



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA
DOUTORANDA EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

RUTILENE RODRIGUES DA CUNHA

**INTER-RELAÇÕES DOS ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS E ESTRUTURAIS DO
SOLO EM CLASSES E APTIDÃO AGRÍCOLA DAS TERRAS NO SEMIÁRIDO
POTIGUAR**

MOSSORÓ

2022

RUTILENE RODRIGUES DA CUNHA

**INTER-RELAÇÕES DOS ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS E ESTRUTURAIS DO
SOLO EM CLASSES E APTIDÃO AGRÍCOLA DAS TERRAS NO SEMIÁRIDO
POTIGUAR**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Doutora em Manejo de Solo e Água.

Linha de Pesquisa: Modelagem Ambiental e Manejo do Solo e Água.

Orientadora: Prof^a. Dra. Jeane Cruz Portela, Associado III da UFERSA.

MOSSORÓ

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

C972i Cunha, Rutilene Rodrigues.
Inter-relações dos atributos físico-hídricos e
estruturais do solo em classes e aptidão agrícola
das terras no semiárido Potiguar / Rutilene
Rodrigues Cunha. - 2022.
112 f. : il.

Orientadora: Jeane Cruz Portela PORTELA.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural
do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Manejo de Solo e Água, 2022.

1. Uso da terra. 2. Calcário Jandaíra. 3.
Arenito Açú. 4. Sustentabilidade agrícola. 5.
Práticas conservacionistas. I. PORTELA, Jeane
Cruz Portela, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência

Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva

CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

RUTILENE RODRIGUES DA CUNHA

**INTER-RELAÇÕES DOS ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS E ESTRUTURAIS DO
SOLO EM CLASSES E APTIDÃO AGRÍCOLA DAS TERRAS NO SEMIÁRIDO
POTIGUAR**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Doutora em Manejo de Solo e Água.

Linha de Pesquisa: Modelagem Ambiental e Manejo do solo e Água.

Defendida em: 26 /07 /2022.

BANCA EXAMINADORA

JEANE CRUZ

PORTELA:54675324568

Assinado de forma digital por JEANE

CRUZ PORTELA:54675324568

Dados: 2022.07.26 18:14:48 -03'00'

Prof^a. Dra. Jeane Cruz Portela (UFERSA)

Presidente

Maria Laiane do Nascimento Silva

Prof^a. Dr^a. Maria Laiane do Nascimento Silva (IEMA)

Examinador Externo

Phâmella Kalliny Pereira Farias

Dr^a. Phâmella Kalliny Pereira Farias

Examinador Externo

Thaís Cristina de Souza Lopes

Prof^a. Dr^a. Thaís Cristina de Souza Lopes (IFRN)

Membro Examinador Externo

Francisco de Oliveira Mesquita, Dr.

Pesquisador. Dr. Francisco de Oliveira Mesquita (INSA)

Membro Examinador Externo

A minha avó **Maria Bezerra da Cunha** (*in memoriam*), que sempre foi mais que uma avó, uma verdadeira mãe, amiga e companheira que para sempre viverá em minhas lembranças e, principalmente, em meu coração.

Ao professor **Francisco Ernesto Sobrinho** (*in memoriam*) por toda a contribuição e dedicação com a pesquisa, pelo ser humano iluminado, carinhoso e gentil que foi, o senhor sempre viverá em nossos corações e lembranças.

A **Deus** pela dádiva da vida, pela sua infinita misericórdia, por nunca me abandonar nos momentos difíceis e sempre estar presente, me guiando, pois sem tua proteção senhor não chegaria ao fim desta jornada;

Aos meus pais **Francisca Rejane da Cunha** e **Adailson Rodrigues da Cunha**, avó **Joana Pinheiro da Cunha**, irmãos **Regivania Rodrigues da Cunha** e **Alyson Rodrigues da Cunha** e marido **Cledivaldo da Silva** que são a razão de meu ser, meu orgulho, minha vida, confidentes e companheiros a quem eu tomo como espelho e motivo para seguir minha jornada.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela dádiva da vida e por estar sempre ao meu lado nas horas mais difíceis, sempre me apoiando e mostrando que a fé move montanhas.

Aos meus pais, Adailson Rodrigues da Cunha e Francisca Rejane da Cunha pela confiança, incentivo, compreensão, apoio e amor incondicional.

Aos meus irmãos, Regivânia Rodrigues da Cunha e Alyson Rodrigues da Cunha, por estarem sempre ao meu lado me dando apoio e ajudando.

As minhas irmãs de coração Maria Eldayane, Lunara Gleika e Ana Elidarly que estiveram sempre ao meu lado me apoiando nos momentos que mais precisei.

Ao meu marido Cledivaldo da Silva pelo apoio, companheirismo, compreensão e amor incondicional.

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e a todos os docentes que fazem parte do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água (PPGMSA), pelos conhecimentos transmitidos ao longo desta jornada. Bem como, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por todo auxílio financeiro.

Aos meus colegas do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água, pelo companheirismo e parceria ao longo desta jornada.

A minha orientadora, Jeane Cruz Portela, pela paciência, motivação, disponibilidade, dedicação e competência. Espelho de profissional que almejo ser, com toda sua amorosidade e dedicação, agradeço toda ajuda no processo de elaboração deste trabalho.

Ao professor, Rafael Oliveira Batista, pela disponibilidade, confiança, competência e assistência prestada. Pelo exemplo de profissional, admirado por todos, agradeço a assistência prestada no decorrer de todo o curso e elaboração deste trabalho.

A todos que de alguma forma contribuíram para esta conquista, o meu muito obrigada.

“[...] você se alimentará da terra todos os dias da sua vida. Ela lhe dará espinhos e ervas daninhas, e você terá que alimentar-se das plantas do campo”.

Gênesis 3:17-18

RESUMO GERAL

Os estudos das inter-relações dos atributos e a utilização das terras em conformidade com sua aptidão são indispensáveis para garantir uma agricultura sustentável e a segurança alimentar. Objetivou-se avaliar as inter-relações dos atributos físico-hídrico e estruturais do solo em classes de solos, como também, identificar a aptidão agrícola das terras e inferir sobre potencialidades e limitações, em topossequência, na Chapada do Apodi, Rio Grande do Norte, Brasil. A pesquisa foi realizada na comunidade Piracicaba, município de Upanema/RN. Foram descritos sete perfis de solos: P1 – Área de Mata Nativa; P2 – Área de Pastagem de Ovinos; P3 – Área da Horta; P4 – Área de Macaxeira; P5 – Área de Consórcio, milho e feijão; P6 – Área de Pastagem Nativa e; P7 – Área do Cajueiro. Coletou-se amostras de solos com estrutura deformada e indeformada, nos respectivos horizontes, nos ambientes estudados. Determinou-se atributos físicos, químicos e estruturais, bem como classificação das terras, conforme a aptidão agrícola. Utilizou-se para interpretação dos atributos do solo a técnica de estatística multivariada, por meio da matriz de correlação, análise de agrupamento e a fatorial com extração dos fatores em componentes principais. A fatorial discriminou (F1) as variáveis inorgânicas (argila e argila dispersa em água) e retenção de água no solo (microporosidade, macroporosidade, capacidade de campo e água disponível), (F2) físicas e estruturais (densidade do solo e porosidade total), (F3) as estruturais (diâmetro médio ponderado e geométrico) e (F4) a fração inorgânica (silte). A componente principal formou três grupos, onde as frações inorgânicas do solo discriminaram os usos e classes de solos. As classes identificadas foram: Latossolo (P1 e P7), Cambissolo (P3, P4 e P5), Argissolo (P6) e Vertissolo (P2), que apresentaram dissimilaridade quanto à litologia local, fator este justificado pelos materiais de origem, denotando em características atípicas, como exemplo o Vertissolo (P2) com sobreposição do Calcário Jandaira ao Arenito Açú. A retenção de água foi expressiva para Cambissolos, Vertissolo e Argissolo, com predominância da fração argila, quando comparado aos Latossolos. O manejo do solo no processo de rearranjo das partículas influenciou negativamente a densidade. As variáveis de estruturação discriminaram os Cambissolos, Vertissolo e Argissolo refletindo na retenção de água no solo. A disponibilidade hídrica foi representativa para as classes com textura argilosa. Para a classificação da aptidão agrícola das terras foi fundamental as inter-relações qualitativas dos ambientes. As classes de Latossolos, Argissolo e Cambissolos apresentaram boa fertilidade natural e potencial de uso agrícola, exceto o Vertissolo indicado a preservação da fauna e flora. As limitações físicas encontradas foram: deficiência hídrica, fixação de fósforo, impedimento à mecanização, com exceção os Latossolos com gradiente textural uniforme, com potencialidades para cultivos de ciclo anual e perene. O Vertissolo apresentou restrições quanto ao desenvolvimento do sistema radicular, drenagem reduzida, relevo acentuado e susceptibilidade ao processo erosivo.

Palavras-chave: Uso da terra. Calcário Jandaíra. Arenito Açú. Sustentabilidade agrícola. Práticas conservacionistas.

ABSTRACT

Studies of the interrelationships of attributes and the use of land in accordance with its suitability are essential to ensure sustainable agriculture and food security. Therefore, this study aimed to evaluate the interrelationships of the soil physical-hydric and structural attributes in soil classes, as well as to identify the agricultural aptitude of the lands and infer about their potentialities and limitations. The research was carried out in a toposequence in the Piracicaba community, municipality of Upanema, Chapada do Apodi, state of Rio Grande do Norte, Brazil. At this location, seven soil profiles were described: P1 – Native Forest Area; P2 – Sheep Pasture Area; P3 – Garden Area; P4 – Macaxeira Area; P5 – Consortium Area, with corn and beans; P6 – Native Pasture Area and; P7 – Cashew Tree Area. In the soil horizons of the studied environments disturbed and undisturbed soil samples were collected. Physical, chemical and structural attributes were determined and the lands were classified according to their agricultural aptitude. The interpretation of soil attributes was performed with the aid of multivariate statistics, through the correlation matrix, cluster analysis, and factor analysis with extraction of factors into principal components. The factor analysis discriminated (F1) the inorganic variables (clay and clay dispersed in water) and soil water retention (microporosity, macroporosity, field capacity and available water); (F2) physical and structural variables (soil density and total porosity); (F3) structural variables (mean weight-diameter and geometric mean diameter of aggregates); and (F4) the inorganic fraction (silt). The main component formed three groups, where the inorganic fractions of the soil discriminated soil uses and classes. The soil classes identified were: Oxisol (P1 and P7), Inceptisol (P3, P4 and P5), Ultisol (P6) and Vertisol (P2), which showed dissimilarity in terms of local lithology. This was attributed to the parent materials presenting atypical characteristics, such as the Vertisol (P2) occurring in the overlapping of Jandaíra Limestone and Açú Sandstone. Water retention was significant to discriminate Inceptisols, Vertisols and Ultisols, with a predominance of the clay fraction, when compared to Latosols. The particle rearrangement process due to soil management had a negative influence on soil density. The variables related to soil structure discriminated the Inceptisols, Vertisols and Ultisols and were reflected in soil water retention. Water availability was representative for soil classes of clayey texture. For the classification of the agricultural aptitude of the lands, it was essential to understand the qualitative interrelationships of the environments. The Oxisols, Ultisols and Inceptisols showed good natural fertility and potential for agricultural use, while the Vertisol is indicated for the preservation of fauna and flora. The physical limitations found were: water deficiency, phosphorus fixation, impediment to mechanization, while the Latosols with uniform textural gradient have potential for annual and perennial crops. The Vertisol presented restrictions regarding the development of the root system, reduced drainage, accentuated relief and susceptibility to the erosive process.

Keywords: Land use. Jandaira limestone. Açú sandstone. Agricultural sustainability. Conservation practices.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1

Figura 1. Localização da área de estudo.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 2. Uso e ocupação do solo referente ao estudo da topossequência de sete perfis.....	45
Figura 3. Distribuição das variáveis no círculo de correlações (A) e distribuição da nuvem de pontos que representa a relação entre os fatores 1 e 2 (B) nas classes de solo.....	53
Figura 4. Distribuição das variáveis no círculo de correlações (A) e distribuição da nuvem de pontos que representa a relação entre os fatores 1 e 3 (B) nas classes de solo.....	54
Figura 5. Distribuição das variáveis no círculo de correlações (A) e distribuição da nuvem de pontos que representa a relação entre os fatores 1 e 4 (B) nas classes de solo.....	54
Figura 6. Curva de retenção de água no solo sob diferentes classes e usos agrícolas (SBCS e FAO).....	56

ARTIGO 2

Figura 1. Localização da área de estudo na Comunidade Rural Piracicaba, Upanema/RN, no semiárido brasileiro.	70
Figura 2. Uso e ocupação das terras da comunidade rural de Piracicaba/RN	70
Figura 3. Geologia do município de Upanema/RN, no semiárido brasileiro	74
Figura 4. Altimetria e declividade do município de Upanema/RN, no semiárido brasileiro ..	75
Figura 5. Distribuição das unidades de mapeamento, uso e cobertura dos solos do município de Upanema/RN, no semiárido brasileiro.....	76
Figura 6. Fluxograma dos níveis categóricos de grupo/subgrupo e classes para a Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras.....	77
Figura 7. Fluxograma fatores limitantes para a Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras...	78
Figura 8. Fluxograma do grau de limitação a suscetibilidade ao processo de erosão (e) e relação entre a pedregosidade/rochosidade para a Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras.....	80
Figura 9. Fluxograma dos graus de limitação de forma detalhada para a Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras.....	82

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

Tabela 1. Localização geográfica das diferentes classes de solos estudadas..	45
Tabela 2. Variáveis físicas-hídricas e estruturais e suas respectivas unidades, métodos e metodologias adotados para sua determinação para as diferentes classes de solos.....	46
Tabela 3. Frações inorgânicas e atributos estruturais em classes de solos	49
Tabela 4. Matriz de correlação entre as variáveis dos atributos físico-hídricos e estruturais do solo nas áreas em estudo.....	50
Tabela 5. Matriz de cargas fatoriais extraídas dos atributos físico-hídricos e estruturais dos perfis do solo e suas respectivas cargas fatoriais, autovalores, variância total e acumulada das diferentes classes de solos.	52
Tabela 6. Parâmetros da equação de van Genuchten ajustados para análise da Curva de Retenção de Água no Solo para classes e usos da terra.....	55

ARTIGO 2

Tabela 1. Variáveis físicas e químicas e suas respectivas unidades, métodos e metodologias adotados para sua determinação para as diferentes classes de solos.	75
Tabela 2. Classificação morfológica: cor, estrutura e consistência dos perfis (classes de solos) representativos do solo da Comunidade Piracicaba/RN.....	76
Tabela 3. Atributos físicos dos perfis (classes de solos) representativos da Comunidade Piracicaba/RN.....	72
Tabela 4. Atributos químicos dos perfis (classes de solos) representativos do solo da Comunidade Piracicaba/RN	73
Tabela 5. Graus de limitação referentes à disponibilidade de nutrientes = n e toxicidade por alumínio = a.....	83
Tabela 6. Graus de limitação referente à fixação do fósforo.....	84
Tabela 7. Classes de drenagem.....	84
Tabela 8. Classes de declividade em porcentagem.....	85
Tabela 9. Graus de limitação referentes à rochosidade e/ou pedregosidade = r	85
Tabela 10. Graus de limitação referentes ao impedimento à mecanização = m (declividade x rochosidade e/ou pedregosidade).....	Erro! Indicador não definido.
Tabela 11. Graus de limitação referentes à profundidade efetiva do solo = p Erro! Indicador não definido.	
Tabela 12. Classificação da aptidão agrícola das Terras na Comunidade Rural de Piracicaba/RN.....	83
Tabela 13. Matriz de correlação entre as variáveis dos atributos físicos e químicos do solo nas classes e ambientes estudados.....	83

LISTA DE QUADRO

ARTIGO 2

Quadro 1. Avaliação da aptidão agrícola das terras	77
---	----

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO GERAL	15
2.REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 PRINCIPAIS CLASSES DE SOLO E FORMAÇÃO GEOLÓGICA.....	17
2.1.1 Brasil.....	17
2.1.2 Rio Grande do Norte.....	18
2.1.3 Upanema/RN.....	19
2.2 PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS E ESTRUTURAIS DO SOLO.....	41
2.2.1 Textura.....	41
2.2.2 Estrutura.....	41
2.2.3 Permeabilidade (condutividade hidráulica).....	41
2.2.4 Capacidade de Troca Catiônica e Cátions trocáveis.....	41
2.2.5 Carbono Orgânico Total.....	41
2.2.6 Curva de Retenção de Água no Solo.....	27
2.3 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE TERRAS AGRÍCOLAS.....	28
2.3.1 Categorias do Sistema de Aptidão Agrícola das Terras.....	28
REFERÊNCIAS.....	30
ARTIGO 1: INTER-RELAÇÕES DOS ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICAS E ESTRUTURAIS EM CLASSES DE SOLO NO SEMIÁRIDO TROPICAL.....	40
RESUMO.....	40
ABSTRACT	41
1. INTRODUÇÃO.....	42
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	44
2.1 ÁREA DE ESTUDO	44
2.2 COLETA E PREPARO DAS AMOSTRAS DE SOLOS	45
2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	48
3. RESULTADOS	50
3.1 MATRIZ DE CORRELAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS-HÍDRICOS E ESTRUTURAIS DO SOLO.....	50
3.2 ANÁLISE FATORIAL DOS ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICO E ESTRUTURAL DO SOLO.....	51
3.3 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS	52
3.4 CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO	54
4. DISCUSSÃO	57

4.1 MATRIZ DE CORRELAÇÃO	57
4.2 ANÁLISE FATORIAL E COMPONENTES PRINCIPAIS DOS ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICO E ESTRUTURAL DO SOLO.....	58
4.3 CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO	60
5. CONCLUSÕES	61
REFERÊNCIAS	66
ARTIGO 2: APTIDÃO AGRÍCOLA EM CLASSES DE SOLO NO SEMIÁRIDO POTIGUAR BRASILEIRO.....	66
RESUMO.....	66
ABSTRACT	66
1. INTRODUÇÃO.....	68
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	69
2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	69
2.2 USO E OCUPAÇÃO DOS SOLOS	70
2.3 GEOLOGIA	73
2.4 DECLIVIDADE E ALTIMETRIA	74
2.5 CLASSES DE SOLOS, USO E COBERTURA	75
2.6 HIDROGRAFIA.....	76
2.7 APTIDÃO AGRÍCOLA DAS TERRAS.....	76
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	83
3.1 APTIDÃO AGRÍCOLA DO USO DAS TERRAS NA COMUNIDADE RURAL DE PIRACICABA/RN	83
4. CONCLUSÕES	89
REFERÊNCIAS	90
ANEXO	97

INTRODUÇÃO GERAL

O solo, recurso natural essencial à vida, desempenha importante papel no ambiente, sociedade e economia (BAHADUR e PRAVEEN, 2022). É responsável por promover o desenvolvimento das civilizações do mundo, por meio do suprimento alimentício, biomassa e disposição de nutrientes para plantas (MONTANARELLA, 2015). Na atualidade, diversos olhares estão voltados para o recurso solo pelos benefícios que desempenha como: armazenamento de carbono, água, filtragem de poluentes e manutenção da biodiversidade, dentre outros (WANG et al., 2016; MUKAI, 2017; POESEN, 2018).

O solo vem sendo utilizado de forma demasiada afim de atender as demandas energéticas da população mundial (WRIGHT et al., 2021; SANTANA et al., 2021) e, consequentemente acelerando o processo de degradação das terras agrícolas (Talukdar et al., 2022), culminado em perdas significativas da sua capacidade produtiva (ONU, 2015; FAO, 2020), comprometendo a interação entre a hidrosfera, biosfera, atmosfera e litosfera e, por conseguinte toda a vida no planeta.

As regiões áridas e semiáridas apresentam vulnerabilidade quanto à degradação em virtude das particularidades locais, quanto ao padrão climático que refere-se a elevadas taxas de evapotranspiração, baixa amplitude térmica, irregularidade no período chuvoso, como também, solos suscetível ao processo erosivo (erodibilidade), condições de relevo, quanto ao comprimento e grau do declive, ausência de práticas conservacionistas e de cobertura vegetal (WOLSCHICK et al., 2021; SANTANA et al., 2021).

A gestão regular e o monitoramento das potencialidades e limitações dos recursos naturais são estratégias fundamentais para o desenvolvimento das regiões áridas e semiáridas. Atualmente, 35% das terras destinadas a produção agrícola encontram-se em processo de degradação, proveniente da utilização em desrespeito a aptidão agrícola das terras (MAESTRE et al., 2009; DAS et al., 2022), por ações antropogênicas em múltiplas escalas espaciais acentuando o processo de degradação do solo e demais recursos naturais. Das quais destacam-se o manejo do solo e dos usos agrícolas que influenciam diretamente nos seus atributos e da paisagem local (McCANN et al., 2017).

A importância da utilização das terras em conformidade com a aptidão, tem como princípio a manutenção da capacidade produtiva do solo (JUNIOR PEREIRA, 2010; CARMO e VAL, 2013; SOARES et al., 2014), favorecendo as questões econômicas, sociais e ambientais (MOISA et al., 2022). O sistema desenvolvido para avaliar a aptidão agrícola das terras

apresenta limitações, quanto a sua classificação, pois não leva em consideração as particularidades locais, uma vez que foi desenvolvido para a região Sudeste do Brasil, bem como, o saber popular. O conhecimento do agricultor é essencial no processo de avaliação, construção e solificação das informações do sistema, juntamente com as observações técnicas, denotando confiabilidade aos resultados obtidos. Garantindo assim que o solo e demais recursos naturais sejam utilizados em conformidade com sua resiliência.

A determinação das propriedades hídricas do solo é fundamental para conservação e manutenção do meio (DOBARCO et al., 2019). Estudos voltados a curva de retenção de água no solo auxiliam no processo de avaliação estrutural do solo e as interações solo-planta tornando-se assim, instrumento decisivo na determinação do manejo adequado do solo, da água e dos usos agrícolas (SHWETHA e VARIJA, 2015; SILVA et al., 2018), em prol da conservação das terras (POLLACCO et al., 2020).

O estudo foi impulsionado pela escassez de informações, principalmente no âmbito da agricultura familiar, recorrentes as inter-relações dos atributos em classes do solo sob usos agrícolas, bem como a aptidão agrícola das terras, na região semiárida do Brasil. O mesmo evidenciou descobertas que permitem orientações para outras regiões semiáridas e áridas do mundo com similaridades, quanto a gestão da problemática abordada.

Assim, objetivou-se avaliar as inter-relações dos atributos físico-hídricos e estruturais em classes de solos, utilizando a técnica da análise multivariada, bem como definir a aptidão agrícola das terras na comunidade rural de Piracicaba/RN, identificando suas potencialidades e limitações.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PRINCIPAIS CLASSES DE SOLO E FORMAÇÃO GEOLÓGICA

2.1.1 Brasil

O termo solo refere-se à coleção de corpos naturais, tridimensionais (chamado de pedon), constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas. A sua formação dar-se por materiais minerais – encontra-se direta ou indiretamente relacionada aos produtos provenientes do processo de intemperismo das rochas e orgânicos – resultantes da ação de organismos, vivos ou mortos e detritos orgânicos decompostos que são incorporados ao mesmo. Originado da rocha matriz que no decorrer das eras geológicas encontra-se sujeito a desintegração, decomposição e recombinação, processo este denominado intemperismo – pode variar conforme as condições climáticas da região (BIGARELLA et al., 1994; SANTOS et al., 2018; SUN et al., 2021; GALICIA-ANDRÉS et al., 2021).

Historicamente, o ser humano tem/tinha a ideia errônea que os recursos naturais eram/são ilimitados, fazendo assim seu uso de forma indiscriminado. No Brasil a utilização das terras para fins agricultáveis foi pautada em políticas governamentais com interesses econômicos e financeiros, “visando o desenvolvimento do país”, sem preocupações com os princípios da sustentabilidade. No entanto, a Organização para a Alimentação e Agricultura recomenda que a prática da agricultura deve ter por finalidade a promoção “do manejo eficiente dos recursos disponíveis, mantendo a produção nos níveis necessários para satisfazer às crescentes aspirações da população, sem degradar o meio ambiente” (FAO, 1989).

No Brasil os solos são classificados em 13 classes que se encontra distribuídas no Mapa de Solos do Brasil, o qual detém informações recorrentes à distribuição geográfica, natureza e diversidade, arranjo espacial e extensão territorial destes, tal levantamento foi realizado visando mitigar os impactos ambientais decorrentes do seu uso inadequado, bem como o potencial produtivo destes, para que posse de tais dados fossem adotados manejos para sua conservação (SANTOS et al., 2018).

Segundo dados fornecidos pela EMBRAPA (2006), o Brasil apresenta predominância para as classes dos Latossolos, Argissolos e Neossolos, com percentual de aproximadamente 70%. Os Latossolos e Argissolos são responsáveis por ocupar 58% do Brasil, classificados como solos profundos, em função do elevado grau de intemperismo, ácidos – fator decorrente

da perda das bases trocáveis, conferindo-lhes baixa fertilidade natural. As demais classes (Neossolos, Argissolos, Luvisolos, Planossolos, Nitossolos, Chernossolos e Cambissolos) apresentam-se com fertilidade variando de alta para média, em geral, pouca profundidade efetiva em decorrência de seu baixo grau de intemperismo, característico da região (ARAÚJO, 2011; SANTOS et al, 2018).

2.1.2 Rio Grande do Norte

A região Nordeste encontra-se subdividida em três zonas denominadas de Litorânea, Agreste e Sertão, onde as duas últimas são caracterizadas pelo clima semiárido. No recorrente, a geologia do estado encontra-se sob três grandes grupos de rochas denominados de unidades pré-cambrianas – caracterizadas como as mais antigas; unidades do Cretáceo – constituídas por rochas sedimentares da Bacia Potiguar e vulcânicas associadas e; as coberturas sedimentares cenozóicas – tido como as mais jovens.

No tocante, as treze ordens de solo disposta no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, facilmente pode-se encontrar doze destas no Nordeste, em um curto espaço de tempo, sendo que a classe do Nitossolo é que dificilmente é encontrada. As vastas manchas de solos no estado dar-se em função da diversidade dos materiais de origem tais como: sedimentos aluviais e coluviais, dunas, mangues, calcário, arenito, micaxistos, quartzitos, basaltos, granitos e gnaisses (PFALTZGRAFF e TORRES, 2010; KALININ et al., 2021).

Os solos do semiárido, em sua maioria, são pobres em matéria orgânica, contudo são bastante férteis do ponto de vista químico (fertilidade natural), devido às características pedogenéticas desses solos que sofreram menor atuação do intemperismo químico, principalmente pela má distribuição das chuvas nessa região do país (DUQUE, 1980; PEREIRA et al., 2001). Dentre as classes de solos dispostas no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, duas são predominantes nessa região que são: Neossolos Litólicos - caracterizados por apresentar pouco desenvolvimento pedogenético, com horizonte A assentado diretamente sobre a rocha ou horizonte C, geralmente são pedregosos e os Luvisolos – detentores de horizonte B textural, proveniente da acumulação de argila de alta atividade e saturação por bases, porém apresentam pouca profundidade efetiva sendo pedregosos, bem como alta susceptibilidade ao processo erosivo (DUARTE, 2002; LEPSCH, 2011; SANTOS et al., 2018).

Quanto a distribuição dos solos na região semiárida, descritas em estudos realizados por Jacomine (1996), representadas percentualmente em Neossolos Litólicos (19,2%); Latossolos

(21%); Argissolos (14,7%); Luvisolos (13,3%); Neossolos Quartzarênicos (9,3%); Planossolos (9,1%); Neossolos Regolíticos (4,4%); Cambissolos (3,6%); os 5,4% dos demais solos que compõe esta região são Neossolos Flúvicos; Vertissolos e; Chernossolos.

Pfaltzgraff e Torres (2010) e Santos et al (2018), estudaram a microrregião do Vale do Açu que se encontra dividida geograficamente entre nove municípios: Assu, Alto do Rodrigues, Carnaubais, Ipanguaçu, Itajá, Jucurutu, Pendências, Porto do Mangue e São Rafael, diagnosticaram que os solos comumente encontrados nesta são: Cambissolos eutróficos – detentor de horizonte B em estágio inicial de formação, Latossolos – do ponto de vista da gênese são solos profundos, bem drenados, com elevado desenvolvimento do horizonte B, com baixos teores de matéria orgânica, pobre quimicamente em virtude do processo de lixiviação, Luvisolos e Neossolos Quartzarênicos – solos que detém elevado percentual de areia (90%).

2.1.3 Upanema/RN

De acordo com CPRM (2005), o município de Upanema, pertencente ao estado do Rio Grande do Norte, geologicamente, encontra-se inserido na Província Borborema, constituído pelos litotipos do Complexo Caicó (PP2Ucai), bem como pelos sedimentos das formações Açu (Ka) e Jandaíra (K2j), pertencentes ao Grupo Barreiras (ENb) e, por fim, pelos depósitos Colúvio-eluviais (NQc) e Aluvionares (Q2a). Com vegetação do tipo Caatinga hiperxerófila arbustiva arbórea rala, estrato arbóreo constituído por árvores de porte baixo provenientes de acúleos ou espinhos, bem como uma imensa diversidade de cactáceas e bromélias. Já os solos apresentam grande variabilidade quanto a litologia e o material de origem, bem como o relevo e sua umidade, denotando em diferentes classes, com uma boa representatividade de Cambissolos Háplicos, detentores de argila de alta e baixa atividade coloidal, com também solos com baixa profundidade efetiva, apresentando pedregosidade na superfície (CPRM, 2005; IBGE, 2010).

Estudos realizados pelo IDEMA (2008) quanto ao reconhecimento de solos do município de Upanema foi constatado a ocorrência de Latossolo Vermelho Amarelo Eutrófico – solos bem desenvolvidos, em geral, essa classe apresenta baixa fertilidade em virtude do processo de lixiviação, contudo, em função das condições que se encontra submetido apresenta fertilidade variando de média a alta, textura média, bem drenado e como relevo plano, Chernossolos (anteriormente denominados de Rendzina), férteis do ponto de vista agrícola, que tem como característica o horizonte A chernozêmico, textura argilosa, moderada a

imperfeitamente drenado e relevo plano, com coloração escuro na superfície, possivelmente em função do teor de matéria orgânica presente no mesmo e os Cambissolo Eutrófico, caracterizados por apresentar elevada fertilidade, textura argilosa, com drenagem variando boa a moderada e relevo plano, ou seja, estudo voltados as propriedades do solo são de suma importância para a adoção do manejo adequado (SANTOS et al., 2018).

2.2 PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS E ESTRUTURAIS DO SOLO

A compreensão quanto aos indicadores de qualidade do solo é fundamental para auxiliar na fertilidade do solo, produtividade e sustentabilidade ambiental (MESFIN et al., 2022). “A qualidade do solo é utilizada para avaliar a capacidade do solo de manter a produtividade agrícola e a qualidade ecológica e ambiental” (DREWRY et al., 2021). A qualidade física do solo encontrasse relacionada a capacidade do solo em fornecer água, aeração e força para o ecossistema e a planta (SAFFARI et al., 2020). De acordo com REYNOLDS et al. (2009) os principais índices biofísicos do solo são a macroporosidade, água disponível, estabilidade estrutural e textura, por exemplo.

A estabilidade de agregados do solo é de fundamental importância para entender as complexas interações entre as suas propriedades físico-químicas, considerada um ponto chave para determinação da resistência do solo, ou seja, é um dos indicadores mais importantes da estrutura, bem como da sua vulnerabilidade à degradação, e é o fator dominante no que tange o controle da erosão, ou seja, tida como essencial na conservação do solo e na manutenção de suas funções ambientais do meio (HANKE e DICK, 2017; AI et al., 2021; DUAN et al., 2021; ZHU et al., 2022).

A estruturação é um indicador de qualidade do solo importante, bem como a relação entre os agregados e a matéria orgânica do solo, como também a fração mineral, microrganismos, fauna do solo, raízes, agentes inorgânicos e variáveis ambientais responsáveis para o processo de formação e estabilidade de seus agregados. Para tanto, a estabilidade dos agregados do solo é tida como um indicador de sua qualidade, ou seja, exerce influência em muitas propriedades do solo como textura, estrutura, permeabilidade, dentre outras (SALTON et al., 2008; ZHU et al., 2022).

2.2.1 Textura

A textura do solo é uma das características físicas mais estáveis de suma importância pois constitui-se na distribuição quantitativa das partículas do solo quanto ao seu tamanho, ou seja, é responsável pela determinação das frações inorgânicas do solo (areia, silte e argila). A mesma é considerada elemento de grande importância na descrição, identificação e classificação do solo, fator este justificado pela sua estabilidade, ou seja, é inerente a litologia local, uma vez que dificilmente pode vir ser influenciada por ações antrópicas (LEPSH et al., 2015; SWAIN et al., 2021).

No recorrente, a sua distribuição textural pode apresentar-se de forma variável dentro do perfil em cada horizonte, ou seja, pode conferir ao solo um arranjo específico das partículas que podem modificar os fluxos de água, gases e calor no solo, uma vez que atributos físicos e químicos dos solos são fortemente influenciados pela natureza dos minerais que contêm e sua concentração, conferindo-lhe diferentes texturas (LEPSH et al., 2015; COBLINSKI et al., 2021).

A classificação textural interfere diretamente na capacidade de retenção de água, em função do tamanho dos poros, ato que vem facilitar ou não a entrada de ar e a água no solo, bem como a absorção nutricional, afetando assim o manejo agrícola e a erosividade do solo. (MULDER et al., 2011; MA et al., 2019).

A exemplo disto, os solos que detêm textura mais fina apresentam maior capacidade de retenção de nutrientes, bem como os argilominerais 1:1 (grupo da caulinita) formados pela superposição contínua de uma lâmina tetraédrica seguida da octaédrica. Dos quais destacam-se os minerais 2:1 pertencentes ao grupo das esmectitas (montmorilonitas) e das micas (COELHO et al., 2007), divergindo dos de textura mais grossa devido ao processo de lixiviação mais acentuado (COBLINSKI et al., 2021).

Os Vertissolos, Chernossolos e Luvisolos, apresentam argila de atividade alta, com capacidade de troca catiônica elevada, ato favorece o controle de funções básicas do solo relacionadas pH, nutrientes, retenção de água, bem como indicador importante no manejo da fertilidade do solo e produtividade do solo (Emamgholizadeh, et al., 2022).

No que tange, a determinação da textura dar-se de duas formas: no campo por meio da correlação da sensibilidade ao tamanho e distribuição das partículas unitárias do solo, onde cada fração lhe confere uma sensação divergente (areia – aspereza, silte – sedosidade e a argila – plasticidade e pegajosidade) e; laboratório (análise mecânica e granulométrica) obtida através

da distribuição quantitativa das partículas unitárias menores que 2,0 mm (Terra Fina Seca ao Ar – TFSA) de amostras coletadas em campo (LEPSH et al., 2015).

Para tanto, os métodos para determinação da análise textural, em laboratório, é subdividida em três fases que são: pré-tratamento – consiste na eliminação dos agentes cimentantes, bem como os íons flocculantes e sais solúveis, presentes nas amostras, que poderão vir afetar a dispersão e estabilização da suspensão, como também a separação das frações do solo, por meio de pré-tratamentos (remoção da matéria orgânica, óxidos de ferro e alumínio, carbonatos e sais solúveis); dispersão – resulta na abolição dos agregados do solo, transformando-os em partículas individualizadas e a; separação das frações do solo – a areia é obtida por tamisagem e frações mais finas, argila e silte, são separadas por meio de sedimentação das partículas e, conseqüentemente, a diferença entre as demais frações obtidas (VAN LIER, 2010).

2.2.2 Estrutura

A terminologia estrutura do solo refere-se à organização espacial das partículas minerais (areia, silte e argila) e orgânicas do solo, ou seja, é um aspecto crucial no processo de determinação da qualidade do solo, como também um dos principais componentes na consignação da sua fertilidade. A mesma é tida como um indicador físico do solo fundamental para o manejo e conservação do solo para fins agrícola, exercendo influência direta nos processos de infiltração e/ou retenção de água, difusão do ar, controle da temperatura do solo, bem como o sistema radicular das culturas (DEXTER, 1988; MUELLER et al., 2013; STEFANOSKI et al., 2013; EMMET-BOOTH et al., 2019; AJAYI et al., 2021).

A estrutura refere-se ao arranjo das partículas primárias em unidades estruturais, que se encontram ligadas pela ação mecânica de forças de coesão e adesão, as quais proporcionam sua aproximação formando assim os agregados estruturais. Solos que se apresentam bem agregados detêm elevada porosidade fator que contribui na penetração e percolação da água da chuva, além de favorecer a troca gasosa entre o solo e a atmosfera. Enquanto, os solos com estrutura comprometida desencadeiam o desarranjo estrutural das partículas e, por conseguinte, a distribuição dos poros que afeta diretamente a distribuição hídrica e gasosa do solo, propiciando elevação da resistência mecânica do solo à penetração, que é intensificada por ações antropogênicas (CORRÊA, 2002; FAGERIA e STONE, 2006; SANTOS et al., 2013).

A utilização de implementos agrícolas, sem o manejo adequado, favorece a desestruturação do solo, comprometimento do espaço poroso, acelera o processo erosivo, por exemplo, ou seja, o tráfego de máquinas agrícolas desencadeia efeito negativo na estrutura do solo, fator que contribui para a compactação e, conseqüentemente degradação dos solos. A produtividade do solo é comprometida quando sua estrutura natural é perturbada, exemplo disto é a compactação, e o uso sem respeitar o período de resiliência do solo (OR et al., 2021; WARD et al., 2021).

De acordo com Or et al. (2021) para entender a estrutura do solo se faz necessário desenvolver expectativas informativas sobre seu papel e manejo, como também distingui-la quanto a sua forma natural definida como “agregação natural e bioturbação que suporta o funcionamento do solo sob determinadas condições climáticas” e manejada é dada por meio da “separação e o arranjo dos constituintes do solo para dar suporte a condições uniformes e favoráveis para as sementes das culturas e zonas de raiz para maximizar os rendimentos”. O entendimento de ambas e a utilização do solo conforme seu potencial produtivo é condição primordial para obtenção de produtividades agrícolas economicamente viáveis, sem degradar o meio.

2.2.3 Permeabilidade (condutividade hidráulica)

A permeabilidade do solo está diretamente relacionada ao seu espaço poroso que se encontra interconectada, permitindo assim o fluxo de fluidos e ar no meio, quando existe uma diferença na carga de energia. A mesma é tida como um dos atributos físicos essenciais para diversos estudos, devido ao fornecimento de dados referente ao movimento da água no solo, promovendo ainda a determinação do fluxo convectivo de gases em sua matriz, bem como a troca gasosa na interface do sistema solo-atmosfera, influenciando diretamente no meio físico podendo assim comprometer o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das culturas, taxa de ocorrência de processos dependentes da concentração de gases no solo, como também a infiltração, escoamento e recarga dos lençóis freáticos – importante para o controle do fluxo de água através do subsolo (SAMPAIO et al., 2006; SILVA et al., 2009; ELHAKIM, 2016; ZHOUA et al., 2019; SINGH et al., 2020).

Neste contexto, a permeabilidade do solo é influenciada diretamente pela distribuição de poros intergranulares, porosidade livre de água, ou seja, ao reduzir o conteúdo de água no solo ocorre elevação na porosidade de aeração e, conseqüentemente, o sistema trifásico passa a

conter mais ar que água no sistema (GUEDES FILHO et al., 2015). Solos com textura mais arenosa detém taxa de permeabilidade mais elevada quando comparado aos argilosos, o que favorece o fluxo de ar e água no mesmo (ELHAKIM, 2016; LEVINTALA et al., 2019; SINGH et al., 2020).

Outro fator que afeta a permeabilidade do solo diz respeito ao manejo e ocupação de forma inadequada do mesmo, ato que compromete a sua estrutura e, conseqüentemente, redução na velocidade de infiltração, ou seja, promove a degradação do meio que em sua maioria torna-se inviável a sua recuperação (MINOSSO et al., 2017).

A permeabilidade do solo, também chamada de condutividade hidráulica do solo, pode ser determinada por meio de diversos métodos sendo eles de forma direta – campo ou laboratório ou indireta – relação de algumas propriedades do solo em modelos empíricos pré-determinados. O coeficiente de permeabilidade pode ser determinado de forma indireta, por meio da curva granulométrica, especificamente com o diâmetro efetivo do solo, ensaio de adensamento, dentre outros (BEUTLER et al., 2001; LEPSCH et al., 2015).

Contudo, uma das metodologias mais utilizadas no meio acadêmico é dos anéis concêntricos que consiste na utilização de cilindros metálicos, de diâmetros divergentes, que são dispostos no solo, em seguida adicionado água e verificado o tempo de infiltração (BERNARDO et al., 2008). A permeabilidade do solo pode ser influenciada diretamente pela compactação decorrente do rearranjo das partículas em função da carga excessiva do tráfego de máquinas, na agricultura moderna, a fim de suprir a demanda populacional por insumos (KELLER et al., 2019; ESCOBAR et al., 2021; OBOUR e UGARTE, 2021; HU et al., 2021).

A compactação do solo oriunda do pisoteio de máquinas e animais (KUNZ et al., 2013), encontra-se cada vez mais evidenciada nas áreas agrícolas destinadas a pastagem e cultivo. O processo de compactação resultante do aumento da densidade do solo, elevando a resistência a penetração das raízes, retenção de água e redução da porosidade e nutrientes (FREDDI et al., 2009) e, conseqüentemente a absorção de água pelo sistema radicular das culturas (SILVA et al., 2015).

A intensificação agrícola aumentou a produtividade, frente a isso diversos problemas foram desencadeados, como por exemplo a estrutura do solo por ser uma propriedade de fácil modificação. A mesma é tida como fonte de ameaça as principais funções do solo, bem como os serviços ecossistêmicos que fornecem um ambiente adequado para o desenvolvimento das plantas e, conseqüente, sustentabilidade econômica (KELLER et al., 2019; ESCOBAR et al., 2021; OBOUR e UGARTE, 2021; HU et al., 2021).

Para tanto, a compactação do solo impacta negativamente na redução da porosidade e a continuidade dos poros, transporte de água e nutrientes, aeração do solo, aumenta a densidade do solo, proporcionando assim o desenvolvimento mecânico ao desenvolvimento do sistema radicular das culturas (JENSEN et al., 1996; HORN et al., 2019; DE LIMA et al., 2020). Ou seja, a mesma promove efeitos indesejáveis no ecossistema e sua sustentabilidade econômica, afetando negativamente a produção de alimentos, o habitat para organismos do solo (BERISSO et al., 2013; ROSSIT et al., 2021).

2.2.4 Capacidade de Troca Catiônica e Cátions trocáveis

A CTC do solo encontra-se diretamente relacionada a sua fertilidade natural e a capacidade de retenção de nutrientes, ou seja, a mesma é medida pela quantidade total de cátions, (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+), os quais podem ser adsorvidos pelos colóides do solo. Diversos fatores influenciam em sua determinação dentre eles destacam-se o tipo de colóide, textura do solo, pH e o percentual de matéria orgânica. Porém, ocorre elevação da CTC para minerais de argila com razões de dióxido de silício mais elevados e o inverso quando o ambiente ácido ao invés de alcalino.

No entanto, a distribuição dos cátions trocáveis no solo é decorrente de múltiplos processos, tais como o intemperismo de minerais primários, entrada atmosférica, lixiviação e ciclagem biológica, porém tal distribuição encontra-se ameaçada pela ação antrópica no meio que não respeita o manejo sustentável dos ecossistemas florestais (KVALHEIM, 2010; JAMES et al., 2016; LIU et al., 2019; WANA et al., 2020; RAZZAGHI et al., 2021)

A agricultura vem demandando cada vez mais solos produtivos para suprir a demanda populacional por insumos agrícolas, desencadeando diversos impactos nos sistemas de cultivo de longo e curto prazo nas propriedades do solo. Frente a isto, a taxa nutricional para suprir as culturas encontram-se cada vez mais acentuadas, ato que favorece o empobrecimento do solo, uma vez os cátions trocáveis do solo são extraídos pelas culturas e em sua maioria não retornam ao meio, como por exemplo o cálcio (Ca^{2+}) que é suma importância no processo de fortalecimento das paredes celulares, bem como o magnésio (Mg^{2+}) que é o elemento central da clorofila e o potássio (K^+) que responsável pelo procedimento de ativação de diversas enzimas. Enquanto o sódio (Na^+) não aparece como um nutriente benéfico para as culturas, uma vez que compromete a estrutura e estabilidade do solo, ou seja, afeta diretamente sua

disponibilidade nutricional, favorecendo o não desenvolvimento e produção satisfatória das culturas (MEENA et al., 2016; KOPITTKE et al., 2017; WANG et al., 2020).

Para tanto, a sodicidade do solo promove sua degradação em larga escala, em especial nas regiões áridas e semiáridas devido as condições climáticas serem favoráveis a tal processo. Os problemas oriundos da mesma são decorrentes do acúmulo dos íons de sódio (Na^+) em relação aos demais cátions trocáveis, principalmente o Ca^{2+} (LUCAS et al., 2011; JAMES et al., 2016; GHARAIBEH et al., 2021).

Outra problemática diz respeito a entrada de nitrogênio (N) em excesso no solo, desencadeando, por exemplo, o esgotamento gradual de cátions de base de nutrientes como o K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+ e como consequência o acúmulo de íons metálicos tóxicos ao solo como o Al^{3+} , Fe^{3+} e Mn^{2+} , ou seja, a meteorização vem afetando a localização das entradas de cátions no sistema do solo, a lixiviação e o ciclo biológico dos cátions (LUCAS et al., 2011; JAMES et al., 2016; GHARAIBEH et al., 2021). Neste sentido, tais processos denotam em uma ameaça eminente para o funcionamento ecossistema, como a diminuição da capacidade de tamponamento do solo, declínio da produtividade e/ou desenvolvimento das culturas (STEVENS et al., 2010; CHEN et al., 2013).

2.2.5 Carbono Orgânico Total – (COT)

A fertilidade do solo varia de acordo com a classe, ou seja, é uma mistura complexa das propriedades físicas, químicas e biológicas que estão relacionadas às diversas concentrações no estoque e ciclagem dos nutrientes, a qual é influenciada diretamente pelos fatores ecológicos e antrópicos. A compreensão da biogeoquímica do solo é de suma importância para a adoção do manejo dos serviços ecossistêmicos fornecidos pelos solos (URIESTE et al., 2006; SCHMIDT et al., 2011; MPONELA et al., 2020; HOU et al., 2020).

A utilização do solo de forma inadequada vem desencadeando diversos problemas, dos quais a redução da fertilidade em função da diminuição dos teores de carbono orgânico, nitrogênio total e fósforo na superfície do solo, está cada vez mais evidenciado, principalmente nas regiões semiáridas onde o aporte arbóreo é menor quando comparado aos demais ecossistemas, desencadeando assim problemas relacionados a degradação do meio (URIESTE et al., 2006; SCHMIDT et al., 2011; MPONELA et al., 2020; HOU et al., 2020).

Tais perdas vem contribuindo para a redução das áreas agricultáveis, uma vez que a utilização não sustentável do solo, na maioria dos ecossistemas, afeta não apenas a sua

produtividade, mas também todas as demais propriedades do solo e, conseqüentemente a liberação de alguns nutrientes que se encontram fortemente aderidos aos colóides do solo. Nutrientes essenciais como o nitrogênio (N) e o fósforo (P) que são essenciais para a produtividade das culturas por desempenharem funções cruciais como por exemplo na fotossíntese, produtividade e diversidade das culturas (URIESTE et al., 2006; LAMBERS et al. 2019; OLDROYD et al., 2020). Fitter (2005) relata que o COT, N e o P, são tidos como elementos indispensáveis no que a fertilidade solo, uma vez que estão relacionados a estrutura, função e produtividade do ecossistema.

A disponibilidade de P no solo depende diretamente da quantidade de matéria orgânica presente no solo, ou seja, sua dinâmica encontra-se diretamente relacionada aos fatores ambientais que influenciam na atividade dos microrganismos, os quais imobilizam ou liberam os íons ortofosfato, como também às propriedades físico-químicas e mineralógicas do solo (SANTOS et al., 2008). Contudo, o clima exerce influência direta no processo de liberação Do COT, P e N, ou seja, os processos biológicos e químicos que envolve o ciclo destes apresentam mais elevados em condições quentes-úmidas quando comparado a demais condições (DU et al., 2020; ZHENG et al., 2021).

Estudos voltados a avaliação das alterações oriundas do manejo do solo quanto às suas propriedades químicas e físicas são de fundamental importância, uma vez que seu entendimento, poderá vir fornecer elementos para produção em bases sustentáveis. Bem como a utilização da matéria orgânica como ferramenta para auxiliar no processo de qualidade estrutural do solo, melhorando sua qualidade física, reduzindo sua densidade, elevando o volume de poros, favorecendo a infiltração e aeração (CANELLAS et al., 2003; RANGEL; SILVA, 2007; COSTA et al., 2008; CARNEIRO et al., 2009; JORDAN et al., 2010; CUNHA et al., 2011; BETIOLI JÚNIOR et al., 2012). O conhecimento para como as propriedades físicas e os mecanismos de ciclagem de nutrientes do solo são essenciais para a adoção de medidas que venha promover a conservação do meio e uma produtividade satisfatória das culturas (MPONELA et al., 2020).

2.2.6. Curva de Retenção de Água no Solo

O estudo das propriedades hidráulicas do solo é de suma importância para o entendimento dos processos físicos do solo, tal como a conservação e manutenção, uma vez que estes são os principais fatores que controlam o movimento de água e dos solutos no solo.

Sua determinação se faz necessária para diversas aplicabilidades como irrigação, planejamento do uso da terra, drenagem, dentre outros (DOBARCO et al., 2019). Pesquisas apontam que a Curva de Retenção de Água do Solo (CRAS) é a principal propriedade hidráulica do solo, a qual é definida com base na relação entre a sucção do solo (potencial mátrico da água no solo, com sinal negativo) e o grau de saturação ou conteúdo volumétrico de água (WANG et al., 2020; SAHA e SEKHARAN, 2021). Ou seja, a CRAS é de fundamental importância no processo de modelagem dos comportamentos hidromecânicos a condutividade ou permeabilidade de solos não saturados (wang et al., 2020; Sun e Cui, 2020).

A CRAS é uma das principais ferramentas usada no processo de avaliação estrutural do solo, bem como estudos que envolvem interações solo-planta tornando-se assim um instrumento decisivo na determinação do manejo adequado do solo e culturas agrícolas, visando a conservação de solo, água, e recursos vegetais (SHWETHA e VARIJA, 2015; SILVA et al., 2018). Frente a isto, a curva de retenção de água no solo é uma propriedade do solo que exerce influência direta tanto para o manejo de culturas irrigadas quanto aos sistemas de cultivos em condições de sequeiro e modelagem de processos ecológicos e hidrológicos do meio (DOBARCO et al., 2019).

A determinação da CRAS dar-se pela quantificação do conteúdo de água volumétrica que permanece no solo em uma determinada sucção (ou potencial mátrico). As medições variam normalmente entre a saturação e o ponto de murcha permanente que é de 1500 kPa (POLLACCO et al., 2020). A CRAS é influenciada pelas propriedades físicas e químicas do solo, dos quais variam conforme as especificidades de cada classe de solo estudado (BOTULA et al., 2012) e tem como método clássico de determinação o uso da Câmara de Pressão de Richards (KLUTE, 1986).

Contudo, a determinação da CRAS pelos métodos diretos é demorada, pouco acessível do ponto de vista financeiro, tornando-se inviáveis para aplicar em grandes territórios (VERECKEN et al., 2010; HAGHVERDI et al., 2014). Frente a isto, surgem os métodos alternativos denominado de pedotransferência que relacionam CRAS a parâmetros que são facilmente mensuráveis, dentre os quais destacam-se textura, densidade aparente e conteúdo de carbono orgânico (SCHAAP et al., 2001; VERECKEN et al., 2010).

2.3 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE TERRAS AGRÍCOLAS

Atualmente, mudanças climáticas e de uso da terra vem concebendo ameaças crescentes aos serviços ecossistêmicos do solo, o conhecimento para com os impactos oriundos de tais mudanças na dinâmica do uso da terra agrícola, principalmente nas regiões semiáridas onde o solo é mais susceptível ao processo de degradação é de fundamental importância para sua conservação, além disso, faz-se necessário levar em consideração a percepção dos agricultores locais e autoridades públicas – para que em conjunto busquem projetar estratégias de adaptação adequadas de uso do solo e demais recursos naturais (PHAM et al., 2019; SCHLINDWEIN et al., 2021).

É notório os impactos provenientes do uso inadequado da terra, embora tenham relatos de alguns ganhos advindos de certas safras em algumas partes do mundo, a exemplo disto tem-se o aumento do sequestro de carbono no solo, contudo espera-se que o impacto geral da mudança climática na agricultura e nas paisagens agrícolas seja negativo, em especial pelas emissões de carbono proveniente do desmatamento de grandes áreas, pastejo animal, monocultivo, dentre outros, ameaçando a segurança alimentar global. Na atualidade, vem sendo debatido medidas mitigadoras para amenizar as mudanças climáticas provenientes da agricultura que em sua maioria é advinda dos sistemas intensivos do uso do solo quando comparado aos sistemas agrícolas de baixo insumo e subsistência (OLESEN e BINDI, 2002; WENKEL et al., 2013; SCHLINDWEIN et al., 2021).

2.3.1 Categorias do Sistema de Aptidão Agrícola das Terras

No processo de categorização para a Avaliação de Aptidão Agrícola e uso das Terras, de acordo com Ramalho Filho e Beek (1995), existe uma hierarquização que leva em consideração três categorias dos níveis variando do mais elevado (geral) para o menos elevado (detalhado) que se encontra subdividido em grupo, subgrupo e classe de aptidão.

Grupo: identifica as terras de acordo com a intensidade de uso, representado por algarismos de 1 a 6 (1, 2 e 3 – lavoura; 4, 5 e 6 – pastagem plantada, silvicultura e/ou pastagem natural e preservação da fauna e da flora, respectivamente).

Subgrupo: Proveniente de um conjunto da avaliação da classe de aptidão relacionada com o nível de manejo, indicando o tipo de utilização das terras, representado por letras.

Classes de Aptidão: Relacionada ao tipo de utilização indicada que varia de boa, regular, restrita e inapta.

Níveis de manejo: A (primitivo – práticas agrícolas de nível técnico-cultural baixo), B (pouco desenvolvido - práticas agrícolas de nível tecnológico médio) e C (desenvolvido - práticas agrícolas de alto nível tecnológico).

Neste sentido, o uso do solo apresenta diversas implicações para com a biodiversidade, escoamento superficial, armazenamento de carbono, agricultura e economia em geral, ou seja, pouco se sabe a respeito dos impactos decorrentes das mudanças climáticas a longo prazo para com o uso da terra, no que tange as propriedades físicas e suas funções relacionadas ao solo, ou seja, se faz necessário uma análise da adequação e planejamento do uso do solo. Frente a isto, a avaliação da aptidão agrícola dos solos tem por finalidade detectar o potencial do solo, bem como suas limitações quanto a sua hidrologia, fertilidade natural, resistência a mecanização, erosão, dentre outras características de cada classe e local que se encontra inserido (RAMALHO FILHO e BEEK, 1995; ANGELO et al., 2021; USTAOGLU et al., 2021; SANTOS et al., 2021).

REFERÊNCIAS

- AI, X.; WANG, L.; XU, D.; RONG, J.; AI, S.; LIU, S.; LI, C.; AI, Y. Stability of artificial soil aggregates for cut slope restoration: A case study from the subalpine zone of southwest China. *Soil & Tillage Research*, v. 209, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.104934>
- AJAYI, A. E.; FALOYE, O. T.; REINSCH, T.; HORN, R. Changes in soil structure and pore functions under long term/continuous grassland management. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 314, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107407>
- ANGELO, C. GURGEL, A. C.; REILLY, J.; BLANC, E. Agriculture and forest land use change in the continental United States: Are there tipping points?. *IScience*, v.24, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.102772>
- ARAÚJO, S. M. S. A região semiárida do Nordeste Do Brasil: Questões Ambientais e Possibilidades de uso Sustentável dos Recursos. **Revista Científica da FASETE**, v.5, 2011. https://www.unirios.edu.br/revistarios/media/revistas/2011/5/a_regiao_semiarida_do_nordeste_do_brasil.pdf
- BAHADUR, R. L.; PRAVEEN, K. Study of soil erosion by using remote sensing and GIS techniques in Sone command area in Bihar, India. *Materials Today: Proceedings*, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.739>
- BERISSO, F. E.; SCHJØNNING, P.; KELLER, T.; LAMANDÉ, T.; SIMOJOKI, A.; IVERSEN, B. V.; ALAKUKKU, L.; FORKMAN, J. Gas transport and subsoil pore characteristics: Anisotropy and long-term effects of compaction. *Geoderma*, v. 195-196, pp. 184 – 191, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.12.002>
- BERNARDO, S; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual de irrigação. 8. Ed. Atual. e Ampl. Viçosa: UFV, 2008. 625p
- BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000100018>
- BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; SANTOS, G. F. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994. 2 v.
- BOTULA, Y. D.; CORNELIS, W.; BAERT, G.; VAN RANST, E. Evaluation of pedotransfer functions for predicting water retention of soils in Lower Congo (RD Congo) *Agricultural Water Management*, v. 111, p. 1 – 10, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2012.04.006>
- CARMO, D. A. B.; VAL, B. H. P. Classificação dos Neossolos e Nitossolos quanto a natureza física, químicas e morfológicas. *FAZU em Revista*, n.10, p. 17-26, 2013.
- CHEN, D.; LAN, Z.; BAI, X.; GRACE, J. B.; BAI, Y. Evidence that acidification-induced declines in plant diversity and productivity are mediated by changes in below-ground communities and soil properties in a semi-arid steppe. *Journal of Ecology*, v. 101, pp. 1322 – 1334, 2013. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12119>

COBLINSKI, J. A.; INDA, A. V.; DEMATTÊ, J. A. M.; DOTTO, A. C.; GHOLIZADEH, A.; GIASSON, É. Identification of minerals in subtropical soils with different textural classes by VIS–NIR–SWIR reflectance spectroscopy. *Catena*, v. 203, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105334>

COELHO, A. C. V.; SANTOS, P. S.; SANTOS, H. S. Argilas Especiais: o que são, caracterização e propriedades. *Química Nova*, v. 30, nº 1, p. 146-152, 2007. http://static.sites.sbq.org.br/quimicanova.sbq.org.br/pdf/Vol30No1_146_25-RV05454.pdf

DAS, S.; BHATTACHARYYA, R.; SAHA, N. D.; GHOSH, A.; KHAN, S. A.; AHMED, N.; DEY, A.; BHATIA, A.; PRAMANIK, P.; KUMAR, S. N.; AGARWAL, B. K.; SHAHI, D. K. Soil aggregate-associated carbon and organic carbon pools as affected by conversion of forest lands to agriculture in an acid soil of India. *Soil and Tillage Research*, v. 223, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105443>

DOBARCO, M. R.; COUSIN, I.; BAS, C. LE; MARTIN, M. P. Pedotransfer functions for predicting available water capacity in French soils, their applicability domain and associated uncertainty. *Geoderma*, v. 336, p. 81 – 95, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.08.022>.

DREWRY, J. J.; CAVANAGH, J. E.; MCNEILL, S. J.; STEVENSON, B. A.; GORDON, D. A.; TAYLOR, M. D. Long-term monitoring of soil quality and trace elements to evaluate land use effects and temporal change in the Wellington region, New Zealand. *Geoderma Regional*, v. 25, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2021.e00383>

DUAN, L.; SHENG, H.; YUAN, H.; ZHOU, Q.; LI, Z. Land use conversion and lithology impacts soil aggregate stability in subtropical China. *Geoderma*, v. 389, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.114953>

DUARTE, Suelíria Lima. A sustentabilidade Agrícola dos solos no assentamento de Lagoa Vermelha, município de Upanema – RN. Mossoró/RN: ESAM, 2002. 37 p. (Monografia de Graduação).

DUQUE, J. G. **Solo e Água no Polígono das Secas**. 5. ed., Mossoró: Fundação Guimarães Duque, 1980. 273 p. (Coleção Mossoroense).

ELHAKIM, A. F. Estimation of soil permeability. *Alexandria Engineering Journal*, v. 55, pp. 2631 – 2638, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.07.034>

EMAMGHOLIZADEH, S.; BAZOOBANDI, A.; MOHAMMADI, B.; GHORBANI, H.; SADEGHI, M. A. Prediction of soil cation exchange capacity using enhanced machine learning approaches in the southern region of the Caspian. *Ain Shams Engineering Journal*, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101876>

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006.

EMMET-BOOTH, J. P.; HOLDEN, N. M.; FENTON, O.; BONDI, G.; FORRISTAL, P. D. Exploring the sensitivity of visual soil evaluation to traffic-induced soil compaction. *Geoderma Regional*. V. 20, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2019.e00243>

ESCOBAR, A.; CAICEDO, B.; CABRERA, M. Interaction between a cylinder and a partially saturated soil for compaction analysis. *Transportation Geotechnics*, v. 30, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2021.100600>

FAO – Food and Agriculture Organization. Sustainable agricultural production: implications for international agricultural research. FAO Res. and Tech. Paper 4, 1989. 131 p.

FAO – Organização para Alimentação e Agricultura. Anuário de Produção da FAO, Roma, 2020. <https://cir.nii.ac.jp/crid/1571417126339279744>

FREDDI, O. S.; CENTURIO, J. F.; DUARTE, A. P.; PERES, F. S. C. Soil compaction and yield of corn hybrids in an oxisol: II - least limiting water range and root system. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, 2009. doi.org/10.1590/S0100-06832009000400006
GALICIA-ANDRÉS, E.; ESCALONA, Y.; OOSTENBRINK, C.; TUNEGA, D.; GERZABEK, M. H. Soil organic matter stabilization at the molecular scale: the role of metallic cations and hydrogen bonds. *Geoderma*, v. 401, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115237>

GHARAIBEH, M. A.; ALBALASMEH, A. A.; PRATT, C.; HANANDEH, A. E. Estimation of exchangeable sodium percentage from sodium adsorption ratio of salt-affected soils using traditional and dilution extracts, saturation percentage, electrical conductivity, and generalized regression neural networks. *Catena*, v. 205, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105466>

GUEDES FILHO, O.; SILVA, A. P.; GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A. Air Permeability of the Soil Seedbed under a No-Tillage System. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, 2015. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140169>

HAGHVERDI, A.; OZTURK, H. S.; CORNELIS, W. M. Revisiting the pseudo continuous pedotransfer function concept: Impact of data quality and data mining method. *Geoderma*, v. 226, p. 31-38, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.02.026>

HANKE, D.; DICK, D. P. Aggregate Stability in Soil with Humic and Histic Horizons in a Toposequence under Araucaria Forest. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 41, 2017. <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20160369>

HU, W.; DREWRY, J.; BEARE, M.; EGER, A.; MÜLLER, K. Compaction induced soil structural degradation affects productivity and environmental outcomes: A review and New Zealand case study. *Geoderma*, v. 395, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115035>

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Disponível em: <http://censo2010.ibge.gov.br/> Acesso: 15/02/2019.

IDEMA. **Perfil do seu município: Upanema**. Natal, RN: 2008. 24p.

JACOMINE, P. T. K. Solos sob caatinga: características e uso agrícola. In: ALVAREZ V., V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do**

Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Universidade Federal de Viçosa, 1996. p. 96-111.

JAMES, J.; LITTKE, K.; BONASSI, T.; HARRISON, R. Exchangeable cations in deep forest soils: Separating climate and chemical controls on spatial and vertical distribution and cycling. *Geoderma*, v.279, pp. 109 – 121, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.05.022>

JENSEN, L. S.; McQUEEN, D. J.; SHEPHERD, T. G. Effects of soil compaction on N-mineralization and microbial-C and -N. *Soil & Tillage Research*, v. 38, 1996, pp. 175 – 188. <https://doi.org/10.1016/S0167-1987>

KALININ, P.I.; KUDREVATYKH, I.Y.; MALYSHEV, V.V.; PILGUY, L.S.; BUHONOV, A.V.; MITENKO, G.V.; ALEKSEEV, A.O. Chemical weathering in semi-arid soils of the Russian plain. *Catena*, v. 206, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105554>

KELLER, T.; SANDIN, M.; COLOMBI, T.; HORN, R.; OR, D. Historical increase in agricultural machinery weights enhanced soil stress levels and adversely affected soil functioning. *Soil & Tillage Research*, v. 194, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104293>

KILIC, O. M.; ERSAYIN, K.; GUNAL, H.; KHALOFAH, A.; ALSUBEIE, M. S. Combination of fuzzy-AHP and GIS techniques in land suitability assessment for wheat (*Triticum aestivum*) cultivation. *Saudi Journal of Biological Sciences*, v.29, p.2634-2644, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.12.050>

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: BLACK, C.A., (Ed.). *Methods of soil analysis. I. Physical and mineralogical methods*. Madison: Soil Science Society of America, 1986. p. 635-662

KOPITKE, P. M.; DALAL, R. C.; MENZIES, N. W. Changes in exchangeable cations and micronutrients in soils and grains of long-term, low input cropping systems of subtropical Australia. *Geoderma*, v. 285, pp. 293 – 300, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.10.011>

KUNZ, M.; GONÇALVES, D. M. A.; REICHERT, J. M.; GUIMARÃES, R. M. L.; REINERT, D. J.; RODRIGUES, M. F. Soil compaction in a soy-dairy cattle system on a clayey Oxisol under no-tillage and chisel plowing. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000600026>

KVALHEIM, O. M. Interpretation of partial least squares regression models by means of target projection and selectivity ratio plots. *Journal of Chemometrics*, v. 24, pp. 496 – 504, 2010. <https://doi.org/10.1002/cem.1289>

LEPSCH, I. F.; ESPINDOLA, C. R.; VISCHI FILHO, O. J.; HERNANI, L. C.; SIQUEIRA, D. S. Manual para levantamento utilitário e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. Viçosa, MG: SBCS, 2015. 170 p

LEPSCH, I.F. **19 Lições de Pedologia**. São Paulo: Oficina de texto, 2011.

LEVINTALA, E.; DRAGILAB, M. I.; WEISBROD, N. Impact of wind speed and soil permeability on aeration time in the Upper vadose zone. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 269–270, pp. 294 – 304, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.02.009>

LIU, C.; NIE, Y.; RAO, X.; TANG, J.; SIDDIQUE, K. H. M. The effects of introducing *Flemingia macrophylla* to rubber plantations on soil water content and exchangeable cations. *Catena*, v. 172, pp. 480 – 487, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.08.038>

LUCAS, R.W.; KLAMINDER, J.; FUTTER, M. N.; BISHOP, K. H.; EGNELL, G.; LAUDON, H.; HÖGBERG, P. A meta-analysis of the effects of nitrogen additions on base cations: implications for plants, soils, and streams. *Forest Ecology and Management*, v. 262, pp. 95–104, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.03.018>

MA, Y.; MINASNY, B.; MALONE, B. P.; MCBRATNEY, A. B. Pedology and digital soil mapping (DSM). *European Journal of Solos*, v. 70, p. 216 – 235, 2019. doi: 10.1111/ejss.12790.

MAESTRE, F. T.; BOWKER, M. A.; PUCHE, M. D.; HINOJOSA, M. B.; MARTINEZ, I.; PALACIOS, P. G.; CASTILLO, A. P.; SOLIVERES, S.; LUZURIAGA, A. L.; SANCHEZ, A. M.; CARREIRA, J. A.; GALLARDO, A.; ESCUDERO, E. Shrub encroachment can reverse desertification in semi-arid Mediterranean grasslands. *Ecology Letters*, v.12, 930–941, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01352.x>

MEENA, V. S.; BAHADUR, I.; MAURYA, B. R.; KUMAR, A.; MEENA, R. K.; MEENA, S. K.; VERMA, J. P. Potassium solubilizing microorganism in perennial agriculture: an overview, Springer. pp. 1 – 20, 2016. https://doi.org/10.1007 / 978-81-322-2776-2_1

MESFIN, D.; ASSEFA, E.; SIMANE, B. Variability of soil quality indicators along with the different landscape positions of Choke Mountain agroecosystem, upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Heliyon*, v.8, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09850>

McCANN, M.; COOPER, A.; ROGERS, D.; McKENZIE, P.; McERLEAN, T. How hedge woody species diversity and habitat change is a function of land use history and recent management in a European agricultural landscape. *Journal of Environmental Management*, v.196, pp.692-701, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.066>

MINOSSO, J.; ANTONELI, V.; FREITAS, A. R. Variabilidade sazonal da infiltração de água no solo em diferentes tipos de uso na região sudeste do Paraná. *Geographia Meridionalis* v. 03, n. 01, p. 86–103, 2017. <https://doi.org/10.15210/GM.V3I1.11041>

MOISA, M. B.; TIYE, F. S.; DEJENE, I. N.; GEMEDA, D. O. Land suitability analysis for maize production using geospatial technologies in the Didessa watershed, Ethiopia. *Artificial Intelligence in Agriculture*, v.6, p.34-46, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2022.02.001>

MONTANARELLA, L. Govern our soils. *Nature*. v.528, pp. 32–33, 2015. <https://doi.org/10.1038/528032a>

MUELLER, L.; SHEPHERD, G.; SCHINDLER, U.; BALL, B. C.; MUNKHOLM, L. J.; HENNINGS, V.; SMOLENTSEVA, E.; RUKHOVIC, O.; LUKIN, S.; HU, C. Evaluation of soil structure in the framework of an overall soil quality rating. *soil & Tillage Research*, v. 127, p. 74-84, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.03.002>

MUKAI, S. Gully erosion rates and analysis of determining factors: a case study from the semi-arid main Ethiopian rift valley. *Land Degrad. Develop*, v.28, 602–615, 2017. <https://doi.org/10.1002/ldr.2532>

MULDER, V. L.; BRUIN, S.; SCHAEPMAN, M. E.; MAYR, T. R. The use of remote sensing in soil and terrain mapping — A review. *Geoderma*, v. 162, p. 1-19, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.12.018>

OBOUR, P. B.; UGARTE, C. M. A meta-analysis of the impact of traffic-induced compaction on soil physical properties and grain yield. *Soil & Tillage Research*, v. 211, 202. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105019>

OLESEN, J. E.; BINDI, M. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *European Journal of Agronomy*, v.16, pp. 239-262, 2002. [https://doi-org.ez13.periodicos.capes.gov.br/10.1016/S1161-0301\(02\)00004-7](https://doi-org.ez13.periodicos.capes.gov.br/10.1016/S1161-0301(02)00004-7)

ONU – Organização das Nações Unidas. O Acordo de Paris, 2015. https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf

OR, D.; KELLER, T.; SCHLESINGER, W. H. Natural and managed soil structure: On the fragile scaffolding for soil functioning. *Soil & Tillage Research*, v. 208, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104912>

PEREIRA, I.M.; ANDRANDE, L. A. de.; COSTA, J. R. M & DIAS, J. M. Regeneração natural em um remanescente de caatinga sob diferentes níveis de perturbação, no agreste paraibano. *Acta bot. bras.*, v. 15, n. 3, p. 413-426, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062001000300010>

PFALTZGRAFF, P. A. S.; TORRES, F. S. M. Geodiversidade do estado do Rio Grande do Norte / Organização Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff [e] Fernanda Soares de Miranda Torres. Recife: CPRM, 2010. 227 p.

PHAM, H. V.; SPEROTTO, A.; TORRESAN, S.; ACUÑA, V.; JORDA-CAPDEVILA, D.; RIANNA, G.; MARCOMINI, A.; CRITTO, A. Coupling scenarios of climate and land-use change with assessments of potential ecosystem services at the river basin scale. *Ecosystem Services*, v. 40, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.101045>

POESEN, J. Soil erosion in the Anthropocene: Research needs. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 43, pp.64 – 84, 2018. <https://doi.org/10.1002/esp.4250>

POLLACCO, J. A. P.; FERNÁNDEZ-GÁLVEZ, J.; CARRICK, S. Improved prediction of water retention curves for fine texture soils using an intergranular mixing particle size distribution model. *Journal of Hydrology*, v. 584, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124597>

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. 3.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995. 65p.

RAZZAGHI, F.; ARTHUR, E.; MOOSAVI, A. Evaluating models to estimate cation exchange capacity of calcareous soils. *Geoderma*, v. 400, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115221>

REYNOLDS, W. D.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; FOX, C. A.; YANG, X. M. Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. *Geoderma*, v.152, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.06.009>

ROSSIT, D.; PAIS, C.; WEINTRAUB, A.; BROZ, D.; FRUTOS, M.; TOHM, F. Stochastic forestry harvest planning under soil compaction conditions. *Journal of Environmental Management*, v. 296, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113157>

SAFFARI, N.; HAJABBASI, M. A.; SHIRANI, H.; MOSADDEGHI, M. R.; MAMEDOV, A. I. Biochar type and pyrolysis temperature effects on soil quality indicators and structural stability. *Journal of Environmental Management*. v.261, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110190>

SAHA, A.; SEKHARAN, S. Importance of volumetric shrinkage curve (VSC) for determination of soil–water retention curve (SWRC) for low plastic natural soils. *Journal of Hydrology* v. 596, 126-113, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126113>

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100002>

SAMPAIO, F. M. T.; MENEZES, S. M.; FURTINI, M. B.; RIBEIRO, K. D. Correlations between the permeability and the physical attributes of the soil of the sub-basin of the centenário stream of the Lavras city-MG. *Ciência e Agrotecnologia*. v. 30, 2006. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542006000400030>

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A. DE; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. de. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, v.5, p. 356, 2018.

SANTOS, R. S.; WIESMEIER, M.; CHERUBIN, M. R.; OLIVEIRA, D. M. S.; LOCATELLI, J. L.; HOLZSCHUH, M.; CERRI, C. E. P. Consequences of land-use change in Brazil's new agricultural frontier: A soil physical health assessment. *Geoderma*, v. 400, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115149>

SCHAAP, M. G.; LEIJ, F. J.; VAN GENUCHTEN, M. T. ROSETTA: a computer program to estimate soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions, *Journal of Hydrology*, v. 251, p. 163 – 176, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00466-8](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00466-8)

SCHLINDWEIN, S. L.; VASCONCELOS, A. C. F.; BONATTI, M.; SIEBER, S.; STRAPASSON, A.; LANA, M. Agricultural land use dynamics in the Brazilian part of La Plata

Basin: From driving forces to societal responses. *Land Use Policy*, v. 107, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105519>

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Norte. Rio de Janeiro: CPRM, 2010. 231 p. Disponível em: <<http://www.terrabrasilis.org.br/ecotecadigital/pdf/geodiversidade-do-estado-do-rio-grande-do-norte.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Itajá. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005. 12 p. + anexos. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/16973/rel_itaja.pdf?sequence=1>. Acesso em: 10 mar. 2019.

SHWETHA, P.; VARIJA, K. Soil water retention curve from saturated hydraulic conductivity for sandy loam and loamy sand textured soils. *Aquatic Procedia*, v. 4, p. 1142 – 1149, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.145>

SILVA, A. C.; PORTELA, J. C.; BATISTA, R. O.; CUNHA, R. R.; GONDIM, J. E. F.; ARRUDA, L. E. V.; MEDEIROS, J. F. Soil Water Retention in the Semiarid Region of Brazil. *Journal of Agricultural Science*, v. 10, p. 105, 2018. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n9p105>

SILVA, A. P.; LEÃO, T. P.; TORMENA, C. T.; GONÇALVES, A. C. A. Determination of air permeability in undisturbed soil samples by the decreasing pressure method. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000600003>

SILVA, B. M.; SANTOS, W. J. R.; OLIVEIRA, G. C.; LIMA, J. M.; CURTI, N.; MARQUES, J. J. Soil moisture space-time analysis to support improved crop management. *Agricultural Sciences*. 39, 2015. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542015000100005>

SINGH, V. K.; KUMAR, D.; KASHYAP, P.S.; SINGH, P. K.; KUMAR, A.; SINGH, S. K. Modelling of soil permeability using different data driven algorithms based on physical properties of soil. *Journal of Hydrology*, v. 580, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.03.038>

SOARES, F. C.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; RUSSI, J. L.; VIVAN, G. A. Redes neurais artificiais na estimativa da retenção de água do solo. *Revista de Ciência Rural*, v. 44, n. 2, 2014. doi.org/10.1590/S0103-84782014000200016.

STEVENS, C. J.; THOMPSON, K.; GRIME, J. P.; LONG, C. J.; GOWING, D.J. G. Contribution of acidification and eutrophication to declines in species richness of calcifuge grasslands along a gradient of atmospheric nitrogen deposition. *Functional Ecology*, v. 24, pp. 478 - 484, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2009.01663.x>

SUN, R.; GONGA, W.; CHENA, Y.; HONGA, J.; WANG, Y. Influence of polarity exchange frequency on electrokinetic remediation of Cr-contaminated soil using DC and solar energy. *Process Safety and Environmental Protection*. V.153, pp.117-129, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.07.008>

SUN, W.-J.; CUI, Y.-J. Determining the soil-water retention curve using mercury intrusion porosimetry test in consideration of soil volume change. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. V.12, 1070-1079, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2019.12.022>

SWAIN, S. R.; CHAKRABORTY, P.; PANIGRAHI, N.; VASAVA, H. B.; REDDY, N. N.; ROY, S.; MAJEED, I.; DAS, B.S. Estimation of soil texture using Sentinel-2 multispectral imaging data: Naensemble modeling approach. *Soil & Tillage Research*, v.213, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105134>

TALUKDAR, S.; NAIKOO, M. W.; MALLICK, J.; PRAVEEN, B.; SHAHFAHA.; SHARMA, P.; ISLAM, A. R. MD. T.; PAL, S.; RAHMAN, A. Coupling geographic information system integrated fuzzy logic-analytical hierarchy process with global and machine learning based sensitivity analysis for agricultural suitability mapping. *Agricultural Systems*, v. 196, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2021.103343>

USTAOGLU, E.; SISMAN, S.; AYDINOGLU, A. C. Determining agricultural suitable land in peri-urban geography using GIS and Multi Criteria Decision Analysis (MCDA) techniques. *Ecological Modelling*, v. 455, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2021.109610>

VAN LIER, Q. J. FÍSICA DO SOLO. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Sbscs, p.298, 2010. ISBN: 978-85-8650-406-8.

VERECKEN, H.; WEYNANTS, M.; JAVAUX, M.; PACHEPSKY, Y.; SCHAAP, M. G.; VAN GENUCHTEN, M. T. Using Pedotransfer Functions to Estimate the van Genuchten–Mualem Soil Hydraulic Properties: A Review. *Vadose Zone Journal*, v. 9, p. 795 – 820, 2010. <https://doi.org/10.2136/vzj2010.0045>

WANA, M.; HUA, W.; QUA, M.; LIC, W.; ZHANGC, C.; KANGE, J.; HONGD, Y.; CHENF, Y.; HUANG, B. Rapid estimation of soil cation exchange capacity through sensor data fusion of portable XRF spectrometry and Vis-NIR spectroscopy. *Geoderma*, v. 363, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114163>

WANG, B.; ZHENG, F.; GUAN, Y. Improved USLE-K factor prediction: A case study on water erosion areas in China. *International Soil and Water Conservation Research*, v.4, pp.168-176, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.08.003>

WANG, M.; PANDE, G.N.; PIETRUSZCZAK, S.; ZENG, Z.X. Determination of strain-dependent soil water retention characteristics from gradation curve. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. v.12, 1356-1360, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2020.03.005>

WANG, J.; ZHAO, X.; ZHAO, D.; ARSHAD, M.; ZARE, E.; TRIANTAFILIS, J. Reconnaissance scale mapping of salinity in three-dimensions using EM38 and EM34 data and inversion modelling. *Land Degradation & Development*, v. 31, pp. 2936 – 2951, 2020. <https://doi.org/10.1002/ldr.3684>

WASSAR, F.; GANDOLFI, C.; RIENZNER, M.; CHIARADIA, E. A.; BERNARDONI, E. Predicted and measured soil retention curve parameters in Lombardy region north of Italy *Int.*

International Soil and Water Conservation Research, v. 4, p. 207 – 214, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.05.005>

WENKEL, K. O.; BERG, M.; MIRSCHEL, W.; WIELAND, R.; NENDEL, C.; KÖSTNER, B. LandCaRe DSS e An interactive decision support system for climate change impact assessment and the analysis of potential agricultural land use adaptation strategies. Journal of Environmental Management, v. 127, pp.168-183. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.02.051>

WRIGHT, A. J.; BARRY, K. E.; LORTIE, C. J.; CALLAWAY, R. M. Biodiversity and ecosystem functioning: have our experiments and indices been underestimating the role of facilitation? Journal of Ecology, v.109, pp. 1962-1968, 2021. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13665>

ZHOUA, Z.; LAUMANNA, S.; HEIMOVAARA, T. J. Applying aluminum-organic matter precipitates to reduce soil permeability in-situ: A field and modeling study. Science of the Total Environment, v. 662, pp. 99 – 109, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.109>

ZHU, X.; XIAO, G.; WANG, S. Suitability evaluation of potential arable land in the Mediterranean region. Journal of Environmental Management, v. 313, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115011>

ARTIGO 1: INTER-RELAÇÕES DOS ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS E ESTRUTURAIS EM CLASSES DE SOLO NO SEMIÁRIDO TROPICAL

RESUMO

O estudo envolvendo as inter-relações dos atributos físico-hídricos e estruturais apresenta variabilidade quanto à dinamicidade do espaço poroso que é facilmente modificado pelas condições do ambiente e ações antropogênicas. Objetivou-se avaliar as inter-relações dos atributos físico-hídricos e estruturais em classes de solo, em topossequência na chapada do Apodi, Rio Grande do Norte, Brasil, a fim de identificar os atributos sensíveis na diferenciação dos ambientes utilizando a técnica de análise multivariada. Foram abertos sete perfis para descrição morfológica e coletadas amostras deformadas e indeformadas para a realização de análises físico-hídricas e estruturais. As análises dos atributos físicos obtidos a partir da curva de retenção, como macroporosidade, microporosidade, porosidade total, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível e atributos estruturais como densidade do solo, granulometria e argila dispersa em água. Foi constatado que as classes de solo apresentaram dissimilaridade quanto à litologia local, fator este justificado pelos diferentes materiais de origem, denotando em características atípicas às classes de solos. A análise de componentes principais permitiu a formação de três grupos onde as frações inorgânicas do solo discriminaram os ambientes para as classes de solos. O manejo do solo, no processo de rearranjo das partículas, influenciou negativamente na densidade. As variáveis de estruturação apresentaram-se para os Cambissolos, Vertissolo e Argissolo de forma expressiva na retenção de água no solo. A disponibilidade hídrica do solo foi representativa para as classes com textura argilosa.

Palavras-chave: Manejo do solo. Déficit hídrico. Uso da Terra. Caatinga. Aeração do solo.

.

ARTICLE 1: INTER-RELATIONSHIPS OF PHYSICAL-WATER AND STRUCTURAL ATTRIBUTES IN SOIL CLASSES IN THE BRAZILIAN TROPICAL SEMI-ARID

ABSTRACT

The study covering the interrelationships of the physical-hydric and structural attributes of soils shows variability regarding the dynamics of the pore space that is easily modified by environmental conditions and anthropogenic actions. Therefore, this study aimed to evaluate the interrelationships of physical-hydric and structural attributes of soil classes in toposequence in the Chapada do Apodi, Rio Grande do Norte, Brazil, in order to identify the sensitive attributes for the differentiation of environments through the multivariate analysis technique. Disturbed and undisturbed soil samples were collected in seven profiles open for morphological description and to perform physico-hydric and structural analyses. The physical attributes obtained from the retention curve were macroporosity, microporosity, total porosity, field capacity, permanent wilting point, and available water, while the structural attributes were soil density, texture and clay dispersed in water. The soil classes showed dissimilarity regarding the local lithology, a factor attributed to the different parent materials, resulting in atypical characteristics of the soil classes. The principal component analysis allowed the formation of three groups where the inorganic fractions of the soil discriminated the environments and the soil classes. Soil management had a negative influence on soil density, due to the particle rearrangement process. The variables of structure of Inceptisols, Vertisols and Ultisols were represented expressively by soil water retention. Soil water availability was representative for classes with clayey texture.

Keywords: Soil management. Land use. Water deficit. Soil aeration. Caatinga.

1. INTRODUÇÃO

A manutenção dos sistemas agrícolas, frente à escassez hídrica, em regiões áridas e semiáridas é um dos maiores desafios para século 21. A utilização demasiada dos recursos naturais proveniente da demanda mundial por insumos encontra-se cada vez mais evidenciada, denotando na importância de estudos que venham garantir a sustentabilidade do meio e o não prometimento das propriedades física-hídricas e estruturais do solo.

Apesar do Brasil encontrar-se entre os dez países com maior disponibilidade hídrica do mundo a mesma ocorre de forma desuniforme em relação ao espaço, denotando longos períodos de estiagem e, conseqüentemente secas severas em algumas regiões, como no Nordeste do Brasil que apresenta déficit hídrico (ANDRADE et al., 2020). Com distribuição irregular das chuvas denotando em atuação mais eminente do intemperismo físico na formação do solo que, em sua maioria, os solos são rasos devido ao impedimento físico refletindo no desenvolvimento e manutenção das culturas local (MONTENEGRO e RAGAB, 2012; LI et al., 2019; KUČERA et al., 2020).

Os solos do semiárido, em sua maioria, são pobres em matéria orgânica, porém férteis do ponto de vista químico (fertilidade natural) devido à redução da lixiviação das bases trocáveis. Possuem limitações físicas quanto às forças de coesão o que compromete a penetração das raízes e, conseqüentemente o tráfego de máquinas agrícolas (LI et al., 2019; KUČERA et al., 2020; REIS et al., 2021). A adoção de manejos adequados favorece sua conservação e preservação, influenciando de forma positiva a sustentabilidade agrícola do meio (LIU et al., 2011).

O conhecimento das propriedades do solo é determinante na adoção de práticas conservacionistas as quais são responsáveis pela manutenção da vida vegetal e animal (OTALVARO et al., 2016; ZHOU et al., 2020). As propriedades hidráulicas do solo controlam o movimento de água e soluto no mesmo, permitindo modelagem hidrológica e previsões de balanço hídrico (FERNÁNDEZ-GÁLVEZ et al., 2019; CHEN et al., 2021).

A CRAS é facilmente influenciada pelo tamanho e distribuição dos poros, onde acontece o fenômeno de capilaridade, principalmente pela presença dos microporos e adsorção da água na superfície sólida dos minerais (SILVA et al., 2018). A mesma encontra-se relacionada a sucção (ψ) e conteúdo de água (θ) no solo (BESCANSA et al., 2006; MIYATA et al., 2007). A determinação se faz necessária na adoção da irrigação, planejamento do uso da terra, drenagem, dentre outros (FERNÁNDEZ-GÁLVEZ et al., 2019).

Estudos detalhados do solo são essenciais para as áreas geológicas, ambientais e sociais (população agrícola). De posse desses dados o solo poderá ser utilizado em conformidade com sua aptidão agrícola, promovendo a minimização de riscos de degradação ambiental relacionados aos processos erosivos e de salinidade, os quais são frequentes em região semiárida, em decorrência de suas condições climáticas e utilização inadequada (MOKARRAM e ZAREI, 2021; SÁ et al., 2021).

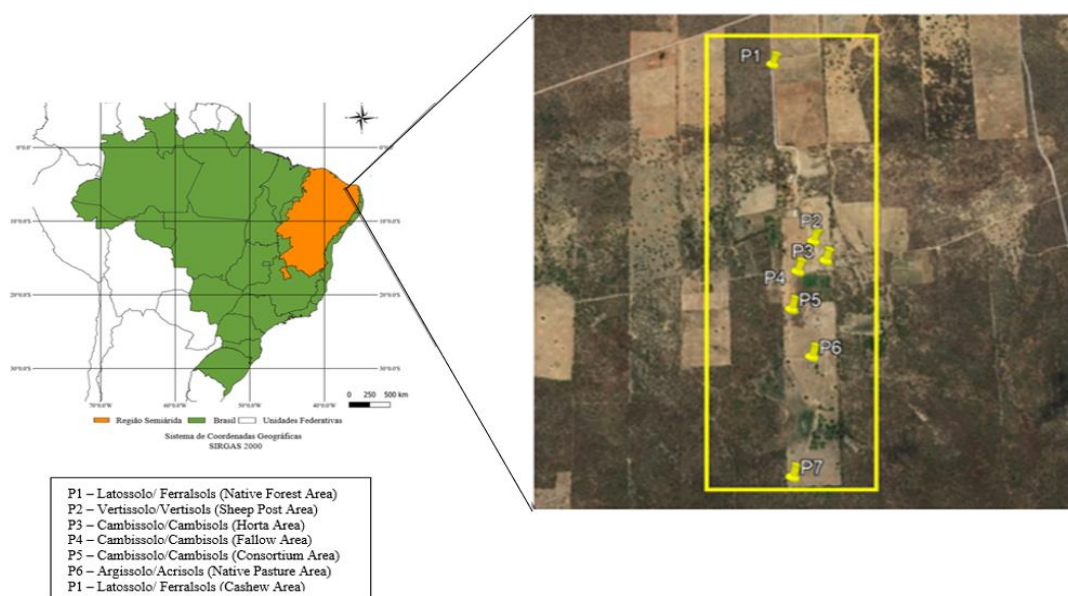
Frente a isto, a presente pesquisa objetivou avaliar as inter-relações dos atributos físico-hídricos e estruturais do solo sob usos agrícolas em classes de solos, com o intuito de identificar os atributos sensíveis na diferenciação dos ambientes por meio da utilização da técnica de análise multivariada.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi realizada em área de agricultura familiar, com extensão equivalente a 600 hectares, localizada em Upanema no Estado do Rio Grande do Norte, Brasil (Figura 1). O clima da região, segundo a classificação de Köppen é do tipo BSw'h', semiárido quente com chuvas de outono e temperaturas médias mensais superiores a 18 °C. Devido às baixas latitudes, a região apresenta duas estações climáticas bem definidas, uma chuvosa e outra seca. A precipitação pluvial média anual é de 715 mm com distribuição unimodal, com 70% dos eventos se concentrando no período de março a maio. A vegetação natural é caracterizada como Caatinga Hiperxerófila, apresentando classes variadas de solos (CPRM, 2005).

Figura 1. Localização da área de estudo.



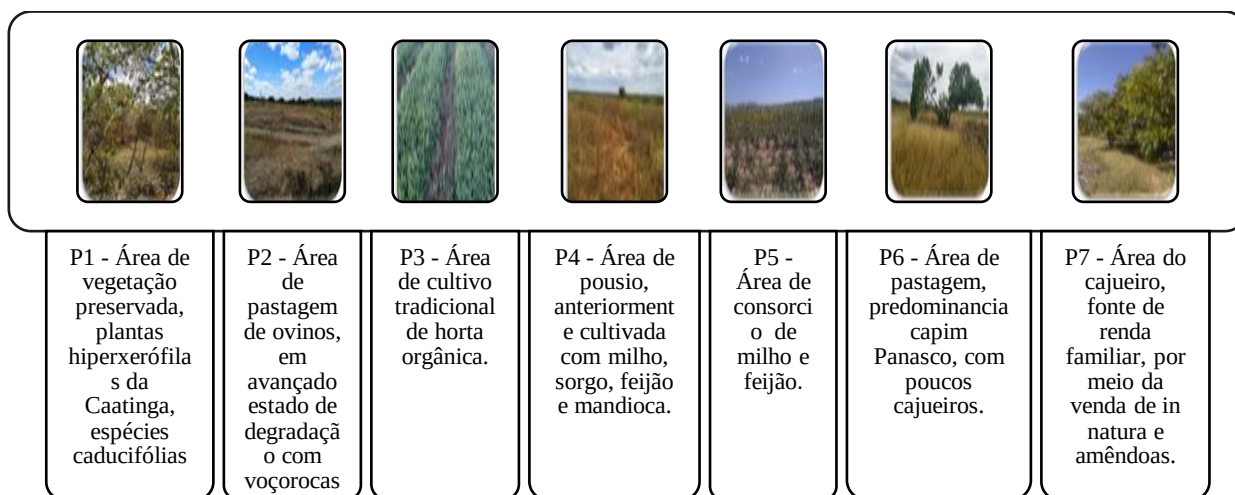
As coletas de solo foram realizadas em sete pontos amostrais (Tabela 1) seguindo a topossequência (Figura 1) da região. Em cada ponto amostral foi aberta uma trincheira para identificação dos perfis representativos dos solos. Os solos foram classificados seguindo o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo – SiBCS e a Base de Referência Mundial - WRB (WRB, 2014), publicada pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura – FAO.

Tabela 1. Localização geográfica das diferentes classes de solos estudadas.

Perfil	Classes de Solo SiBCS/WRB	Coordenadas Geográficas
P1	Latossolo/ Ferralsols	05°36'01" S; 37°22'41" W
P2	Vertissolo/ Vertisols	05°36'23" S; 37°22'36" W
P3	Cambissolo/ Cambisols	05°36'26" S; 37°22'34" W
P4	Cambissolo/ Cambisols	05°36'31" S; 37°22'38" W
P5	Cambissolo/ Cambisols	05°36'31" S; 37°22'38" W
P6	Argissolo/ Acrisols	05°36'37" S; 37°22'36" W
P7	Latossolo/ Ferralsols	05°36'50" S; 37°22'38" W

Cada perfil é representativo de uso e ocupação dos solos (Figura 2). P1 – Área de Mata Nativa (AMN); P2 – Área de Pastagem de Ovinos (APO); P3 – Área da Horta (APO); P4 – Área de Macaxeira (AM); P5 – Área de Consórcio, milho e feijão, (AC); P6 – Área de Pastagem Nativa (APN) e; P7 – Área do Cajueiro (ACJ) (Figura 2).

Figura 2. Uso e ocupação do solo referente ao estudo da topossequência de sete perfis.



2.2 COLETA E PREPARO DAS AMOSTRAS DE SOLOS

Amostras de solos com estruturas deformadas e indeformadas foram coletadas nos perfis e seus respectivos horizontes para a realização das análises física-hídricas e estruturais. As amostras de estrutura deformada foram empregadas na determinação dos atributos físicos (granulometria e argila dispersa em água), foram realizadas em triplicata, em laboratório, com obtenção da média das repetições (Tabela 2).

Tabela 2. Variáveis físicas-hídricas e estruturais e suas respectivas unidades, métodos e metodologias adotados para sua determinação para as diferentes classes de solos.

		Análises Física		
	Gra.	Variáveis	Unit	Metodologia
Estrutura deformada		Areia (2 a 0,05 mm)	g.kg ⁻¹	Tamisação
		Argila (<0,002 mm)	g.kg ⁻¹	Sedimentação
		Silte (0,05 a 0,002 mm)	g.kg ⁻¹	Diferença
		ADA	g.kg ⁻¹	Pipeta
		silte/argila	–	Relação silte/argila
Estrutura indeformada		DS	kg.dm ⁻³	Anel volumétrico
		CRAS	m ³ m ⁻³	Mesa e panela de pressão
		Macroporosidade	cm ³ .cm ⁻³	PT – Microporosidade
		Microporosidade	cm ³ .cm ⁻³	Pressão 6 kPa
		PT	cm ³ .cm ⁻³	
		CP	m ³ m ⁻³	
		PMP	m ³ m ⁻³	Panela de pressão 1500 kPa
		AD	m ³ m ⁻³	CP – PMP
		Estabilidade de agregados	cm ³ .cm ⁻³	Peneiramento úmido
		DMP	mm	
		DMG	mm	Separação por classes de tamanho

Nota: Gra. – Granulometria; ADA – Argila Dispersa em Água; DS – densidade do solo; CRAS – Curva de Retenção de Água no Solo; PT – Porosidade Total; CC – Capacidade de Campo; PMP – Ponto de Fusão Permanente; AD – Água Disponível; DMP – Diâmetro Médio Ponderado; DMG – Diâmetro Médio Geométrico.

A granulometria foi determinada utilizando 20 g da terra fina seca ao ar (TFSA) e dispersante químico (Hexametáfosfato de sódio) com agitação mecânica lenta, em agitador tipo Wagner (50 rpm), por um período de 16 horas. Argila dispersa em água (ADA) foi determinada utilizando o mesmo procedimento da granulometria, o que deferiu foi a não utilização dispersante químico Hexametáfosfato de sódio para a separação da fração argila.

Para a Curva de Retenção de Água no Solo (CRAS) coletou-se em cada horizonte dez (10) amostras com estrutura indeformada, nos sete perfis de solos, totalizando trinta e um (31) horizontes e trezentas e dez (310) amostras, evitando assim a resaturação da mesma após a aplicação da tensão (0; 2; 6; 10; 33; 100; 500 e 1500 kPa). Os dados foram ajustados a equação usada por VAN GENUCHTEN (1980), que relaciona o potencial matricial (ϕm), variável independente, com a umidade volumétrica (θ) variável dependente (Equação 1).

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha \cdot |\phi m|)^n]} \quad (1)$$

Em que:

θ – umidade volumétrica (m³.m⁻³);

θ_r – umidade volumétrica residual (m³.m⁻³);

θ_s – umidade volumétrica saturada (m³.m⁻³);

$|\phi m|$ – potencial matricial (kPa) e;

A, m, n – parâmetros empíricos da equação.

Quanto a capacidade de campo (CC), foi considerada o conteúdo de água retido nas tensões 10 kPa para solos arenosos e 33 kPa para solos argilosos. Enquanto, o ponto de murcha permanente (PMP) foi considerado o conteúdo de água retido na tensão de 1500 kPa e, a água disponível (AD) determinada pela diferença entre conteúdos de água entre a CC e PMP, equação 2.

$$AD = CC - PMP \quad (2)$$

Para a realização das análises de macroporosidade, microporosidade e porosidade total determinada, foi utilizado amostras com estrutura indeformada dos anéis volumétricos que foram submetidos ao processo de saturação por 48 horas e pesados posteriormente, a fim de obter a porosidade total.

Para a determinação da porosidade total foi necessário o conhecimento da massa das amostras saturadas por água (M_{sat}) e a massa de solo seco em estufa (M_s), conforme a equação 3:

$$Pt = \frac{(M_{sat} - M_s)}{V} \times 100 \quad (3)$$

em que:

M_{sat} = massa do solo na condição de saturação;

M_s = massa do solo seco e;

VT = volume da amostra.

A porosidade total calculada foi determinada a partir da relação entre a densidade do solo (D_s) e a densidade de partículas (D_p), por meio da equação 4.

$$Pt_{calc} = 1 - \frac{D_s}{D_p} \quad (4)$$

Em que:

D_s = Densidade do solo e;

D_p = Densidade de partículas.

Para a determinação da microporosidade as amostras foram submetidas a tensão de 6 kPa na mesa de tensão. Ao término da aplicação da tensão, foi aguardado de 12 a 24 horas, objetivado seu equilíbrio, conforme equação 5.

$$Micro = \frac{(M_{60cm} - M_s)}{V} \times 100 \quad (5)$$

em que:

M_{60cm} = massa das amostras para h igual a 60 cm de água;

M_s = massa do solo seco e;

V_T = volume da amostra.

Por fim, a macroporosidade do solo foi determinada pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade do solo, usando-se a equação 6:

$$Macro = P_t - Micro \quad (6)$$

Os agregados foram determinados por via úmida utilizando peneiras com malha de 4,00 e 2,00 mm para preservação de sua estrutura pela unidade de fraqueza. Foram utilizadas 4 repetições de 25 g de agregados de cada perfil e seus respectivos horizontes, totalizando 124 amostras. Em seguida os agregados foram distribuídos na peneira de malha de 2,00 mm para o pré-umedecimento, por capilaridade, com peneiras dispostas nas malhas 2,00, 1,00, 0,50 e 0,25 mm para posterior realização de 42 oscilações/minuto no oscilador vertical (Tabela 2).

A distribuição do tamanho do agregado e o diâmetro médio ponderado (DMP) foram obtidos com a utilização da Equação 7.

$$DMP = \sum (x_i - w_i) \quad (7)$$

Em que:

DMP = Diâmetro médio ponderado (mm);

x_i = diâmetro médio das classes de solo (mm) e;

w_i = proporção (%) de cada classe de agregados sobre o total de classes.

8. O Diâmetro Médio Geométrico (DMG) dos agregados foi obtido utilizando a equação

$$DMG = \exp \frac{w_i \log x_i}{w_i} \quad (8)$$

Em que:

w_i = peso de agregados (g) dentro de uma classe de agregados de diâmetro médio x_i.

Os valores médios dos atributos físicos e estruturais das classes de solo encontram-se representados na Tabela 3.

Tabela 3. Frações inorgânicas e atributos estruturais em classes de solos.

CLASSES DE SOLO			VARIÁVEIS											
SiBCS/FAO	Horizonte	Profundidade	Areia	Silte	Argila	DS	Mi	Ma	PT	DMP	DMG	CC	PMP	AD
P1 - Latossolo/ Ferralsols	A	0-10	769	60	171	1,51	20	25	45	0,66	0,92	0,10	0,07	0,03
	BA	10-25	689	27	284	1,46	26	21	48	0,62	0,83	0,15	0,12	0,03
	Bw	25-148	638	32	330	1,48	30	17	47	0,58	0,84	0,18	0,14	0,04
	Bw ₂	148-200+	646	27	327	1,46	30	18	48	0,88	0,92	0,18	0,11	0,07
P2 - Vertissolo/ Vertisols	A	0-8	764	65	172	1,49	39	14	53	1,24	0,97	0,27	0,18	0,10
	C ₁	8-20	654	84	262	1,43	33	23	56	1,49	1,01	0,38	0,18	0,20
	C ₂	20-98	541	158	301	1,58	37	12	51	0,92	0,86	0,30	0,22	0,08
	C ₃	98-160	517	137	346	1,62	39	16	55	0,61	0,86	0,37	0,28	0,09
	C _r	160-192+	744	94	163	1,65	12	36	49	0,92	0,94	0,27	0,19	0,08
P3 - Cambissolo/Cambisols	Ap	0-8	760	67	173	1,53	27	17	44	0,93	0,95	0,15	0,09	0,06
	Bi	8-38	637	54	309	1,70	24	19	42	1,08	0,97	0,19	0,11	0,08
	BC	38-92	594	75	331	1,46	40	11	53	0,55	0,75	0,27	0,15	0,11
	C ₁	92-108	627	43	330	1,47	40	7	55	0,73	0,80	0,32	0,22	0,10
	Cr	108-195+	905	11	84	1,38	38	9	54	1,41	0,99	0,41	0,36	0,04
P4 - Cambissolo/Cambisols	A	0-10	736	74	190	1,35	29	28	57	0,67	0,89	0,20	0,13	0,08
	Bi	10-35	514	46	439	1,72	49	9	52	0,53	0,87	0,35	0,29	0,06
	BC	35-130	466	209	325	1,72	43	8	40	0,79	0,84	0,37	0,30	0,07
	C	130-200+	401	419	180	1,51	32	21	53	0,88	0,84	0,26	0,22	0,04
P5 - Cambissolo/Cambisols	A	0-12	845	89	66	1,52	20	8	45	1,09	0,98	0,21	0,13	0,08
	Bi	12-100	560	143	297	1,70	45	1	47	0,75	0,78	0,33	0,21	0,12
	BC	100-125	458	321	220	1,59	40	15	56	0,74	0,80	0,35	0,26	0,08
	C	125-195+	863	80	57	1,51	16	27	43	1,95	1,08	0,12	0,08	0,03
P6 - Argissolo/Acrisols	Ap	0-15	887	85	28	1,52	17	30	46	0,82	0,92	0,06	0,05	0,01
	AB	15-55	894	51	55	1,59	15	24	41	0,81	0,96	0,05	0,03	0,02
	BA	55-95	816	67	117	1,62	21	19	40	0,6	0,91	0,15	0,09	0,06
	Bf	95-190+	727	48	226	1,64	41	8	49	0,8	0,91	0,31	0,27	0,04
P7 - Latossolo/Ferralsols	A	0-8	899	50	51	1,33	17	36	53	1,05	0,98	0,07	0,05	0,02
	AB	8-30	874	60	66	1,53	5	39	43	0,71	0,97	0,06	0,04	0,03
	BA	30-65	834	56	109	1,54	8	35	43	1,06	0,96	0,08	0,07	0,01
	Bw ₁	65-100	837	43	120	1,55	13	29	40	1,02	0,97	0,07	0,06	0,01
	Bw ₂	100-195+	818	54	128	1,57	18	28	39	2,31	0,99	0,11	0,06	0,05

Nota: DS – densidade do solo; Mi – Microporosidade; Ma – Macroporosidade; PT – Porosidade Total; WMP – Diâmetro Médio Ponderado; DMG – Diâmetro Médio Geométrico; CC – Capacidade de Campo; PMP –Ponto de Murcha Permanente; AD – Água Disponível.

2.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

De posse dos atributos físico-hídricos e estruturais dos perfis dos solos, os resultados médios foram interpretados utilizando a técnica de análise multivariada, como ferramenta principal, para a interpretação das variáveis mais sensíveis na distinção dos ambientes e usos agrícolas. Realizou-se a análise de correlação de Pearson ($p \leq 0,05$), objetivando a obtenção de correlações mínimas para justificar a confecção e, consequente uso na matriz de dados,

posteriormente submetidos às análises de componentes principais (ACP) e fatorial (AF), empregando o software Statistica 7.0 (STATSOFT, 2004).

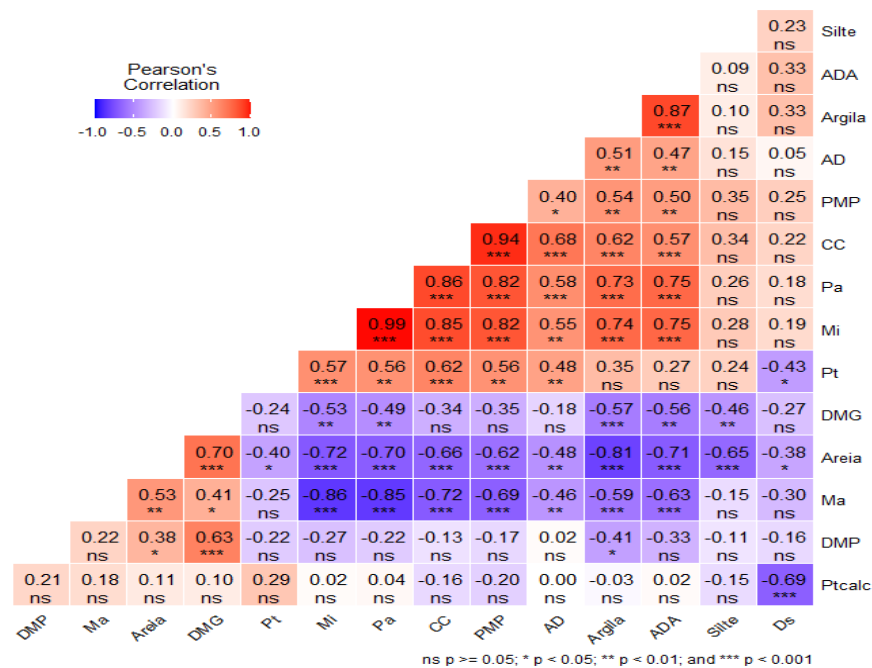
A AF foi realizada pela extração dos fatores com autovalores superiores a 1 dos componentes principais, enquanto os eixos fatoriais foram rotacionados pelo método Varimax. Para a pesquisa apresentada estabeleceu-se o valor de 0,65 para cargas fatoriais significativas (HAIR JÚNIOR et al., 2014). A análise fatorial e de componentes objetivam a redução dos dados e representação das variáveis discriminantes na distinção dos ambientes e seus distintos usos agrícolas.

3. RESULTADOS

3.1 MATRIZ DE CORRELAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS-HÍDRICOS E ESTRUTURAIS DO SOLO

De posse dos resultados físico-hídricos e estruturais das classes de solo (Tabela 3) foi elaborada a matriz de correlação de Pearson, com a finalidade de avaliar o grau de associação dentre as variáveis. Os atributos físico-hídricos e estruturais do solo foram estudados com base na análise multivariada demonstrando com isso correlações fortes ou fracas negativas e/ou positivas, respectivamente, onde foi atribuído os coeficientes com valor $\geq 0,65$ (Tabela 4).

Tabela 4. Matriz de correlação dos atributos físico-hídricos e estruturais das diferentes classes de solos.



Quando a variável não apresenta correlação com nenhuma outra variável significa dizer que ela é insubstituível, uma variável importante e independente. Frente a isso, foram observadas correlações negativas ao avaliar as frações inorgânicas e estruturais (silte, argila, ADA, Mi e CC) com a areia. A fração argila apresentou correlação positiva com a Mi e ADA, bem como a ADA com a Mi que se correlacionou negativamente com a macroporosidade e positiva com a capacidade de campo. A densidade do solo correlacionou-se negativamente com a porosidade total calculada.

3.2 ANÁLISE FATORIAL DOS ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICO E ESTRUTURAL DO SOLO

A análise fatorial revelou que as causas de variação se devem as inter-relações das variáveis retenção de água e atributos estruturais no solo (Tabela 5). Os resultados das inter-relações apresentaram cargas fatoriais superiores a 0,6 demonstrando significância na inter-relação entre as variáveis (HAIR JUNIOR et al., 2014). Foram selecionados os fatores 1, 2, 3 e 4 uma vez que atenderam ao critério de autovalores superiores a 1 (KAISER, 1958). Os eixos fatoriais foram gerados utilizando o Método Varimax. As junções de ambos explicam 83% da variância total dos dados.

Tabela 5. Matriz de cargas fatoriais extraídas dos atributos físico-hídricos e estruturais dos perfis do solo e suas respectivas cargas fatoriais, autovalores, variância total e acumulada das classes de solos.

Atributos	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
Areia	-0,63	0,13	-0,48	-0,50
Silte	0,10	-0,13	0,14	0,94
Argila	0,76	-0,07	0,53	-0,07
ADA	0,76	-0,08	0,47	-0,13
DS	0,20	-0,92	0,14	0,07
Mi	0,88	0,06	0,29	0,15
Ma	-0,80	0,19	-0,20	0,01
PT	0,48	0,65	0,14	0,37
PTcal	-0,02	0,84	-0,02	-0,17
DMP	-0,01	0,05	-0,89	-0,06
DMG	-0,38	0,00	-0,81	-0,27
CC	0,88	-0,01	0,02	0,32
AD	0,78	0,12	-0,16	0,16
Autovalores	6,12	2,10	1,37	1,19
Variação total (%)	47,11	16,19	10,51	9,17
Variação total acumulada (%)	47,11	63,30	73,81	82,99

Foram extraídos os fatores das 13 variáveis estudadas, onde a proporção do Fator 1 (F1) apresentou 47,11% sendo determinante na análise em função do grau variação. O F1 permitiu estimar a influência das variáveis expressivas na pesquisa, com cargas fatoriais positivas para a fração inorgânica (argila e ADA) e retenção de água no solo (Mi, CC e AD) e negativa para a macroporosidade do solo, sendo seus atributos variáveis entre as classes e os ambientes, consequência do material de origem e as características atípicas das classes de solo.

Quanto ao F2, as variáveis de estruturação foram as que o determinou, sendo que a variável porosidade total calculada foi de forma positiva e a densidade do solo negativa, apresentando cargas fatoriais (16,19 %). O F3, as variáveis que se destacaram foram: DMG e DMP, apresentando cargas fatoriais negativas (10,51 %). O quarto fator destacou a fração inorgânica (silte) com 9% da explicabilidade. O somatório das variâncias acumuladas dos fatores 1 e 2 resultou em 63,30 % das causas de variação, ou seja, os fatores de maior contribuição para a distinção dos ambientes em estudo.

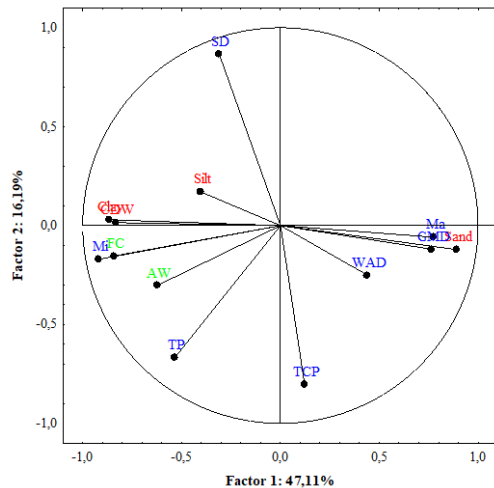
A análise fatorial revela que a maior fonte das causas de variação ($F1=47,11\%$) deve-se a fração inorgânica argila e ADA conferindo maior retenção nos microporos que inferiu na capacidade de campo e disponibilidade hídrica.

3.3 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

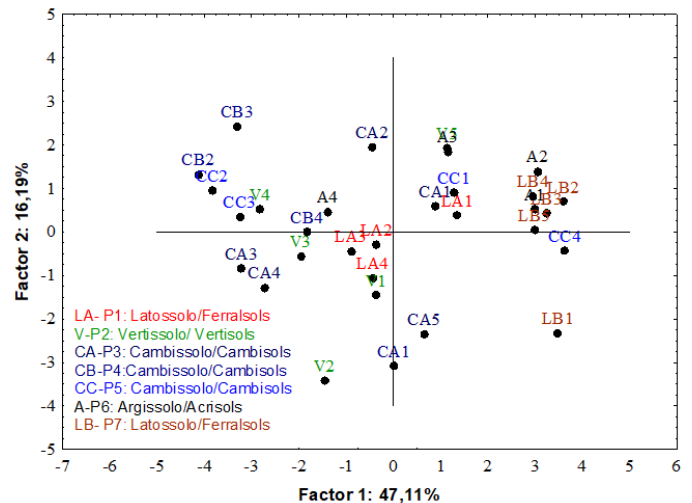
A análise de componentes principais gerou diagramas de projeção dos vetores para os atributos físico-hídricos e estruturais dos solos, permitindo assim identificar sua influência na diferenciação dos ambientes e seus respectivos usos. No círculo de correlação (Figura 3 A B), as frações inorgânicas do solo (areia, silte e argila) não se reuniram no mesmo quadrante, apresentando variabilidade, quanto a textura, esse efeito reflete na predominância das variáveis que mais discriminam os ambientes, retratando as inter-relações existentes para cada particularidade local e as diferentes classes de solo. A argila e ADA discriminaram as classes de Cambissolo, Vertissolo e Argissolo. A argila, ADA, Mi, CC e AD foram discriminantes para as classes de Argissolo, Vertissolo e Cambissolo. As variáveis densidade do solo e porosidade total foram discriminantes para os Cambissolos.

Figura 3. Distribuição das variáveis no círculo de correlações (A) e distribuição da nuvem de pontos que representa a relação entre os fatores 1 e 2 (B) nas classes de solo.

A



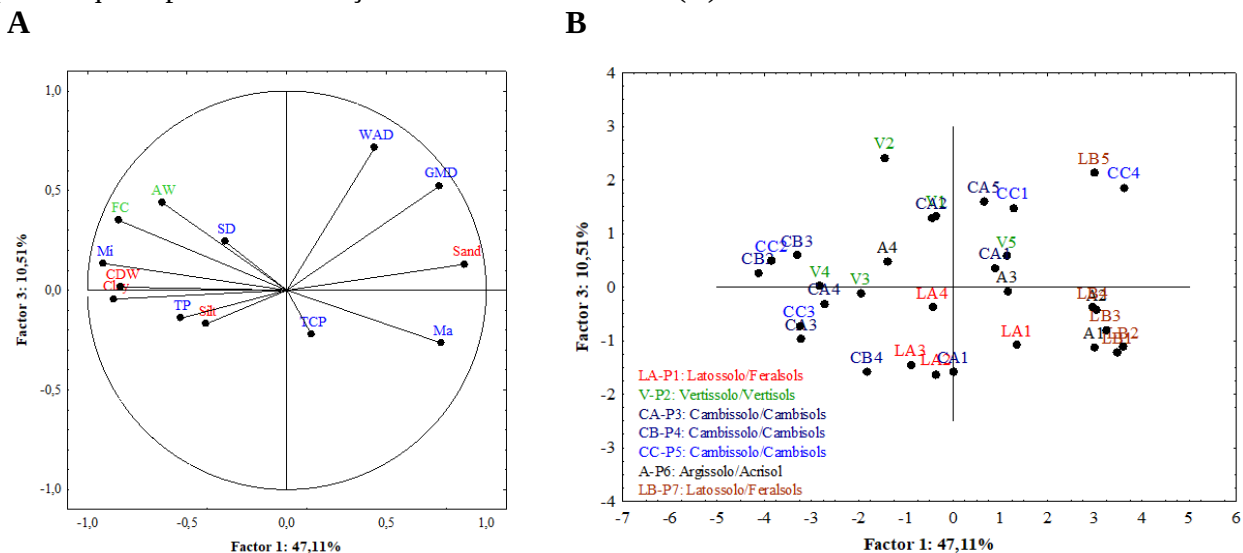
B



Nota: LA1 – Latossolo – P1 - 0-10 cm; LA2 – Latossolo – P1 - 10-25 cm; LA3 – Latossolo – P1 - 25-148 cm; LA4 – Latossolo – P1 - 148-200+ cm; V1 – Vertissolo – P2 - 0-8 cm; V2 – Vertissolo – P2 - 8-20 cm; V3 – Vertissolo – P2 - 20-98 cm; V4 – Vertissolo – P2 - 98-160 cm; V5 – Vertissolo – P2 - 160-192+ cm; CA1 – Cambissolo – P3 - 0-8 cm; CA2 – Cambissolo – P3 - 8-38 cm; CA3 – Cambissolo – P3 - 38-92 cm; CA4 – Cambissolo – P3 - 92-108 cm; CA5 – Cambissolo – P3 - 108-195+ cm; CB1 – Cambissolo – P4 - 0-10 cm; CB2 – Cambissolo – P4 - 10-35 cm; CB3 – Cambissolo – P4 - 35-130 cm; CB4 – Cambissolo – P4 - 130-200+ cm; CC1 – Cambissolo – P5 - 0-12 cm; CC2 – Cambissolo – P5 - 12-100 cm; CC3 – Cambissolo – P5 - 10-125 cm; CC4 – Cambissolo – P5 - 125-195+ cm; A1 – Argissolo – P6 - 0-15 cm; A2 – Argissolo – P6 - 15-55 cm; A3 – Argissolo – P6 - 55-95 cm; A4 – Argissolo – P6 - 95-190+ cm; LB1 – Latossolo – P7 - 0-8 cm; LB2 – Latossolo – P7 - 8-30 cm; LB3 – Latossolo – P7 - 30-65 cm; LB4 – Latossolo – P7 - 65-100 cm; LB5 – Latossolo – P7 - 100-195+ cm.

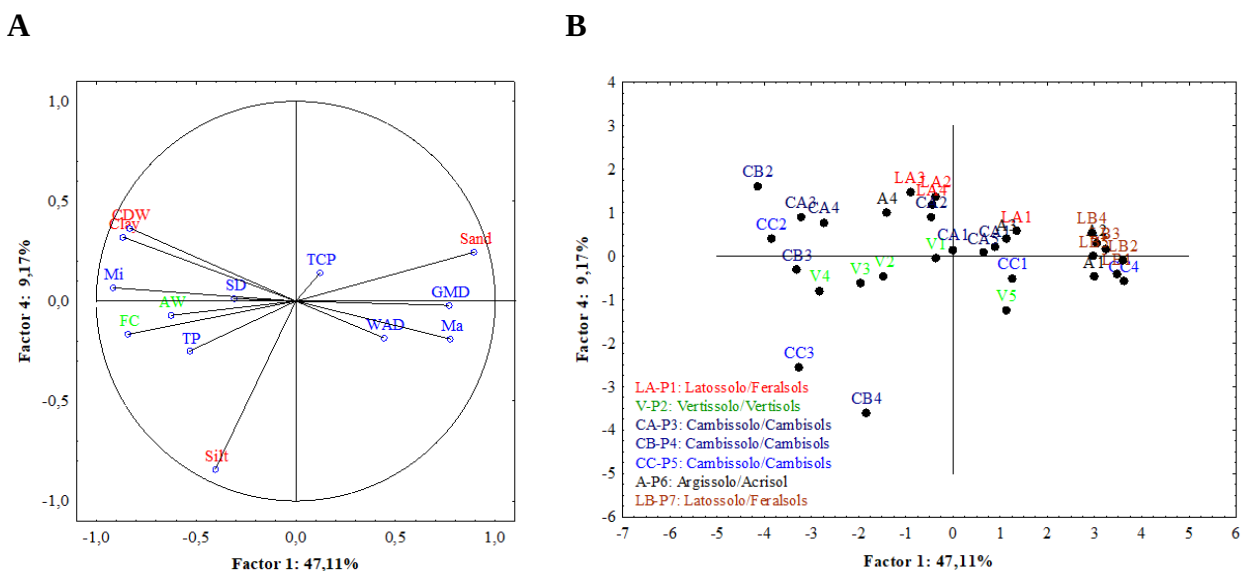
As variáveis de agregação (DMG e DMP) foram discriminantes para a classe dos Cambissolos e Latossolos (Figura 4 A B). A macroporosidade apresentou-se discriminante para as classes de Latossolo ao longo perfil e Argissolo em superfície. A capacidade de campo e água disponível discriminaram os Cambissolos, Vertissolo e Argissolo.

Figura 4. Distribuição das variáveis no círculo de correlações (A) e distribuição da nuvem de pontos que representa a relação entre os fatores 1 e 3 (B) nas classes de solo.



Na figura 5 A e B o silte discriminou a classe dos Cambissolos, para as áreas estudadas.

Figura 5. Distribuição das variáveis no círculo de correlações (A) e distribuição da nuvem de pontos que representa a relação entre os fatores 1 e 4 (B) nas classes de solo.



3.4 CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

Os parâmetros van Genuchten para ajuste da equação está representado na Tabela 6.

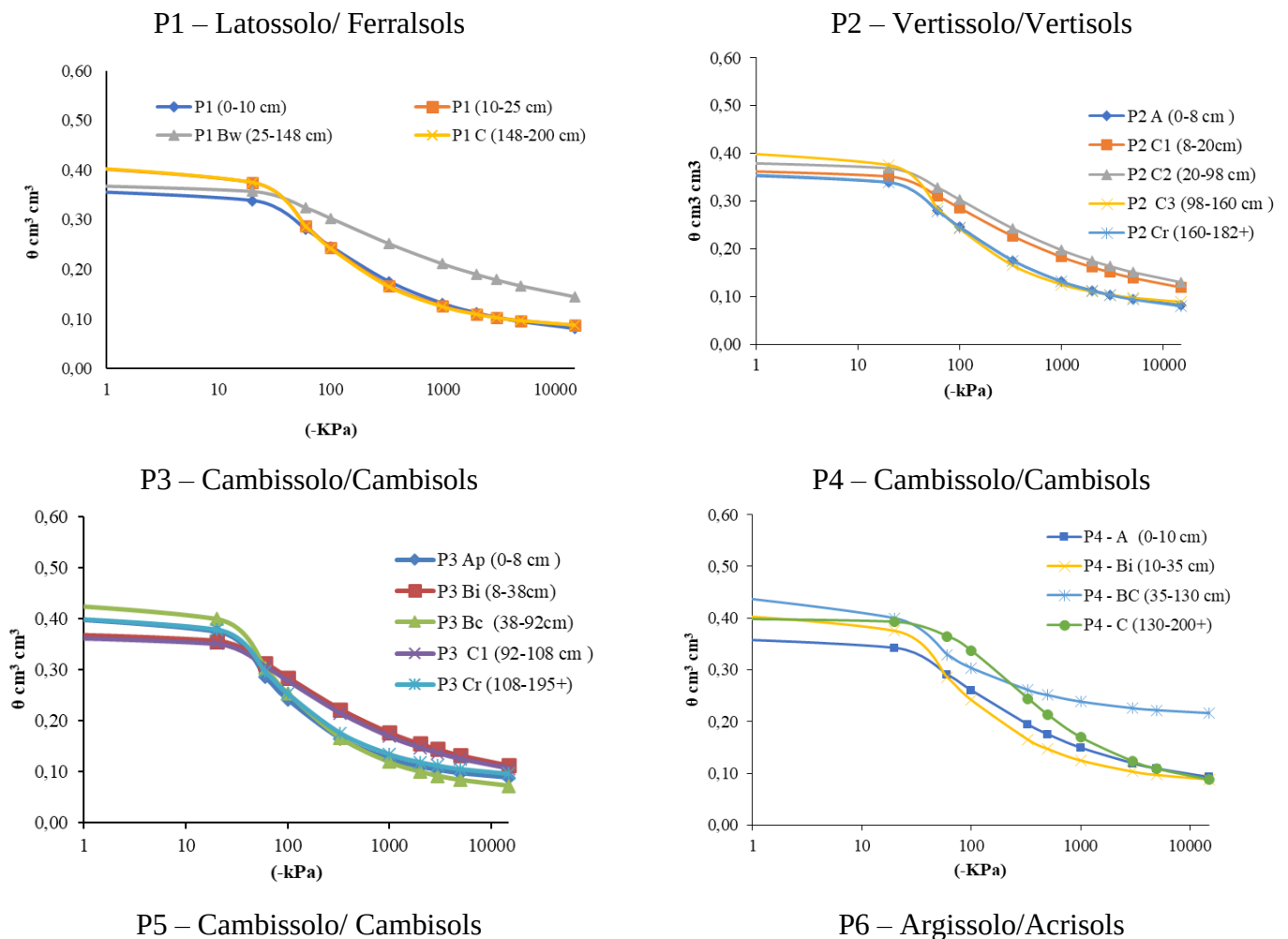
Tabela 6. Parâmetros da equação de van Genuchten ajustados para análise da Curva de Retenção de Água no Solo para classes e usos.

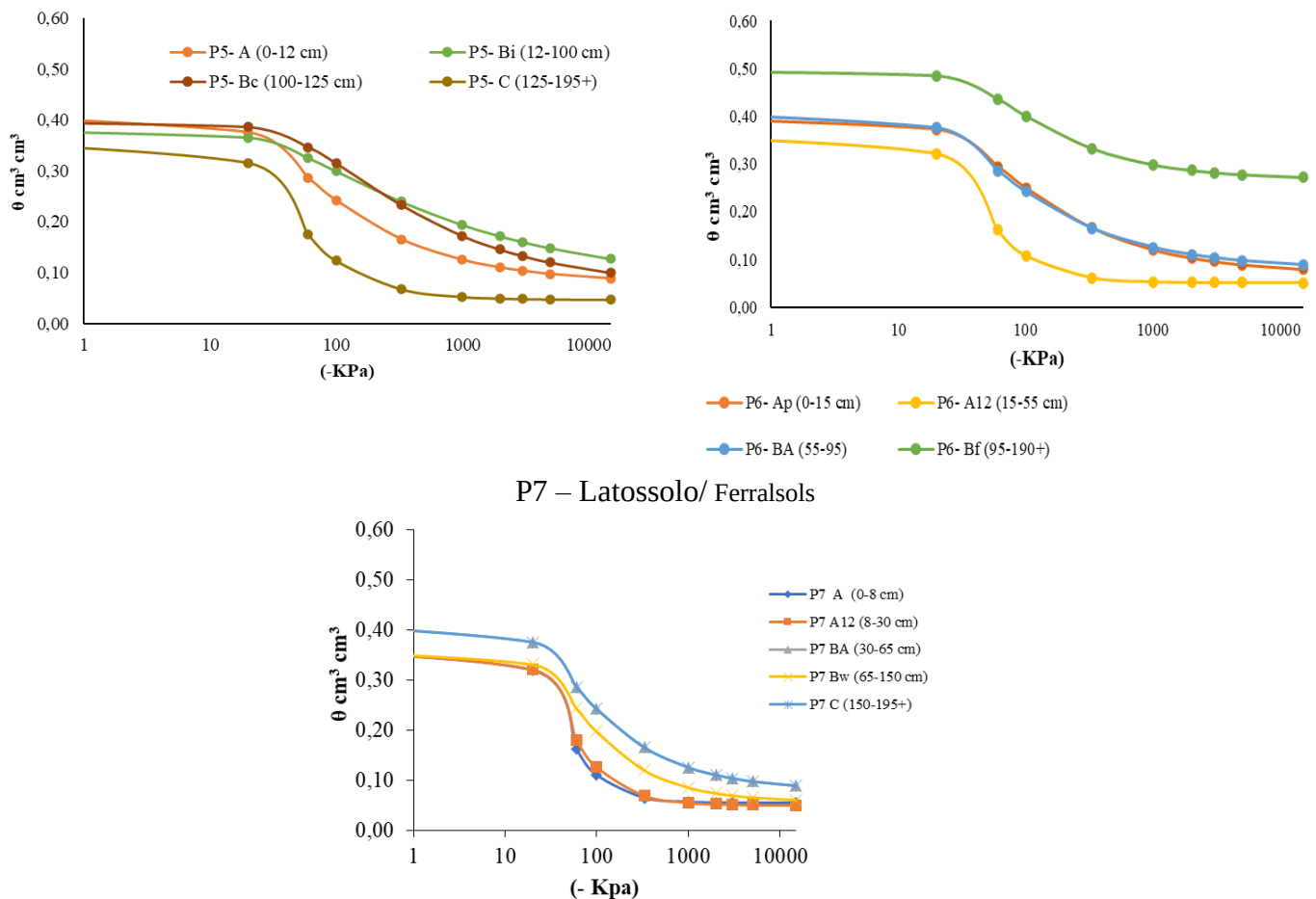
Classes de Solo SiBCS/FAO	Horizonte	Profundidade (cm)	θ_r	θ_s	α	n	m	CC	PMP	AD
			$\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^3$							
Latossolo/ Ferralsols	A	0-10	0,058	0,371	0,028	1,437	0,304	0,105	0,074	0,031
	BA	10-25	0,076	0,429	0,035	1,548	0,355	0,153	0,121	0,032
	Bw	25-148	0,074	0,379	0,026	1,245	0,197	0,179	0,137	0,041
	Bw ₂	148-200+	0,078	0,430	0,036	1,560	0,359	0,178	0,110	0,067
Vertissolo/ Vertisols	A	0-8	0,058	0,371	0,028	1,437	0,304	0,273	0,176	0,097
	C ₁	8-20	0,067	0,377	0,027	1,298	0,230	0,380	0,175	0,205
	C ₂	20-98	0,073	0,393	0,025	1,295	0,226	0,299	0,216	0,083
	C ₃	98-160	0,078	0,430	0,036	1,560	0,359	0,374	0,282	0,092
Cambissolo/Cambisols	C _r	160-182+	0,056	0,374	0,030	1,423	0,297	0,267	0,191	0,075
	Ap	0-8	0,078	0,430	0,036	1,560	0,359	0,152	0,089	0,063
	Bi	8-38	0,065	0,382	0,026	1,318	0,241	0,193	0,114	0,079
	BC	38-92	0,058	0,458	0,036	1,540	0,342	0,267	0,154	0,113
Cambissolo/Cambisols	C ₁	92-108	0,064	0,377	0,025	1,337	0,252	0,323	0,224	0,099
	Cr	108-195+	0,085	0,426	0,033	1,541	0,359	0,407	0,365	0,042
	A	0-10	0,060	0,372	0,028	1,383	0,271	0,203	0,127	0,076
	Bi	10-35	0,078	0,430	0,036	1,560	0,359	0,350	0,290	0,061
Cambissolo/Cambisols	BC	35-130	0,209	0,482	0,079	1,560	0,326	0,370	0,296	0,074
	C	130-200+	0,060	0,401	0,009	1,513	0,339	0,257	0,216	0,041
	A	0-12	0,078	0,430	0,036	1,560	0,359	0,213	0,132	0,081
	Bi	12-100	0,071	0,390	0,026	1,293	0,226	0,330	0,210	0,119
Cambissolo/Cambisols	BC	100-125	0,066	0,402	0,015	1,425	0,298	0,346	0,264	0,082
	C	125-195+	0,047	0,379	0,036	2,119	0,528	0,118	0,084	0,034
	Ap	0-15	0,068	0,411	0,026	1,521	0,378	0,063	0,051	0,012
	AB	15-55	0,051	0,376	0,033	2,429	0,588	0,052	0,035	0,018
Argissolo/Acrisols	BA	55-95	0,078	0,430	0,036	1,560	0,359	0,149	0,085	0,064
	Bf	95-190+	0,267	0,498	0,020	1,843	0,359	0,309	0,270	0,039
	A	0-8	0,051	0,372	0,033	2,429	0,588	0,074	0,052	0,022
	AB	8-30	0,050	0,376	0,033	2,174	0,540	0,064	0,037	0,027
Latossolo/Ferralsols	BA	30-65	0,078	0,430	0,036	1,560	0,359	0,075	0,070	0,005
	Bw ₁	65-150	0,057	0,370	0,028	1,711	0,415	0,071	0,056	0,015
	Bw ₂	150-195+	0,078	0,430	0,036	1,560	0,359	0,107	0,062	0,045

Note: θ_r – umidade volumétrica residual; θ_s – umidade volumétrica saturada; α , n e m Parâmetros de ajuste da equação de van Genuchten; CC – Capacidade de Campo; PMP – Ponto de Murcha Permanente; AD – Água Disponível.

A curva característica de água no solo (Figura 6) foi ajustada por parâmetros de acordo com o modelo matemático proposto por van Genuchten (Tabela 6). A classe de Argissolo apresentou maior retenção de água no horizonte diagnóstico (Bt), seguido dos perfis de Cambissolo, Vertissolo e Latossolo, ambas em subsuperfície. A mesma tendência para o ponto de saturação, ou seja, porosidade total (P1, P2, P3, P4, P5, P6 e P7).

Figura 6. Curva de retenção de água no solo sob diferentes classes e usos agrícolas (SBCS e FAO).





O perfil 4, referente a classe de Cambissolo destinada ao uso de macaxeira apresentou maior retenção de água no solo nas tensões iniciais da curva de retenção de água no solo, o que pode representar restrição desse solo quanto a infiltração e movimentação de água na parte superficial do solo. Quanto à disponibilidade hídrica do solo (CC, PMP e AD), representada na Tabela 6, observou-se que a capacidade de campo foi representativa para a classe dos Cambissolos (Figuras 6 – P3, P4 e P5) nos horizontes subsuperficiais; Vertissolo (P2) em estado avançado de degradação, apresentou menor retenção de água no horizonte superficial e subsuperficiais, o que pode estar relacionado ao material de origem desse solo que proporcionou diferentes proporções das frações inorgânicas do solo ao longo do perfil, devido a sobreposição do Calcário Jandaíra ao Arenito Açú.

O Argissolo no horizonte Bt (P6) apresentou diferenças nas curvas de retenção em função dos horizontes estudados, denotando características de retenção de água no solo em função da variação textural ao longo do perfil. De modo que, a curva amarela, possivelmente representa o horizonte em que há maior proporção da fração de argila e por consequência menor retenção de água no

solo, enquanto a verde representa o horizonte com acúmulo da fração argila translocada dos horizontes subjacentes, conferindo maior retenção de água.

Os Latossolos (P1 e P7) demonstraram retenção de água no solo uniforme em todo o perfil, denotando boas condições ao desenvolvimento do sistema radicular da cultura do cajueiro devido a uniformidade na distribuição do gradiente textural) apresentaram menor capacidade de campo, principalmente em superfície e com incremento para os horizontes subjacentes. A água disponível (AD) e o ponto de murcha permanente (PMP) seguiram a mesma tendência da capacidade de campo.

4. DISCUSSÃO

4.1 MATRIZ DE CORRELAÇÃO

Correlações negativas entre as frações inorgânicas do solo são comumente evidenciadas na literatura devido à natureza das partículas. A proporção mais elevada da fração areia no solo induz a formação de poros grandes com diâmetros maiores que 15 μm , favorecendo a macroporosidade e promovendo assim dissimilaridade dentre as variáveis silte e argila (KARBOUT et al., 2015), refletindo diretamente na menor retenção de água.

O tamanho e distribuição dos poros no solo influenciam diretamente na disponibilidade hídrica (XIA et al., 2022; DE LIMA et al., 2022). Solos com textura argilosa sob altas tensões, onde o potencial matricial encontra-se mais negativo e as forças de adsorção atuam de forma expressiva na tensão de água apresentam correlação positiva com a capacidade de campo e negativa com a macroporosidade. Quanto maior a tensão, maior a força com que a água estará retida ao solo. Em altas tensões, a água está se comportando como filmes de água presos à superfície das partículas e, portanto, não é possível inferir se há implicações físicas ou não, mas apenas sobre o conteúdo de água e como essa água está sendo retida ao solo (Tabela 3), (FRANZLUEBBERS, 2002; OTALVARO et al., 2016; SILVA et al., 2018).

Na condição de solo úmido a água ficará retida nos microporos e as forças capilares estarão presentes e no seco a força de adsorção, ambas irão proporcionar subsídios quanto à disponibilidade hídrica, fator crucial para o manejo das culturas (EDEN et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2021). A retenção de água no solo depende de inúmeros fatores sejam eles físicos, estruturais e químicos, por exemplo. A mesma é influenciada diretamente pelas características intrínsecas do solo como a textura, mineralogia e as propriedades estruturais

associadas à matéria orgânica do solo (OTALVARO et al., 2016; YANG et al., 2020; ZHOU et al., 2020).

A estrutura do solo é facilmente modificada pelo seu uso e manejo dos cultivos agrícolas, como observado para a classe dos Cambissolos, em estudo, que apresentou elevada densidade proveniente da reorganização das partículas pelo processo de compactação do solo e, conseqüente redução do espaço poroso, por exemplo (MENG et al., 2014; REICHERT et al., 2018; WILSON et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2021).

4.2 ANÁLISE FATORIAL E COMPONENTES PRINCIPAIS DOS ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICO E ESTRUTURAL DO SOLO

O material de origem influencia na natureza das partículas do solo denotando em densidades distintas, como também características atípicas as classes, como evidenciado na pesquisa. A sobreposição do calcário Jandaíra no arenito Açú conferiu em atipicidade para as classes de Cambissolo e Vertissolo, por exemplo, devido à predominância da fração areia (-0,63) em subsuperfície, podendo ser justificado pela geologia local, uma vez que se encontram sob diferentes materiais de origem (Arenito Açú e Calcário Jandaíra) (CPRM, 2005; MELO et al., 2017).

Solos com textura arenosa apresentam predominância de macroporos (-0,80) quando comparados aos argilosos, favorecendo o processo de lixiviação das bases trocáveis e trocas gasosas, por exemplo. O Latossolo e Argissolo – em superfície, apresentaram quantidades de macroporos superiores aos microporos, denotando menor agregação quando comparado aos argilosos devido à natureza das partículas de menor área superficial específica e coesão. Materiais agregantes como matéria orgânica sob determinada umidade favorece a atividade microbiana, bem como as diferentes interações organominerais, alterando assim suas propriedades físicas e estruturais, bem como reduzindo os riscos de desagregação e transporte das partículas inorgânicas e orgânicas pelo processo erosivo, devido à agregação do solo apresentar-se de forma mais atuante (SANTOS et al., 2018; MÜNCH et al., 2022).

Contudo, a estrutura dos solos argilosos é facilmente alterada tanto por ações naturais quanto antropogênicas, comprometendo o espaço poroso do solo (Ds -0,92) (Reis et al., 2021), denotando densidades superiores aos arenosos (MARINHO et al., 2016; Oliveira et al., 2021). Esta variável influencia diretamente as propriedades físicas e mecânicas do solo indicando seu grau de compactação, principalmente, em solos cultivados onde os impactos apresentam-se de

forma mais evidenciada. Altas densidades tendem a comprometer a permeabilidade e condutividade hidráulica, sendo também influenciada pela distribuição do tamanho dos poros, porosidade total e, conseqüentemente, o crescimento vegetal e as questões ambientais, sociais e econômicas (AL-SHAMMARY, et al., 2018; BITTELLI et al., 2021).

As classes de Argissolo, Vertissolo e Cambissolo apresentaram textura argilosa lhes conferindo maior retenção de água com predominância de microporos que inferiu na capacidade de campo e disponibilidade hídrica. Para o Argissolo a argila e ADA foram discriminantes devido ao acúmulo destas no horizonte diagnóstico Bt, característico da classe (MIOTTI et al., 2013; SANTOS et al., 2018). Quanto à agregação evidenciada nos Cambissolos e Latossolos deu-se pela presença de materiais agregantes como o cálcio e magnésio presentes no material de origem – Calcário Jandaira, conferindo argila de atividade coloidal alta, predominância de minerais 2:1 e de agentes agregantes como cálcio e magnésio, por exemplo, derivadas do material de origem e provenientes de rochas calcárias que auxiliam na agregação do solo (CPRM, 2005; MARQUES et al., 2014; MELO et al., 2017; GUO et al., 2019).

A agregação do solo oriunda de processos físico e químico (argila de atividade coloidal alta) e da atividade biológica que necessita de suporte energético proveniente de material vegetal e animal. Esses processos se fazem presentes, principalmente, em solos de textura argilosa devido à estabilização e, conseqüente, proteção de agentes cimentantes e agregantes como carbonato de cálcio, óxidos de ferro e alumínio e a matéria orgânica influenciando a dinâmica da água e solutos (SIX et al., 2002; ESTÉVEZ et al., 2016; ZHAO et al., 2018).

A fração silte (0,94) indicativo de solos jovens, pouco intemperizados, comum na região semiárida em função do déficit hídrico que auxilia redução da lixiviação das bases trocáveis e, conseqüentemente, a fertilidade natural do solo, enquanto do ponto de vista físico apresenta limitações quanto às forças de coesão o que compromete a resistência à penetração das raízes, foi evidenciada nos Cambissolos, Vertissolo e Argissolo (LI et al., 2019; KUČERA et al., 2020; BERTOLLO et al., 2021).

4.3 CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

A retenção de água no solo é influenciada por fatores como a textura e arranjo estrutural do solo (microporosidade e agregação do solo) (ZHOU et al., 2020). As frações inorgânicas (areia, silte e argila) apresentam características inerentes ao material de origem, juntamente com a matéria orgânica formando a matriz do solo e, conseqüente, o arranjo estrutural, a exemplo

disto tem-se a fração argila que apresenta predominância de microporos, contribuintes para retenção (EDEN et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2021), como bem evidenciado nas classes de Cambissolo, Argissolo e Vertissolo.

O arranjo poroso das partículas no solo, bem como sua forma e conectividade influenciam na dinâmica da água no solo (SENA et al., 2017; ZHOU et al., 2020; LIU et al., 2021). A classe do Latossolo (P1 e P7) apresentaram retenção de água, não sendo muito comum, devido a predominância de macroporos, bem como uniformidade do gradiente textural, podendo ser explicado pela predominância da areia fina, juntamente com os óxidos de ferro que auxiliaram no processo de agregação e, consequentemente na retenção de água (RÊGO et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2021). Quando comparada as demais classes a capacidade de campo foi inferior, devido à distribuição dos poros influenciar diretamente nos processos de drenagem, retenção e armazenamento de água no solo (ALGHAMDI et al., 2020).

O conteúdo de água no solo governa as forças de coesão e adesão e, consequentemente, a resistência à penetração de raízes (COLOMBI et al., 2018; SOUZA et al., 2021). No período seco as forças de coesão estarão presentes, enquanto no chuvoso ocorre o comprometimento do oxigênio e, consequente apodrecimento do sistema radicular da cultura da macaxeira (LIN et al.; 2016).

5. CONCLUSÕES

A análise multivariada auxiliou na distinção das classes de solo em função dos ambientes.

As frações inorgânicas do solo (areia, silte e argila) discriminaram os ambientes estudados.

A areia e a macroporosidade discriminaram a classe de Latossolos (P1 e P7), com menor retenção de água no solo.

O silte discriminou a classe de Cambissolos (P3, P4 e P5) e o manejo do solo influenciou de forma negativa, elevando a densidade, comprometendo a porosidade de aeração e a restrição hídrica.

A argila e a microporosidade discriminaram a classe de Vertissolo (P2), Argissolo no horizonte diagnóstico Bt (P6) e Cambissolos (P3, P4 e P5), denotando restrições físicas ao crescimento do sistema radicular, de forma expressiva no (P4), com o uso da cultura da macaxeira.

As variáveis de estruturação (P_{tcalc}, P_t, M_i e A_{DA}) foram expressivas para o Vertissolo, Argissolo no horizonte diagnóstico Bt e Cambissolos (P3, P4 e P5), auxiliando de forma positiva na retenção de água no solo.

A disponibilidade hídrica do solo (CC, PMP e AD) foi representativa para as classes dos Cambissolos (P3, P4 e P5), Vertissolo (P2) em superfície e Argissolo no horizonte diagnóstico Bt (P6).

REFERÊNCIAS

- ALGHAMDI, A. G.; ALKHASHA, A.; IBRAHIM, H. M. Effect of biochar particle size on water retention and availability in a sandy loam soil. *Journal of Saudi Chemical Society*, v. 24, pp. 1042-1050, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2020.11.003>
- AL-SHAMMARY, A. A. G.; KOUZANI, A. Z.; KAYNAK, A.; KHOO, S. Y.; NORTON, M. GATES, W. Soil Bulk Density Estimation Methods: A Review. v.28, pp.581–596, 2018. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(18\)60034-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(18)60034-7)
- ANDRADE, E. M.; GUERREIRO, M. J. S.; PALÁCIO, H. A. Q.; CAMPOS, D. A. Ecohydrology in a Brazilian tropical dry forest: thinned vegetation impact on hydrological functions and ecosystem services. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, v.27, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100649>
- BERTOLLO, A. M.; MORAES, M. T.; FRANCHINI, J. C.; SOLTANGHEISI, A.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; Levien, R.; Debiasi, H. Precrops alleviate soil physical limitations for soybean root growth in an Oxisol from southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, v.206, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104820>
- BESCANS, P.; IMAZ, M. J.; VIRTO, I.; ENRIQUE, A.; HOOGMOED, W. B. Soil water retention as affected by tillage and residue management in semiarid Spain. *Soil and Tillage Research*, v.87, pp.19-27, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.02.028>
- BITTELLI, M.; TOMEI, F.; ANBAZHAGAN, P.; PALLAPATI, R. R.; MAHAJAN, P.; MEISINA, C.; BORDONI, M.; VALENTINO, R. Measurement of soil bulk density and water content with time domain reflectometry: Algorithm implementation and method analysis. *Journal of Hydrology*, v.598, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126389>
- CHEN, K.; LIANG, F.; WANG, C. A. fractal hydraulic model for water retention and hydraulic conductivity considering adsorption and capillarity. *Journal of Hydrology*, v.602, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126763>
- COLOMBI, T.; TORRES, L. C.; WALTER, A.; KELLER, T. Feedbacks between soil penetration resistance, root architecture and water uptake limit water accessibility and crop growth – A vicious circle. *Science of the Total Environment*. v. 626, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.129>
- DE LIMA, R. P.; MÁRIO M.; ROLIM, M. M.; TOLEDO, M. P. S.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. R.; SILVA, I. A. C.; PEDROSA, E. M. R. Texture and degree of compactness effect on the pore size distribution in weathered tropical soils. *Soil & Tillage Research*, v.215, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105215>
- EDEN, M.; BACHMANN, J.; CAVALARIS, C.; KOSTOPOULOU, S.; KOZAITI, M.; BÖTTCHER, J. Soil structure of a clay loam as affected by long-term tillage and residue management. *Soil and Tillage Research*. v.204, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104734>
- ESTÉVEZ, M. A.; CID, M. C.; NÚÑEZ, R. P. Poorly-crystalline components in aggregates from soils under diferente land use and parent material. *Catena*, v.144, pp. 41-50, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.05.012>
- FRANZLUEBBERS, A. J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil and Tillage Research*, v.66, pp. 95-106, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00018-1](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00018-1)

- FERNÁNDEZ-GÁLVEZ, J.; POLLACCO, J. A. P.; LASSABATERE, L.; ANGULO-JARAMILLO, R.; CARRICK, S. A general Beerkan Estimation of Soil Transfer parameters method predicting hydraulic parameters of any unimodal water retention and hydraulic conductivity curves: Application to the Kosugi soil hydraulic model without using particle size distribution data. *Advances in Water Resources*, v.129, p.118-130, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2019.05.005>
- GUO, Z.; ZHANG, L.; YANG, W.; HUA, L.; CAI, C. Aggregate stability under long-term fertilization practices: the case of eroded ultisols of south-Central China. *Sustainability*. v.11, 2019. <https://doi.org/10.3390/su11041169>
- HAIR JUNIOR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. *Multivariate Data Analysis*, 7o ed. Pearson New International Edition, United States of America, 2014.
- KARBOUT, N.; MOUSSA, M.; GASMI, I.; BOUSNINA, H. Effect of clay amendment on water retention in sandy soil of arid Southeastern Tunisia areas. *International Research Journal of Earth Sciences*, v.3, n.6, p.1-4, 2015. http://www.isca.in/EARTH_SCI/Archive/v3/i6/1.ISCA-IRJES-2015-012.pdf
- KUČERA, A.; SKENE, K. R.; KUPEC, P. Soil hydric properties and carbon stock in a semi-arid region of Iraqi Kurdistan: The importance of historical pedogenesis, climate and locality. *Ecological Indicators*. v.119, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106813>
- LI, H.; SI, B.; MA, X.; WU, P. Deep soil water extraction by apple sequesters organic carbon via root biomass rather than altering soil organic carbon content. *Science of The Total Environment*. v.670, pp. 662-672, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.267>
- LIN, L.; HE, Y.; CHEN, J. The influence of soil drying- and tillage-induced penetration resistance on maize root growth in a clayey soil. *ScienceDirect*, v.15, p.1112–1120, 2016. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(15\)61204-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61204-7)
- LIU, B.; MA, R.; FAN, H. Evaluation of the impact of freeze-thaw cycles on pore structure characteristics of black soil using X-ray computed tomography. *Soil and Tillage Research*. v.206, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104810>
- MARINHO, A. C. C. S.; PORTELA, J. C.; SILVA, E. F.; DIAS, N. S.; SOUSA, F. S.; SILVA, A. C.; SILVA, J. F. Organic matter and physicochemical attributes of a cambisol under different agricultural uses in a semi-arid region of Brazil. *Australian Journal of Crop Science*, v. 10, pp.32-41, 2016. <https://doi.org/doi/10.3316/informit.936702228071042>
- MARQUES, F. A.; SOUZA, R. A. S.; SOUZA, J. E. S.; LIMA, J. F. W. F.; SOUZA JÚNIOR, V. S. Characterization of vertisols from the island of Fernando de Noronha, Pernambuco, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.38, pp.1051-1065, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000400002>
- MELO, A. F. D.; SOUZA, C. M. M.; RÊGO, L. G. S.; LIMA, R. N. S.; MOURA, I. N. B. M. Pedogênese de chernossolos derivados de diferentes materiais de origem no oeste potiguar. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v.13, pp.229-235, 2017. <https://doi.org/10.30969/acsa.v13i3.890>
- MENG, F.; LAL, R.; KUANG, X.; DING, G.; WU, W. Soil organic carbon dynamics within density and particle-size fractions of Aquic Cambisols under different land use in northern China. *Geoderma Regional*, v,1, p. 1-9, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geodrs.2014.05.001>.
- MIOTTI, A. A.; COSTA, M. C. G.; FERREIRA, T. O.; ROMERO, R. E. Profundidade e

atributos físicos do solo e seus impactos nas raízes de bananeiras. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 35, n. 2, p. 536-545, 2013.

MIYATA, S.; KOSUGI, K.; GOMI, T.; ONDA, Y.; MIZUYAMA, T. Surface runoff as affected by soil water repellency in a Japanese cypress forest. *Hydrological Processes*, v.21, pp.2365–2376, 2007. <https://doi.org/10.1002/hyp.6749>

MOKARRAM, M.; ZAREI, A. R. Determining prone areas to gully erosion and the impact of land use change on it by using multiple-criteria decision-making algorithm in arid and semi-arid regions. *Geoderma*, v.403, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115379>

MONTENEGRO, S.; RAGAB, R. Impact of possible climate and land use changes in the semi arid regions: A case study from North Eastern Brazil. *Journal of Hydrology*, v. 434–435, pp. 55-68, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.02.036>

MÜNCH, S.; PAPKE, N.; LEUE, M.; FAUST, M.; SCHEPANSKI, K.; SILLER, P.; ROESLER, U.; NÜBEL, U.; KABELITZ, T.; AMON, T.; FUNK, R. Differences in the sediment composition of wind eroded sandy soils before and after fertilization with poultry manure. *Soil & Tillage Research*, v.215, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105205>

OLIVEIRA, L. L. P.; PORTELA, J. C.; SILVA, E. F.; DIAS, N. S.; GONDIM, J. E. F.; FERNANDES, C. N.; MEDEIROS, J. F. Water retention in Cambisols under land uses in semiarid region of the Brazil. *Journal of Arid Environments*. v.189, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104483>

OTALVARO, I. F.; NETO, M. P. C.; DELAGE, P.; CAICEDO, B. Relationship between soil structure and water retention properties in a residual compacted soil. *Engineering Geology*, v.205 pp. 73 – 80, 2016. <https://doi-org.ez13.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.enggeo.2016.02.016>

RÊGO, L. G. S.; SILVA, J. J. A.; SOUZA, C. M. M.; PORTELA, J. C.; MOURA, I. N. B. M.; SILVA, A. C. R.; MIRANDA, O. N. Pedogenesis in the Barreiras Formation Under Climates of Rio Grande do Norte, Brazil. *Journal of Agricultural Science*. v.11, 2019. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n16p19>

REICHERT, J. M.; MENTGES, M. I.; RODRIGUES, M. F.; CAVALLI, J. P.; AWE, G. O.; MENTGES, L. R. Compressibility and elasticity of subtropical no-till soils varying in granulometry organic matter, bulk density and moisture. *Catena* v.165, pp.345–357, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.02.014>

REIS, A. M. H.; AULER, A. C.; ARMINDO, R. A.; COOPER, M.; PIRES, L. F. Micromorphological analysis of soil porosity under integrated crop-livestock management systems. *Soil and Tillage Research*, v.205, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104783>

SÁ, C. S. B.; SHIOSAKI, R. K.; SANTOS, A. M.; CAMPOS, M. A. S. Salinization causes abrupt reduction in soil nematode abundance in the Caatinga area of the Submedio San Francisco Valley, Brazilian semiarid region. *Pedobiologia - Journal of Soil Ecology*, v.85-86, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2021.150729>

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, v.5, p. 356, 2018.

SENA, K. N.; MALTONI, K. L.; FARIA, G. A.; CASSIOLATO, A. M. R. Organic carbon and physical properties in sandy soil after conversion from degraded pasture to Eucalyptus in the Brazilian Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 41, 2017. <https://doi.org/>

10.1590/18069657rbc20150505

Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Upanema. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005. 24 p.

Disponível em: <
https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/17300/1/rel_upanema.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2019.

SILVA, M. L. N.; LIBARDI, P. L.; GIMENES, F. H. S. Soil water retention curve as affected by sample height. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* v.42, 2018. <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20180058>

SIX, J.; CONANT, R. T.; PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K. Soil organic matter stabilization mechanisms: implications for soil C saturation. *Plant Soil*, v.241, pp. 155 – 176, 2002. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1016125726789>

SOUZA, R.; HARTZELL, S.; FERRAZ, A. P. F.; ALMEIDA, A. Q.; LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; SOUZA, E. S. Dynamics of soil penetration resistance in water-controlled environments. *Soil & Tillage Research*, v.205, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104768>

Statsoft. Statistica: data analysis software system: versão demonstrativa, 2004.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44, pp.892–898, 1980. <https://doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x>

WILSON, G. V.; ZHANG, T.; WELLS, R. R.; LIU, B. Consolidation effects on relationships among soil erosion properties and soil physical quality indicators. *Soil Tillage Res.* v.198, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104550>.

WRB, W. R. B. for, S.R., 2014. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps. FAO - Food and agriculture organization of the United Nations, Rome.

XIA, Q.; ZHENG, N.; HEITMAN, J. L.; SHI, W. Soil pore size distribution shaped not only compositions but also networks of the soil microbial community. *Applied Soil Ecology*, v.170, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104273>.

YANG, F.; LIU, F.; HUANG, L.; GU, J.; YANG, R.; YANG, F.; ZHANG, G. Changing controls of soil water retention in an alpine catchment: Integrating sedimentological and pedological processes *Journal of Hydrology*, v.603, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126832>

ZHAO, H.; SHARA, A. G.; LIA, S.; CHENA, Y.; SHIA, J.; ZHANGA, X.; TIAN, X. Effect of straw return mode on soil aggregation and aggregate carbon content in an annual maize-wheat double cropping system. *Soil & Tillage Research*, v.175, pp.178-186, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2017.09.012>

ZHOU, H.; CHEN, C.; WANG, D.; ARTHUR, E.; MOONEY, S. J. Effect of long-term organic amendments on the full-range soil water retention characteristics of a Vertisol. *Soil and Tillage Research*, v. 202, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104663>

ARTIGO 2: APTIDÃO AGRÍCOLA EM CLASSES DE SOLO NO SEMIÁRIDO POTIGUAR BRASILEIRO

RESUMO

A classificação e aptidão agrícola das terras é um indicativo essencial para manutenção da capacidade produtiva dos agroecossistemas e conservação dos recursos naturais. Assim, objetivou-se classificar os solos e definir a aptidão agrícola do uso das terras da Comunidade Rural de Piracicaba/RN, bem como identificar suas potencialidades e limitações. Foram avaliados 7 perfis de solos, em uma topossequência, classificados conforme o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos e o Sistema de Avaliação de Aptidão Agrícola das Terras. Realizou-se o levantamento do meio físico, que recobre a área de estudo, incluindo fatores ambientais como clima, vegetação, relevo, hidrologia e atributos morfológicos, físicos e químicos do solo. Foi utilizado o Google Engine para extração das informações e QGIS para elaboração dos mapas. As classes de solos determinadas na comunidade foram Latossolos (P1 e P7), Argissolo (P6), Cambissolos (P3, P4 e P5) e Vertissolo (P2). Quanto à fertilidade natural, todos os solos (Latossolos, Argissolo, Vertissolo e Cambissolos) apresentaram caráter eutrófico, com potencial ao uso agrícola, quando suprido a deficiência hídrica, exceto o Vertissolo que foi destinado a preservação da fauna e flora local, em função de limitações físicas ao desenvolvimento do sistema radicular, drenagem reduzida e susceptibilidade ao processo erosivo, com declividade acentuada. Frente a isso, se faz necessário a utilização de um conjunto de práticas que cominem na preservação dos ambientes estudados, bem como sua utilização de acordo com a aptidão agrícola das terras. Os Latossolos apresentaram potencial agrícola, com o uso de mecanização intensiva, cultivo de ciclos curtos e perenes, com necessidade de demanda hídrica. Os Cambissolos e Argissolo denotam potencialidades quanto ao cultivo de ciclos curtos, com preparo mínimo do solo, diversidade de cultivos e restrições no período chuvoso com deficiência de oxigênio e no seco com restrições hídricas. As percepções de campo foram fundamentais para auxiliar a avaliação das terras agrícolas, uma vez que complementam as informações existentes no Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras, promovendo assim uma classificação eficiente quanto avaliação, construção e solificação e, consequentemente, no planejamento de uso sustentável dos recursos naturais.

Palavras-chave: Uso da terra. Planejamento agrícola. Agricultura sustentável. Confecção de mapas.

ARTICLE 2: LAND APTITUDE FOR AGRICULTURE OF SOIL CLASSES IN THE BRAZILIAN POTIGUAR SEMI-ARID

ABSTRACT

The classification of land aptitude for agriculture is an essential indicator for maintaining the productive capacity of agroecosystems and conservation of natural resources. Thus, this study aimed to classify the soils and define the land aptitude for agricultural in the Rural Community of Piracicaba, RN, Brazil, as well as to identify their potential and limitations. Seven soil profiles were evaluated in a toposequence, which were classified according to the Brazilian Soil Classification System and the System for Agricultural Aptitude Assessment. The survey of the physical environment that covers the study area included environmental factors such as climate, vegetation, relief, hydrology, in addition to soil morphological, physical and chemical attributes. The Google Earth Engine platform was used to extract the information and QGIS to prepare the maps. The soil classes identified in the Piracicaba community were Oxisols (P1 and P7), Ultisols (P6), Inceptisols (P3, P4 and P5) and Vertisols (P2). As for natural fertility, Oxisols, Ultisols and Inceptisols presented eutrophic character, with potential for agricultural use when water deficit is supplied. The Vertisol is destined to the preservation of the local fauna and flora, due to the physical limitations to the development of the root system, due to reduced drainage, and susceptibility to the erosive process, due to accentuated slope. Therefore, it is necessary to use a set of practices that contribute to the preservation of the studied environments, which must be used according to the land aptitude for agriculture. The Oxisols presented agricultural potential, allowing intensive mechanization and short-cycle and perennial crops, with water restriction. Inceptisols and Ultisols have potential for short-cycle crops, with minimal soil preparation, and crop diversification. Their restrictions are due to oxygen deficiency in the rainy season, and water restrictions in the dry season. Field insights were fundamental to assist in the assessment of agricultural land, as they complement the existing information in the System for Agricultural Aptitude Assessment. This makes the classification more efficient in terms of assessment, construction and solidification and, consequently, the planning of sustainable use of natural resources.

Keywords: Land use. Agricultural planning. Sustainable Agriculture. Making maps.

1. INTRODUÇÃO

O conceito de solo varia conforme o grau de conhecimento e sua aplicabilidade. Segundo COELHO et al. (2014), GOMES et al. (2015) e SANTOS et al. (2018), é caracterizado como material não consolidado, advindo de sistema natural, organizado e proveniente da ação conjugada do clima e dos organismos que atuam, diretamente, no material de origem (rocha mãe), em função do tempo. O solo é tido como sendo um componente crítico da biosfera, ou seja, o ser humano não acompanha seu processo natural de renovação, sendo necessário uma gestão adequada para garantir o funcionamento ecossistêmico.

Historicamente, a intrusão antrópica ao meio vem promovendo danos irreversíveis aos recursos naturais, inúmeros ecossistemas foram destruídos pela superexploração, ato que refletiu negativamente na qualidade do solo e produtividade primária das culturas (WRIGHT et al., 2021). A utilização demasiada da terra vem cominando na sua degradação continua e refletindo diretamente na produção agrícola (TALUKDAR et al., 2022) que deve aumentar, significativamente, para atender a demanda global por alimentos (SANTANA et al., 2021).

Dados fornecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU) revelam que existe uma perda mundial de terras agricultáveis, cuja contabilização é estimada em algo entorno de vinte e seis estádios de futebol por minuto (ONU, 2015). A Organização para Alimentação e Agricultura (FAO) relata que mundialmente um terço das terras já se encontram degradadas, afetando diretamente cerca de três bilhões de pessoas (FAO, 2020). A região semiárida vem enfrentando um dos maiores desafios frente ao crescimento populacional e demanda alimentar (TUNÇAY et al., 2021), pois apresenta vulnerabilidade quanto a fauna e flora local, bem como susceptibilidade a degradação do solo pela retirada da vegetação nativa para implementação de pastagens plantadas para suprir tais demandas (SANTANA et al., 2021).

A degradação das terras aráveis contribui para mudanças climáticas refletindo ainda mais na produtividade agrícola, disponibilidade hídrica e qualidade da água, biodiversidade local e, conseqüentemente, no desenvolvimento sustentável que reflete na qualidade de vida dos seres (SIVAKUMAR, 2007; REYBENAYAS et al., 2009; STAVI e LAL, 2015). Frente a isso, denota-se a importância da avaliação das terras agrícolas para utilização conforme sua aptidão (ABD-ELMABOD et al., 2017).

A avaliação do potencial da terra é fundamental para sua utilização sem degradar o meio, garantindo assim o uso planejado e sustentável das terras agrícolas conforme suas potencialidades (KILIC et al., 2022), elevando a produtividade das culturas sem o

comprometimento do solo (MOISA et al., 2022) e auxiliando no desenvolvimento de modelos de utilização mais eficazes dos recursos naturais, a fim de mitigar os impactos ambientais oriundos das ações antrópicas (ZHU et al., 2022).

O planejamento do uso eficaz da terra é fundamental para a conservação do meio, vinculado a utilização de práticas conservacionistas como a manutenção da cobertura, plantio direto, adubação orgânica, reflorestamento da mata nativa, adubação verde, rotação de cultura e dentre outros que favorecem a conservação do solo. Na literatura diversas metodologias direcionadas a avaliação do potencial das terras são apresentadas, porém no Brasil as que são comumente utilizadas são: o sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras (RAMALHO FILHO e BEEK, 1995) e o sistema de capacidade de uso (MARQUES, 1971; LEPSCH et al., 1991; LEPSCH et al., 2015) que apontam alternativas de uso agrícola de forma sustentável.

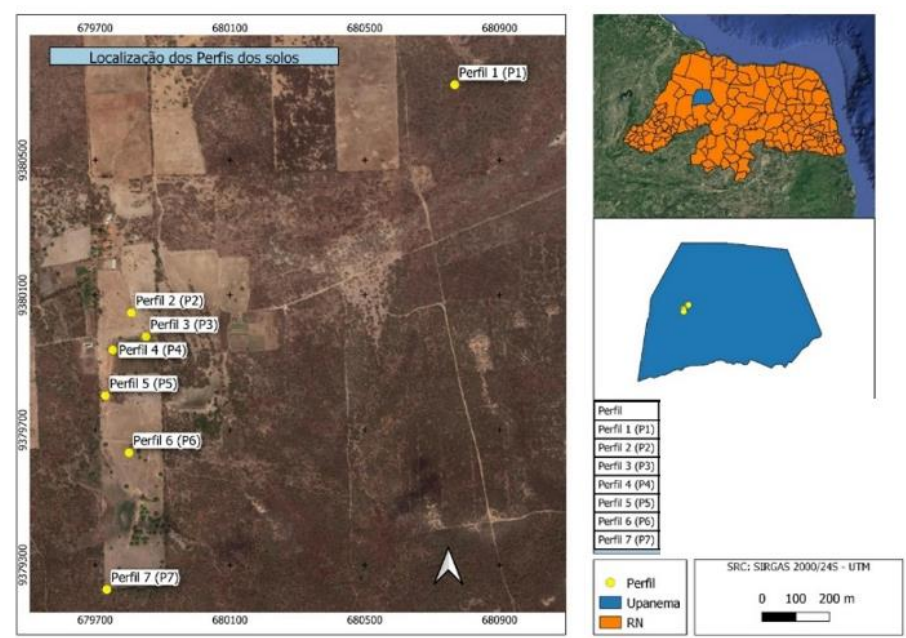
A hipótese testada neste trabalho foi que o entendimento da aptidão agrícola das terras está sujeito a variações em função da variabilidade dos ambientes, principalmente, quando condicionados a diferentes relevos e usos da terra. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo definir classes de solos e aptidão agrícola das terras, bem como identificar potencialidades e limitações das terras agrícolas de forma sustentável na comunidade rural de Piracicaba/RN.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi realizada na comunidade rural de Piracicaba, em Upanema, município inserido no Estado do Rio Grande do Norte – pertencente à região Nordeste, sob coordenadas geográficas de 05°38'31,2" S, 37°15'28,8" W e altitude de 47 m (Figura 1). A região detém clima do tipo BSw'h, semiárido quente, segundo a classificação de (Alvarez et al., 2014), com chuvas de outono e temperaturas médias mensais superiores a 18 °C. Precipitação pluvial média anual de 715 mm com distribuição unimodal, umidade média anual de 75%, vegetação natural de Caatinga Hiperxerófila e classes variadas de solos (CPRM, 2005).

Figura 1. Localização da área de estudo na Comunidade Rural Piracicaba, Upanema/RN, no semiárido brasileiro.



2.2 USO E OCUPAÇÃO DOS SOLOS

Foram abertos 7 perfis de solos, P1 – Área de Mata Nativa (AMN); P2 – Área de Pastagem de Ovinos (APO); P3 – Área da Horta (APO); P4 – Área de Macaxeira (AM); P5 – Área de Consórcio, milho e feijão, (AC); P6 – Área de Pastagem Nativa (APN) e; P7 – Área do Cajueiro (ACJ) (Figura 2), em uma topossequência.

Figura 2. Uso e ocupação das terras da comunidade rural de Piracicaba/RN.



2.3 ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO

As amostras de estrutura deformada foram empregadas na determinação dos atributos físicos (granulometria), realizadas em triplicata, em laboratório, com obtenção da média das repetições (Tabela 1).

Tabela 1. Variáveis físicas e químicas e suas respectivas unidades, métodos e metodologias adotados para sua determinação para as diferentes classes de solos.

Física				
Estrutura deformada	Gra.	Variáveis	Unit	Metódo
		Areia (2 a 0,05 mm)	g.kg ⁻¹	Tamisação
		Argila (<0,002 mm)	g.kg ⁻¹	Sedimentação
		Silte (0,05 a 0,002 mm)	g.kg ⁻¹	Diferença
Química				
Variável	Unidade	Método	Metodologia	
COT	g.kg ⁻¹	Titulação	Yeomans & Bremner (1988)	
pH	-	Potenciometria		
CE	dS.m ⁻¹	Condutímetro		
P	mg kg ⁻¹	Espectrofotômetro		
K ⁺		Fotômetro de chamas		
Na ⁺		Fotômetro de chamas		
Ca ²⁺	cmol c .dm ⁻³	Titulometria	Teixeira et al. (2017)	
Mg ²⁺		Titulometria		
(H+Al)		Titulometria		
SB		K ⁺ + Na ⁺ + Ca ²⁺ + Mg ²⁺		
CTC		SB +(H+Al)		
V	%	SB/CTC		

Nota: Gra. – Granulometria; COT – Carbono Orgânico Total; pH_{Água} – Potencial Hidrogeniônico em água; CE – Condutividade Elétrica; P – Fósforo; K⁺ – Potássio; Na⁺ – Sódio; Ca²⁺ – Cálcio; Mg²⁺ – Magnésio; (H+Al) – Acidez potencial; SB – Soma de Bases; CTC – Capacidade de Troca Catiônica Potencial; V – Saturação por bases.

Em cada ponto amostral, dos sete perfis, foi aberta uma trincheira para identificação dos horizontes e classificação pedológica do primeiro nível categórico. Esta consistiu em descrições de ordem do solo, separação dos horizontes, profundidade, transição entre horizontes, cor do solo conforme a carta de Munsell e dentre outras em conformidade com o Manual de Descrição e Coleta de Solos no Campo (SANTOS et al., 2015), estrutura, consistência do solo seco, úmido e molhado (Tabela 2).

Tabela 2. Classificação morfológica: cor, estrutura e consistência dos perfis (classes de solos) representativos do solo da Comunidade Piracicaba/RN.

Horizonte/ Profundidade (cm)	Transição	Cor Munsell		Estrutura			Consistência			
		Seca	Úmida	Grau de Desenvolvimento	Classe	Tipo	Seca	Úmida	Molhada Plast.	Pegaj.
P1 - LATOSSOLO										
A (0-10)		5 YR 4/6	5 YR 3/4	Mod	MP	BlSa	Lg	F	Lg	Lg
BA (10-25)	G/P	5 YR 4/6	5 YR 3/4	Mod/For	P	BlSa	D	F	Lg	Lg
Bw (25-148)	D/P	5 YR 4/6	5 YR 3/4	Mod	MP/P	BlSa	D	MF	Lg	Lg
Bw2 (148-200+)	D/P	5 YR 5/8	5 YR 4/6	Mod	MP/P	BlSa	D	MF	Lg	Lg
P2 - ARGISSOLO										
A (0-8)		10 YR 4/3	10 YR 3/2	Mod	Med	BlA	LgD	Fi	Pl	Lg
C1 (8-20)	C/O	10 YR 4/3	10 YR 3/2	For	P/Med	Pris	D	Fi	M	M
C2 (20-98)	D/P	10 YR 5/2	10 YR 6/1	For	P	Pris	D	MF	M	M
C3 (98-160)	D/P	10 YR 6/1	10 YR 5/2	For	P	Pris	D	MF	M	M
Cr (160 - 182+)	A/O	10 YR 8/2	10 YR 7/4	For	Med	BlA	Ma	F	Lg	Lg
P3 - CAMBISSOLO										
Ap (0-8)		10 YR 4/3	10 YR 3/2	Mod	G	BlSa	D	Fi	Lg	Lg
Bi (8-38)	G/P	7,5 YR 4/3	7,5 YR 3/3	For	G/MG	BlA	D/MD	Fi	M	M
Bc (38-92)	G/O	7,5 YR 5/4	7,5 YR 6/4	For	G/MG	BlA	D	Fi	M	M
C1 (92-108)	G/O	10 YR 6/3	10 YR 5/3	For	P/Med	BlA	MD	Fi	M	M
Cr (108-195+)	A/O	5 Y 8/1	5 Y 7/1	Mod	P	BlA/BlSa	LgD	Fi	Lg	Lg
P4 - CAMBISSOLO										
A (0-10)		7,5 YR 4/3	7,5 YR 3/3	For	P/Med	BlA	D	Fi	Pl	Pe
Bi (10-35)	C/P	7,5 YR 4/4	7,5 YR 3/3	For	P/Med	BlA	D	Fi	Pl	Pe
Bc (35-130)	C/P	7,5 YR 5/3	7,5 YR 4/3	For	Med/G	BlA	MD	MF	M	M
C (130-200+)	G/O	7,5 YR 6/4	7,5 YR 5/3	For	P/Med	BlA	D	Fi	Pl	Pe
P3 - CAMBISSOLO										
A (0-12)		10 YR 4/3	10 YR 3/2	For	G	BlA	MD	Fi	Lg	Lg
Bi (12-100)	C/O	7,5 YR 5/4	7,5 YR 3/4	For	G/MG	BlA	MD	MFi	M	M
Bc (100-125)	G/O	7,5 YR 5/3	7,5 YR 4/3	For	Med/G	BlA	MD	MFi	M	M
C (125-195+)	A/O	5 Y 8/1	5 Y 7/1	Fra	P	BlSa	LgD	F	N	N
P6 - VERTISSOLO										
Ap (0-15)		7,5 YR 5/2	7,5 YR 4/2	Fra	P/MP	Gr	Ma	MF	N	N
AB (15-55)	G/P	7,5 YR 6/4	7,5 YR 5/6	Fra	P/MP	Gr	Ma	MF	N	N
BA (55-95)	C/P	10 YR 6/4	10 YR 5/6	Mod	Med	BlA/BlSa	D	F	Lg	Lg
Bt (95-190+)	C/O	10 YR 7/3	10 YR 7/2	For	G/MG	BlA	MD	MFi	M	M
P7 - LATOSSOLO										
A (0-8)		7,5 YR 4/4	7,5 YR 4/3	GS	P	Gr	Ma	MF	N	N
AB (8-30)	G/P	7,5 YR 5/4	7,5 YR 4/4	GS	P	Gr	Ma	MF	N	N
BA (30-65)	G/P	5,0 YR 5/6	5,0 YR 4/4	Mod	Med	BlSa	LgD	MF	N	N
Bw (65-150)	D/P	5,0 YR 6/4	5,0 YR 5/8	Mod	Med	BlSa	LgD	MF	Lg	Lg
Bw2 (150-195+)	G/O	7,5 YR 6/8	5,0 YR 5/8	Mod	Med	BlSa	LgD	MF	Lg	Lg

Nota: Transição: A: abrupta; C: clara; G: gradual; D: difusa; P: plana; O: ondulada. CalcPulv: calcário pulverulento. Estrutura:GS: grão simples; Mod: moderada; Fra: fraca; For: forte; P: pequena; Med: média; P/MP: pequena/muito pequena; G/MG: grande/muito grande; Med/MG: média/muito grande; P/Med: pequena/média; MP: muito pequena; G: grande; Gr: granular; BlA: blocos angulares; BlSa: blocos subangulares; Pris: primática. Consistência: Ma: macio; D: dura; LgD: ligeiramente dura; MD: muito dura; Lg: ligeiramente; F: friável; MF: muito friável; Fi - firme; MFi: muito firme; N: Não, M: muito; Pl: plástico e; Pe: pegajoso.

Para as análises físicas e químicas foram coletadas amostras dos horizontes, com estrutura deformada (Tabela 3 e 4), ambas realizadas em triplicata, em laboratório, com obtenção da média das repetições de acordo com a metodologia proposta por TEIXEIRA et al. (2017).

Tabela 3. Atributos físicos dos perfis (classes de solos) representativos da Comunidade Piracicaba/RN.

Identificação Hor/Prof.	Frações granulométricas			Relação Silte/Argila			Classificação textural (SBCS)	ADA	GF	GD
	Areia Grossa	Silte Fina	Argila Total							
(cm)	(g/kg)						g/kg	%		
Perfil 1 - LATOSSOLO										
A (0-10)	402	367	769	60	171	0,35	Franco-arenosa	111	35	65
BA (10-25)	408	281	689	27	284	0,10	Franco-argiloarenosa	194	32	68
Bw (25-148)	384	254	638	32	330	0,10	Franco-argiloarenosa	180	46	54
Bw2 (148-200+)	386	260	646	27	327	0,08	Franco-argiloarenosa	154	53	47
Perfil 2 - VERTISSOLO										
A (0-8)	195	568	764	65	172	0,38	Franco-arenosa	118	31	69
C1 (8-20)	157	497	654	84	262	0,32	Franco-argiloarenosa	184	30	70
C2 (20-98)	199	342	541	158	301	0,52	Franco-argiloarenosa	92	41	59
C3 (98-160)	227	289	517	137	346	0,40	Argila-arenosa	102	17	83
Cr (160 - 182+)	581	163	744	94	163	0,58	Franco-arenosa	35	74	26
Perfil 3 - CAMBISSOLO										
Ap (0-8)	257	503	760	67	173	0,38	Franco-arenosa	71	41	59
Bi (8-38)	166	471	637	54	309	0,18	Franco-argiloarenosa	207	14	86
Bc (38-92)	211	384	594	75	331	0,23	Franco-argiloarenosa	249	18	82
C1 (92-108)	300	326	627	43	330	0,13	Franco-argiloarenosa	166	28	72
Cr (108-195+)	784	120	905	11	84	0,13	Areia	65	54	46
Perfil 4 - CAMBISSOLO										
A (0-10)	334	401	736	74	190	0,39	Franco-arenosa	148	22	78
Bi (10-35)	222	293	514	46	439	0,11	Argila-arenosa	325	32	68
Bc (35-130)	161	306	466	209	325	0,64	Franco-argilosa	222	32	68
C (130-200+)	124	277	401	419	180	2,33	Franca	120	49	51
Perfil 5 - CAMBISSOLO										
A (0-12)	507	339	845	89	66	1,35	Areia	37	43	57
Bi (12-100)	327	233	560	143	297	0,48	Franco-argiloarenosa	241	19	81
Bc (100-125)	109	349	458	321	220	1,46	Franca	164	26	74
C (125-195+)	797	66	863	80	57	1,39	Areia-franca	43	25	75
Perfil 6 - ARGISSOLO										
Ap (0-15)	488	399	887	85	28	3,06	Areia	1	95	5
A12 (15-55)	500	394	894	51	55	0,93	Areia	18	67	33
BA (55-95)	422	394	816	67	117	0,58	Areia-franca	76	35	65
Bf (95-190+)	429	298	727	48	226	0,21	Franco-argiloarenosa	196	13	87
Perfil 7 - LATOSSOLO										
A (0-8)	613	285	899	50	51	0,97	Areia	4	93	7
AB (8-30)	485	389	874	60	66	0,90	Areia-franca	30	55	45
BA (30-65)	490	345	834	56	109	0,51	Areia-franca	66	40	60
Bw (65-150)	517	320	837	43	120	0,36	Areia-franca	65	45	55
Bw2 (150-195+)	505	314	818	54	128	0,42	Areia-franca	85	33	67

Nota: Hor – horizonte; Prof – profundidade; TEFSa – terra fina seca ao ar; SBCS – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; ADA – argila dispersa em água; GF – grau de floculação e; GD – grau de dispersão.

Tabela 4. Atributos químicos dos perfis (classes de solos) representativos do solo da Comunidade Piracicaba/RN.

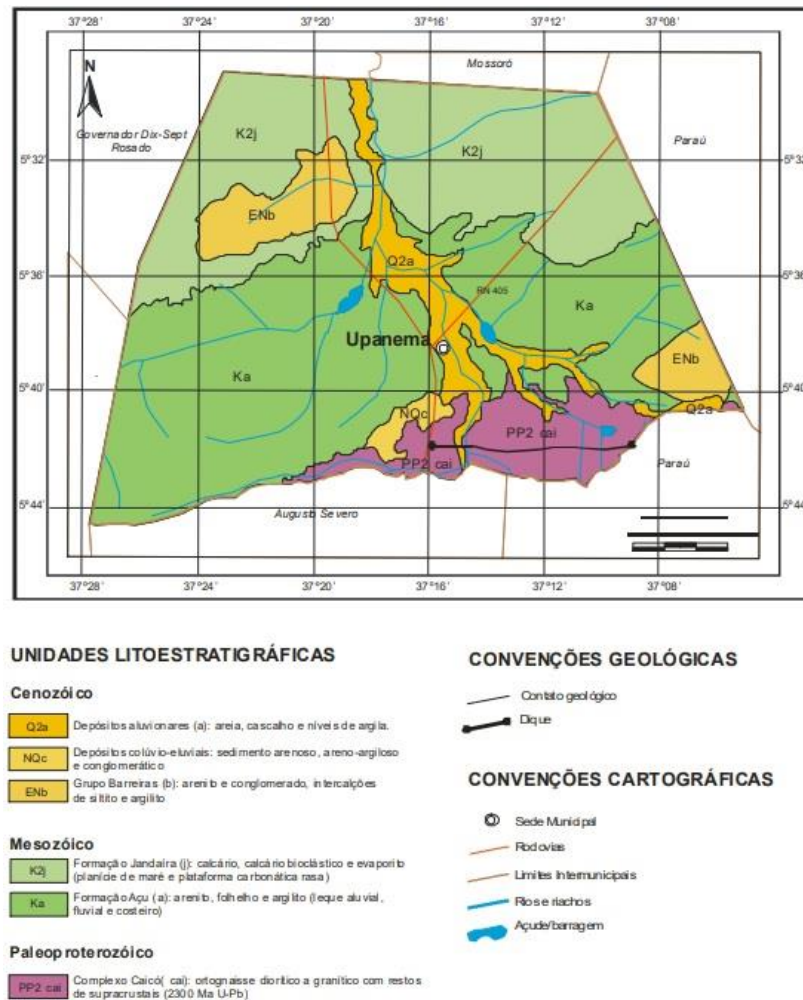
Horizonte (cm)	CaCO ₃ g/kg	COT	pH (1:2,5) H ₂ O	KCL	ΔpH	CE dS/m	P mg/kg	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	(H+Al)	SB	t	T	V	m	PST
Perfil 1 - LATOSSOLO																			
A (0-10)	0,00	4,14	7,87	6,19	-1,68	0,40	2,02	0,32	0,04	3,93	1,26	0,00	0,70	5,82	5,82	6,52	89	0	2
BA (10-25)	0,00	4,42	7,68	5,59	-2,10	0,33	2,03	0,34	0,04	4,01	1,39	0,00	0,54	6,06	6,06	6,59	92	0	2
Bw (25-148)	0,00	2,47	6,21	5,11	-1,10	0,32	1,52	0,17	0,05	3,57	1,11	0,00	0,34	5,13	5,12	5,46	94	0	3
Bw2 (148-200+)	0,00	2,04	5,31	4,42	-0,89	0,52	1,23	0,28	0,04	2,75	1,87	0,05	0,58	5,01	5,06	5,59	90	1	3
Perfil 2 - VERTISSOLO																			
A (0-8)	0,00	8,44	7,60	7,01	-0,59	0,06	4,01	0,58	0,05	13,44	1,58	0,00	0,32	9,94	9,94	10,26	97	0	0
C1 (8-20)	0,00	7,31	7,71	6,86	-0,85	0,06	2,76	0,37	0,09	18,68	2,34	0,00	0,40	16,11	16,11	16,51	98	0	0
C2 (20-98)	23,19	3,94	7,94	7,35	-0,59	0,20	2,07	0,12	0,84	4,98	2,70	0,00	0,30	20,43	20,43	20,72	99	0	3
C3 (98-160)	22,75	2,06	8,48	7,67	-0,82	0,46	4,67	0,17	0,26	9,75	1,21	0,00	0,23	28,24	28,24	28,47	99	0	11
Cr (160 - 182+)	22,10	2,54	8,80	7,68	-1,13	0,23	8,08	0,14	1,94	2,58	2,58	0,00	0,37	35,48	35,48	35,86	99	0	4
Perfil 3 - CAMBISSOLO																			
Ap (0-8)	0,00	9,86	6,86	6,43	-0,44	0,01	1,95	0,59	0,06	8,66	2,31	0,00	0,48	14,85	14,77	15,33	97	0	0
Bi (8-38)	0,00	6,02	6,44	5,52	-0,92	0,01	1,62	0,36	0,13	14,00	3,56	0,00	0,84	20,40	20,37	21,23	96	0	1
Bc (38-92)	0,00	4,33	5,71	4,11	-1,59	0,01	1,96	0,16	0,29	16,37	5,41	0,16	1,13	21,99	22,15	23,12	95	1	1
C1 (92-108)	0,00	2,90	6,67	5,50	-1,17	0,20	1,35	0,13	1,28	27,96	4,41	0,00	0,39	23,49	23,47	23,88	98	0	5
Cr (108-195+)	24,67	3,07	7,73	7,22	-0,51	0,42	1,30	0,02	1,17	2,64	9,79	0,00	0,20	13,63	13,55	13,75	99	0	9
Perfil 4 - CAMBISSOLO																			
A (0-10)	0,00	6,96	8,22	6,88	-1,34	0,06	2,97	0,65	0,33	10,03	2,97	0,00	0,76	12,93	12,93	13,69	94	0	2
Bi (10-35)	0,00	6,18	7,02	5,09	-1,93	0,04	2,52	0,41	0,41	14,91	4,83	0,00	1,62	24,65	24,65	26,27	94	0	2
Bc (35-130)	0,00	3,73	8,12	6,94	-1,18	0,37	1,96	0,35	0,54	27,05	3,53	0,00	0,52	31,49	31,49	32,02	98	0	5
C (130-200+)	24,74	4,00	7,97	7,45	-0,52	0,13	2,31	0,57	0,81	11,03	1,73	0,00	0,40	28,23	28,23	28,62	99	0	7
Perfil 5 - CAMBISSOLO																			
A (0-12)	0,00	6,12	6,79	5,42	-1,37	0,03	1,10	0,57	0,20	3,87	1,38	0,00	1,43	6,02	5,96	7,45	81	0	3
Bi (12-100)	0,00	4,44	6,19	4,50	-1,69	0,21	1,35	0,72	0,54	16,53	4,82	0,03	1,38	21,72	21,75	23,10	94	0	2
Bc (100-125)	0,00	3,64	8,43	7,12	-1,31	0,41	1,42	0,34	2,12	21,29	6,71	0,00	0,20	29,03	29,03	29,22	99	0	8
C (125-195+)	0,00	1,05	8,75	7,38	-1,37	0,26	2,30	1,80	1,38	9,73	2,41	0,00	0,23	15,02	14,99	15,25	98	0	9
Perfil 6 - ARGISSOLO																			
Ap (0-15)	0,00	4,83	6,96	6,39	-0,57	0,05	3,88	0,52	0,17	2,42	0,64	0,00	0,67	3,76	3,76	4,42	85	0	4
AB (15-55)	0,00	2,29	6,12	4,51	-1,61	0,01	1,62	0,29	0,16	1,66	0,64	0,00	0,69	2,75	2,75	3,44	80	0	5
BA (55-95)	0,00	2,80	5,89	4,19	-1,70	0,01	1,50	0,36	0,19	1,69	0,70	0,00	1,30	4,17	4,17	5,47	76	0	3
Btf (95-190+)	0,00	3,08	7,12	5,23	-1,89	0,14	1,12	0,40	0,87	2,42	0,77	0,00	0,73	14,17	14,17	14,90	95	0	6
Perfil 7 - LATOSSOLO																			
A (0-8)	0,00	15,98	5,95	5,88	-0,07	0,08	7,86	0,32	0,03	5,21	1,00	0,00	1,72	6,55	6,55	8,27	79	0	0
AB (8-30)	0,00	2,72	5,78	5,48	-0,30	0,02	2,24	0,22	0,02	1,91	0,51	0,00	0,75	2,66	2,66	3,41	78	0	1
BA (30-65)	0,00	2,11	4,63	4,04	-0,59	0,02	2,28	0,28	0,03	1,08	0,59	0,00	1,39	1,98	1,98	3,37	59	0	1
Bw (65-150)	0,00	1,84	4,12	3,80	-0,32	0,10	2,40	0,18	0,13	1,01	1,03	0,00	1,58	2,32	2,32	3,90	60	0	3
Bw2 (150-195+)	0,00	1,78	4,56	4,02	-0,54	0,05	1,95	0,16	0,09	1,56	1,12	0,00	0,78	2,91	2,91	3,68	79	0	2

Nota: Hor. – Horizonte; Prof. – profundidade; CaCO₃ – Carbonato de Cálcio; COT – Carbono Orgânico Total; ΔpH – Delta do Potencial Hidrogeniônico; CE – Condutividade Elétrica; P – Fósforo; K⁺ – Potássio; Na⁺ – Sódio; Ca²⁺ – Cálcio; Mg²⁺ – Magnésio; Al³⁺ – Alumínio; (H+Al) – Acidez Potencial; SB – Soma de Bases; t – Capacidade de troca Catiónica efetiva; T – Capacidade de catiónica a pH 7,0; V – Saturação por Bases; m – Saturação por alumínio; PST – Porcentagem de Sódio Trocável.

2.3 GEOLOGIA

O município de Upanema encontra-se situado na mesorregião Oeste Potiguar e na microrregião Médio Oeste, inserido, geologicamente, na Província Borborema, constituído pelos litotipos do Complexo Caicó (PP2Ucai), sedimentos das formações Açu (Ka) e Jandaíra (K2j), do Grupo Barreiras (ENb) e depósitos Colúvio-eluviais (NQc) e Aluvionares (Q2a) (Figura 3), (CPRM, 2005).

Figura 3: Geologia do município de Upanema/RN, no semiárido brasileiro.



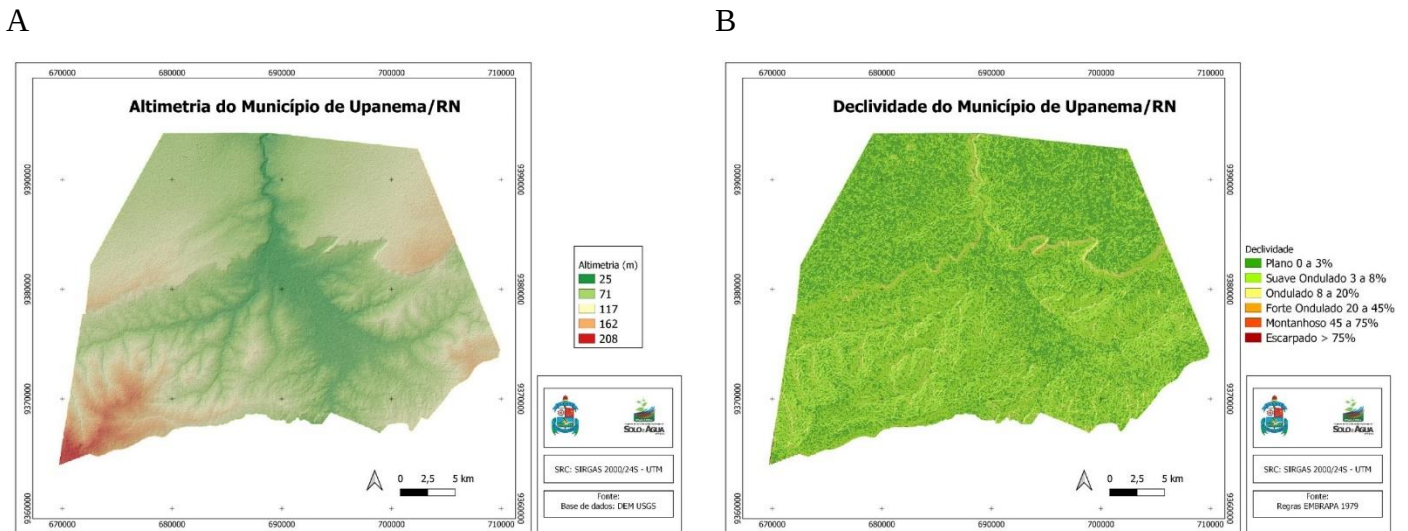
2.4 DECLIVIDADE E ALTIMETRIA

Foram utilizadas imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) do Projeto TOPODATA (Valerino e Rosseti, 2008), com resolução espacial de 30 m, disponibilizadas pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) de forma gratuita, utilizadas na confecção de produtos cartográficos relacionados a declividade e altimetria, como representado nas Figuras 4A e 4B. As imagens foram processadas utilizando o SIG.

Para a declividade foram constatados três padrões R3a2 – superfícies aplanadas degradadas (Depreciação Sertaneja), compreendendo diversificados padrões de relevo com predomínio de superfícies aplainadas, denotando em relevo plano e suavemente ondulado; R2c – Chapada e Platôs (Chapada do Apodi) caracterizada por apresentar formas de relevo tabulares esculpidas em rochas sedimentares litificadas da Bacia Potiguar, bem como padrão de dissecação incipiente com reduzida densidade de drenagem e; R4a1 – Domínio de Colinas

Amplas e Suaves que apresenta relevo de degradação em qualquer litologia com predominância para as rochas sedimentares, tendo como principal sistema de drenagem a deposição de planícies aluviais relativamente amplas (CPRM, 2005), (Figura 4A e 4B).

Figura 4: Altimetria e declividade do município de Upanema/RN, no semiárido brasileiro.

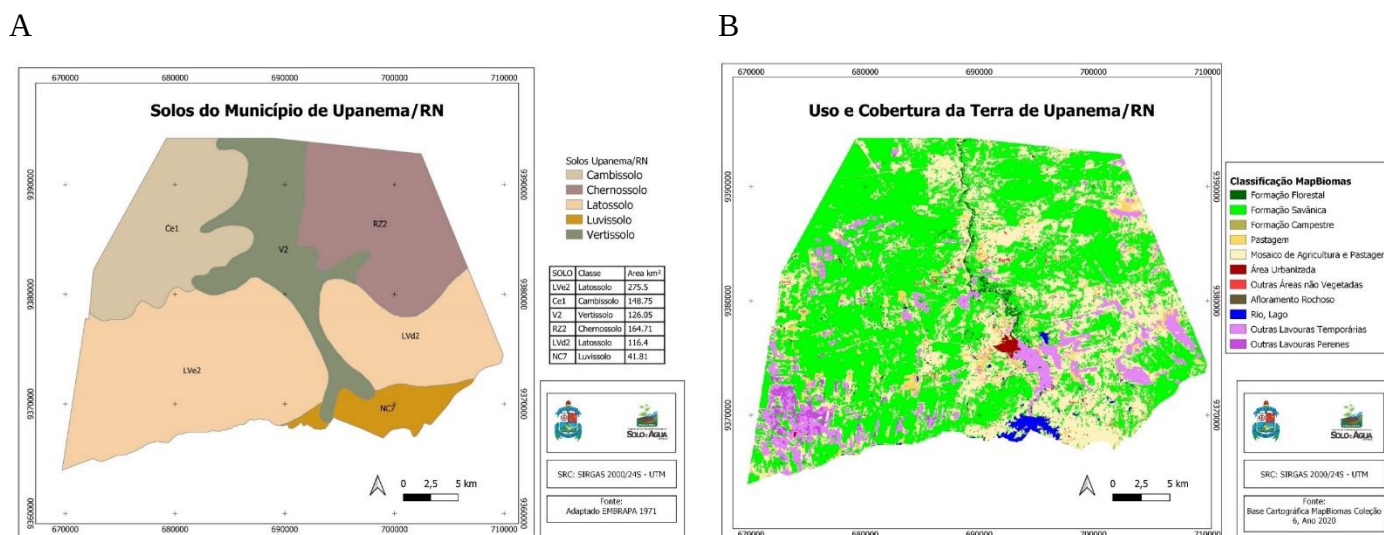


2.5 CLASSES DE SOLOS E COBERTURA

O Rio Grande do Norte apresenta variabilidade de solos. Segundo levantamento realizado por JACOMINE et al (1971), as classes de solo predominantes no município de Upanema/RN são Cambissolos, Latossolos, Chernossolo, Luvisolo e Vertissolo (Figura 5A), enquanto as diagnosticadas no estudo foram Cambissolos, Latossolos, Vertissolo e Argissolo, as quais foram classificadas utilizando o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (Tabela 1, 2 e 3).

De acordo com a Base Cartográfica MapBiomas do ano de 2020, mapeamento exploratório, o solo do município se enquadra na Formação Savânica (Figura 5B), que corresponde a descontinuidade do estrato arbóreo, seja pelo porte ou distanciamento dentre si, corroborando com a não caracterização da fitofisionomia florestal da área, fator este evidenciado no local de estudo.

Figura 5: Distribuição das unidades de mapeamento, uso e cobertura dos solos do município de Upanema/RN, no semiárido brasileiro.



2.6 HIDROGRAFIA

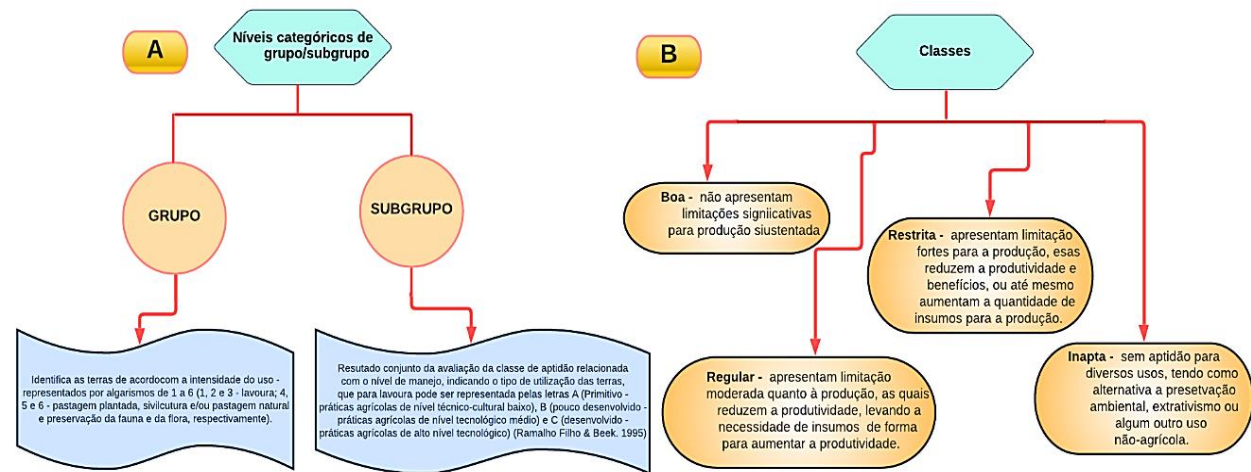
O município de Upanema/RN encontra-se inserido hidrologicamente nos domínios da bacia hidrográfica Apodi-Mossoró e Piranhas-Açu, 96 e 4 % do seu território, respectivamente, banhado pela sub-bacia do Rio do Carmo. O mesmo não apresenta reservatórios com volumes de água que ultrapassem 100.000 m³. Os principais tributários são os riachos Baixa Grande, Baixa Fechada, Pombas e Carnaúbas (CPRM, 2005).

2.7 APTIDÃO AGRÍCOLA DAS TERRAS

A sua determinação deu-se mediante à utilização do método preconizado pelo “Sistema de Avaliação de Aptidão Agrícola das Terras” descrito por Ramalho Filho e Beek (1995), sob complementações propostas por Pereira e Lombardi Neto (2004), as quais apresentaram incorporação, ajustes e atualizações de atributos diagnósticos, ou seja, ambas foram selecionadas devido diversos fatores dentre os quais destacam-se: ampla utilização em território nacional, diversidade nos níveis de manejo do solo e água, ajustes ou incorporações de outros parâmetros e fatores de limitação, aceitabilidade mediante adaptações e aplicações em diferentes escalas de mapeamento, levando em consideração a viabilidade de redução de limitações, bem como a facilidade de sua aplicabilidade. Como também a utilização do Google Engine para extração das informações e QGIS para elaboração dos mapas. Para tanto, esse

sistema é composto por três níveis categóricos, cuja representatividade está descrita nos fluxogramas abaixo (Figuras 6A e 6B), seguindo a metodologia proposta por Ramalho Filho e Beek (1995), enquanto o quadro 1 encontra-se representado a Avaliação da aptidão agrícola das terras.

Figura 6. Fluxograma dos níveis categóricos de grupo/subgrupo e classes para a Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras.



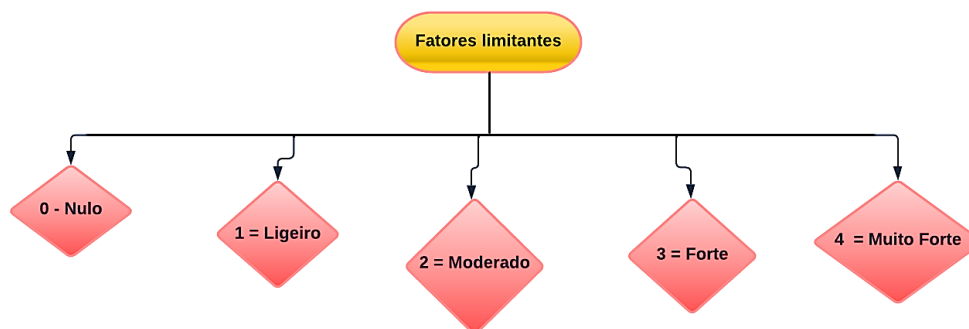
Quadro 1. Avaliação da aptidão agrícola das terras.

Aptidão Agrícola				
Grupo	Subgrupo	Classe	Tipo de utilização indicada	
Aumento das Limitações de uso ↓ Diminuição das alternativas de uso	1	1ABC	Boa	Lavoura
	2	2abc	Regular	
	3	3(abc)	Restrita	
	4	4P	Boa	Pastagem
		4p	Regular	
		4(p)	Restrita	
	5	5S	Boa	Silvicultura e/ou Pastagem Natural
		5s	Regular	
		5(s)	Restrita	
		5N	Boa	
		5n	Regular	
	6	6FF	Restrição de ordem Legal (áreas de proteção por Lei)	Preservação da Fauna e da Flora
		6ff	Restrição por condições agroambientais (relevo e/ou solo e/ou clima)	

Fonte: Adaptado de Ramalho Filho e Beek (1995) e Pereira e Lombardi Neto (2004).

Os fatores limitantes foram diagnosticados conforme a metodologia proposta por Ramalho Filho e Beek (1995) e Pereira e Lombardi Neto (2004) e representadas no fluxograma abaixo (Figura 4).

Figura 7. Fluxograma dos fatores limitantes para a Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras.



No recorrente a análise das condições agrícolas das terras, foram considerados alguns atributos diagnósticos que se encontram relacionados às suas deficiências e susceptibilidade ao processo erosivo que são:

Deficiência de fertilidade: para sua determinação levou-se em consideração:

Disponibilidade de nutrientes (n): Toxicidade por alumínio (a); Fixação de fósforo (f), conforme a metodologia proposta por Oliveira e Berg (1985).

Disponibilidade de nutrientes (n): encontra-se relacionado a saturação de bases (V %) com a capacidade de troca catiônica (CTC), conforme Tabela 3.

Toxicidade por alumínio (a): para sua determinação além do índice de alumínio (m %), foi utilizado a relação com valores de CTC – devido sua relação com o alumínio trocável (Tabela 4).

Tabela 5. Graus de limitação referentes à disponibilidade de nutrientes = n e toxicidade por alumínio = a.

Saturação por Bases (V%)	Capacidade de Troca de Cátions (cmolc/kg)			Saturação por alumínio (m%)	Capacidade de Troca de Cátions (cmolc/kg)	
	>5	3-5	2-3		5-10	1-5
			Graus de limitação		Graus de limitação	
50 - 100	0	1	2	0-10	0	0
25 - 50	1	2	3	10-30	1	1
10 - 25	3	3	4	30-50	2	1
0 - 10	4	4	4	50-70	3	2
-	-	-	-	70-100	4	3

Fonte: Oliveira e Berg (1985).

Fixação do fósforo (f): Foram estabelecidos os graus de limitação referentes a esse atributo, tomando como base a textura, cor e a atração eletromagnética na estimativa da fixação deste no solo (Tabela 6).

Tabela 6. Graus de limitação referente à fixação do fósforo.

Graus de limitação	Textura superficial	Cor do solo	Atração eletrostática
0: Nulo	Arenosa Arenosa* Média	Vermelho-escuro ou Vermelho-amarelo Vermelho-escuro	Ausente
1: Ligeiro	Argilosa ou muito argilosa	Vermelho-amarelo	Pequena atração
2: Moderado	Argilosa Muito argilosa	Vermelho Vermelho- amarelo	Moderada atração
3: Forte	Argilosa ou muito argilosa	Roxo	Forte atração
4: Muito Forte	Argilosa ou muito argilosa	Roxo Muito	forte atração

*Textura superficial arenosa e subsuperficial média.

Fonte: Adaptado de Oliveira e Sosa (1995).

Deficiência de água (w): Para sua determinação levou-se em consideração a duração do período de estiagem, distribuição anual da precipitação e características da vegetação natural utilizados para determinar os graus de limitação por deficiência de água. Para a área em estudo o grau de limitação que mais se adequou foi o forte (3), caracterizado por representar terras com uma forte deficiência de água durante um período seco (oscila de 7 a 9 meses), precipitação pluvial entre 500 e 700 mm ao ano, caracterizado pela irregularidade em sua distribuição, bem como elevadas temperaturas e vegetação tipicamente do tipo caatinga hiperxerófila, conforme RAMALHO FILHO e BEEK (1995).

Deficiência de oxigênio ou excesso de água: Foi estabelecida a partir das classes de drenagem extraídas de PEREIRA e LOMBARDI NETO (2004) (Tabela 7).

Tabela 7. Classes de drenagem.

Grau de limitação	Classes
0: Nulo	Excessivamente; Fortemente; Acentuadamente e Bem
1: Ligeiro	Moderadamente Drenado
2: Moderado	Imperfeitamente Drenado
3: Forte	Mal Drenado
4: Muito Forte	Muito Mal Drenado

Suscetibilidade à erosão (e): Na sua avaliação foram consideradas as classes de declividade conforme RAMALHO FILHO e BEEK (1995) (Tabela 8).

Tabela 8. Classes de declividade em porcentagem.

Classes	Intervalo de declives	Relevo
A	0 - 3 %	Plano
B	3 - 8 %	Suave ondulado
C	8 - 13 %	Moderadamente Ondulado
D	13 - 20 %	Ondulado
E	20 - 45 %	Forte ondulado
F	45 - 100 %	Montanhoso
G	> 100 %	Escarpado

Fonte: Adaptado de Ramalho Filho e Beek (1995).

O grau de limitação a suscetibilidade ao processo de erosivo (e) foi analisado conforme metodologia proposta RAMALHO FILHO e BEEK (1995), a qual encontra-se subdividida conforme a representação no fluxograma abaixo (Figura 8A).

A pedregosidade/rochosidade foi estabelecida a partir da adoção de critérios definidos em LEPSCH et al. (1991) e LEMOS e SANTOS (1996), conforme apresentado no fluxograma abaixo (Figura 8 B) e Tabelas 9 e 10. Além de envolver o atributo profundidade efetiva.

Figura 8. Fluxograma do grau de limitação a suscetibilidade ao processo de erosão (e) e relação entre a pedregosidade/rochosidade para a Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras.

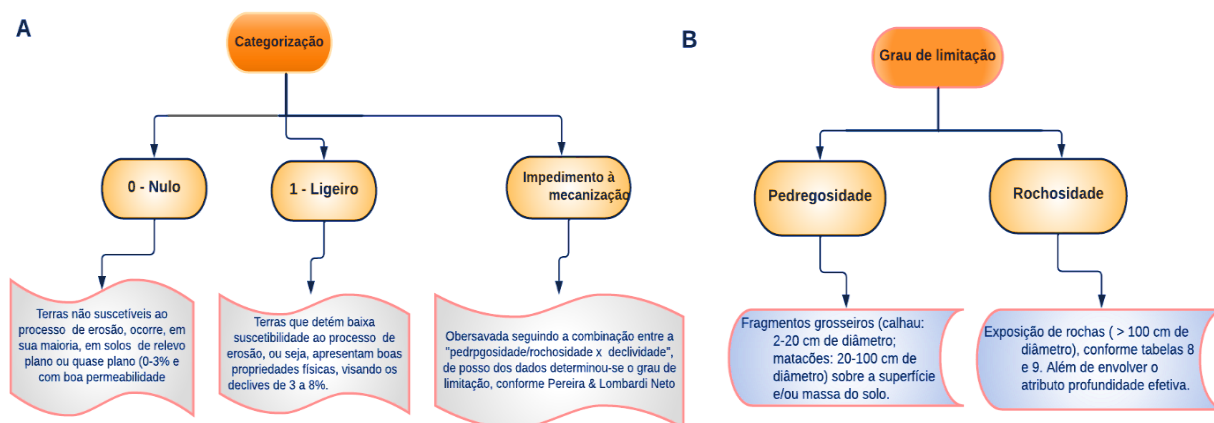


Tabela 9. Graus de limitação referentes à rochosidade e/ou pedregosidade = r.

Graus de limitação	Rochosidade (%)	Pedregosidade (%)
0: Nulo	Sem rochas	Sem fragmentos
1: Ligeiro	< 2	< 15
2: Moderado	2 a 15	15 a 50
3: Forte	15 a 50	50 a 75
4: Muito Forte	> 50	> 75

Fonte: Lepsch et al. (1991); Lemos e Santos (1996).

Tabela 10. Graus de limitação referentes ao impedimento à mecanização = m (declividade x rochosidade e/ou pedregosidade).

Declividade	Relevo	Rochosidade e/ou pedregosidade					
		Nulo	Ligeiro	Moderado		Forte	Muito forte
Classe	(%)	Tipo	Graus de limitação*				
A	0 a 3	Plano	0	1	3	4	4
B	3 a 8	Suave ondulado	1	2	4	4	4
C	8 a 13	Moderadamente ondulado	2	3	4	4	4
D	13 a 20	Ondulado	3	4	4	4	4
E	20 a 45	Forte ondulado	4	4	4	4	4
F	>45	Montanhoso e escarpo	4	4	4	4	4

Fonte: Pereira e Lombardi Neto (2004), adaptado de Giboshi (1999) e Ramalho Filho e Beek (1995).

Profundidade efetiva (p): Diz respeito a espessura da camada do solo em que o sistema radicular das culturas não apresenta impedimento físico para penetração, MARQUES (1971) e LEPSCH et al. (2015). Para sua determinação LEPSCH et al. (2015), apresentaram graus de limitação que se encontram expressos na Tabela 11.

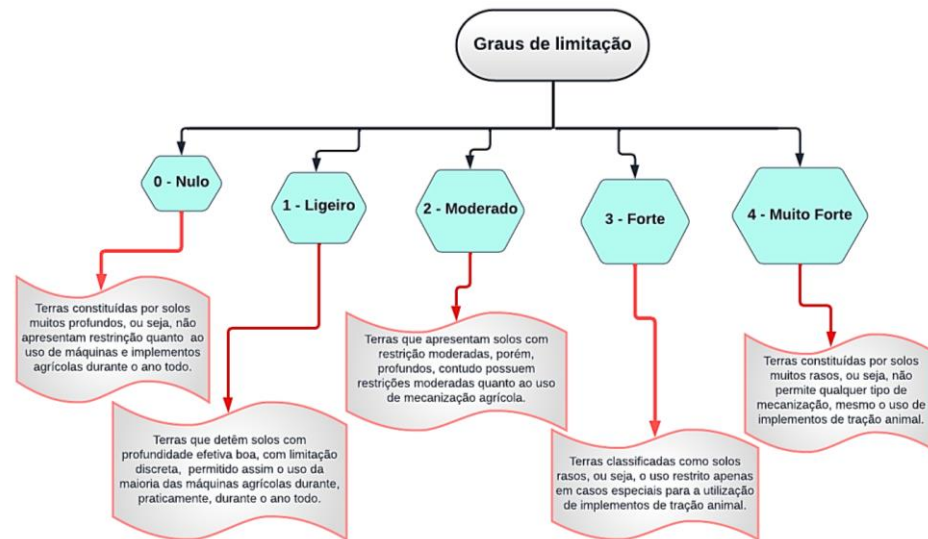
Tabela 11. Graus de limitação referentes à profundidade efetiva do solo = p.

Grau de limitação	Profundidade efetiva do solo – p	
	Classe	Profundidade (m)
0 – Nulo	Muito profundo	>200
1 – Ligeiro	Profundo	100 a 200
2 – Moderado	Moderadamente profundo	50 a 100
3 – Forte	Raso	25 a 50
4 – Muito Forte	Muito raso	<25

Fonte: Lepsch et al (2015).

Para representar os graus de limitação PEREIRA e LOMBARDI NETO (2004), apresentam de forma detalhada o que cada um representa, conforme representado no fluxograma abaixo (Figura 9).

Figura 9. Fluxograma dos graus de limitação de forma detalhada para a Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras.



2.8 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Com os valores médios dos atributos físicos e químicos dos solos, realizou-se a análise de correlação de Pearson ($p \leq 0,05$), com o intuito de obter de correlações mínimas para justificar a confecção da matriz, bem como as análises de componentes principais (ACP) e fatorial (AF), empregando o software Statistica 7.0 (STATSOFT, 2004).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 APTIDÃO AGRÍCOLA DO USO DAS TERRAS NA COMUNIDADE RURAL DE PIRACICABA/RN.

Na Tabela 12 encontra-se representado a classificação da aptidão agrícola das terras da Comunidade Rural de Piracicaba/RN, local de estudo.

Tabela 12. Classificação da aptidão agrícola das Terras na Comunidade Rural de Piracicaba/RN.

Avaliação dos fatores de limitação com seus respectivos atributos diagnósticos**														
Classe de solos	Classe de declividade	*Clima	*Vegetação	Níveis de manejo A, B e C					Impedimento à Mecanização					
				Deficiência de fertilidade	*Deficiência de Água	Deficiência de Oxigênio	*Suscetibilidade à erosão							
				n	a	f	w	O	e	M	Subgrupo/Classe de aptidão	Utilização	Atributo limitante e grau de limitação	
										Decl.Roch.Ped.	p			
Latossolo	Suave Ondulado	BSh	Caat. Hip.	0	0	0	3	0	A	0	1	1ABC/boa	Lavoura	W
Vertissolo	Suave Ondulado	BSh	Caat. Hip.	0	0	1	3	2	B	0	1	6FF	Preservação da Fauna e Flora	W
Cambissolo	Suave Ondulado	BSh	Caat. Hip.	0	0	0	3	2	B	0	1	1ABC/boa	Lavoura	W
Cambissolo	Suave Ondulado	BSh	Caat. Hip.	0	0	0	3	2	B	0	1	1ABC/boa	Lavoura	W
Cambissolo	Suave Ondulado	BSh	Caat. Hip.	0	0	0	3	2	B	0	1	1ABC/boa	Lavoura	W
Argissolo	Suave Ondulado	BSh	Caat. Hip.	0	0	0	3	2	B	0	1	1ABC/boa	Lavoura	W
Latossolo	Suave Ondulado	BSh	Caat. Hip.	1	0	0	3	0	A	0	1	1ABC/boa	Lavoura	W

Nota: n - disponibilidade de nutrientes; a - toxidez por alumínio; f - fixação do fósforo; Decl. – declividade; Roch. – rochosidade; Pedr. – pedregosidade; p – profundidade efetiva; P1, P2, P3, P6, P7, P9 e P10 – Cambissolos Háplicos; P4 – Argissolo Vermelho; P5 – Chernossolo Rêndzico; P8 – Neossolo Flúvico.

* Metodologia original (Ramalho Filho e Beek, 1995).

**Graus de limitação: 0 = Nulo; 1 = Ligeiro; 2 = Moderado; 3 = Forte; 4 = Muito Forte.

***Os atributos limitantes sublinhados sugerem possibilidade de melhoram.

Os perfis 1 e 7 foram classificados como LATOSSOLO, constituído por material mineral, com horizonte diagnóstico o B latossólico (Bw) precedido de qualquer tipo de horizonte A. Os perfis 3, 4 e 5 CAMBISSOLO constituídos por material mineral com horizonte diagnóstico o B incipiente (Bc) subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial (exceto hístico) ou horizonte A chernozêmico. O perfil 6 ARGISSOLO constituído por material mineral, com horizonte diagnóstico o B textural (Bt), localizado abaixo do horizonte A ou E. O VERTISSOLO, perfil 2, constituído por material mineral, com horizonte vértico e relação textural insuficiente para caracterizar um Bt, característico da classe (SANTOS et al., 2018).

As classes de solos apresentaram, quanto a disponibilidade de nutrientes, boa fertilidade natural (Tabela 11), com saturação por bases acima de 50 % (Tabela 4), considerados eutróficos (BOUDJABI e CHENCHOUNI, 2022). Dos perfis analisados, os Latossolos apresentaram valores inferiores aos demais (Cambissolo, Vertissolo e Argissolo), provavelmente em virtude da lixiviação das bases trocáveis (SANTOS et al., 2018). Essa característica pode ser observada nos Latossolos, com uniformidade do gradiente textural e valores elevados da fração areia que acentuou o processo de lixiviação (WEBERET al. 2007), bem como pela presença da macroporosidade influenciando diretamente na permeabilidade (KARBOUT et al., 2015; XIA et al., 2022; DE LIMA et al., 2021).

A região semiárida apresenta escassez hídrica (NISHA et al., 2007) (Tabela 11), refletindo negativamente na produção agrícola local em virtude de regimes climáticos e da utilização das terras em desrespeito a aptidão agrícola do solo, Feizias et al. (2022), promovendo o declínio de sua qualidade (AYANGBENRO e BABALOLA, 2021). A utilização do solo conforme sua aptidão agrícola irá favorecer a manutenção da capacidade produtiva do solo, em especial nas regiões que apresentam susceptibilidade a degradação (MOISA et al., 2022).

O intemperismo químico reduzido associado ao regime pluvial irregular apresenta-se como fatores condicionantes no processo de manutenção das bases trocáveis (fertilidade natural do solo), bem como a não toxicidade por alumínio, como observado nos perfis estudados, inclusive nos Latossolos (Tabelas 3 e 4). De modo geral, na maioria das regiões a classe de Latossolo apresenta elevado desenvolvimento pedogenético, caráter distrófico e saturação por alumínio com potencial hidrogeniônico ácido, denotando características opostas, ao encontrado no estudo, bem como em pesquisas desenvolvidas por (KER, 1997; OLIVEIRA et al., 2021; MENDES et al., 2022).

A presença do Calcário Jandaira, que detém agentes cimentantes como o cálcio e magnésio, por exemplo, auxilia nas forças de coesão e no processo de agregação do solo e, conseqüentemente, no favorecimento da fertilidade natural desses, bem como na sua não acidificação (CPRM, 2005; MARQUES et al., 2014; MELO et al., 2017; GUO et al., 2019). Tais informações são cruciais para o desempenho satisfatório das atividades agrícolas nas áreas áridas e semiáridas (SHAO et al., 2022).

Na Tabela 5 está representado o grau de limitação referente à fixação do fósforo quanto a textura superficial, cor e atração eletrostática do solo. Todos os perfis analisados apresentaram o grau de limitação nulo (0) (Tabela 11), com textura variando de arenosa a média, exceto o Vertissolo que apresentou ligeiro (1) por apresentar incremento da fração argila, característica da classe (SANTOS et al., 2018) (Tabela 5). Os solos, em sua maioria, apresentam limitações de fósforo devido sua maior parte, presente no meio, estar na forma indisponível cominando na deficiência desse macronutriente (SHARMA e CHOWDHURY, 2021) que compromete o rendimento das culturas (ASLAM et al., 2021).

Foi observado nos perfis 2, 3, 4, 5 e 6 (Vertissolo 2, Cambissolo 3, 4 e 5 e Argissolo 6) drenagem deficiente, proveniente do tamanho das partículas, (Tabela 2) e distribuição dos poros que influenciam diretamente o fluxo de calor, água e ar do solo (FU et al., 2019), como também, valores expressivos de carbonato de cálcio, cálcio e magnésio que favorece a união das partículas comprometendo a permeabilidade de água no solo (Tabela 3). A má drenagem compromete a porosidade de aeração e, conseqüentemente, a oxigenação e o desenvolvimento do sistema radicular das culturas pelo processo de anoxia (QIAN et al., 2022).

Nos perfis 1 e 7 (Latossolos), o grau de limitação foi nulo (Tabela 11) em virtude da não apresentação de restrições quanto a oxigenação e drenagem, localizados no interflúvio, cotas mais elevadas com altimetria variando de 118 a 95 m, denotando boas propriedades físicas justificado pela presença dos macroporos e da classificação textural Franco-argiloarenosa e Areia-franca (Tabela 2), característico da classe, que auxiliam no processo de boa permeabilidade (SANTOS et al., 2018). Os perfis 1, 3, 4, 5, 6 e 7 apresentaram relevo suavemente ondulado e altimetria variando de 25 a 71 m e declividade não acentuada (3-8 %), (Figuras 4A e 4B), características estas referente ao município Upanema/RN (RAMALHO FILHO e BEECK, 1995).

No P1 não foi evidenciado erosão aparente em função da sua posição na paisagem interflúvio, com presença da mata nativa, exuberante evidenciado assim a importância da cobertura do solo como um indicador de saúde do ecossistema (CAMERON et al., 2022). No

P2 evidenciou declividade, ausência de cobertura do solo e de práticas conservacionistas, potencializado o caminho preferencial do escoamento superficial, com comprometimento da capacidade produtiva das terras e da segurança alimentar pelo processo erosivo (WOLSCHICK et al., 2021).

Na tabela 8, foi analisado a existência pedregosidade e rochosidade, não sendo evidenciados fragmentos grosseiros na superfície do solo e exposição de rochas, denotando o grau de limitação nulo para os perfis estudados (Tabela 11). Porém, segue a sequência de grau de limitações as classes de Vertissolo, Cambissolos e Argissolo conforme a classificação textural destas (Tabela 2) que apresentam a fração argila evidenciada, denotando impedimento físico do solo quanto a permeabilidade (FUENTES-LLANILLO et al., 2013) e declividade (Vertissolo), dificultando a mecanização agrícola das terras.

Quanto a limitação, todos os perfis foram classificados com o grau ligeiro (Tabela 9), ou seja, solos com boa profundidade efetiva, mas que apresentam um certo grau de limitação, mesmo que mínimo a produção agrícola, fator bem evidenciado nas classes de Vertissolo, Cambissolos e Argissolo (Tabela 9) em virtude das particularidades das classes (Santos et al., 2018). Porém, a classe dos Latossolos tal afirmativa é contraditória, uma vez que estas apresentam condições favoráveis ao desenvolvimento do sistema radicular das culturas, boa permeabilidade, aeração e mecanização agrícola (CAVALCANTE et al., 2021).

Diferente do P2 que apresenta restrições quanto ao a mecanização agrícola e conforme relato dos agricultores foi realizado o preparo intensivo do solo para o cultivo de algodão, milho e feijão em curto período de tempo acelerando o processo erosivo, sem respeitar as particularidades locais, quanto a declividade e umidade adequada para o preparo do solo. Historicamente, as ações antropogênicas potencializam o processo erosivo do solo quando não leva em consideração os princípios básicos da conservação do solo e da água (MONTGOMERY, 2007).

Quanto o subgrupo e classes de aptidão todos os perfis, exceto o P2 (Vertissolo), se enquadraram no primeiro subgrupo (1ABC) (Quadro 1), o qual detém de boas condições agrícolas, em especial para a utilização de cultivo devido não apresentar limitações físicas e mecânicas para atividades agrícolas, principalmente os perfis 1 e 7 (Latossolo). Condição adversa foi observado no perfil de Vertissolo (P2) que apresentou restrições quanto as condições agroambientais, sendo indicado para preservação da Fauna e Flora local (Tabela 11).

Os perfis, de modo geral, apresentaram déficit hídrico (Tabela 11), oriundo da distribuição irregular das chuvas, principalmente, em regiões áridas e semiáridas (FEIZIAS et

al., 2022), reduzindo o intemperismo químico (OLIVEIRA et al., 2021) e as fases de crescimento vegetal (CHEN et al., 2010; HUANG et al., 2013; JIA et al., 2017; LI et al., 2019). Para a classe de Cambissolo é recomendado cultivos de ciclos curtos, com rotação e consórcios de culturas para suporte de cobertura do solo preparo mínimo para aumentar a rugosidade superficial favorecendo a agregação e infiltração (WOLSCHICK et al., 2021). Enquanto, o preparo intensivo compromete os resíduos vegetais na superfície do solo expõe à ação dos agentes ativos, principalmente chuva, vento e temperatura, quebrando os agregados em fragmentos pequenos favorecendo o processo erosivo (PORTELLA et al., 2012; WOLSCHICK et al., 2018).

A ausência de cobertura do solo por resíduos vegetais resultante do intenso preparo mecânico torna-se suscetível à quebra de agregados favorecendo o transporte e a deposição de sedimentos causados pelo impacto das gotas de chuva e escoamento superficial (COGO et al., 1996; SCHICK et al., 2017; WOLSCHICK et al., 2021). Na região semiárida ocorre a erosão hídrica e eólica que são intensificados com a ação dos cinco fatores responsáveis pelo processo erosivo que são: erosividade – capacidade dos agentes ativos causar erosão, ou seja, fator fundamental para a previsão de perdas de solo e planejamento adequado de uso da terra de acordo com sua aptidão agrícola (SILVA et al., 2009).

Erodibilidade – conjunto de propriedades intrínsecas do solo que auxiliam em sua resistência ao processo erosivo por agentes externos que promovem desagregação de partículas e o transporte subsequente do solo erodido (BORSELLI et al., 2012; WANG et al., 2013); cobertura vegetal – utilização de resíduos vegetais afim de evitar a degradação física do solo e controla o escoamento superficial e, conseqüentemente a perda de solo (SADEGHIAN et al., 2021).

Práticas conservacionistas – auxiliam no processo de retenção de água das chuvas, uma vez que evita as perdas por escoamento superficial, bem como a não exposição do solo a agentes externos como oscilações de temperaturas (BORGES et al., 2014), por exemplo e; relevo – exerce influência direta no processo erosivo, uma vez que auxilia o escoamento superficial e, conseqüente, perda do solo agricultável (SOUZA et al., 2003).

A classe do Argissolo apresenta limitação física ao desenvolvimento das raízes no período seco e restrição de oxigênio no chuvoso, em função do acúmulo da fração argila no horizonte diagnóstico Bt (Tabela 2). Quando localizados em áreas planas são favoráveis a mecanização e escoamento da produção agrícola, principalmente a fruticultura irrigada, que apresenta-se evidenciada nos Tabuleiros Costeiros, localizados na costa litorânea brasileira

desde o Rio de Janeiro até o Amapá, constituído pelos platôs sedimentares, mesmo apresentando ausência de aptidão para cultivo de ciclos longos, essa prática é comum nessas regiões embora as culturas não expressem seu potencial produtivo (CINTRA et al., 2009; MOTA et al., 2018).

Frente a isso, é imprescindível a utilização do Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras como ferramenta para mitigar os impactos oriundos da má utilização dos recursos naturais, bem como proporcionar aos agricultores e órgãos públicos ferramentas práticas de manejo e conservação do solo, a fim de garantir o uso planejado e sustentável das terras agrícolas de acordo com suas potencialidades e limitações (KILIC et al., 2022).

O estudo dos solos na paisagem juntamente com as percepções em campo e análises em laboratório se complementam auxiliando na determinação da aptidão das terras agrícolas, uma vez que complementam as informações existentes no Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras, uma vez que leva em consideração as particularidades locais.

3.2 MATRIZ DE CORRELAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO

A matriz de correlação de Pearson foi confeccionada com valores médios dos atributos físicos e químicos das classes de solo e ambientes (Tabela 13) com o intuito de avaliar o grau de associação dentre as variáveis, com coeficientes $\geq 0,65$.

Tabela 13. Matriz de correlação entre as variáveis dos atributos físicos e químicos do solo nas classes e ambientes estudados.

	AREIA	SILTE	ARGILA	GF	COT	pH	CE	P	Ca ²⁺	Mg ²⁺	(H+Al)	SB	CTC	V
AREIA	1,00													
SILTE	-0,65	1,00												
ARGILA	-0,81	0,07	1,00											
GF	0,49	-0,09	-0,57	1,00										
COT	0,09	-0,05	-0,08	0,25	1,00									
pH	-0,29	0,23	0,20	-0,07	0,17	1,00								
CE	-0,35	0,17	0,33	-0,10	-0,34	0,29	1,00							
P	0,16	-0,01	-0,20	0,53	0,44	0,30	-0,06	1,00						
Ca²⁺	-0,69	0,41	0,58	-0,47	0,16	0,26	0,12	-0,13	1,00					
Mg²⁺	-0,32	0,15	0,31	-0,25	-0,01	0,16	0,31	-0,21	0,50	1,00				
(H+Al)	0,15	-0,29	0,02	0,16	0,19	-0,55	-0,25	-0,02	-0,26	-0,20	1,00			
SB	-0,75	0,57	0,53	-0,32	-0,02	0,54	0,28	0,20	0,69	0,53	-0,37	1,00		
CTC	-0,75	0,57	0,54	-0,31	-0,01	0,52	0,26	0,21	0,69	0,53	-0,34	1,00	1,00	
V	-0,57	0,30	0,51	-0,32	0,10	0,71	0,41	0,01	0,57	0,51	-0,59	0,71	0,69	1,00

Observou-se correlações negativas ao avaliar as frações inorgânicas e atributos químicos do solo (silte, argila, Ca^{2+} , SB e CTC) com a areia. Tal fator dar-se em virtude da natureza das partículas que é inversamente proporcional. A fração areia por ter predominância de minerais primários detém cargas elétricas reduzidas, quando comparado a fração argila que apresenta cargas negativas e positivas, bem como a CTC do solo retendo assim os cátions como cálcio, magnésio, potássio e sódio que compõem a saturação por bases dos solos, refletindo na fertilidade natural destes, como observado na correlação positiva dos atributos de fertilidade do solo (CTC e V) (LEMONS et al., 1997; BRADY e WEIL, 2013; GIRÃO et al., 2014).

O Ca^{2+} destacou-se dentre as demais bases trocáveis correlacionando-se positivamente com a soma de bases e a capacidade de troca catiônica, podendo ser justificado pela geologia local, com predominância do calcário Jandaíra que em sua composição tem-se o calcário, rochas ricas em carbonatos, conferindo argila de atividade coloidal alta, predominância de minerais 2:1 e de agentes agregantes, como o cálcio e magnésio (MARQUES et al., 2014; MELO et al., 2017; GUO et al., 2019).

3.3 ANÁLISE FATORIAL DOS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO

A análise fatorial revelou que as causas de variação onde das inter-relações das variáveis físicas e químicas estão representadas na Tabela 13. Foram selecionados os fatores 1, 2 e 3, seguindo o critério de autovalores superiores a 1 (KAISER, 1958), com explicabilidade de 68% da variância total dos dados.

Foram extraídos os fatores das 14 variáveis estudadas, onde a proporção do Fator 1 (F1) apresentou 41,62% determinante na análise em função do grau variação. O F1 permitiu estimar a influência das variáveis expressivas no estudo, com cargas fatoriais positivas para a fração inorgânica (areia) e negativa para a argila, cálcio, soma de bases e saturação por bases, tal variabilidade é decorrente do material de origem e padrão climático local (CPRM, 2005; MELO et al., 2017).

O F2 foi discriminante para a variável fósforo de forma positiva, apresentando cargas fatoriais (15,44 %). O somatório das variâncias acumuladas dos fatores 1 e 2 foi de 57,06 % das causas de variação, ou seja, os fatores de maior contribuição para a distinção dos ambientes em estudo. Enquanto, o F3 apesar de deter autovalor acima de 1 não apresentou carga fatorial superior ou igual a 0,7.

Observa-se que 68% da variabilidade dos dados é explicada por três fatores principais, isso significa que das 14 variáveis originais utilizadas na análise passou-se a utilizar três fatores que representam o conjunto original. Frente a isso ocorreu uma redução de dimensionalidade com perda de explicação de 32%, porém a faixa da variação total acumulada é considerada significativa (Tabela 14).

Tabela 14. Matriz de cargas fatoriais extraídas dos atributos físicos e químicos e suas respectivas cargas fatoriais, autovalores, variância total e acumulada das classes de solos.

Variáveis	F1	F2	F3
AREIA	0,86	0,22	-0,23
SILTE	-0,56	0,13	0,03
ARGILA	-0,69	-0,39	0,27
GF	0,50	0,62	-0,05
COT	0,06	0,56	0,61
pH	-0,57	0,54	-0,30
CE	-0,43	-0,11	-0,54
P	0,05	0,85	0,16
Ca²⁺	-0,79	-0,10	0,34
Mg²⁺	-0,58	-0,12	-0,02
(H+Al)	0,47	-0,27	0,63
SB	-0,92	0,20	0,10
CTC	-0,91	0,20	0,14
V	-0,84	0,21	-0,20
Autovalores	5,82	2,16	1,48
Variância Total (%)	41,62	15,44	10,63
Variância Total Acumulada (%)	41,62	57,06	67,70

3.4 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

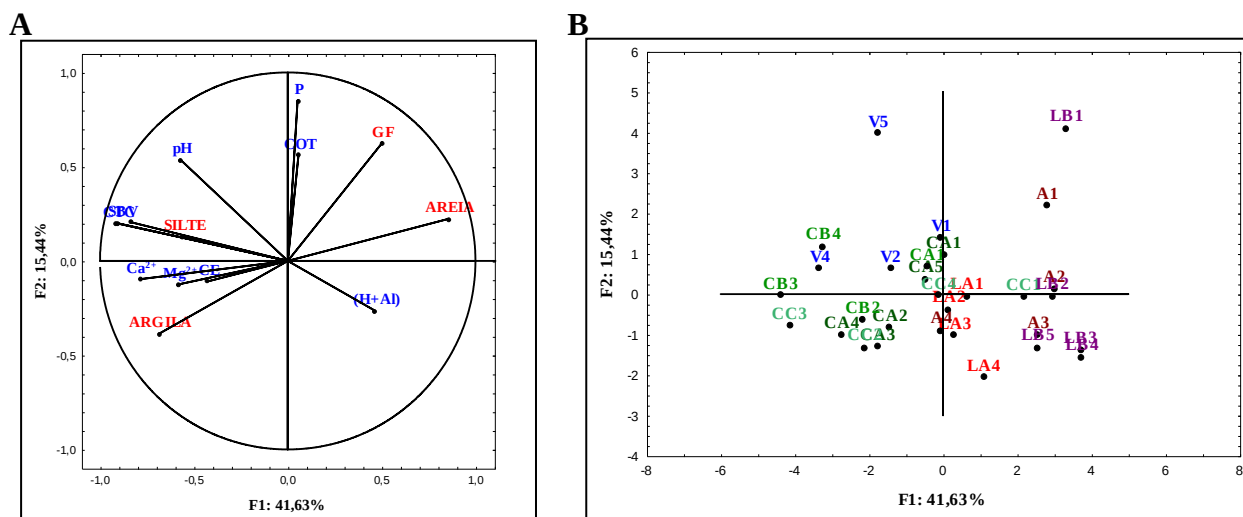
A análise de componentes principais gerou diagramas de projeção dos vetores para os atributos físicos e químicos dos solos, permitindo identificar sua influência na diferenciação dos ambientes.

No círculo de correlação (Figura 10 A e B), constatou-se que as frações inorgânicas do solo (areia, silte e argila) não se reuniram no mesmo quadrante, apresentando variabilidade quanto a natureza das partículas. A areia foi discriminante para a classe dos Latossolos (P1 e P7) e Argissolo (P6) nos horizontes superficiais devido a translocação da fração argila para os horizontes subjacentes e, consequente, acúmulo no horizonte diagnóstico Bt (SANTOS et al., 2018; MÜNCH et al., 2022).

A fração inorgânica argila, bases trocáveis (cálcio e magnésio) e a condutividade elétrica foram discriminantes para os Cambissolos (P3, P4 e P5) nos horizontes superficiais devido o

material de origem ser o calcário Jandaíra que é rico em agentes cimentantes como cálcio e magnésio (ANGELIM et al., 2006).

Figura 10. Distribuição das variáveis no círculo de correlações (A) e distribuição da nuvem de pontos que representa a relação entre os fatores 1 e 2 (B) nas classes de solo.



A fração silte, capacidade de troca catiônica e saturação por bases foram discriminantes para os Cambissolos (P3, P4 e P5) e Vertissolo (P2), sendo indicativo de solos jovens do ponto de vista pedogenético, com elevada fertilidade natural, reduzido intemperismo químico e lixiviação das bases trocáveis. Com limitações físicas, quanto ao espaço poroso, refletindo na má drenagem e impedimento ao desenvolvimento do sistema radicular das culturas (LI et al., 2019; KUČERA et al., 2020; BERTOLLO et al., 2021).

A acidez potencial foi discriminante para a classe de Latossolo (P1 e P7), em função do pH ácido, bem como a redução das bases trocáveis, em virtude da uniformidade do gradiente textural. Com a redução das bases o sítio de troca passa ser ocupado por hidrogênio e alumínio, justificando assim sua presença (KER, 1997).

4. CONCLUSÕES

Os solos foram classificados como Latossolos, Argissolo, Cambissolos e Vertissolo.

Constatou-se que a variabilidade quanto ao relevo e usos das terras foram determinantes para a classificação quanto a aptidão agrícola das terras.

As classes de Latossolos, Argissolo e Cambissolos apresentaram boa fertilidade natural e potencial de uso agrícola com restrições hídricas.

A classe de Vertissolo apresentou limitações físicas quanto desenvolvimento do sistema radicular, drenagem reduzida e susceptibilidade ao processo erosivo.

Como medida de manutenção e preservação dos ambientes a utilização das terras de acordo com sua aptidão é método mais eficaz, bem como um conjunto de práticas com diversidade de cultivos, manutenção da cobertura e preparo mínimo do solo.

O sistema desenvolvido para avaliar a aptidão agrícola das terras apresenta limitações, quanto a sua classificação, generalização quanto as informações das regiões e a não inserção do saber local, sendo essas considerações fundamentais para a consolidação da classificação das terras quanto a sua utilização.

A areia discriminou a classe de Latossolos (P1 e P7), bem como a acidez potencial.

O silte, capacidade de troca catiônica e saturação por bases discriminaram a classe de Cambissolos (P3, P4 e P5) e Vertissolo (P2).

A argila, cálcio, magnésio e a condutividade elétrica discriminaram a classe de Cambissolos (P3, P4 e P5) nos horizontes superficiais.

Os perfis, de modo geral, apresentaram déficit hídrico, oriundo da distribuição irregular das chuvas, principalmente, em regiões áridas e semiáridas

REFERÊNCIAS

- ABD-ELMABOD, S. K.; JORDÁN, A.; FLESKENS, L.; PHILLIPS, J. D.; MUÑOZ-ROJAS, M.; DER PLOEG, M.; ANAYA-ROMERO, M.; EL-ASHRY, S.; LA ROSA, D. Chapter 7 - Modeling Agricultural Suitability Along Soil Transects Under Current Conditions and Improved Scenario of Soil Factors. *Soil Mapping and Process Modeling for Sustainable Land Use Management*, pp. 193-219, 2017. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805200-6.00007-4>
- ANGELIM, L. A. A.; ANGELIM, V. C.; NESI, J. R. Programa Geologia do Brasil– PLGB. Projeto Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Norte. Escala. Recife: CPRM/FAPERN, 2006.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES, G. J. L.; SPAROVEK, G. Koppen's climatic classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, n.6, p.711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ASLAM, M. M.; KARANJA, J. K.; YUAN, W.; ZHANG, Q.; ZHANG, J.; XU, W. Phosphorus uptake is associated with the rhizosheath formation of mature cluster roots in white lupin under soil drying and phosphorus deficiency.v. 166, pp.531-539, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.06.022>
- AYANGBENRO, A. S.; BABALOLA, O. O. Reclamation of arid and semi-arid soils: The role of plant growth-promoting archaea and bacteria. *Current Plant Biology*, v.25, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2020.100173>
- BERTOLLO, A. M.; MORAES, M. T.; FRANCHINI, J. C.; SOLTANGHEISI, A.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; Levien, R.; Debiasi, H. Precrops alleviate soil physical limitations for soybean root growth in an Oxisol from southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, v.206, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104820>
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. *Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos*, 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 686p.
- BORGES, T. K. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; SANTOS, T. E. M.; SILVA, D. D.; SILVA JUNIOR, V. P. Effect of conservation practices on soil moisture and maize (*Zea mays* L.) cropping in the semi-arid northeast of Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.38, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000600021>
- BORSELLI, L.; TORRI, D.; POESEN, J.; IAQUINTA, P. A robust algorithm for estimating soil erodibility in different climates. *Catena*, v.97, pp.85-94, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2012.05.012>
- BOUDJABI, S.; CHENCHOUNI, H. Soil fertility indicators and soil stoichiometry in semi-arid steppe rangelands. *Catena*, v. 210, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105910>
- CAMERON, H. A.; PANDA, P.; BARCZYK, M.; BEVERLY, J. L. Estimating boreal forest ground cover vegetation composition from nadir photographs using deep convolutional neural networks. *Ecological Informatics*, v. 5, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101658>

CAVALCANTE, D. M.; SILVA, A. P. F.; ALMEIDA, B. G.; FREIRE, F. J.; SILVA, T. H. S.; CAVALCANTE, F. M. S. Physical soil quality indicators for environmental assessment and agricultural potential of Oxisols under different land uses in the Araripe Plateau, Brazil. *Soil and Tillage Research*, v. 209, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.104951>

CHEN, L.; WANG, J.; WEI, W.; FU, B.; WU, D. Effects of landscape restoration on soil water storage and water use in the Loess Plateau Region, China. *Forest Ecology and Management*, v.259, pp.1291–1298, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.10.025>

CHENG, H.; LIU, C.; LI, J.; ZOU, X.; LIU, B.; KANG, L.; FANG, Y. Wind erosion mass variability with sand bed in a wind tunnel. *Soil & Tillage Research*, v.165, pp. 181-189, 2017.<http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2016.08.013>

CINTRA, F. L. D.; RESENDE, R. S.; LEAL, M. L. S.; PORTELA, J. C. Efeito de volumes de água de irrigação no regime hídrico de solo coeso dos tabuleiros e na produção de coqueiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v, 33, n.4, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000400028>

COELHO, M. R.; FONTANA, A.; SANTOS, H. G.; PEREZ, D. V. O solo e a sustentabilidade agrícola no Brasil: Um enfoque pedológico, *Boletim Informativo da SBCS*, p. 30-37, 2014.

COGO, N. P.; FOSTER, G. R.; MOLDENHAUER, W. C. Flow rates-soil erosion relationships as affected by wheat residue cover: an attempt to define slope length limits for conservation tillage. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 20, pp.475-483, 1996.

DE LIMA, R. P.; MÁRIO M. ROLIM, M. M.; TOLEDO, M. P. S.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. R.; SILVA, I. A. C.; PEDROSA, E. M. R. Texture and degree of compactness effect on the pore size distribution in weathered tropical soils. *Soil & Tillage Research*, v.215, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105215>.

FAO – Organização para Alimentação e Agricultura. Anuário de Produção da FAO, Roma, 2020. <https://cir.nii.ac.jp/crid/1571417126339279744>

FAO – Organização para Alimentação e Agricultura. Voluntary guidelines for sustainable soil management. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2017. <http://www.fao.org/3/a-bl813e.pdf>

FUENTES-LLANILLO, R.; GUIMARÃES, M. F.; TAVARES FILHO, J. Morphology and physical properties of soil according to tillage systems in annual crops. *Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental*, v. 17, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1415-4366201300050000>

FEIZIAS, V.; JAFARZADEH, J.; SADEGHZADEH, B.; SHALMANI, M. A. M. Water deficit index to evaluate water stress status and drought tolerance of rainfed barley genotypes in cold semi-arid area of Iran. *Agricultural Water Management*, v. 262, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107395>

FU, Y.; TIAN, Z.; AMOOZEGAR, A.; HEITMAN, J. Measuring dynamic changes of soil porosity during compaction. *Soil and Tillage Research*, v. 193, pp.114-121, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.05.016>

GOMES, R. L. R.; DA SILVA, M. C.; DA COSTA, F. R.; DE LIMA JUNIOR, A. F.; DE OLIVEIRA, I. P.; DA SILVA, D. B. Propriedades físicas e teor de matéria orgânica do solo sob diferentes coberturas vegetais. *Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos*, v. 9, n. 1, 2015.

GUO, Z.; ZHANG, L.; YANG, W.; HUA, L.; CAI, C. Aggregate stability under long-term fertilization practices: the case of eroded ultisols of south-Central China. *Sustainability*. v.11, 2019. <https://doi.org/10.3390/su11041169>

GIBOSHI, M. L. Desenvolvimento de um sistema especialista para determinar a capacidade de uso da terra. 1999. 77 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Produção Agropecuária) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 1999.

GIRÃO, R.O. et al. Soil genesis and iron nodules in a karst environment of the Apodi Plateau. *Revista Ciência Agronômica*, v.45, n.4, p.683-695, 2014.

HUANG, T.; PANG, Z.; EDMUNDS, W. M. Soil profile evolution following land-use change: Implications for groundwater quantity and quality. *Hydraulic Process*, v.27, pp. 1238 – 1252, 2013. <https://doi.org/10.1002/hyp.9302>

JACOMINE, P. K. T.; SILVA, F. B. R.; FORMIGA, R. A.; ALMEIDA, J. C.; BELTRÃO, V. A.; PESSOA, S. C. P.; FERREIRA, R. C. Levantamento exploratório - Reconhecimento de solos do Estado do Rio Grande do Norte. Recife, DPP/DA. Convênio MA/DNPEA/SUDENE/DRN, MA/CONTAP/USAID/BRASIL, 1971. 531p. (Boletim Técnico, 21).

JIA, X.; SHAO, M.; ZHU, Y.; LUO, Y. Soil moisture decline due to afforestation across the Loess Plateau, China. *Journal of Hydrology*, v. 546, pp.113–122, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.01.011>

KAISER, H. F. The Varimax Criterion for Analytic Rotation in Factor Analysis. *Psychometrika*, v.23, pp.187-200, 1958. <https://doi.org/10.1007/BF02289233>

KARBOUT, N.; MOUSSA, M.; GASMI, I.; BOUSNINA, H. Effect of clay amendment on water retention in sandy soil of arid Southeastern Tunisia areas. *International Research Journal of Earth Sciences*, v.3, n.6, p.1-4, 2015. http://www.isca.in/EARTH_SCI/Archive/v3/i6/1.ISCA-IRJES-2015-012.pdf

KER, J. C. Latossolos do Brasil: uma revisão. *Geonomos*, v.5, n.1, p.17-40, 1997.

KILIC, O. M.; ERSAYIN, K.; GUNAL, H.; KHALOFAH, A.; ALSUBEIE, M. S. Combination of fuzzy-AHP and GIS techniques in land suitability assessment for wheat (*Triticum aestivum*) cultivation. *Saudi Journal of Biological Sciences*, v.29, p.2634-2644, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.12.050>

KUČERA, A.; SKENE, K. R.; KUPEC, P. Soil hydric properties and carbon stock in a semi-arid region of Iraqi Kurdistan: The importance of historical pedogenesis, climate and locality. *Ecological Indicators*. v.119, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106813>

LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 3. ed. Campinas: SBCS, 1996. 84 p.

LEMOS, M. S. S.; CURI, N.; MARQUES, J. J. G. S. M.; SOBRINHO, F. E. Evaluation of characteristics of cambisols derived from limestone in low tablelands in northeastern Brazil. *Pesquisa Agropecuária brasileira*, v.32, n.8, p.825-834, ago. 1997.

LEPSCH, I. FERNANDO; ESPINDOLA, C. ROBERTO; VISCHI FILHO, O. JULIO; HERNANI, L. CARLOS; SIQUEIRA, D. SILVA. Manual para levantamento utilitário e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. Viçosa, MG: SBCS, 2015. 170 p.

LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI JR., R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C.R. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. 4ª aproximação, 2ª. impressão revisada. Campinas: SBCS, 1991. 175p.

LI, H.; SI, B.; MA, X.; WU, P. Deep soil water extraction by apple sequesters organic carbon via root biomass rather than altering soil organic carbon content. *Science of The Total Environment*, v. 670, pp. 662-671, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.267>

LIMA, C. E. S.; COSTA, V. S. O.; GALVÍNCIO, J. D.; SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G. Assessment of automated evapotranspiration estimates obtained using the GP-SEBAL algorithm for dry forest vegetation (Caatinga) and agricultural areas in the Brazilian semiarid region. *Agricultural Water Management*, v. 250, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106863>

MARQUES, F. A.; SOUZA, R. A. S.; SOUZA, J. E. S.; LIMA, J. F. W. F.; SOUZA JÚNIOR, V. S. Characterization of vertisols from the island of Fernando de Noronha, Pernambuco, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.38, pp.1051-1065, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000400002>

MARQUES, J. Q. A. Manual brasileiro para levantamento da capacidade de uso da terra: 3ª aproximação. Rio de Janeiro: Escritório Técnico Brasil-EUA, 1971. 433 p.

MENDES, K. R.; PORTELA, J. C.; GONDIM, J. E. F.; RIBEIRO, M. A.; MEDEIROS, J. F.; QUEIROZ, G. C. M. Physical, chemical and structural attributes of soil in agroecosystems in the Brazilian Semiarid region. *Revista Ciência Agronômica*, v. 53, 2022. <https://doi.org/0000-0003-0794-8729>

MELO, A. F. D.; SOUZA, C. M. M.; RÊGO, L. G. S.; LIMA, R. N. S.; MOURA, I. N. B. M. Pedogênese de chernossolos derivados de diferentes materiais de origem no oeste potiguar. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v.13, pp.229-235, 2017. <https://doi.org/10.30969/acsa.v13i3.890>

MOISA, M. B.; TIYE, F. S.; DEJENE, I. N.; GEMEDA, D. O. Land suitability analysis for maize production using geospatial technologies in the Didessa watershed, Ethiopia. *Artificial Intelligence in Agriculture*, v.6, p.34-46, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2022.02.001>

MONTGOMERY, D. R. Erosão do solo e sustentabilidade agrícola. *PNAS*, v.104, n. 33, pp.13268–13272, 2007. <https://doi.org/10.1073/pnas.0611508104>

MOTA, J. C. A.; MENEZES, A. S.; NASCIMENTO, C. D. V; ALENCAR, T. L.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; TOMA, R. S.; ROMERO, R. E.; COSTA, M. C. G.; COOPER, M. Pore shape, size distribution and orientation in Bt horizons of two Alfisols with and without cohesive character from Brazil. *Geoderma Regional*, v. 15, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2018.e00197>

MÜNCH, S., PAPKE, N., LEUE, M. FAUST, M., SCHEPANSKI, K., SILLER, P., ROESLER, U., NÜBEL, U., KABELITZ, T., AMON, T., FUNK, R. Differences in the sediment composition of wind eroded sandy soils before and after fertilization with poultry manure. *Soil & Tillage Research*, v.215, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105205>

NISHA, R.; KAUSHIK, A.; KAUSHIK, C. P. Effect of indigenous cyanobacterial application on structural stability and productivity of an organically poor semi-arid soil. *Geoderma*, v.138, p.49–56, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.10.007>

OLIVEIRA, J. B.; BERG, M. V. D. Aptidão agrícola das terras do Estado de São Paulo: quadrícula de Araras. II. Memorial descritivo. Campinas: Instituto Agrônômico, 1985. 60p. Boletim Técnico, 102.

OLIVEIRA, J. B.; SOSA, S. M. B. Sistema de clasificación de la aptitud agroecológica de la tierra (S. C. A. A. T.) para la región oriental del Paraguay (1a aproximación). Assunción, Paraguay: UMA: FCA: CIF; GTZ, 1995. 77 p.

OLIVEIRA, L. L. P., PORTELA, J. C., SILVA, E. F., DIAS, N. S., GONDIM, J. E. F., FERNANDES, C. N., MEDEIROS, J. F., 2021. Water retention in Cambisols under land uses in semiarid region of the Brazil. *Journal of Arid Environments*. v.189. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104483>

ONU – Organização das Nações Unidas. O Acordo de Paris, 2015. https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf

PEREIRA, L. C.; LOMBARDI NETO, F. Avaliação da aptidão agrícola das terras: proposta metodológica. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 36 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 43).

PORTELLA, C. M. R.; GUIMARÃES, M. F.; FELLER, C.; FONSECA, I. C. B.; TAVARES FILHO, J. Soil aggregation under different management systems. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000600021>

QIAN, Z.; ZHUANG, S.; GAO, J.; TANG, L.; HARINDINTWALI, J. H.; WANG, F. Aeration increases soil bacterial diversity and nutrient transformation under mulching-induced hypoxic conditions. *Science of The Total Environment*. V. 817, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153017>

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995. 65 p.

REYBENAYAS, J. M.; NEWTON, A. C.; DIAZ, A.; BULLOCK, J. M. Enhancement of biodiversity and ecosystem services by ecological restoration: a meta-analysis. *Science*, v.325, pp. 1121-1124, 2009. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1172460>

SADEGHIAN, N.; VAEZI, A. R.; MAJNOONIHHERIS, A.; CERDA, A. Soil physical degradation and rill detachment by raindrop impact in semi-arid region. *Catena*, v.207, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105603>

SANTANA, M. S.; ANDRADE, E. M.; OLIVEIRA, V. R.; COSTA, B. B.; SILVA, V. C.; FREITAS, M. S. C.; CUNHA, T. J. F.; GIONGO, V. Trophic groups of soil fauna in semiarid: Impacts of land use change, climatic seasonality and environmental variables. *Pedobiologia - Journal of Soil Ecology*, v.89, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2021.150774>

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2018. 356p.

SANTOS, R.D.; SANTOS, G. H.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S. H. Manual de descrição e coleta de solo no campo. Viçosa: SBCS. 7:102, 2015.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Upanema. Recife: CPRM/PRODEEM. 24 p., 2005. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/17300/1/rel_upanema.pdf>. Acesso em:10 mar. 2019.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BARBOSA, F. T.; MIQUELLUTI, D. J.; COGO, N. P. Water Erosion in a Long-Term Soil Management Experiment with a Humic Cambisol. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 41, 2017. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20160383>

SILVA, A. M.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; AVANZI, J. C.; FERREIRA, M. M. Rainfall erosivity and erodibility of Cambisol (Inceptisol) and Latosol (Oxisol) in the region of Lavras, Southern Minas Gerais State, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, n. 6, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000600029>

SHAO, W.; WANG, W.; GUAN, Q.; LUO, H.; MA, Y.; ZHANG, J. Distribution of soil available nutrients and their response to environmental factors based on path analysis model in arid and semi-arid area of northwest China. *Science of the Total Environment*, v.827, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154254>

SHARMA, S. B.; CHOWDHURY, A. Phosphorus transitions in traditional eco-knowledge versus chemical based agri-amendment systems of stress-prone semi-arid tropics: Finding the real game-changer. *Ecological Indicators*, v.121, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107145>

SIVAKUMAR, M. V. K. Interactions between climate and desertification. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.142, pp.143–155, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.03.025>

SOUZA, C. K.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; PEREIRA, G. T. Influence of the relief and erosion in the space variability of an oxissol in Jaboticabal, state of São Paulo, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, n.6, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000600011>

STAVI, I.; LAL, R. Achieving zero net land degradation: challenges and opportunities. *Journal of Arid Environments*, v.112, pp. 44-51, 2015. Lal). <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.01.016>

TALUKDAR, S.; NAIKOO, M. W.; MALLICK, J.; PRAVEEN, B.; SHAHFAHA.; SHARMA, P.; ISLAM, A. R. MD. T.; PAL, S.; RAHMAN, A. Coupling geographic information system integrated fuzzy logic-analytical hierarchy process with global and machine learning based sensitivity analysis for agricultural suitability mapping. *Agricultural Systems*, v. 196, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2021.103343>

TUNÇAY, T.; KILIÇ, S.; DEDEOĞLU, M.; DENGİZ, O.; BAŞKAN, O.; BAYRAMIN, I. Assessing soil fertility index based on remote sensing and gis techniques with field validation in a semiarid agricultural ecosystem. *Journal of Arid Environments*, v. 190, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104525>

WEBER, J.; KARCZEWSKA, A.; DROZD, J.; LICZNAR, M.; LICZNAR, S.; JAMROZ, E.; KOCOWICZ, A. Agricultural and ecological aspects of a sandy soil as affected by the application of municipal solid waste composts. *Soil Biology & Biochemistry*, v.39, p.1294–1302, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.12.005>

WRIGHT, A. J.; BARRY, K. E.; LORTIE, C. J.; CALLAWAY, R. M. Biodiversity and ecosystem functioning: have our experiments and indices been underestimating the role of facilitation? *Journal of Ecology*, v.109, pp. 1962-1968, 2021. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13665>

XIA, Q.; ZHENG, N.; HEITMAN, J. L.; SHI, W. Soil pore size distribution shaped not only compositions but also networks of the soil microbial community. *Applied Soil Ecology*, v.170, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104273>

ZHU, X.; XIAO, G.; WANG, S. Suitability evaluation of potential arable land in the Mediterranean region. *Journal of Environmental Management*, v. 313, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115011>

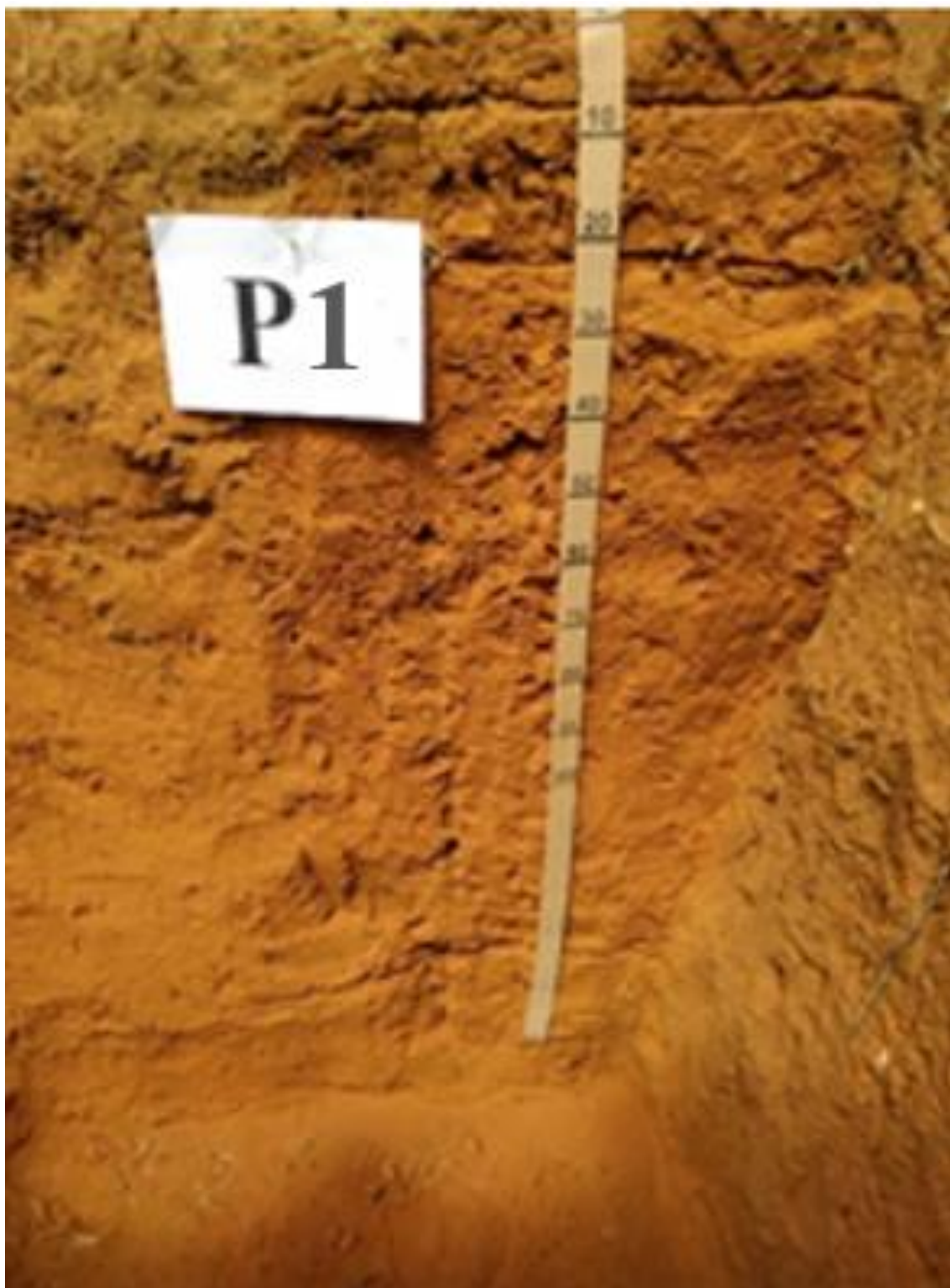
WANG, B.; ZHENG, F.; RÖMKENS, M. J. M. Comparison of soil erodibility factors in USLE, RUSLE2, EPIC and Dg models based on a Chinese soil erodibility database. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B - Soil and Plant Science*, v.63, pp.69-79, 2013. <http://dx.doi.org/10.1080/09064710.2012.718358>

WOLSCHICK, N. H.; BERTOL, I.; BARBOSA, F. T.; BAGIO, B.; BIASIOLO, L. A. REMAINING effect of long-term soil tillage on plant biomass yield and water erosion in a Cambisol after transition to no-tillage. *Soil and Tillage Research*, v. 213, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105149>

WOLSCHICK, H. N.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; BAGIO, B.; KAUFMANN, D. S. Long-term effect of soil use and management on organic carbon and aggregate stability. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 42, 2018. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20170393>

ANEXO

PERFIL 1: LATOSSOLO – ÁREA DE MATA NATIVA



PERFIL 2: VERTISSOLO – ÁREA DE PASTAGEM DE OVINOS



PERFIL 3: CAMBISSOLO – ÁREA DA HORTA



**PERFIL 4: CAMBISSOLO – ÁREA DE POUSIO – ANTERIORMENTE CULTIVADA
COM MACAXEIRA *Manihot esculenta***



PERFIL 5: CAMBISSOLO – ÁREA DE CONSORCIO DE MILHO E FEIJÃO



PERFIL 6: ARGISSOLO – ÁREA DE PASTAGEM



PERFIL 7: LATOSSOLO – ÁREA DE CAJUEIRO

