidos de forma analítica.

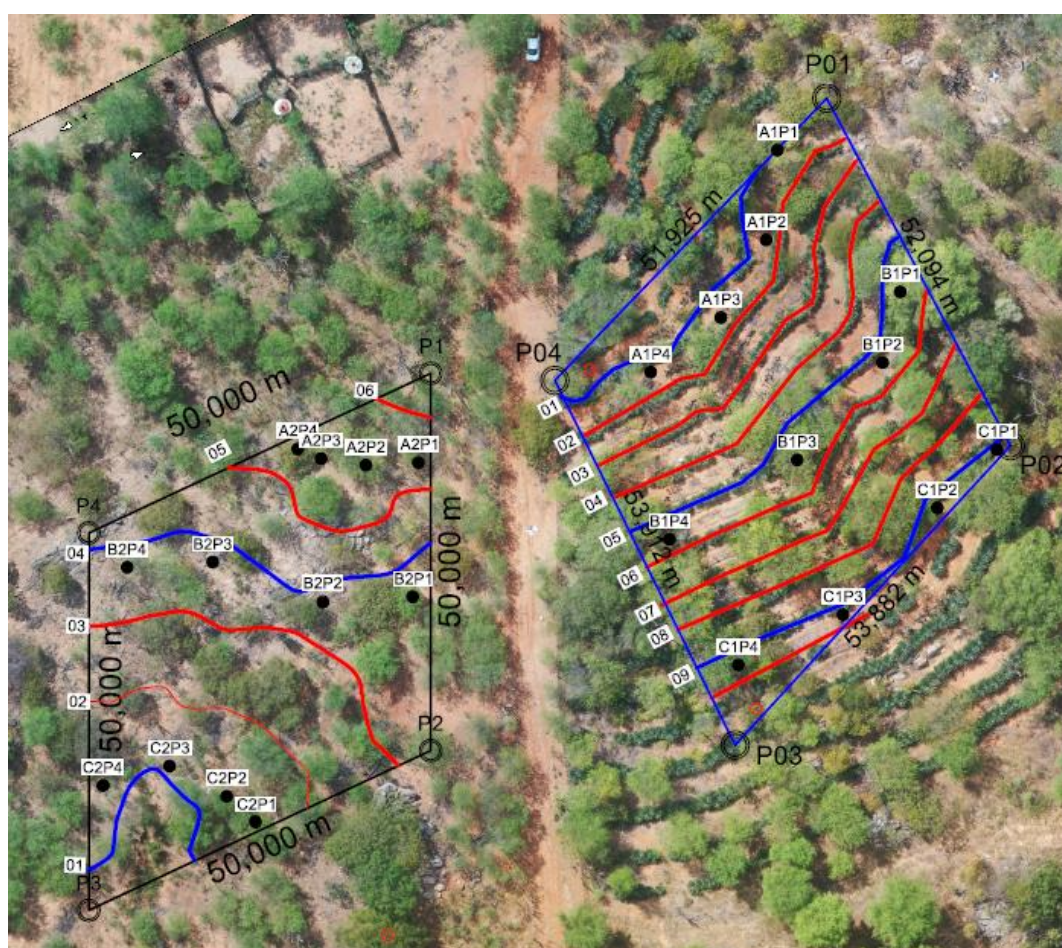
Diversos trabalhos desenvolvidos, quanto a umidade do solo, utilizaram o software R[®] (R Development Core Team, 2024) com excelentes resultados, como por Faraco et al. (2008), Ávila et al. (2010), Silva e Manzione (2018), Souza e Pereira (2018), Silva et al. (2021), Adão et al. (2022).

Portanto, o objetivo deste trabalho é estimar e avaliar estatisticamente a umidade do perfil do solo de área em manejo e degradada de região semiárida determinado pelos métodos da estufa e forno elétrico.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Na elaboração deste trabalho foram coletadas em duplicata 3 amostras de solo da Área 01 em 3 profundidades (0,0 - 0,10; 0,11 - 0,20; 0,21 - 0,30 m), em 12 parcelas totalizando 108 amostras. As coletas, foram realizadas em 4 repetições, sendo em 14 de agosto de 2022; 02 de abril de 2023; 03 de maio de 2023 e 25 de novembro de 2023. Na Área TA01 seguiu a mesma metodologia de coleta em que foi dividida em 3 faixas com cotas topográficas (1-alta, 2-mediana e 3-baixa) (Figura 53).

Figura 53. Pontos de coleta nas Áreas TA01 (esquerda) e 01 (direita).



Fonte: autor (2024).

Para obter-se a umidade do solo através do método da estufa, as amostras foram acondicionadas em recipientes e encaminhados para análise no Laboratório de Irrigação e Salinidade da UFCG, campus Campina Grande.

A determinação da umidade do solo (U) foi realizada pelo método termogravimétrico (Equação 9), conforme EMBRAPA (1997), que consiste em pesar a massa de solo úmido (Mu) e, em seguida, secá-lo em estufa a 105-110°C por 24 horas e, logo após, determinar sua massa seca (Ms).

$$U (\%) = (Mu - Ms) / Ms \times 100 \text{ (Eq.9)}$$

Em que: U = umidade do solo, em %; Mu = Massa do solo úmido, em g; Ms = Massa do solo seco em estufa, em g.

Com o objetivo de comparação com o método do forno elétrico (MATOS et al., 2017) as amostras foram condicionadas em recipientes metálicos com média de 55g e pesados com balança de alta precisão Diamond® MH26752000G e levados ao forno elétrico Walita® Microchef Luxo (Figura 54), por um período de 35 minutos sob temperatura média de 105°C e uma repetição do processo com período de 175 minutos.

Figura 54. Pesagem e secagem das amostras de solos pelo método do forno elétrico.



Fonte: autor (2024).

A análise de desempenho dos métodos foi realizada através da comparação dos valores de umidade do solo obtidos pelo método padrão da estufa, com aqueles determinados pelo método do forno elétrico. Os dados obtidos foram comparados por meio da equação de regressão linear, coeficiente de determinação (R²) (MATOS et al., 2017). Schneider (1998) afirma que, os coeficientes de correlação permitem quantificar o grau de associação entre duas variáveis envolvidas no estudo.

A classificação de desempenho dos métodos foi realizada através do índice de confiança proposto por Camargo e Sentelhas (1997), em que o desempenho > 0,85 é

considerado Ótimo; 0,76 a 0,85 Muito bom; 0,66 a 0,75 Bom; 0,61 a 0,65 Mediano; 0,51 a 0,60 Sofrível; 0,41 a 0,50 Mau; e 0,40 Péssimo.

Os dados obtidos foram analisados utilizando software R[®] 4.2.3 através do modelo longitudinal de efeitos mistos (LME), considerando a estrutura hierárquica dos dados. Para ajustar os modelos, foi empregado o pacote lmerTest (KUZNETSOVA et al., 2017) e nlme (PINHEIRO et al., 2018). As variáveis dependentes, representadas pelas umidades nas profundidades de 10, 20 e 30 cm, foram modeladas em função das áreas experimentais (Área), leituras temporais (Leitura) e linhas topográficas (Linha), além de suas interações (Área × Leitura × Linha). O modelo também incluiu um efeito aleatório para o identificador de leituras temporais, permitindo controlar a autocorrelação entre as observações ao longo do tempo.

Para lidar com a correlação temporal, foi empregada uma estrutura de correlação autorregressiva de primeira ordem (AR1), ajustando o modelo pelo método de máxima verossimilhança restrita (REML). A significância dos fatores e suas interações foi avaliada por meio de análise de variância (ANOVA). Sempre que um efeito significativo foi identificado ($P < 0,05$), as médias das áreas, leituras e linhas foram comparadas utilizando o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 55 e 56 observa-se a pluviosidade anual ocorrida nas datas de coleta das amostras de solo no município de Camalaú em 2022 e 2023, respectivamente. Observa-se que a distribuição da precipitação é semelhante aos dados históricos.

Figura 55. Pluviosidade anual de 2022 do município de Camalaú. Fonte: AESA (2024).

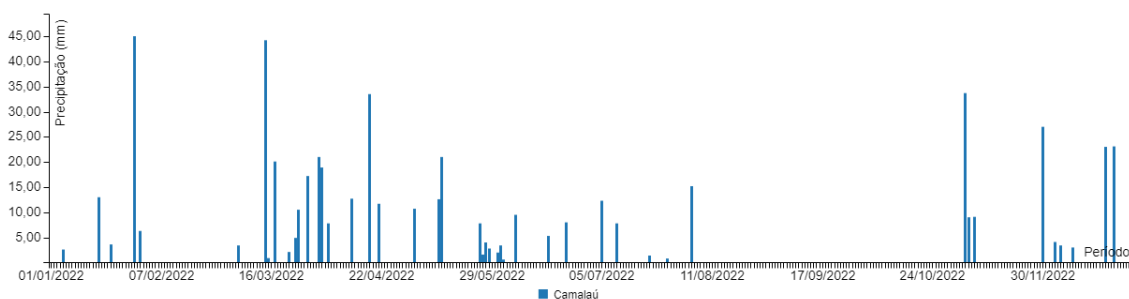
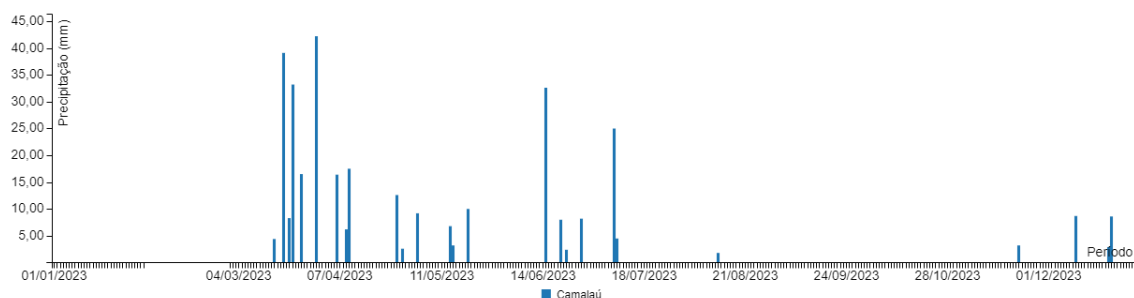


Figura 56. Pluviosidade anual de 2023 do município de Camalaú. Fonte: AESA (2024).



Observa-se que a data de coleta das amostras de solo ocorrida em 12 de agosto de 2022 (14,1mm) foi realizada após o período chuvoso da região. Já as coletas em 2 de abril (54,8mm) e 3 de maio de 2023 (28,8mm) ocorreu na época chuvosa da região e a coleta de 25 de novembro de 2023 (3,1mm) em período seco. Observa-se que a efetividade do conteúdo de água no solo está condicionada à proximidade entre a ocorrência das chuvas e ao período de coleta das amostras.

Albuquerque e Durães (2008) verificaram que, o teor de água no solo está sujeito a uma variabilidade temporal no perfil do solo como resultado do dinamismo do sistema solo-água-plantas.

Na Tabela 10 pode-se observar os dados de amostras aleatórias em porcentagem de peso obtidas na metodologia do forno elétrico e da estufa.

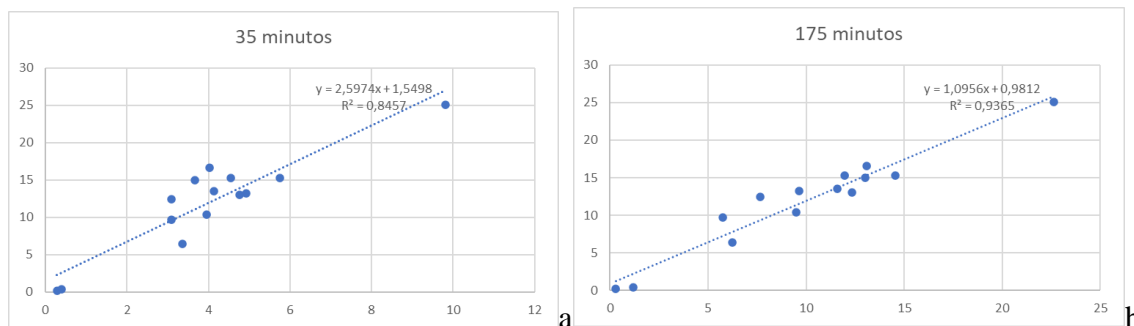
Tabela 10. Amostras aleatórias em peso (%) obtidas em forno elétrico e estufa

Forno Elétrico (% peso)	Estufa (% peso)
0,282	0,203
0,388	0,390
4,017	16,597
3,095	9,722
3,661	15,022
3,083	12,417
4,545	15,254
5,757	15,281
3,354	6,445
3,947	10,392
4,762	13,017
4,134	13,490
4,918	13,220
9,808	25,056

Fonte: autor (2024).

A partir dos resultados obtidos pelos métodos de estufa e do forno elétrico, obteve-se um ajuste do modelo linear com coeficiente de determinação de $R^2=0,84$ (Figura 57a) para a temperatura de 35 minutos, e para 175 minutos $R^2=0,93$ (Figura 57b). Observa-se, portanto, que o método do forno elétrico se apresenta eficiente e passível de aplicabilidade em outras áreas e tipos de solos.

Figura 57. (a) Coeficiente de determinação da secagem de 35 minutos, (b) secagem de 175 minutos.



Fonte: autor (2024).

Nunes et al. (2015) afirmam que o forno elétrico é um método que se correlaciona muito bem com o método padrão da estufa, evidenciando um excelente ajuste no coeficiente de correlação, resultado este semelhante ao observado no presente.

Souza et al. (2013), obtiveram correlações superiores a 90%, no entanto estes determinaram a umidade dos diferentes solos estudados em condições de laboratório.

Ribeiro et al. (2017) no método Speedy obtiveram $R^2 = 0,8843$, similares aos estudos de Bragança et al. (2010), Feitosa et al. (2012) e Garzella (2011). Ghiberto e Moraes (2011), afirmam que diferentes métodos de determinação podem produzir resultados distintos, dependendo dos pressupostos assumidos.

O método do forno elétrico apresenta-se eficiente na determinação do teor de umidade do solo, sendo classificado como desempenho muito bom (0,84) para o tempo de 35 minutos e ótimo (0,93) para o tempo de 175 minutos, nas diferentes profundidades analisadas. Resultado similar com o trabalho de Matos et al. (2017), em solos de região semiárida, que conforme os autores, indica que o método do forno elétrico é confiável para obtenção do teor de umidade do solo quando não se dispõe de uma estufa de secagem. De acordo com Buske et al. (2014), este é um método alternativo na determinação do teor de umidade dos solos, em substituição ao método padrão da estufa que é mais oneroso, demorado e não permite automação dos resultados. Ainda pode

aperfeiçoar as atividades no campo e favorecer o manejo adequado da irrigação dos cultivos, além de contribuir para a economia e rendimento das culturas (VINHOLIS et al., 2008).

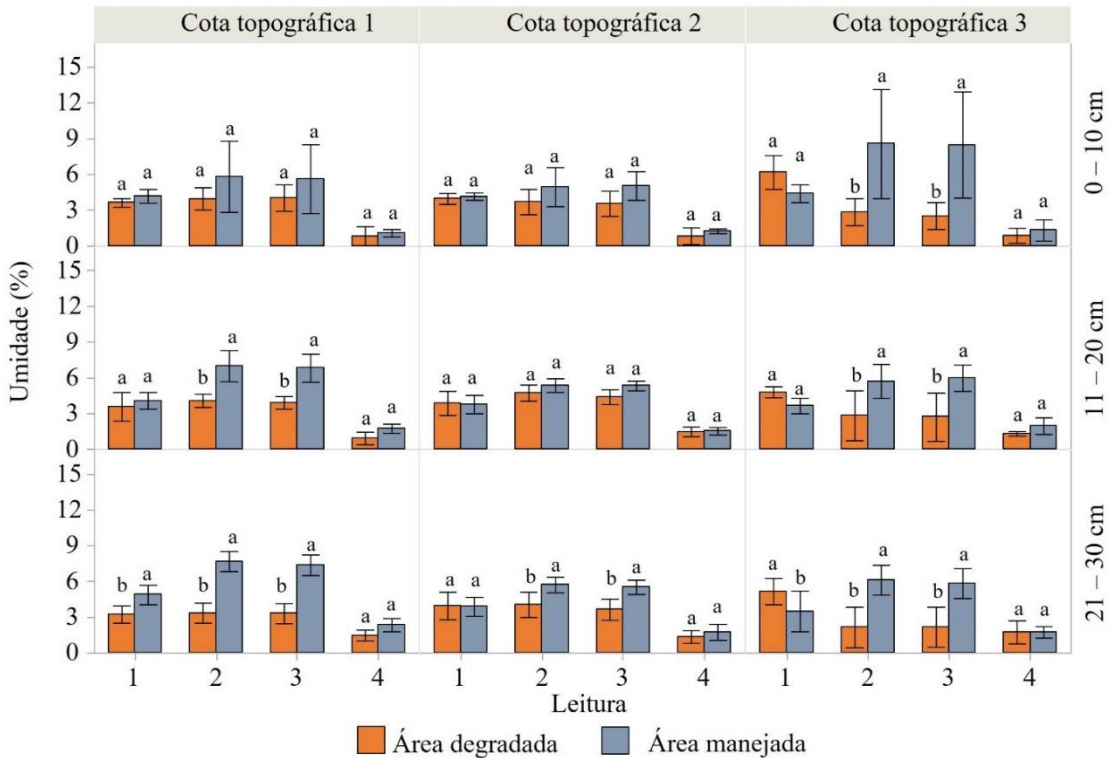
Observa-se que, os valores de umidade do solo, de modo geral, não apresentam diferença significativa, entre o método da estufa e do forno. Assim, pode-se inferir que na determinação da umidade os dois métodos utilizados são eficientes. Portanto, a escolha do método dependerá da acessibilidade e praticidade. Resultado similar ao obtido por Matos et al. (2017). De acordo com Quintino et al. (2015), as considerações acima devem ser ponderadas. Se o propósito desta determinação for a obtenção de valores absolutos de conteúdo de água do solo, deve-se optar pela metodologia da estufa, por ser um método consagrado. Mas se o propósito for voltado às variações do conteúdo de água ou a avaliação para uma tomada de decisão rápida, os valores das outras metodologias são válidos.

Nos resultados da umidade do solo obtidos quanto a profundidade de 0-10 cm, observa-se diferença significativa na umidade do solo entre a área degradada e a área manejada apenas nas leituras das coletas 2 e 3, da cota topográfica 3 (Figura 58). Nestas avaliações, a área degradada apresenta níveis de umidade menores quando comparada à área manejada. Esse resultado indica que, as práticas de manejo começam a ter um impacto positivo na retenção de umidade nas camadas superficiais do solo após algum tempo de implementação, sendo mais perceptível a partir da segunda avaliação e em cotas topográficas mais baixas.

Sabe-se que, a cobertura do solo afeta sobremaneira a capacidade de infiltração de água, interferindo na disponibilidade de água para as plantas (VENKATESH et al., 2011; ZHANG et al., 2016; GUADAGNIN et al., 2018). De igual maneira, a densidade de plantas (NETO et al., 2017) e as práticas de manejo (SILVA et al., 2011) interferem na dinâmica da distribuição da água no perfil do solo.

Para a profundidade de 11-20 cm, as diferenças significativas na umidade entre as áreas são observadas nas cotas topográficas 1 e 3. A cota 1, representando as áreas mais altas, e a cota 3, correspondente às áreas mais baixas, onde demonstram que, o manejo do solo contribui para uma melhor retenção de umidade, tanto em áreas propensas ao escoamento superficial, quanto em áreas de maior facilidade para acumulação de água.

Figura 58. Umidade do solo (%) em diferentes profundidades e cotas topográficas nas áreas degradada e manejada ao longo de quatro avaliações mensais. Nota: Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa ($p < 0,05$) entre a área degradada e a área manejada dentro de cada cota topográfica e avaliação.



Fonte: autor (2024).

De acordo com Jardim e Bursztyń (2015) e Richards et al. (2015), a variação de umidade do solo pode ser atenuada com coberturas vegetais mais manejadas. Pan et al. (2008), estudando a variabilidade espacial do conteúdo de água da superfície do solo em uma região árida da China, verificaram que a vegetação influenciou significativamente na variabilidade da umidade do solo, pelo padrão de precipitação imposto pelo dossel, devido à interceptação vegetal. James et al. (2003), também avaliando a variabilidade da umidade em áreas sob diferentes condições de cobertura vegetal, enfatizam que o efeito dos diferentes tipos de vegetação sob a variabilidade do teor de água no solo, são mais expressivos quando a disponibilidade das chuvas é mais escassa.

Na profundidade de 21-30 cm, observa-se que todas as cotas topográficas apresentam diferenças significativas na umidade do solo, com a área manejada apresentando consistentemente maior retenção de água em comparação com a área degradada. Este resultado evidencia que, as práticas de manejo são eficazes em melhorar

a capacidade de retenção de água nas camadas mais profundas do solo, o que é crucial para a sustentabilidade agrícola, especialmente em regiões semiáridas.

Na área manejada, a maior retenção de água pode estar relacionada ao maior incremento de matéria orgânica no solo. O incremento de matéria orgânica no solo contribui para a retenção de água, e, associado a menor intensidade de revolvimento, melhora substancialmente a estrutura do solo, o que favorece o desenvolvimento radicular e assim aumenta o tamanho do reservatório de água disponível (ARAÚJO et al., 2004; FRANCHINI et al., 2009). A matéria orgânica permite maior agregação e coesão entre as partículas, tornando o solo mais poroso e com maior retenção de água, beneficiando a infiltração (SANTOS & PEREIRA, 2013). A matéria orgânica está associada à formação de agregados, que por sua vez, têm papel importante na distribuição e no tamanho dos poros, que influenciam na retenção de água no solo (SILVA & KAY, 1997).

Observa-se também que, a área está sob os Neossolos flúvicos com horizonte A assente sobre horizonte C constituído de camadas estratificadas, podem apresentar horizonte glei, mas em posição não diagnóstica para Gleissolos (BRASIL, 1972), que neste caso pode ter influenciado na baixa drenagem promovendo maior umidade destes.

Os resultados obtidos indicam que, as práticas de manejo aplicadas na área em recuperação, como o cultivo da palma, têm efeito positivo significativo na retenção de umidade do solo, especialmente nas camadas mais profundas e em todas as cotas topográficas. As diferenças observadas nas profundidades de 0-10 cm e 11-20 cm, embora variáveis, sugerem que, os benefícios do manejo também se estendem às camadas superficiais e intermediárias do solo, embora de forma menos consistente.

Souza et al. (2019) afirmam que, a maior parte das raízes da palma, se concentram nos primeiros 25 cm de profundidade, sendo uma das grandes estratégias de sobrevivência e produção desta planta em sistema de sequeiro na região semiárida, o que facilita a absorção de água, mesmo quando as chuvas são em pequena quantidade.

A retenção de umidade nas camadas mais profundas, observada em todas as cotas topográficas, destaca a importância do manejo sustentável do solo, pois garante a disponibilidade de água para as plantas durante períodos de seca prolongada. Esses resultados são particularmente relevantes para a região semiárida, onde a manutenção da umidade do solo é essencial para a viabilidade das culturas e a mitigação dos impactos da degradação ambiental.

4. CONCLUSÃO

Os métodos de estufa e do forno elétrico, obtiveram $R^2=0,84$ classificado com desempenho muito bom, e $R^2 = 0,93$ com desempenho ótimo, para as temperaturas de 35 e 175 minutos, respectivamente,

O método do forno elétrico se apresentou eficiente em Luvisolos e Neossolos Flúvicos em área de manejo ou degradada, nas diferentes profundidades, em diferentes pluviosidades sendo uma alternativa viável de baixo custo e menor tempo de obtenção dos resultados.

A área degradada apresentou menores níveis de umidade na profundidade de 0-10 cm em comparação com a manejada.

As cotas de menor altitude ocorreram maior retenção de água do solo em todas profundidades.

As práticas de manejo contribuíram para maior umidade nas diversas cotas.

Os cordões de contorno, os sulcos barrados e os cultivos de palma e de agave promoveram maior retenção de água dos solos na área manejada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADÃO, A. DA S.; FERNANDES, H. C.; SANTOS, N. T.; MARTINS, F. C. M.; PEREIRA, P. S.; SOUZA, L. M. R. DE; OLIVEIRA, Z. R. C. R. DE. Análise da correlação dos atributos físicos do solo com os componentes de rendimento de grãos de milho em diferentes sistemas de cultivo. *Research, Society and Development*, v.11, n.2, e48611226059, 2022.

ALBUQUERQUE, P. E. P.; DURÃES, F. O. M. Uso e manejo de irrigação. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 528p.

ALEMAN, C. C.; MENDES, T. Variabilidade espacial da umidade do solo em diferentes áreas agrícolas. In: *INOVAGRI International Meeting*, 3, 2015, Fortaleza. Anais...Fortaleza, 2015.

ARAÚJO, E. C. B.; AGUIAR, J. V.; COSTA, R. N. T. Calibração de um modelo de umidade para um solo aluvial sem cobertura vegetal. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental*, v.5, p.444-449, 2001.

ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.337-345, 2004.

ARAÚJO-JÚNIOR, C. F.; DIAS JÚNIOR, M. DE S.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALCÂNTARA, E. N. Capacidade de suporte de carga e umidade crítica de um Latossolo induzida por diferentes manejos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.115-131, 2011.

ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R. DE; SILVA, A. M. DA. Continuidade e distribuição espacial da umidade do solo em bacia hidrográfica da Serra da Mantiqueira. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.12, p.1257–1266, 2010.

ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R.; MELLO, J. M.; SILVA, A. M. Padrão espaço-temporal da umidade volumétrica do solo em uma bacia hidrográfica com predominância de Latossolos. *Revista Brasileira de Ciência Solo*, v.35, p.1801-1810, 2011.

ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R.; MELLO, J. M.; SILVA, A. M. Padrão espaço-temporal da umidade volumétrica do solo em uma bacia hidrográfica com predominância de Latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, n.5, p.1801-1810, 2011.

BARBOSA, R. A.; FARIA, R. S. DE; SILVEIRA, L. J. DA; DIAS, H. C. T.; PIMENTA, L. V. A.; SOUZA, C. M. DE; FERREIRA, A. C. S. Variação temporal da umidade do solo sob diferentes coberturas vegetais. *Revista IFES Ciência*, v.5, n.2, p.11-23, 2019.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. *Manual de Irrigação*. 8. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2006. 625p.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M.; ANDRIOLI, I.; ROQUE, C. G. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, p.829-834, 2002.

BRAGA, M. B.; GUEDES, I. M. R.; SILVA, J. DA; LIMA, C. E. P. Determinação simplificada da umidade do solo visando o manejo de irrigação em hortaliças. Embrapa Hortaliças. Brasília, 2018. 25p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 155).

BRAGANÇA, R.; BRUM, V. J.; SILVA, J. M.; ZINI JÚNIOR, A.; BREGONCI, I. S.; REIS, E. F.; PASSOS, R. R. Avaliação da umidade de um Latossolo da região sul do Estado do Espírito Santo por diferentes métodos de determinação. In: Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, 9 e Encontro Latino Americano de Pós-Graduação, 5, 2010, São José dos Campos. Anais...São José dos Campos, 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Levantamento Exploratório e de Reconhecimento dos Solos do Estado da Paraíba. Rio de Janeiro. (Boletins DPFS-EPE-MA, 15 - Pedologia 8). Convênio MA/CONTA/USAID/BRASIL, 1972.

BUSKE, T. C.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; TORRES, R. R.; ROSSO, R. B.; BRAGA, F. V. A. Determinação da umidade do solo por diferentes fontes de aquecimento. Irriga, v.19, n.2, p.315-324, 2014.

CAMARGO, A. P. DE; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

CAMPOS, M. C. C.; QUEIROZ, S. B. Reclassificação dos perfis descritos no Levantamento Exploratório - Reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. Revista de Biologia e Ciências da Terra, v.6, n.1, 2006.

CAPUTO, H. P.; CAPUTO, A. N. Mecânica dos solos e suas aplicações. 7. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas. Meteorologia. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/?formdate=2024-09-11&produto=municipio&periodo=anual>. Acesso em: 11 de setembro de 2024.

CARVALHO, D. F.; CRUZ, E. S.; PINTO, M. F.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M. Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.13, n.1, p.3-9, 2009.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análises de solo. Centro Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 1997. 212p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Santos et al. 5ª. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 359p.

ESRI. Mapa Topográfico Mundial. Disponível em: <http://www.arcgis.com/home/item.html?id=30e5fe3149c34df1ba922e6f5bbf808f>. Acesso em: julho de 2024.

FARACO, M. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; SILVA, E. A. A. DA; JOHANN, J. A.; BORSSOI, J. A. Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.463-476, 2008.

FEITOSA, J. R. L.; BANDEIRA, A. P. N.; CAVALCANTE, O. R. O. Importância da calibração dos equipamentos de leitura utilizados no laboratório de mecânica dos solos. In: Encontro Universitário da UFC no Cariri, 4, 2012, Juazeiro do Norte. Anais...Juazeiro do Norte, 2012.

FRANCHINI, I. C.; DEBIASI, H.; SACOMAN, A.; NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B. Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca. Documentos, Embrapa Soja, Londrina, 2009.

FRANCISCO, P. R. M. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. 122f. Dissertação (Mestrado). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2010.

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D.; OLIVEIRA, F. P. DE; RIBEIRO, G. DO N.; SILVA, V. F.; SILVINO, G. DA S. Atualização do mapa de solos do Estado da Paraíba utilizando geotecnologias. *Scientific Journal of Environmental Sciences and Biotechnology*, v.9, n.2, p.20-28, 2023.

FREITAS, W. A.; CARVALHO, J. A.; BRAGA, R. A.; ANDRADE, M. J. B. Manejo da irrigação utilizando sensor da umidade do solo alternativo. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental*, v.16, n.3, p.268-274, 2012.

GARZELLA, T. C. Automação da leitura do medidor Speedy e utilização em programa de manejo de irrigação. 100f. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2011.

GASHAW, T.; TULU, T.; ARGAW, M.; WORQLUL, A. W.; TOLESSA, T. Estimating the impacts of land use/land cover changes on Ecosystem Service Values: The case of the Andassa watershed in the Upper Blue Nile basin of Ethiopia. *Ecosystem Services*, v.31, p.219-228, 2018.

GEROY, I. J.; GRIBB, M. M.; MARSHALL, H. P.; CHANDLER, D. G.; BENNER, S. G.; MCNAMARA, J. P. Aspect influences on soil water retention and storage. *Hydrological Processes*, v.25, n.25, p.3836-3842, 2011.

GHIRBERTO, P. J.; MORAES, S. O. Comparação de métodos de determinação da condutividade hidráulica em um Latossolo vermelho-amarelo. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v.35, p.1177-1188, 2011.

GÓMEZ-PLAZA, A.; ALVAREZ-ROGEL, J.; ALBALADEJO, J.; CASTILLO, V. M. Spatial patterns and temporal stability of soil moisture across a range of scales in semi-arid environment. *Hydrological Processes*, v.14, n.7, p.1261-1277, 2000.

GUADAGNIN, C. A.; SCHÖFFEL, E. R.; CASALINHO, H. D.; BACIC, I. L. Z.; VEIGA, M. Hydro-physical properties of three soils conducted under no-tillage, minimum cultivation and perennial pasture. *Revista Scientia Agraria*, v.19, n.1, p.124-131, 2018.

HUANG, X.; SHI, Z.; FANG, N.; LI, X. Influences of land use change on baseflow on mountainous watersheds. *Forests*, v.7, 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malhas Territoriais. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 10 de abril de 2024.

ILLSTON, B. G.; BASARA, J. B.; CRAWFORD, K. C. Seasonal to interannual variations of soil moisture measured in Oklahoma. *International Journal of Climatology*, v.24, n.15, p.1883-1896, 2004.

JAMES, S. E.; PÄRTEL, M.; WILSON, S. D.; PELTZER, D. A. Temporal heterogeneity of soil in grassland and forest. *Journal of Ecology*, v.91, n.2, p.234-239, 2003.

JARDIM, M. H.; BURSZTYN, M. A. Payment for environment services in water resources management: the case of Extrema (MG), Brazil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.20, n.3, p.353-360, 2015.

JOSHI, C.; MOHANTY, B. P.; JACOBS, J. M.; INES, A. V. M. Spatio temporal analyses of soil moisture from point to footprint scale in two different hydroclimatic regions. *Water Resources Research*, v.47, n.1, p.1-20, 2011.

JUNIOR, G. F. S.; CORÁ, J. E.; LAL, R. The effects of land use and soil management on the physical properties of an Oxisol in Southeast Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.38, n.4, p.1245-1255, 2014.

KLEIN, V. A. Física do Solo. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2008. 212p.

KUZNETSOVA, A.; BROCKHOFF, PER B.; CHRISTENSEN, R. H. B. lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models. *Journal of Statistical Software*, v.82, n.13, p.1-26, 2017.

MAESTRE, M. R. Análise de modelos lineares mistos com um fator longitudinal quantitativo e um qualitativo ordinal. 85f. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agrônômica). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2014.

- MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças. 2. ed. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2011. 20p. (Circular Técnica 11).
- MATOS, R. M. DE; DANTAS NETO, J.; LIMA, A. S. DE; SILVA, P. F. DA; BORGES, V. E.; GALVÃO SOBRINHO, T. Teor de umidade por diferentes métodos em Neossolo do semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.11, n.4, p.1588-1597, 2017.
- MEDEIROS, J. D. F. Variabilidade espacial do conteúdo de água no solo na bacia do Arroio Donato – RS. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.
- MEDEIROS, J. D.; CLARKE, J. A. G. Variabilidade espacial do conteúdo de água no solo numa pequena bacia rural: Análise geoestatística. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.12, n.1, p.43-52, 2007.
- MELO, R. O. DE; MONTENEGRO, A. A. DE A. Dinâmica temporal da umidade do solo em uma bacia hidrográfica no semiárido Pernambucano. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.20, n.2, p.430-441, 2015.
- MIRANDA, E. P.; MARTINS, G. S.; CARMO, F. F.; LIMA, L. D. P.; SILVA, F. M. Uso do forno de microondas na determinação da umidade de um solo francosiltoso. In: *Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação*, 4, 2012, Fortaleza. Anais...Fortaleza, 2012.
- NETO, J. O. M.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; MELLO, J. M. Temporal stability of moisture under effect on three spacing in a eucalyptus stand. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.39, n.3, 2017.
- NUNES, M. S.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; BRAGA, F. V. A.; BRAGAGNOLO, J. Comparação de lâminas brutas obtidas por métodos via solo e demanda evaporativa para manejo da irrigação. *Tecnologia & Ciências Agropecuária*, v.9, n.1, p.39-43, 2015.
- O'GREEN, A. T. Soil Water Dynamics. What are the relationships between soil moisture storage, soil water flow, and soil properties? *Nature Education Knowledge*, v.3, p.6-12, 2012.
- PAN, Y. X.; WANG, X. P.; JIA, R. L.; CHEN, Y. W.; HE, M. Z. Spatial variability of surface soil moisture content in a revegetated desert area in Shapotou, Northern China. *Journal of Arid Environments*, v.72, n.9, p.1975-1683, 2008.
- PATTERSON, H. D.; THOMPSON, R. Recovery of inter-block information when block sizes are unequal. *Biometrika*, v.58, n.3, p.545-554, 1971.

PINHEIRO, J. C.; BATES, D. M.; DEBROY, S.; SARKAR, D. R. *CoreTeam nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R Package Version 3.1-137*. 2018.

PINHEIRO, J. C.; BATES, D. M. *Mixed-effects models in S and S-PLUS*. New York: Springer-Verlag, 2000. 528p.

QIU, Y.; FU, B. J.; WANG, J.; CHEN, L. D. Soil moisture variation in relation to topography and land use in a hillslope catchment of the Loess Plateau, China. *Journal of Hydrology*, v.240, n.3-4, p.243-263, 2001.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2024. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 12 de setembro de 2024.

RIBEIRO, K. M.; CASTRO, M. H. DE C.; ABREU, L. H. P.; LIMA, P. L. T.; RIBEIRO, K. D. Análise comparativa entre o método da estufa e o método do Speedy para a determinação da umidade do solo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 46, 2017, Maceió. Anais...Maceió, 2017.

RICHARDS, R. C.; REROLLE, J.; ARONSON, J.; PEREIRA, P. H.; GONÇALVES, H.; BRANCALION, P. H. S. Governing a pioneer program on payment for watershed services: Stakeholder involvement, legal frameworks and early lesson from the Atlantic Forest of Brazil. *Ecosystem Services*, v.16, p.23-32, 2015.

ROBINSON, D. A.; CAMPBELL, C. S.; HOPMANS, J. W.; HORNBUCKLE, B. K.; JONES, S. B.; KNIGHT, R.; OGDEN, F.; SELKER, J.; WENDROTH, O. Soil moisture measurement for ecological and hydrological watershed-scale observatories: a review. *Vadose Zone Journal*, v.7, p.358-389, 2008.

SANTOS, J. N.; PEREIRA, E. D. Carta de susceptibilidade a infiltração da água no solo na sub-bacia do rio Maracanã-MA. *Cadernos de Pesquisa*, v.20, n.esp., 2013.

SCARAMUZZA, J. F.; COUTO, G. E.; MARASCHIN, L. *Física do solo: manual de aulas práticas*. Cuiabá-MT, 2003. 59p.

SCHNEIDER, P. R. *Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal*. Santa Maria: UFSM/CEPEF, 1998. 236p.

SEARLE, S. R. *Linear models for unbalanced data*. New York: John Wiley, 1987. 536p.

SEARLE, S. R.; CASELLA, G.; MCCULLOCH, C. E. *Variance components*. New York: John Wiley, 1992. 501p.

SILVA, A. P.; KAY, B. D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. *Soil Science Society Journal*, v.61, p.877-883, 1997.

SILVA, C. DE O. F.; MANZIONE, R. L. Modelagem da umidade do solo por meio da temperatura superficial e NDVI em bacias hidrográficas. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 20, 2018, Campinas. Anais...Campinas, 2018.

SILVA, M. A.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; AVANZI, J. C.; LEITE, F. P. Sistemas de manejo em plantios florestais de eucalipto e perdas de solo e água na região do Vale do Rio Doce, MG. *Ciência Florestal*, v.21, n.4, p.765-776, 2011.

SILVA, P. L. F. DA; OLIVEIRA, F. P. DE; MARTINS, A. F.; PEREIRA, W. E. Umidades ótima e limitante para o preparo de solos dos tabuleiros costeiros do Rio Grande do Norte. *Revista Científica Rural*, v.23, n.2, p.1-15, 2021.

SOUSA, R. F. DE; BARBOSA, M. P.; SOUSA JÚNIOR, S. P. DE; TERCEIRO NETO, C. P. C; MORAIS NETO, J. M. Estudo da degradação de terras do município de Boa Vista - Paraíba. *Revista Engenharia Ambiental*, v.4, n.2, p.05-13, 2007.

SOUZA, J. M. DE; PEREIRA, L. R. Capacidade de água disponível no solo em diferentes usos e amostras de solo. *Water Resources and Irrigation Management*, v.7, n.2-3, p.14-19, 2018.

SOUZA, J. T. A.; NASCIMENTO, M. G. R.; FIGUEREDO, J. P.; NÁPOLES, F. A. M.; ANDRADE, F. H. A. Caracterização técnico-produtiva do sistema de cultivo de palma forrageira no Cariri paraibano. *Revista de Agricultura Neotropical*, v.6, n.2, p.64-71, 2019.

SUN, D.; ZHANG, W.; LIN, Y.; LIU, Z.; SHEN, W.; ZHOU, L.; RAO, X.; LIU, S.; CAI, X.; HE, D.; FU, S. Soil erosion and water retention varies with plantation types and age. *Forest Ecology and Management*, v.422, p.1-10, 2018.

TAVARES, M. H. F.; CARDOSO, D. L.; GENTELINI, D. P.; GABRIEL FILHO, A.; KONOPATSKI, E. A. Uso do forno de microondas na determinação da umidade em diferentes tipos de solo. *Semina: Ciências Agrárias*, v.29, n.3, p.529-538, 2008.

TAVEIRA, M. R.; SANTOS, M. DOS; TAVARES, A. C. S.; ALVES JR., J.; EVANGELISTA, A. W. P. Determinação do conteúdo de água de solo pelo método da frigideira em um Latossolo Vermelho escuro. In: Congresso de Pesquisa, Ensino e Extensão, 8, 2011, Goiânia. Anais...Goiânia, 2011.

VENKATESH, B.; LAKSHMAN, N.; PURANDARA, B. K.; REDDY, V. B. Analysis of observed soil moisture patterns under different land cover in Western Ghats, India. *Journal of Hydrology*, v.397, p.281-294, 2011.

VINHOLIS, M. M. B.; SOUZA, G. B.; NOGUEIRA, A. R. A.; PRIMAVESI, O. Uso do microondas doméstico para determinação de matéria seca e do teor de água em solos e plantas: avaliação econômica, social e ambiental. *Custos e Agronegócio*, v.4, n.2, p.80-97, 2008.

WANG, C.; ZHAO, C.; XU, Z.; WANG, Y.; PENG, H. Effect of vegetation on soil water retention and storage in a semi-arid alpine forest catchment. *Journal of Arid Land*, v.5, n.2, p.207-219, 2013.

WEST, B. T.; WELCH, K. B.; GALECKI, A. T. *Linear mixed models: A practical guide using statistical software*. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, 2007. 339p.

ZHANG, D.; LI, X.; ZHANG, F.; ZHANG, Z. S.; CHEN, Y. Effects on rainfall intensity and intermittency on woody vegetation cover and deep soil moisture in dryland ecosystems. *Journal of Hydrology*, v.543, p.270-282, 2016.

**AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS BIOMÉTRICOS DO AGAVE HÍBRIDO
EMBRAPA 11648 UTILIZADO COMO PRÁTICA MECÂNICO-VEGETATIVA
NA RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA**

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Suinaga et al. (2007), o sisal é uma planta originária do continente norte-americano e das Ilhas Caraíbas. A palavra Agave (= sisal) tem sua origem na expressão grega "agaus", que quer dizer magnífico. Por sua adaptabilidade climática, o sisal ajustou-se perfeitamente ao Semiárido nordestino, tendo uma importância histórica na economia agrícola dos principais estados produtores. Ainda, segundo o mesmo, em 2006, o Brasil se tornou o maior produtor do mundo, tendo a Paraíba como um dos Estados que mais produziu. Ainda, de acordo com Alves e Santiago (2005), o agave foi trazido para o Brasil por volta de 1903, onde somente a partir do final da década de 1930 o sisal passou a ser visto como uma alternativa econômica para o país, sendo cultivado nos Estados da Paraíba, Bahia e Rio Grande do Norte, em virtude das condições edafoclimáticas.

A agavecultura ocupa uma extensa área de solos pobres na região semiárida do Nordeste brasileiro, que sofre com questões de irregularidade pluviométrica, o que compromete drasticamente as atividades agrícolas e pecuárias (FREITAS et al., 2018). A planta foi introduzida nos Estados da Paraíba, Bahia e Rio Grande do Norte, pois o sisal é uma planta semixerófila, que requer clima quente, grande luminosidade e é adaptada a regiões semiáridas por ser altamente resistente a estiagens prolongadas, apresentando estruturas peculiares de defesa contra as condições de aridez: folhas carnosas, número reduzido de estômatos e epiderme fortemente cutinizada (SILVA, 1999; CNA, 2004).

Para Gentry (1982), o gênero Agave se divide nos subgêneros: Agave, com inflorescência em panícula ou umbela, e Littaea, a inflorescência é em forma de espiga ou racemosa, dividindo-se ainda em 20 grupos. Conforme Queiroga (2021), o Agave sisalana Perrine se destaca comercialmente para a produção de fibras, conhecida

vulgarmente como agave ou sisal, é quase a única espécie cultivada no Brasil e a mais produzida no mundo.

No Nordeste do Brasil, as principais opções de cultivo de sisal são: o sisal comum, como é conhecido o *Agave sisalana*, representando 99% da produção na região, e o Híbrido 11648, resultante do cruzamento entre *Agave angustifolia* e *Agave amaniensis*, originário da África, sendo introduzido no Brasil na década de 1970 (LOCK, 1969)

Em comparação ao sisal comum, o híbrido 11648 é mais produtivo e tolerante à seca, o que permite a colheita durante todo o ano. No entanto, é mais exigente quanto a fertilidade do solo e possui folhas de menor comprimento, acarretando em problemas durante o desfibramento (SILVA et al., 2007).

Para Queiroga (2021), o Híbrido 11648 teve evidenciada a sua alta capacidade de produção de folhas e resistência à seca nos locais de cultivo, porém, a sua aceitação é baixa devido a fibra ser mais curta que a do sisal e as suas folhas serem mais duras, dificultando o seu desfibramento nas máquinas paraibanas. Sendo assim, pouquíssimos produtores se ocupam do cultivo deste híbrido na região.

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (MME, 2024), a macaúba e o agave são biomassas promissoras também para produção de biocombustíveis no Brasil. Apesar de ainda não estarem disponíveis em escala, essas matérias-primas podem ter diversas utilidades, como na diversificação de biomassas na produção de biocombustíveis, no fortalecimento da agricultura familiar, na promoção de segurança alimentar e energética, na recuperação de áreas degradadas, etc.

O agave apresenta uma raiz primária e perene, formada pelo desenvolvimento de uma radícula de bulbos ou rebentos; e uma raiz secundária, cuja forma fasciculada atinge uma distância que pode variar de 1,5 a 3,0 m da planta e invade a terra lateralmente, o que dificulta a erosão quando cultivada em terrenos declivosos (QUEIROGA, 2020).

Grande parte da pressão exercida sobre os recursos naturais, inclusive do solo, resulta da conversão de vegetação nativa em pastagens ou terras agrícolas de encosta (BARRAL et al., 2020). Nas encostas que margeiam os rios, as técnicas de uso intensivo do solo causaram perda de solo devido ao aumento do escoamento e sedimentos de áreas desmatadas, dedicadas à agricultura de sequeiro (BORRELLI et al., 2020; RIVERA-RUIZ et al., 2012). A erosão do solo causada pelo escoamento superficial, principalmente em terrenos declivosos, se não for prevenida pelo manejo adequado do solo e da cobertura

vegetal, cria e/ou aumenta o processo de ravinamento nas áreas agrícolas (CHUMA et al., 2021).

Em áreas degradadas, além da perda de solo, biodiversidade edáfica, matéria orgânica e nutrientes, a erosão causa efeitos externos de longo prazo (OSMAN, 2014).

Agaves são espécies com características morfológicas e fisiológicas (metabolismo do ácido crassuláceo) que as tornam capazes de crescer em terrenos rochosos e solos rasos e com alta intensidade e baixa fertilidade natural, disponibilidade limitada de água durante longos períodos do ano em que outras culturas não conseguem desenvolver (CRUZ-GARCIA et al., 2013).

Guevara-Gutierrez (2024), confirmaram através de estudos, que o efeito erosivo do ciclo pluviométrico combinado com um manejo conservacionista inadequado nas plantações de agave, aumentam a vulnerabilidade do solo ao impacto das chuvas. Sendo assim, o processo de degradação dos solos está diretamente relacionado com as técnicas de cultivo de agave que desconsideram as condições edáficas e ambientais de cada região, comprometendo a sua produção e conservação dos recursos naturais.

Jesus (2021), ao relacionar o recrudescimento da erosão do solo com práticas intensas de cultivo de agave em área com topografia acidentada, percebeu que o índice de perda de solo na área por erosão laminar foi de três a cem vezes superior à taxa de formação de solos. Ainda, o mesmo sugere para que, o cultivo de agave seja sinônimo de desenvolvimento, há que associá-lo à preservação ambiental, utilizando-se de práticas de agricultura sustentável e técnicas de conservação de solo e água, como a proteção do solo com cobertura vegetal morta, terraceamento e outras técnicas conservacionistas.

Os estudos publicados por Queiroz et al. (2024) confirmaram que, o efeito erosivo do ciclo pluviométrico, combinado com um manejo conservacionista inadequado nas plantações de agave, aumentam a vulnerabilidade do solo ao impacto das chuvas. Ainda, que o manejo do solo e das culturas são fatores que podem aumentar os processos de degradação do solo e da água, processo este, que foi observado em áreas de manejo do agave, ao se analisar valores semelhantes de erosão do solo em áreas sem cobertura vegetal e com produção de agave sem considerar as condições edáficas e topográficas da região.

Dentro das práticas conservacionistas do solo, o agave pode ser utilizado de diferentes outras formas. De acordo com Santos et al. (2009) e Viel et al. (2017), o desfibramento das folhas de agave geram uma grande quantidade de resíduos, estes, que

podem ser utilizados como adubo orgânico. Ainda, de acordo com Dias (2009), o resíduo de sisal também pode ser utilizado na correção de acidez e de propriedades químicas do solo.

De acordo com Lafevor et al. (2018), durante milênios, os agricultores mexicanos cultivaram agaves como barreiras física-vegetativa do solo, para fornecer suporte estrutural para formas de relevo agrícolas, quebrar solos compactos e restaurar terras degradadas à capacidade produtiva, por ser o agave nessa região uma espécie pioneira, são frequentemente as primeiras plantas capazes de colonizar terras marginais e, por meio de uma cadeia de sucessão ecológica, condicionar a terra para a agricultura. Diante disso, na segunda metade do século XX, grupos ambientalistas começaram a se inteirar e replicar essas antigas práticas de cultivo e por meio do Ministério da Agricultura do México, o governo promoveu o cultivo de agave como meio de conservação do solo e da água, restauração ambiental e prestação de serviços ecossistêmicos.

Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo analisar os parâmetros biométricos de desenvolvimento do Agave Híbrido 11648, cultivado em curva de nível como prática mecânico-vegetativa de contenção de água e solo, além de produção de banco de energia animal, correlacionando com as variáveis tempo de coleta, precipitação e cota topográfica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo possui dimensão média de 0,25 ha, estando em processo de recuperação, com curvas de nível seguindo uma curva mestra sob Luvisolo Crômico degradado e com pedregosidade, com histórico de uso de extrativismo vegetal, caprinocultura, bovinocultura e cultivo de olerícolas. Na mesma, foram confeccionadas 9 curvas de nível com cordões de contorno, utilizando-se a princípio da pedregosidade existente e depois com mudas de sisal/agave híbrido Embrapa 11648 (Figura 59).

Como prática mecânico-vegetativa e produção de forragem (banco de energia), foram introduzidos os rebentos de agave, adquiridos na unidade experimental da Embrapa Algodão em Monteiro, Paraíba. O sisal foi plantado no espaçamento de 1,0 m em linha, totalizando cerca de 45 mudas por cordão de contorno, sendo os cordões distanciados em 5,0 m, resultando em um espaçamento de sisal de 5,0 x 1,0 m. Totalizando o plantio de 405 mudas de agave. Foram selecionadas 3 curvas de nível com topografia diferentes,

estas, denominadas de linha 1, linha 5 e linha 9. Cada linha foi dividida em 4 parcelas com cinco plantas cada, totalizando três linhas, doze parcelas e sessenta plantas.

Figura 59. Distribuição espacial das curvas de nível.



Fonte: autor (2024).

As colheitas foram realizadas com três repetições, com 10,22 MAP, 80,18 MAP e 84,15 MAP. Através das mesmas, foram coletadas 4 folhas com maturidade fisiológica por planta e analisados os parâmetros biométricos estabelecendo uma média de comprimento, largura e peso. Ainda, foram analisados a altura, o diâmetro e o número de folhas por planta.

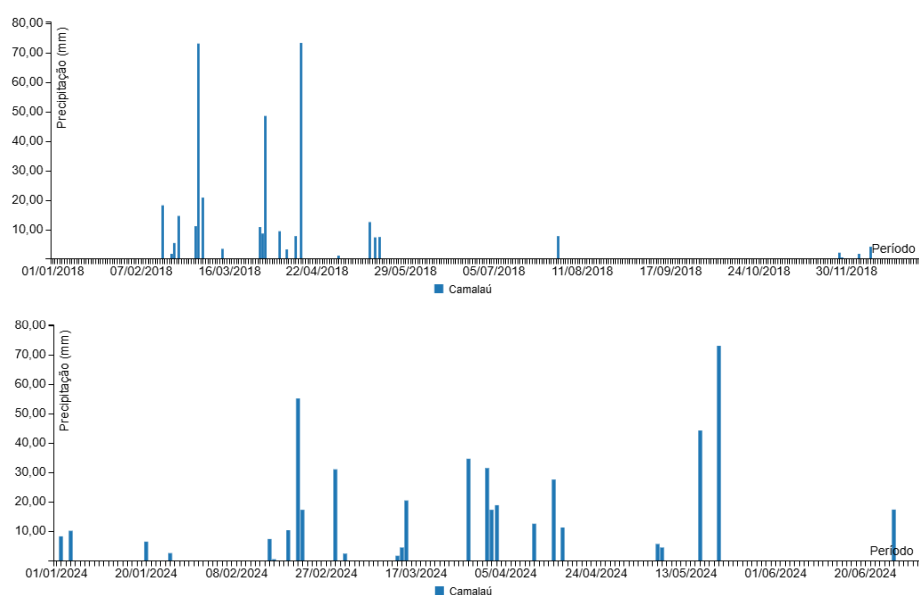
Os dados obtidos foram analisados utilizando um modelo longitudinal de efeitos mistos (LME), também conhecido como modelo linear de efeitos mistos, considerando a estrutura hierárquica dos dados. Foi empregado o pacote *lmerTest* (KUZNETSOVA et al., 2017) e *nlme* (PINHEIRO et al., 2018) do software R[®] 4.2.3 (R CORE TEAM, 2018) para ajustar os modelos. Cada variável dependente foi modelada em função das épocas de avaliação (E), das linhas topográficas (L) e um termo para a interação E × L. O modelo incluiu também um efeito aleatório para o identificador dos indivíduos (ID), permitindo controlar a autocorrelação entre as observações realizadas em diferentes épocas. Para lidar com a correlação temporal, foi utilizada uma estrutura de correlação autorregressiva de primeira ordem.

O modelo foi ajustado pelo método de máxima verossimilhança restrita (REML), e a significância dos fatores e de suas interações foi avaliada por meio da análise de variância. Quando foi identificado efeito significativo na anova ($P < 0,05$), as médias das diferentes épocas e/ou linhas topográficas foram comparadas utilizando o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($P < 0,05$). Os resultados das análises foram organizados em tabelas, apresentando as médias e seus respectivos desvios padrão, bem como as letras das comparações múltiplas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 640a e 60b observa-se a pluviosidade anual ocorrida nas datas das análises dos agaves no município em 2018 e 2024, respectivamente.

Figura 60. Pluviosidade anual de 2018 (a) e 2024 (b) do município de Camalaú-PB.



Fonte: AESA (2024).

Observa-se que a primeira colheita realizada em 20 de janeiro de 2018 ocorreu em um período de escassez, não tendo sido registrado nenhum tipo de precipitação no corrente mês. A segunda colheita realizada em 30 de janeiro de 2024 (Figura 60b), ocorreu também dentro de um período mensal com baixo índice de precipitação (27,2 mm). Já a terceira colheita realizada em 25 de maio de 2024, ocorreu após um período chuvoso na região, com uma média mensal considerável (127,2mm).

Os resultados demonstram que, o fator Época (E) apresenta um efeito altamente significativo ($p < 0,01$) em todos os parâmetros avaliados, incluindo diâmetro A, diâmetro B, número de folhas, altura da planta, peso da planta, comprimento da folha, largura da folha e área (Tabela 11).

Tabela 11. Variância dos parâmetros biométricos de plantas de agave em função da cota topográfica (L), épocas de avaliação (E) e interação destes fatores

FV	numDF	denDF	DA	DB	NF	ALT	Peso	CF	LF	A
E	2	114	570,1**	556,6**	640,5**	397,3**	837,8**	634,5**	1354,6**	351,88**
L	2	57	2,452	3,096	0,002	2,124	2,006	3,589*	2,96	2,13
E × L	4	114	1,155	1,485	2,344	4,96**	10,486	3,709**	1,901	1,29

DA = Diâmetro A; DB = Diâmetro B; NF = Número de Folhas; ALT = Altura da Planta; Peso = Peso da Planta; CF = Comprimento da Folha; LF = Largura da Folha; A = área. numDF = Graus de liberdade do numerador; denDF = Graus de liberdade do denominador. Significância: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.

Fonte: autor (2024).

Esses resultados indicam que, as épocas de avaliação, que refletem diferentes condições ambientais, influenciaram fortemente o crescimento e desenvolvimento das plantas de agave. Por outro lado, o efeito da cota topográfica (Linha) foi menos pronunciado, com significância marginal ou ausência de significância para a maioria dos parâmetros. Apenas comprimento da folha apresenta efeito significativo de Linha ($p < 0,034$). Isso indica que, a cota topográfica, embora tenha um impacto, não é o principal fator de variação na maioria dos parâmetros biométricos, exceto em aspectos específicos como o comprimento da folha.

A interação entre Época e Linha (E × L) apresenta-se significativa para altura da planta e comprimento da folha ($p < 0,01$), sugerindo que o efeito das épocas de avaliação nas plantas de agave é modulado pela cota topográfica. Isso significa que, a resposta das plantas às diferentes condições ambientais ao longo do tempo varia de acordo com a cota topográfica em que estão localizadas.

Os dados demonstram aumento significativo em todos os parâmetros biométricos das plantas de agave ao longo do tempo (Tabela 12). A avaliação inicial, feita aos 11 meses, apresenta os menores valores para todos os parâmetros medidos. Isso é esperado, considerando que as plantas estavam ainda em uma fase jovem e em desenvolvimento inicial. Ao compararmos os valores obtidos antes das chuvas, aos 80 meses após o plantio, com os valores iniciais, observa-se um crescimento substancial em todos os parâmetros.

Por exemplo, o diâmetro A aumentou de 61,27 cm para 143,52 cm, o número de folhas passou de 15,40 para 57,32, o peso da folha aumentou de 92,28 g para 760,75 g e a área aumentou de 3.246,97 cm² para 16.658,77 cm². Esse crescimento significativo reflete a maturação das plantas ao longo do tempo.

Tabela 12. Médias dos parâmetros biométricos de plantas de agave em diferentes épocas de avaliação

Variável	Avaliação inicial	Antes das chuvas	Após as chuvas
Diâmetro A (cm)	61,27 ± 13,94 c	143,52 ± 22,68 b	180,97 ± 25,23 a
Diâmetro B (cm)	64,68 ± 13,54 c	144,38 ± 22,78 b	181,53 ± 24,56 a
Número de folhas	15,40 ± 5,27 c	57,32 ± 8,34 b	89,50 ± 16,08 a
Largura da folha (cm)	3,83 ± 0,55 c	9,93 ± 0,94 b	10,60 ± 0,95 a
Peso da folha (g)	92,28 ± 51,07 c	760,75 ± 199,02 b	1435,17 ± 361,67 a
Área (cm ²)	3.246,97 ± 1324,16 c	16.658,77 ± 5.064,89 b	26.263,29 ± 6.979,29 a

Letras diferentes indicam diferença significativa de acordo com o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

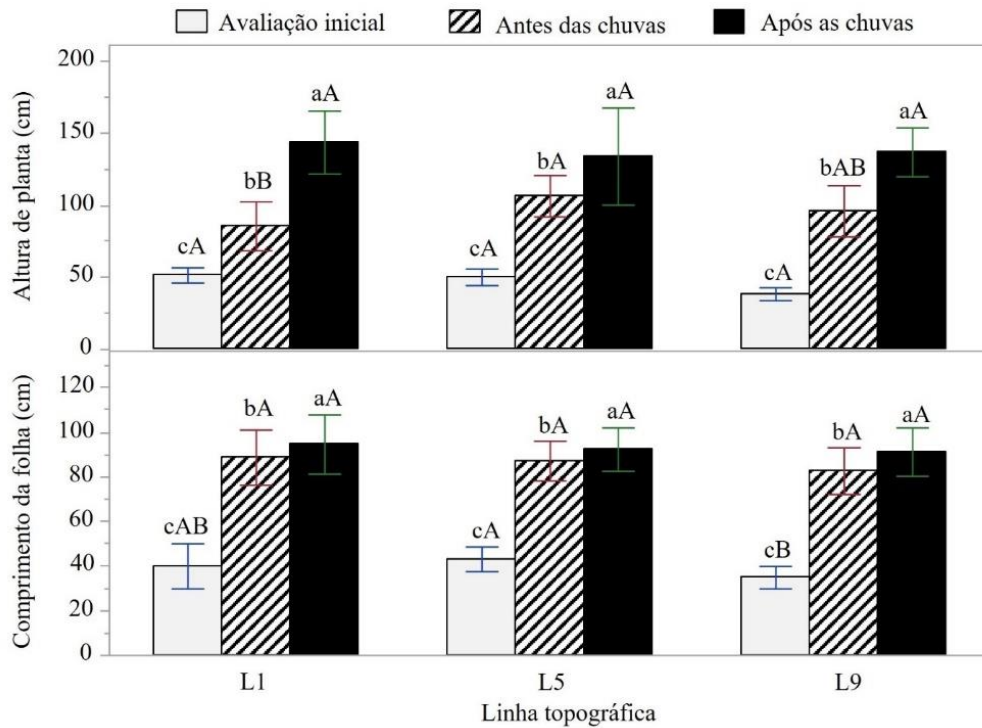
Fonte: autor (2024).

Após as chuvas, observa-se um novo incremento nos parâmetros biométricos, evidenciado pelo aumento adicional nos valores médios. O diâmetro A, por exemplo, aumentou para 180,97 cm, e o peso da folha mais que dobrou, atingindo 1435,17 g. Esse resultado demonstra o impacto positivo das chuvas no crescimento das plantas de agave, indicando que a disponibilidade de água é um fator crucial para o desenvolvimento dessas plantas em estágios avançados de crescimento. O crescimento expressivo observado entre a avaliação inicial e as subsequentes, assim como o impacto adicional das chuvas, sugere que, as plantas de agave beneficiam-se enormemente de longos períodos de crescimento combinados com eventos climáticos favoráveis.

A altura das plantas de agave apresenta aumento significativamente ao longo das três épocas de avaliação em todas as linhas topográficas (Figura 61). Na avaliação inicial, as plantas apresentam alturas relativamente baixas, variando entre 40 e 60 cm. Antes das chuvas, as alturas das plantas aumentaram para valores entre 100 cm e 130 cm, evidenciando um crescimento expressivo durante o período de 11 a 80 meses após o plantio. Após as chuvas, a altura das plantas apresenta aumento ainda mais, alcançando valores entre 140 e 160 cm, dependendo da linha topográfica. Esse aumento significativo

após as chuvas indica a importância da disponibilidade de água para o crescimento das plantas de agave em estágios avançados de desenvolvimento.

Figura 61. Altura de plantas e comprimento de folhas de agave em diferentes cotas topográficas e épocas de avaliação. Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa ($p < 0,05$) entre épocas, dentro de uma mesma linha topográfica. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa ($p < 0,05$) entre linhas topográficas, para uma mesma época de avaliação.



Fonte: autor (2024).

O comprimento das folhas de agave segue um padrão de crescimento semelhante ao da altura das plantas, com um aumento progressivo ao longo das três épocas de avaliação. Inicialmente, as folhas apresentam comprimentos entre 30 e 50 cm. Esse comprimento aumenta significativamente antes das chuvas, com valores variando entre 70 e 90 cm, dependendo da linha topográfica. Após as chuvas, o comprimento das folhas atinge valores máximos de 90 a 110 cm, confirmando o impacto positivo das chuvas e das técnicas de captação e armazenamento de água introduzidas na área no desenvolvimento das folhas das plantas de agave, atingindo o valor médio entre 90 e 120 cm, obtidos de acordo com EMBRAPA (2021).

De maneira geral, não apresenta diferença estatisticamente significativa na altura das plantas e no comprimento das folhas entre as diferentes linhas topográficas para uma mesma época de avaliação. Isso sugere que, embora a cota topográfica possa ter um efeito

na altura das plantas e o comprimento das folhas, estes parâmetros são mais influenciados pelas condições sazonais (época de avaliação) do que pela posição topográfica.

Pela Figura 62 pode-se observar a evolução da cultura do agave na área de estudo apresentando recuperação da área através das técnicas utilizadas.

Figura 62. Evolução da recuperação da área de estudo.



Fonte: autor (2024).

4. CONCLUSÃO

O fator de variação cota topográfica não apresentou diferença estatística significativa para a maioria dos parâmetros biométricos analisados em uma mesma época de avaliação do agave, exceto em aspectos específicos como o comprimento da folha.

Houve um crescimento expressivo em todos os parâmetros biométricos analisados entre as épocas de avaliação, este, influenciado principalmente pelas precipitações.

A produção do agave Híbrido Embrapa 11648 cultivado em curva-de-nível como prática mecânico-vegetativa em áreas declivosas e em processo de recuperação apresentou resultados positivos quanto ao crescimento e desenvolvimento das plantas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, M. O.; SANTIAGO, E. G. Tecnologia e relações sociais de produção no setor sisaleiro nordestino. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, 63, 2005, Ribeirão Preto. Anais...Ribeirão Preto, 2005.
- BARRAL, M. P.; VILLARINO, S.; LEVERS, C.; BAUMANN, M.; KUEMMERLE, T.; MASTRANGELO, M. Widespread and major losses in multiple ecosystem services as a result of agricultural expansion in the Argentine Chaco. *Journal of Applied Ecology*, v.57, n.12, p.2485–2498, 2020. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13740>
- BLAISE, M.; VALÉRIE, M.; JACQUES, K.; KARUME, K.; MUSHAGALUSA, G. N. Forest cover affects gully expansion at the tropical watershed scale: Case study of Luzinzi in Eastern DR Congo. *Trees, Forests and People*, v.4, e100083, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2021.100083>
- BORRELLI, P.; ROBINSON, D. A.; PANAGOS, P.; LUGATOD, E.; YANGB, J. E.; ALEWELLA, C.; CAMPBELL, N. Cadeia produtiva do sisal no semiárido baiano. Monografia (Tecnologia em Logística). Faculdade de Tecnologia SENAI – CIMATEC. Salvador, 2007.
- CAMPOS, M. C. C.; QUEIROZ, S. B. Reclassificação dos perfis descritos no Levantamento Exploratório - Reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.6, n.1, 2006.
- CNA. Confederação Nacional da Agricultura. Sisal: problemas e soluções. Disponível em: <https://pt.scribd.com/doc/52816167/SISAL-Problemas-e-solucoes>. Acesso em: 22 de março de 2024.
- CRUZ-GARCÍA, H.; ENRÍQUEZ-DEL-VALLE, J.R.; VELASCO, F.A.V.; LUNA, J.R.; ÁNGELES, G.V. C.; GARCÍA, D. E. A. Nutrientes e carboidratos em plantas de *Agave angustifolia* Haw. e *Agave karwinskii* Zucc. *Revista Mexicana de Ciências Agrícolas*, v.4, n.6, p.1161-1173, 2013. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i6.1280>
- DIAS, A. T. Valorização dos resíduos de sisal: uma proposta para a Região do Semiárido do Estado da Bahia. 86f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Estadual de Feira de Santana. Feira de Santana, 2009.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sisal. Características da planta. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao->

tecnologica/cultivos/sisal/pre-producao/caracteristicas-das-especies-e-relacoes-com-o-ambiente/caracteristicas-da-planta). Acesso em: 15 de outubro de 2024.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Santos et al. 5ª. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 359p.

ESRI. Mapa Topográfico Mundial. Disponível em: <http://www.arcgis.com/home/item.html?id=30e5fe3149c34df1ba922e6f5bbf808f>.

Acesso em: julho de 2024.

FRANCISCO, P. R. M. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. 122f. Dissertação (Mestrado). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2010.

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D.; OLIVEIRA, F. P. DE; RIBEIRO, G. DO N.; SILVA, V. F.; SILVINO, G. DA S. Atualização do mapa de solos do Estado da Paraíba utilizando geotecnologias. *Scientific Journal of Environmental Sciences and Biotechnology*, v.9, n.2, p.20-28, 2023.

FREITAS, A. B. T. M.; SANTOS, A. M. B.; SANTOS, J. P. DE O.; SOUZA, J. DA S.; MIELEZRSK, F. Desenvolvimento de *Agave sisalana Perrine* sob diferentes manejos de adubação e consórcio. *Colloquium Agrariae*, v.14, n.4, p.39-46, 2018. <https://doi.org/10.5747/ca.2018.v14.n4.a247>

GENTRY, H. S. *Agaves of continental North America*. University of Arizona Press, Tucson, 1982. n.61. p.382-586. <https://doi.org/10.2307/j.ctv1t4m2h4>

GUEVARA-GUTIERREZ, R. D.; PALOMERA-GARCIA, C.; OLGUIN-LOPEZ, J. L.; MANCILLA-VILLA, O. R.; ROSALES-ALMENDRA, M. P.; BARRETO-GARCIA, O. A. Effect of Blue Agave (*Agave tequilana Weber*). Management on Soil Erosion. *Air, Soil and Water Research*, v.17, p.1-10, 2024. <https://doi.org/10.1177/11786221241236632>

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malhas Territoriais. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 10 de abril de 2024.

JESUS, D. S. de. Erosão em uma microbacia em desertificação no médio curso do Rio Salitre, BA. 82f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Cruz das Almas, 2021.

KUZNETSOVA, A.; BROCKHOFF, PER B.; CHRISTENSEN, R. H. B. lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models. *Journal of Statistical Software*, v.82, n.13, p.1-26, 2017. <https://doi.org/10.18637/jss.v082.i13>

LAFEVOR, M.; CISELL, J.; MISFELDT, J. Agave cultivation, terracing, and conservation in Mexico. *Focus On Geography*, v.61, p.1-10, 2018. <https://doi.org/10.21690/foge/2018.61.1f>

LOCK, G. W. Sisal: Thirty years of sisal research in Tanzania. 2ª Ed. Longman Green and Co. Ltd., London, 1969. 365p. Disponível em: <https://library.wur.nl/WebQuery/titel/168896>. Acesso em: 10/01/2024.

MME. Superintendência de Derivados de Petróleo e Biocombustíveis Diretoria de Estudos de Petróleo, Gás e Biocombustíveis. Relatório sobre combustíveis sustentáveis de aviação no Brasil. Perspectivas Futuras. 2024. Disponível em: <https://static.poder360.com.br/2024/09/relatorio-epe-saf-set-2024.pdf>. Acesso em: 08/10/2024.

MOREIRA, E. R. F. Mesorregiões e microrregiões da Paraíba: Delimitação e caracterização. João Pessoa: Gasplan, 1989.

OSMAN, K. T. Soil erosion by water. In: *Soil degradation, conservation and remediation*. Springer, Netherlands. 2014. p.69–101. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-7590-9_3. Acesso em: 20/09/2024. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7590-9_3

PINHEIRO, J. C.; BATES, D. M.; DEBROY, S.; SARKAR, D. RCoreTeam nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R Package Version 3.1-137. 2018.

QUEIROGA, V. de P. Sisal (*Agave sisalana*, Perrine): Tecnologias de plantio e utilização. 1ed. (Org) QUEIROGA, V. DE P.; SILVA, O. R. R. F. DA; MEDEIROS, J. DA C.; FRANCO, C. F. DE O. Campina Grande, AREPB, 2021.

QUEIROZ, H. M.; FERREIRA, T. O.; CERRI, C. E. P.; PEREIRA, G. A. G.; CHERUBIN, M. R. Advancing the agave-soil nexus approach: A systematic review. *Biocombustíveis, Bioprodutos e Biorrefino*, v.18, n.5, p1306-1320, 2024. <https://doi.org/10.1002/bbb.2625>

RAMÍREZ-SANTIAGO, P.; VELASCO-VELASCO, V. A.; RUIZ-LUNA, J.; ENRÍQUEZ DEL VALLE, J. R.; CAMPOSÁNGELES, G. V.; RODRÍGUEZ-ORTIZ, G. Inducing nutrient deficiencies of nitrogen, phosphorus, potassium, sulfur and iron in

Agave potatorum Zucc. Acta Horticulture, v.947, p.249-254, 2012.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.947.31>

RIVERA-RUIZ, P.; OROPEZA-MOTA, J. L.; MARTÍNEZ-MENES, M. R.; MEJÍA-SÁENZ, E.; TAPIA-VARGAS, L. M.; VENTURA-RAMOS, E. JR. El proceso lluvia-escurrimiento-erosión en laderas y microcuencas instrumentadas. Tecnología y Ciencias del Agua, v.3, n.4, p.151-166, 2012.

RUIZ-LUNAA, J.; VELASCO-VELASCO, V. A.; MALDONADO-PERALTA, R.; ENRÍQUEZ-DEL VALLE, J. R.; CAMPOSÁNGELES, G. V.; RODRÍGUEZ-ORTIZ, G. Expression of nutrient deficiencies of nitrogen, phosphorus, potassium, sulfur and iron in *Agave angustifolia* Haw. Acta Horticulture, v.947, p.339-342, 2012.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.947.43>

SANTOS, J. D. G.; BRANCO, A.; SILVA A. F. Antimicrobial activity of *Agave sisalana*. African Journal of Biotechnology, v.8, n.22, p.6181-6184, 2009.
<https://doi.org/10.5897/AJB09.862>

SILVA, O. R. R. F.; BELTRÃO, N. E. M. (Org). Agronegócio do sisal no Brasil. Brasília: Embrapa SPI/Embrapa-CNPA, 1999. 205p.

SILVA, O. R. R. F.; SUINAGA, F. A.; COUTINHO, W. M.; CARTAXO, W. V. Cadeia produtiva. In: ANDRADE, W. O sisal do Brasil. 2007. cap.3. p.30-45.

SOUSA, R. F. DE; BARBOSA, M. P.; SOUSA JÚNIOR, S. P. DE; TERCEIRO NETO, C. P. C; MORAIS NETO, J. M. Estudo da degradação de terras do município de Boa Vista - Paraíba. Revista Engenharia Ambiental, v.4, n.2, p.05-13, 2007.

SUINAGA, F. A.; SILVA, O. R. R. F. DA; COUTINHO, W. M.; CARTAXO, W.V.; COSTA, L. B. DA. Avaliação agrônômica de oito genótipos de Sisal (*agave ssp.*). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2007. (Comunicado Técnico n. 340). Disponível em:
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/275937/1/COMTEC340.pdf>.
Acesso em: 23/09/2024.

VIEL, A. M.; PEREIRA, A. R.; NERES, W. E.; SANTOS, L. DOS; OLIVA NETO, P. DE; SOUZA, E. B. DE; SILVA, R. M. G. DA; CAMARGO, I. C. C. Effect of *Agave sisalana* Perrine extract on the ovarian and uterine tissues and fetal parameters: Comparative Interventional Study. International Multispecialty Journal of Health, v.3, p.129-138, 2017.

WUEPPER, D.; MONTANARELLAD, L.; BALLABIO, C. Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015–2070). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v.117, n.36, p.21994–22001, 2020. <https://doi.org/10.1073/pnas.2001403117>

CONSIDERAÇÕES GERAIS E RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos na presente tese, através da análise dos dados coletados, discutidos e apresentados nos capítulos, demonstraram que as hipóteses propostas se confirmaram, evidenciando o estágio de degradação ambiental do bioma Caatinga na área de estudo e a eficácia das técnicas e tecnologias de manejo e conservação do solo em conjunto com os sistemas agroflorestais na recuperação de áreas degradadas.

A análise do comportamento espaço-temporal do bioma Caatinga entre 1985 e 2020 no município de Camalaú-PB revelou uma complexa relação entre as atividades humanas e a dinâmica ambiental da região, evidenciando um aumento das áreas suscetíveis à desertificação. Portanto, é crucial que políticas públicas, pesquisas acadêmicas e ações de extensão rural promovam a adoção de práticas sustentáveis de manejo e conservação, com o objetivo de minimizar os impactos ambientais negativos no município. A correlação inversa entre as práticas agrícolas adotadas e o uso e ocupação do solo em relação à preservação dos recursos naturais na Caatinga destaca a necessidade de um modelo de convivência sustentável na região.

Os dados do primeiro capítulo demonstraram a importância de integrar dados de sensoriamento remoto com informações socioeconômicas para compreender a dinâmica da Caatinga e desenvolver estratégias eficientes, eficazes e efetivas para sua conservação, utilizando técnicas, tecnologias, ações e políticas públicas que promovam a sustentabilidade, tão necessária para uma região com grande potencial e vulnerabilidades.

O estudo sobre o desenvolvimento e a avaliação de metodologias de recuperação ambiental em Áreas de Proteção Permanente (APPs) fluviais permitiu analisar o potencial de diferentes sistemas agroflorestais e de manejo e conservação do solo em áreas protegidas por lei, sem comprometer as condições de produção dos produtores rurais, desde que sejam cada vez mais baseadas em um modelo de manejo sustentável que promova a recuperação da vegetação nativa, a conservação dos recursos hídricos e a melhoria das características químicas e físicas do solo.

Os resultados obtidos fornecem subsídios importantes para ações institucionais públicas e privadas que possibilitem práticas de restauração ambiental em áreas

degradadas do município de Camalaú-PB, com foco na proteção dos recursos naturais e na melhoria da qualidade de vida das comunidades locais.

A título de sugestão e com base nos resultados alcançados, propõe-se que a captação de água *in situ*, utilizada em áreas que adotem o modelo de curva de nível "mestre", devem possuir barramentos a cada dois metros. Recomenda-se também que a introdução de espécies arbóreas em áreas que utilizem o modelo de curva de nível "livre" siga um espaçamento cauteloso para evitar uma forte competição entre elas, inclusive por luz solar, devido à proximidade entre as curvas e, conseqüentemente, entre as espécies.

O emprego de ferramentas de geoprocessamento e interpolação, com destaque para a modelagem por B-Spline multinível, se revelou eficaz para a representação espacial do índice de fertilidade natural dos solos, apresentando resultados positivos. A análise geoestatística evidenciou a heterogeneidade espacial dos dados, com valores médios e medianos próximos, indicando uma distribuição equilibrada. A baixa qualidade nutricional dos solos, caracterizada pela escassez de nutrientes como fósforo, cálcio, magnésio e potássio, foi influenciada pela baixa quantidade de matéria orgânica, elevada acidez potencial e capacidade de troca catiônica total, classificando-os como de baixa a muito baixa fertilidade. A adoção de práticas de controle da erosão e o incremento da matéria orgânica por meio de técnicas de conservação são medidas cruciais para a recuperação da fertilidade do solo na área de estudo.

Os métodos de estufa e do forno elétrico, demonstraram excelente desempenho na secagem de amostras de solo para os tempos de secagem de 35 e 175 minutos. O método do forno elétrico se mostrou particularmente eficiente em Luvisolos e Neossolos Flúvicos, tanto em áreas manejadas quanto em áreas degradadas, em diferentes profundidades e regimes pluviométricos, sendo uma alternativa acessível e rápida para a obtenção de resultados. A área degradada (testemunha), apresentou menor umidade na camada superficial (0-10 cm) em comparação com a área manejada. As áreas de menor altitude, por sua vez, apresentaram maior retenção de água em todas as profundidades.

A escassez de água é um desafio constante na região semiárida e a recuperação de áreas degradadas exige atenção especial à umidade do solo. Aumentar a capacidade de retenção de água no solo é crucial para a restauração da vegetação nativa, assim como para o desenvolvimento de espécies forrageiras e agrícolas. Além disso, aumentar a umidade do solo estimula a atividade microbiana, melhora a fertilidade e aumenta a proteção contra a erosão.

A análise da umidade do solo para a recuperação de áreas degradadas é essencial, permitindo um diagnóstico preciso, monitoramento eficaz, direcionamento das práticas de manejo, avaliação da sustentabilidade e o acompanhamento da evolução da recuperação da área. Portanto, o método alternativo validado na pesquisa torna a análise ainda mais acessível, prática e viável para produtores, principalmente da Agricultura Familiar na região.

Sugere-se a continuidade da pesquisa, com aprofundamento sobre o papel da matéria orgânica, da adubação verde e de outras práticas de manejo na melhoria da estrutura do solo e no aumento da sua capacidade de retenção de água na área de manejo em estudo.

Quanto a produção de agave em curva de nível, a variação da cota topográfica não influenciou significativamente a maioria dos parâmetros biométricos do agave, exceto em relação ao comprimento das folhas, durante o mesmo período de avaliação. Observou-se um crescimento expressivo em todos os parâmetros biométricos analisados entre os períodos de avaliação, impulsionado principalmente pelas chuvas. O cultivo do agave Híbrido Embrapa 11648 em curvas de nível, como prática de manejo mecânico-vegetativa em áreas declivosas em recuperação, demonstrou resultados promissores em relação ao desenvolvimento e crescimento das plantas.

Sugere-se a continuidade de estudos futuros e aprofundamentos relacionando o cultivo de agave com os seguintes parâmetros de avaliação: produtividade de biomassa, valor nutritivo da forragem, custos de produção, rendimentos da venda da forragem, necessidade hídrica e nutricional da espécie. Ainda, sua relação com a erosão, infiltração de água, densidade do solo e matéria orgânica, em razão do tipo de cultivo implantado, pode atender as necessidades ambientais e econômicas na área.

O agave possui diversas vantagens, como resistência à seca e às mudanças climáticas, menor demanda hídrica, reduz a pressão sobre os escassos recursos hídricos, causa menor degradação do solo, eficiência na captura de CO₂ e raízes profundas, que ajudam a estabilizar o solo e reduzir a erosão. Estudos recentes pretendem transformar o agave na "cana do sertão", para a produção de bioenergia, unir a dupla funcionalidade ecológica e econômica parece ser uma alternativa para uma região de vulnerabilidades ambientais, econômicas e sociais.

A execução do projeto de pesquisa encontrou dificuldades com a disponibilidade de mão-de-obra, embora a introdução das técnicas não requeira que seja especializada.

No entanto, como praticamente não existiu mecanização e os resultados aconteceram a médio e longo prazo, há de se considerar a disponibilidade ou não dos produtores em trabalhar com as mesmas.

Recomenda-se que as técnicas de manejo e conservação do solo como estratégia de recuperação de áreas degradadas devem acontecer anteriormente ou concomitantemente à introdução de sistemas agroflorestais nestas áreas.

As atividades agrícolas da região em estudo, na maior parte das vezes, acontecem onde os solos são mais úmidos, férteis e profundos. Eis as margens do Rio Paraíba, antes ocupadas por mata ciliar. As pesquisas e ações para recuperação de mata ciliar no Semiárido que trabalham apenas com propostas ecológicas, apesar de trabalharem na perspectiva da legislação ambiental, nem sempre atraem a atenção dos proprietários rurais, em sua maioria ribeirinhos.

A presente pesquisa considera que a utilização de sistemas agroflorestais como metodologia de recuperação de Áreas de Preservação Permanente, além de possuir marco legal próprio, é uma forma viável de produção agrícola e florestal que tenta se aproximar ao máximo da dinâmica e estrutura de uma floresta natural, combinando espécies nativas, espécies exóticas adaptáveis e espécies para alimentação humana e animal, que não afetam diretamente as questões de sobrevivência, inclusive de ordem econômica, dos produtores rurais, estes, componentes também do ambiente.

Estudos dessa natureza devem ser disseminados para o público em geral, tomadores de decisão, produtores rurais, pesquisadores, sensibilizando-os para as questões ambientais, além de contribuir para o desenvolvimento de novas tecnologias e metodologias de recuperação de áreas degradadas, com pesquisa científica e o desenvolvimento de soluções inovadoras para o manejo legal e a conservação da Caatinga em Áreas de Preservação Permanente fluviais, considerando a importância estratégica dessas áreas para a produção agrícola no Alto Paraíba, sendo esta, uma das principais atividades econômicas da região.