



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

KELLYANE DA ROCHA MENDES

MACROARTRÓPODES E SUAS INTER-RELAÇÕES COM ATRIBUTOS DO SOLO
EM AGROECOSSISTEMAS NO SEMIÁRIDO POTIGUAR BRASILEIRO

Mossoró, RN

2020

KELLYANE DA ROCHA MENDES

**MACROARTRÓPODES E SUAS INTER-RELAÇÕES COM ATRIBUTOS DO SOLO
EM AGROECOSSISTEMAS NO SEMIÁRIDO POTIGUAR BRASILEIRO**

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

Linha de Pesquisa: Manejo do solo e da água no ambiente agrícola.

Orientadora: Profa. Dra. Jeane Cruz Portela

Mossoró, RN

2020

© 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 tornar-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.

M538m Mendes, Kellyane da Rocha.
Macroartrópodes e suas inter-relações com
atributos do solo em agroecossistemas no
semiárido potiguar brasileiro / Kellyane da Rocha
Mendes. - 2020.
83 f. : il.

Orientadora: Jeane Cruz Portela.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Manejo de Solo e Água, 2020.

1. Análise multivariada. 2. Curva de retenção.
3. Macrofauna edáfica. 4. Usos agropecuários. I.
Portela, Jeane Cruz, orient. II. Título.

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.

KELLYANE DA ROCHA MENDES

**MACROARTRÓPODES E SUAS INTER-RELAÇÕES COM ATRIBUTOS DO SOLO
EM AGROECOSSISTEMAS NO SEMIÁRIDO POTIGUAR BRASILEIRO**

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

Linha de Pesquisa: Manejo do solo e da água no ambiente agrícola.

Defendida em: 17 /01 /2020.

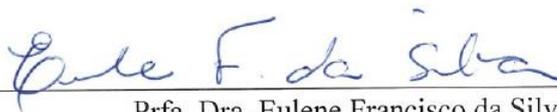
BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Jeane Cruz Portela
Presidente (UFERSA)



Prof. Dr. Rafael Oliveira Batista
Membro examinador (UFERSA)



Prfa. Dra. Eulene Francisco da Silva
Membro examinador (UFERSA)



Dr. Rauny Oliveira de Souza
Membro examinador (Externo)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela graça da vida, por seu amor incondicional que me alcançou e me dá forças e me renova todos os dias. A ele toda honra, glória e louvor!

Aos meus pais, Paulino Mendes da Silva e Maria Judite da Rocha Mendes, por seus ensinamentos, amor e cuidado, que é a razão de eu sonhar e por sempre me apoiarem e me incentivarem a ir além. Muito obrigada por tanto amor, e por não medirem esforços e sonharem junto comigo.

As minhas irmãs Mirian Kátia, Helen Kássia, Kézia Mendes e Sheila Mendes, cunhados Miguel Bento e Miguel Arcaño por todo amor e que mesmo de longe sempre torceram por mim. E meus sobrinhos Ana Sofia, Ester, Isaac, Nathan e Maria Isabelle pelo amor mais puro e o dom de alegrar qualquer dia ruim.

A minha querida orientadora Professora Dra. Jeane Cruz Portela, por todo acolhimento, ensinamento e amizade. Por sua compreensão todas as vezes que precisei me ausentar para estar com minha família, por todas as palavras de carinho, apoio e incentivo. Por me ajudar a progredir como discente e como pessoa. Por me acompanhar e amparar em cada etapa durante esse período com muita amorosidade. Minha eterna gratidão e carinho.

Aos agricultores da comunidade rural de Piracicaba/Upanema RN, Sr. João Mariano, Sr. Sebastião Júnior, Sr. Ademar Rocha, Sra. Josefa Rocha, Sra. Ana Rocha e familiares por nos receber com todo carinho e compartilhar tanto do seu tempo, conhecimento e vivências.

A todos os colegas e amigos da equipe do laboratório de Física do solo: Gabriela Queiroz, Rutilene Cunha, Joaquim Emanuel, Valéria Nayara, Max Andrez, Matheus Ribeiro, Maria Williane, Denilson Eduardo, Wandson Mendes, Alisson Jorge, Lucas Alves e Erika Elayne. Agradeço especialmente ao Antônio Carlos da Silva por todo carinho, ajuda e disponibilidade.

Ao Jardson Cruz das Virgens por todas as vezes que esteve comigo me apoiando, seja me ajudando durante as análises e trabalhos ou fora da universidade com todo apoio, companheirismo, palavras de incentivo e carinho que me deram forças.

Ao secretário Sr. Antônio Tomaz da Silva Neto por toda disponibilidade, carinho e acolhimento.

Ao Prof. Dr. Francisco Ernesto Sobrinho (*in memoriam*) por sua contribuição amorosa para o desenvolvimento dessa pesquisa.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Sêmi-Árido por todo ensinamento compartilhado.

Aos colegas do programa por toda amizade e companheirismo, a todos das turmas 2018.1 e 2019.1. Em especial meu amigo Jader Felipe Araújo Justo por todas as palavras de carinho e apoio, amizade e cumplicidade.

Agradeço à banca examinadora pela disponibilidade e por suas contribuições com este trabalho.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), o Centro de Ciências Agrárias (CCA), Laboratório de Análise de Solo Água e Planta (LASAP), pela oportunidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento dessa pesquisa.

A todos que contribuíram, torceram e estiveram comigo, meu muito obrigada!!

“Tudo o que fizerem, seja em palavra ou em ação, façam-no em nome do Senhor Jesus, dando por meio dele graças a Deus pai.” Colossenses 3: 17.

RESUMO GERAL

O interesse atual no estudo sobre os macroartrópodes do solo advém da necessidade do uso sustentável do ambiente e sua capacidade de atuação como indicadores da qualidade do solo, os mesmos são influenciados pelos atributos do solo e estes pelos agroecossistemas, estudando suas inter-relações busca-se subsídios para o planejamento adequado das atividades agrícolas e conservação da capacidade produtiva do solo. O estudo teve como objetivo avaliar as relações dos macroartrópodes do solo com os atributos físicos, estruturais e químicos em agroecossistemas, em agroecossistemas. A pesquisa foi realizada na comunidade Piracicaba, município de Upanema-RN, considerando quatro agroecossistemas: mata nativa / Latossolo (área de referência), área consórcio milho e feijão/ Cambissolo, área de pastagem/ Argissolo e área de cajueiro/ Latossolo. Foram coletadas amostras indeformadas e deformadas, nas camadas 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 (m), para realização das análises dos atributos físicos, químicos e estruturais do solo. Os macroartrópodes foram coletados via instalação de armadilhas de queda tipo Provid, instaladas nos períodos seco e chuvoso, e posteriormente identificados, contabilizados e classificados por ordem taxonômica. Os resultados foram interpretados por meio de técnicas da análise multivariada como ferramenta principal, para determinação dos atributos mais sensíveis na distinção dos ambientes. Os atributos do solo apresentaram variabilidade quanto aos usos e classes de solos, sendo as variáveis microporosidade, capacidade de campo, ponto de murcha permanente, água disponível, areia, argila, grau de floculação, Ca^{2+} , Mg^{2+} , soma de bases, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, condutividade elétrica e carbono orgânico total as mais sensíveis na distinção dos ambientes. A retenção de água no solo variou entre os agroecossistemas estudados, sendo que as áreas de mata nativa e área de consórcio milho e feijão apresentaram conteúdo de água retida no solo superior as demais áreas. O maior aporte de carbono orgânico total favorece a estruturação do solo e maior retenção de água, especialmente em solos de textura mais arenosa. Para os macroartrópodes, as ordens mais abundantes foram: Hymenoptera, Coleoptera, Orthoptera, Díptera, Araneae, Hemíptera e Scutigeromorpha, em valores menos expressivos também foram encontrados organismos das ordens Blatodeae, Scorpiones, Larva de Lepdoptera, Leptdoptera, Odonata, Chilopoda, Phasmatodea, Thysanoptera e Ixodida. A abundância e diversidade dos macroartrópodes do solo foram influenciadas pela sazonalidade climática, sendo a abundância maior no período seco, e a diversidade maior no período chuvoso. A área de consórcio de milho e feijão apresentou maiores índices de diversidade de Shanon e equitabilidade de Pielou, no período chuvoso a área de cajueiro, no período seco. As comunidades dos macroartrópodes encontradas nos agroecossistemas foram influenciadas pelos atributos físicos, químicos e estruturais do solo, sendo essa correlação existente evidenciada com uso da análise de componentes principais, onde os atributos macroporosidade, carbono orgânico total, microporosidade, densidade do solo, textura (areia, silte e argila), Ca^{2+} , K^{+} e capacidade de troca catiônica foram os que mais influenciaram.

Palavras-chave: Análise multivariada. Curva de retenção. Macrofauna edáfica. Usos agropecuários.

ABSTRACT GENERAL

The current interest in studying soil macroarthropods comes from the need for sustainable use of the environment and its capacity to act as indicators of soil quality, they are influenced by soil attributes and these by agro-ecosystems, studying their interrelationships. subsidies for the proper planning of agricultural activities and conservation of the productive capacity of the soil. The study aimed to evaluate the relationships between soil macroarthropods and physical, structural and chemical attributes in agroecosystems, in agroecosystems. The research was carried out in the Piracicaba community, municipality of Upanema-RN, considering four agroecosystems: native forest / Latosol (reference area), corn and bean consortium area / Cambisol, pasture area / Argisol and cashew area / Latosol. Deformed and deformed samples were collected, in layers 0.0-0.10, 0.10-0.20 and 0.20-0.30 (m), to carry out the analysis of the physical, chemical and structural attributes of the soil. Macroarthropods were collected by installing provid-type fall traps, installed in the dry and rainy periods, and subsequently identified, accounted for and classified in taxonomic order. The results were interpreted using multivariate analysis techniques as the main tool, to determine the most sensitive attributes in distinguishing environments. The soil attributes showed variability in the uses and classes of soils, being the variables microporosity, field capacity, permanent wilt point, available water, sand, clay, degree of flocculation, Ca^{2+} , Mg^{2+} , sum of bases, soil density, total porosity, macroporosity, electrical conductivity and total organic carbon are the most sensitive in distinguishing environments. The retention of water in the soil varied among the studied agroecosystems, with the areas of native forest and intercropping area corn and beans presenting higher water content in the soil than the other areas. The greater supply of total organic carbon favors the structuring of the soil and greater water retention, especially in soils with a sandy texture. For the macroarthropods, the most abundant orders were: Hymenoptera, Coleoptera, Orthoptera, Diptera, Araneae, Hemíptera and Scutigermorpha, in less expressive values, organisms of the orders Blatodeae, Scorpiones, Lepdoptera larva, Leptdoptera, Odonata, Chodopoda, Phasmatmat, Phasmatmat, Thysanoptera and Ixodida. The abundance and diversity of soil macroarthropods were influenced by climatic seasonality, with greater abundance in the dry period, and greater diversity in the rainy season. The corn and bean consortium area showed the highest rates of Shanon diversity and Pielou equitability, in the rainy season, the cashew area, in the dry season. The macroarthropod communities found in agroecosystems were influenced by the physical, chemical and structural attributes of the soil, and this existing correlation is evidenced with the use of principal component analysis, where the attributes macroporosity, total organic carbon, microporosity, soil density, texture (sand, silt and clay), Ca^{2+} , K^{+} and cation exchange capacity were the most influential.

Keywords: Multivariate Analysis. Retention curve. Edaphic macrofauna. Agricultural uses.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1- ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E ESTRUTURAIS DO SOLO EM AGROECOSSISTEMAS NO SEMIÁRIDO POTIGUAR

- Figura 1.** Localização da área de estudo, comunidade rural Piracicaba, Upanema/RN.....25
- Figura 2.** Topossequência característica dos agroecossistemas estudados, comunidade rural Piracicaba, Upanema/RN.....25
- Figura 3.** Dendrograma vertical da matriz de distâncias, pelo método de agrupamento por ligação simples, em agroecossistemas, comunidade rural Piracicaba, Upanema-RN.....31
- Figura 4 (A e B).** Distribuição da nuvem de variáveis, no círculo de correlações (A) e distribuição da nuvem de pontos (B), representando a relação entre fatores 1 e 2 e os ambientes em estudo, comunidade rural Piracicaba, Upanema/RN.....33

CAPÍTULO 2 -RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO EM AGROECOSSISTEMAS NO SEMIÁRIDO POTIGUAR

- Figura 1.** Localização da área de estudo, Comunidade rural Piracicaba, Upanema/RN.....42
- Figura 2.** Curvas características de água no solo para os agroecossistemas em estudo, comunidade rural Piracicaba, Upanema/RN.....49
- Figura 3.** Dendrograma vertical da matriz de distâncias, pelo método de agrupamento por ligação simples, nos agroecossistemas em estudo, comunidade rural Piracicaba, Upanema-RN.....52
- Figura 4.** Distribuição da nuvem de variáveis, no círculo de correlações (A) e distribuição da nuvem de pontos (B), representando a relação entre fatores 1 e 2 e os ambientes em estudo, comunidade rural Piracicaba, Upanema-RN.....55

CAPÍTULO 3- MACROARTRÓPODES E SUAS INTER-RELAÇÕES COM ATRIBUTOS DO SOLO E A SAZONALIDADE CLIMÁTICA EM AGROECOSSISTEMAS NO SEMIÁRIDO POTIGUAR

Figura 1. Precipitação pluvial (mm) e temperatura (°C), no município de Upanema-RN, ano 2019.....	65
Figura 2. Agroecossistemas no período chuvoso (A) e período seco (B). 1: Área de mata nativa (AMN), 2: Área de consórcio milho e feijão (ACMF), 3: Área de pastagem (AP) e 4: Área de cajueiro (AC), comunidade rural Piracicaba, Upanema/RN.....	67
Figura 3. Armadilhas tipo Provid, instaladas nos agroecossistemas estudados, na comunidade rural Piracicaba, Upanema/RN.....	68
Figura 4. Índices de diversidade de Shanon nos períodos seco e chuvoso, em agroecossistemas, comunidade rural Piracicaba, Upanema/RN	74
Figura 5. Índices de equitabilidade de Pielou nos períodos seco e chuvoso, em agroecossistemas, comunidade rural Piracicaba, Upanema/RN.....	74
Figura 6. Dendrograma de similaridade construído por meio da análise de agrupamentos hierárquicos, com os dados de ordens de macroartrópodes e atributos do solo obtidos nos agroecossistemas estudados, comunidade rural Piracicaba, Upanema/RN.....	76
Figura 7. Círculo de correlação obtido da análise dos componentes principais, entre os atributos do solo, ordens dos macroartrópodes e agroecossistemas em estudo, comunidade rural Piracicaba, Upanema/RN.....	77

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1- ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E ESTRUTURAIS DO SOLO EM AGROECOSSISTEMAS NO SEMIÁRIDO POTIGUAR

Tabela 1. Histórico de uso e localização dos agroecossistemas estudados, Piracicaba, Upanema/RN.....	26
Tabela 2. Matriz de correlação linear simples entre os atributos físicos, químicos e estruturais do solo, em agroecossistemas, comunidade rural Piracicaba, Upanema-RN.....	30
Tabela 3. Eixos fatoriais extraídos para atributos de solos. Rotacionados pelo método Varimax. Cargas fatoriais $\geq 0,65$ foram consideradas significantes para fins de interpretação.....	32

CAPÍTULO 2 -RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO EM AGROECOSSISTEMAS NO SEMIÁRIDO POTIGUAR

Tabela 1. Histórico de uso e localização dos agroecossistemas estudados, Piracicaba, Upanema/RN.....	43
Tabela 2. Atributos físicos, químicos e estruturais do solo em agroecossistemas, comunidade rural Piracicaba, Upanema/RN.....	46
Tabela 3. Parâmetros das curvas de retenção de água do solo em agroecossistemas, comunidade rural Piracicaba, Upanema/RN.....	48
Tabela 4. Matriz de correlação entre os atributos químicos e físico-hídricos do solo, em agroecossistemas, comunidade rural Piracicaba, Upanema-RN.....	51
Tabela 5. Eixos fatoriais extraídos para atributos dos solos, rotacionados pelo método Varimax, com cargas fatoriais $\geq 0,65$ consideradas significantes para fins de interpretação.....	54

CAPÍTULO 3- MACROARTRÓPODES E SUAS INTER-RELAÇÕES COM ATRIBUTOS DO SOLO E A SAZONALIDADE CLIMÁTICA EM AGROECOSSISTEMAS NO SEMIÁRIDO POTIGUAR

Tabela 1. Histórico de uso e localização dos agroecossistemas estudados, comunidade rural Piracicaba, Upanema/RN.....	66
--	----

Tabela 2. Atributos físicos, químicos e estruturais do solo nos agroecossistemas estudados, comunidade rural Piracicaba, Upanema/RN.....	69
Tabela 3. Número de indivíduos por ordens de macroartrópodes, nos períodos seco e chuvoso, em agroecossistemas, comunidade rural Piracicaba, Upanema/RN.....	70
Tabela 4. Frequência de ocorrência das ordens de macroartrópodes nos períodos seco e chuvoso, em agroecossistemas, comunidade rural Piracicaba, Upanema/RN.....	72
Tabela 5. Biomassa das ordens de macroartrópodes nos períodos seco e chuvoso, em agroecossistemas, comunidade rural Piracicaba, Upanema/RN.....	73

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	16
LITERATURA CITADA	18
CAPÍTULO 1 ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E ESTRUTURAIS DO SOLO EM AGROECOSSISTEMAS NO SEMIÁRIDO POTIGUAR	20
RESUMO	21
ABSTRACT	22
INTRODUÇÃO.....	23
MATERIAL E MÉTODOS.....	24
Área de estudo	24
Amostragem e análises dos solos.....	27
Análise estatística	28
RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
CONCLUSÕES	35
LITERATURA CITADA.....	35
CAPÍTULO 2 RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO EM AGROECOSSISTEMAS NO SEMIÁRIDO POTIGUAR	38
RESUMO	39
ABSTRACT	40
INTRODUÇÃO.....	41
MATERIAL E MÉTODOS.....	42
Área de estudo	42
Amostragem e análises dos solos.....	44
Análise estatística	45
RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
CONCLUSÕES	57
LITERATURA CITADA.....	57
CAPÍTULO 3 MACROARTRÓPODES E SUAS INTER-RELAÇÕES COM ATRIBUTOS DO SOLO E A SAZONALIDADE CLIMÁTICA EM AGROECOSSISTEMAS NO SEMIÁRIDO POTIGUAR	60
RESUMO	61
ABSTRACT	62
INTRODUÇÃO.....	63
MATERIAL E MÉTODOS.....	64

Área de estudo	64
Coleta e análise dos Macroartrópodes do solo.....	67
Amostragem e análises dos solos.....	68
Análise estatística multivariada	69
RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
CONCLUSÕES	79
LITERATURA CITADA	80
CONCLUSÕES GERAIS.....	83

INTRODUÇÃO GERAL

O solo pode ser visto como a camada externa e produtiva da superfície terrestre, de origem rochosa que, por meio de processos físicos, químicos e biológicos de desintegração, decomposição e reorganização de partículas, se converteu ao longo do tempo em material poroso, agricultável e com peculiaridades intrínsecas, tendo como fatores de formação o material de origem, tempo, clima, relevo e organismos vivos. O solo é fonte de vida, responsável pelo fornecimento dos fatores de crescimento que são cruciais para o desenvolvimento das plantas e animais que o habitam ou são diretamente dependentes dele, sendo assim de fundamental importância conhecer o mesmo, para desenvolver planejamento adequado de atividades e manutenção da sua capacidade produtiva (Gomes et al., 2015; Silva et al., 2018; Souza et al., 2019).

O manejo do solo e dos cultivos agrícolas, com ausência de técnicas conservacionistas alteram os atributos do solo, principalmente no que se diz respeito a estrutura do ponto de vista da física do solo. Preparos convencionais ao longo do tempo podem causar compactação, e comprometer a estruturação, interferindo no crescimento e desenvolvimento radicular das plantas, infiltração e capacidade de retenção da água, culminando em densidade alta, escoamento superficial, conseqüentemente erosão, comprometendo disponibilidade de água, oxigênio, calor, resistência á penetração de raízes e nutrientes, o que limita a produção agrícola (Gennaro et al., 2015).

A água participa de diversas funções que tem implicações diretas no desenvolvimento da vegetação, nas atividades biológicas e em propriedades físicas e químicas do solo, sendo a determinação do conteúdo de água no solo de importância científica e econômica (Soares et al., 2014). O conteúdo de água pode ser determinado por meio da curva de retenção de água no solo obtida em laboratório, representadas em gráficos que correlaciona a umidade volumétrica e potencial matricial do solo (Pereira et al., 2018).

Os macroartrópodes do solo têm importante papel na identificação da manutenção e/ou preservação do solo, pois atua em diversos processos, como transformação e degradação da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, melhorias das propriedades físicas, devido a hábitos de escavação e construções de galerias exercendo influência na estrutura do solo pela movimentação de partículas, formação de agregados, aumento da porosidade de aeração, drenagem e infiltração (Rosa et al. 2015; Almeida et al., 2017). Pela diversidade das funções que realizam no solo, os macroinvertebrados têm sido

vistos não só como indicadores, mas também agentes de restauração de ambientes degradados (Brown et al., 2015). A avaliação em termos de quantificação e diversidade da macrofauna pode contribuir para avaliar a sustentabilidade, seja da produtividade e/ou recuperação da área degradada (Silva et al., 2016).

As ações antrópicas por meio do manejo do solo e dos cultivos agrícolas podem influenciar diretamente os atributos físicos, químicos e biológicos, conseqüentemente modificações na estrutura, na disponibilidade da água, assim como, na diversidade da fauna edáfica (Casaril et al., 2019; Lopes et al., 2019), que também é influenciada pela sazonalidade climática (Almeida et al., 2015).

Os atributos físico-químicos e estruturais do solo têm sido estudados (Gennaro et al., 2015; Marinho et al., 2016; Silva et al., 2018; Lopes et al., 2019), porém, pesquisas sobre os efeitos desses fatores na diversidade da população dos macroartrópodes são escassas.

O interesse atual no conhecimento das comunidades edáficas advém da necessidade da preservação do ambiente, uma vez que, esses organismos são relevantes na ciclagem de nutrientes, degradação da matéria orgânica e estruturação do solo. Sua diversidade é influenciada pelos atributos do solo, e estes por sua vez, influenciados pelo manejo do solo (Brown et al., 2015; Silva et al., 2016). Assim, estudos considerando essas inter-relações buscam subsídios para direcionar um planejamento adequado das atividades agrícolas e conservação da capacidade produtiva do solo.

Os modelos de estatísticas univariadas clássicos são pouco sensíveis em estudos relacionados a atributos do solo, em razão das especificidades características dos mesmos, não considerando as interações ou efeito conjunto desses atributos, obtendo apenas informações de maneira isolada. A análise estatística multivariada, portanto, para essa pesquisa é uma importante ferramenta auxiliar na obtenção dos resultados, por sua eficiência em estudos que apresentam variabilidade dos atributos do solo em agroecossistemas, bem como suas relações, como um modelo estatístico que permite além da identificação de diferença entre os tratamentos estudados, qual o atributo que mais contribui para a distinção entre as áreas (Hair Júnior et al., 2009).

Diante do exposto, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar as inter-relações dos macroartrópodes do solo, associadas aos atributos físicos, químicos e estruturais em agroecossistemas na comunidade rural de Piracicaba, município de Upanema RN, identificando os atributos mais sensíveis na distinção dos ambientes por meio da análise multivariada.

LITERATURA CITADA

- Almeida, H. S.; Silva, R. F.; Grolli, A. L.; Scheid, D. L. Ocorrência e diversidade da fauna edáfica sob diferentes sistemas de uso do solo. *Revista Brasileira de Tecnologia Agropecuária*, v. 1, p. 15-23, 2017.
- Almeida, M. A. X.; Souto, J.S.; Andrade, A. P. Sazonalidade da macrofauna edáfica do Curimataú da Paraíba, Brasil. *Revista Ambiência Guarapuava*, v. 11, p. 393 – 407, 2015.
- Brown, G.G.; Niva, C.C.; Zagatto, M.R.G.; Ferreira, S.A.; Nadolny, H.S.; Cardoso, G.B.X.; Martinez, A.S.G.A.; Pasini, A.; Bartz, M.L.C.; Sautter, K.D.; Thomazini, M.J., Baretta, D.; Silva, E.; Antonioli, Z.I.; Decaëns, T.; lavelle, P. M. Sousa, J. P.; Carvalho, F. Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. In: Parron, L.M.; Garcia, J.R; Oliveira, E.B.; Brown, G.G.; Prado, R.B. (Eds.). *Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do bioma mata atlântica*. Colombo: Embrapa Florestas, Cap. 10, p.122-154. 2015.
- Casari, C. E.; de Oliveira Filho, L. C. I.; Santos, J. C. P.; da Rosa, M. G. Fauna edáfica em sistemas de produção de banana no Sul de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 14, p. 5613, 2019.
- Gennaro, L. A.; Souza, Z. M.; Silva, L. F. S.; Cooper, M.; Campos, M. C. C. Estrutura do solo sob feijão irrigado e diferentes manejo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, p. 608-614, 2015.
- 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, 2015.
- Hair, J. F.; Black, W. C.; Babin, B. J.; Anderson, R. E.; Tatham, R. L. *Análise multivariada de dados*. Bookman Editora, 2009, 688 p.
- Lopes, T. C. S.; Portela, J. C.; Melo, S. B.; Oliveira, V. N. S.; Gondim, J. E. F.; Batista, R. O.; Cunha, M. E. Characterization of physical-chemical and structural soil attributes in the semiarid region of the Rio Grande do Norte State, Brazil. *Journal of Agricultural Science*, v. 11, p. 22-33, 2019.
- Marinho, A.C.C.S.; Portela, J.C.; Silva E.F.; Dias, N.S.; Sousa Júnior 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, p. 32-41, 2016.
- Pereira, G. M.; Costa, R. N. T.; Assis Júnior, R. N.; Nobre, J. G. Técnicas para estimativa da infiltração de água no solo. *Journal of Specialist*, v. 1, p. 1-16, 2018.
- Rosa, M. G.; Klauberg Filho, O.; Bartz, M. L. C.; Mafra, A. L.; Souza, J. P. F. A.; Barreta, D. Macrofauna edáfica e atributos físicos e químicos em sistemas de uso do solo no planalto catarinense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 39, p. 1544-1553, 2015.
- 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.105-115, 2018.
- Silva, F. C.; Santana, I. J.; Martins, R. D.; Lemes, N. M.; Rietjens, A. R.; Lima, M. L. P. Quantificação da microbiota e diversidade ecológica da meso e macrofauna do solo sob diferentes usos no município de Urutaí (região Sudeste Goiano). *Multi-Science Journal*, v. 1, p. 12-18, 2016.
- 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. *Ciência Rural*, v. 44, 2014.
- Souza, L. S.; Mafra, A. L.; Souza, L. D.; da Silva, I. F.; Klein, V. A. Inter-relação entre manejo e atributos físicos do solo. In: Bertol, I.; de Maria, I. C.; Souza, L. S. Manejo e conservação do solo e da água. Viçosa, MG:Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. Cap. 8, p. 193-249.

CAPÍTULO I

**ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E ESTRUTURAIS DO SOLO EM
AGROECOSSISTEMAS NO SEMIÁRIDO POTIGUAR**

RESUMO

Os atributos do solo são facilmente alterados em função do manejo e uso do mesmo, comprometendo e/ou melhorando a capacidade produtiva dos solos. O objetivo da pesquisa foi avaliar a variabilidade e inter-relações dos atributos físicos, químicos e estruturais do solo em agroecossistemas no semiárido potiguar, apontando os atributos mais sensíveis na distinção dos ambientes por meio da análise multivariada. A pesquisa foi realizada na comunidade rural de Piracicaba, município de Upanema, Rio Grande do Norte, região semiárida brasileira. Foram selecionados quatro agroecossistemas: Área de Mata nativa, Área de Consórcio milho feijão, Área de Pastagem e Área de Cajueiro. Foram coletadas amostras de solo indeformadas e deformadas nas camadas 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 (m), e realizadas as análises dos atributos físicos, químicos e estruturais. Os dados foram submetidos a técnicas de estatística multivariada, por meio da matriz de correlação, análise de agrupamento, análise fatorial e componentes principais. A análise de agrupamento formou três grupos distintos. A análise fatorial revelou que os atributos mais sensíveis na distinção dos agroecossistemas, foram microporosidade, capacidade de campo, ponto de murcha permanente, água disponível, areia, argila, grau de floculação, Ca^{2+} , Mg^{2+} , soma de bases, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, condutividade elétrica e carbono orgânico total. A análise de componentes principais revelou que, o carbono orgânico total foi discriminante para agrupar as áreas de mata nativa e de cajueiro, nas camadas superficiais e os demais ambientes foram agrupados em função da diferenciação da textura que influenciou na variabilidade dos atributos.

Palavras-chave: carbono orgânico total, estatística multivariada, frações inorgânicas, manejo do solo.

ABSTRACT

The attributes of the soil are easily changed depending on the management and use of it, compromising and / or improving the productive capacity of the soils. The objective of the research was to evaluate the variability and interrelationships of the physical, chemical and structural attributes of the soil in agroecosystems in the Brazilian semi-arid region, pointing out the most sensitive attributes in the distinction of environments through multivariate analysis. The research was carried out in the rural community of Piracicaba, municipality of Upanema, Rio Grande do Norte, Brazilian Semi-arid region. Four agroecosystems were selected: Native Forest Area (AMN), Corn Bean Consortium Area (ACMF), Pasture Area (AP) and Cajueiro Area (AC). Deformed and deformed soil samples were collected in layers 0.00-0.10, 0.10-0.20 and 0.20-0.30 (m), and analyzes of physical, chemical and structural attributes were performed. The data were submitted to multivariate statistical techniques, through the correlation matrix, cluster analysis, factor analysis and main components. The cluster analysis formed three distinct groups. Factor analysis revealed that the most sensitive attributes in distinguishing agroecosystems were microporosity, field capacity, permanent wilt point, available water, sand, clay, flocculation degree, Ca²⁺, Mg²⁺, sum of bases, soil density, porosity total, macroporosity, electrical conductivity and total organic carbon. The analysis of main components revealed that the total organic carbon was discriminant to group the areas of native forest and cashew, in the superficial layers and the other environments were grouped according to the differentiation of the texture that influenced the variability of the attributes.

Keywords: total organic carbon, multivariate statistics, inorganic fractions, soil management.

INTRODUÇÃO

O solo é fonte de vida, responsável pelo fornecimento de água e nutrientes que são cruciais para o desenvolvimento das plantas e animais que o habitam ou são diretamente dependentes dele. Sendo assim, é de fundamental importância conhecer o mesmo, para desenvolver um planejamento adequado de atividades e manutenção da sua capacidade produtiva (Brady & Weil, 2013; Lopes et al., 2019).

O uso inadequado do solo representa riscos de degradação. Dados da FAO (Organização das Nações Unidas para Alimentação e a Agricultura) relatam que, mundialmente, 25% das áreas estão altamente degradadas, 8% moderadamente degradadas, 36% apresentam-se estáveis e/ou com nível leve de degradação e 10% em estado de recuperação. O estado de degradação é atribuído às práticas agrícolas inadequadas, ocasionando erosões, perda de nutrientes, compactação, poluição e salinização dos solos, o que resulta na perda e/ou redução da capacidade produtiva dos solos (FAO, 2011).

O manejo do solo e dos cultivos agrícolas, com ausência de técnicas conservacionistas e manutenção da cobertura alteram os atributos do solo (Assis et al., 2015). Preparos convencionais podem causar compactação, e comprometer a estrutura, interferindo no crescimento e desenvolvimento radicular das plantas, infiltração e capacidade de retenção da água (Klein & Klein, 2015; Loss et al., 2015). A alteração no espaço poroso culmina em alta densidade do solo, causando restrições físicas que comprometem a disponibilidade de água, oxigênio e nutrientes, limitando a produção agrícola (Gennaro et al., 2015).

Além das ações antrópicas, as características inerentes do solo conferem variabilidade dos atributos. As variações nos fatores de formação como material de origem, relevo e vegetação, associadas às condições climáticas, atribuem uma diversidade significativa dos solos do semiárido. O padrão climático, com precipitação pluvial menor que evaporação, faz com que os solos, em sua maioria se apresentem pouco profundos e com limitações físicas, contudo, apresentam boa fertilidade em função do déficit hídrico limitar o intemperismo químico, e minimizar a lixiviação das bases e perdas de nutrientes (BRASIL 1971; Angelim et al., 2006; Santos et al., 2018).

Estudos a respeito dos atributos físicos, químicos e estruturais do solo e suas inter-relações com os agroecossistemas são importantes, principalmente em áreas de agricultura familiar, onde esses agricultores dependem essencialmente do recurso solo.

Dessa forma, torna-se necessário a avaliação destes atributos, para caracterizar os ambientes quanto às suas potencialidades e/ou limitações. Buscando assim, subsídios para direcionar um planejamento adequado das atividades agrícolas e conservação da capacidade produtiva do solo (Marinho et al., 2016; Lopes et al., 2019).

Nesse contexto, a análise estatística multivariada surge como eficiente ferramenta auxiliar, possibilitando analisar os atributos, bem como suas relações. Sendo um modelo estatístico que permite além da identificação de diferença entre os ambientes estudados, observar quais atributos mais contribuem para a distinção entre os agroecossistemas (Hair Jr. et al., 2009; Lopes et al., 2019).

Diante do exposto, o objetivo da pesquisa foi avaliar a variabilidade e inter-relações dos atributos físicos, químicos e estruturais do solo em agroecossistemas no semiárido potiguar, apontando os atributos mais sensíveis na distinção dos ambientes por meio da análise multivariada.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi conduzido na comunidade rural de Piracicaba, área de agricultura familiar, com extensão equivalente a 600 ha, situada no município de Upanema, Rio Grande do Norte (Figura 1), cujas coordenadas geográficas são 05° 38' 31" S e 37° 15' 28" W, altitude de 93 m. Apresenta classificação climática segundo Köppen, tipo BSh, semiárido quente, precipitação pluvial média anual de 715 mm, e temperatura média anual de 26 °C. A precipitação anual apresenta uma distribuição unimodal com 79% concentrada nos meses de fevereiro a maio (Alvares et al., 2013).

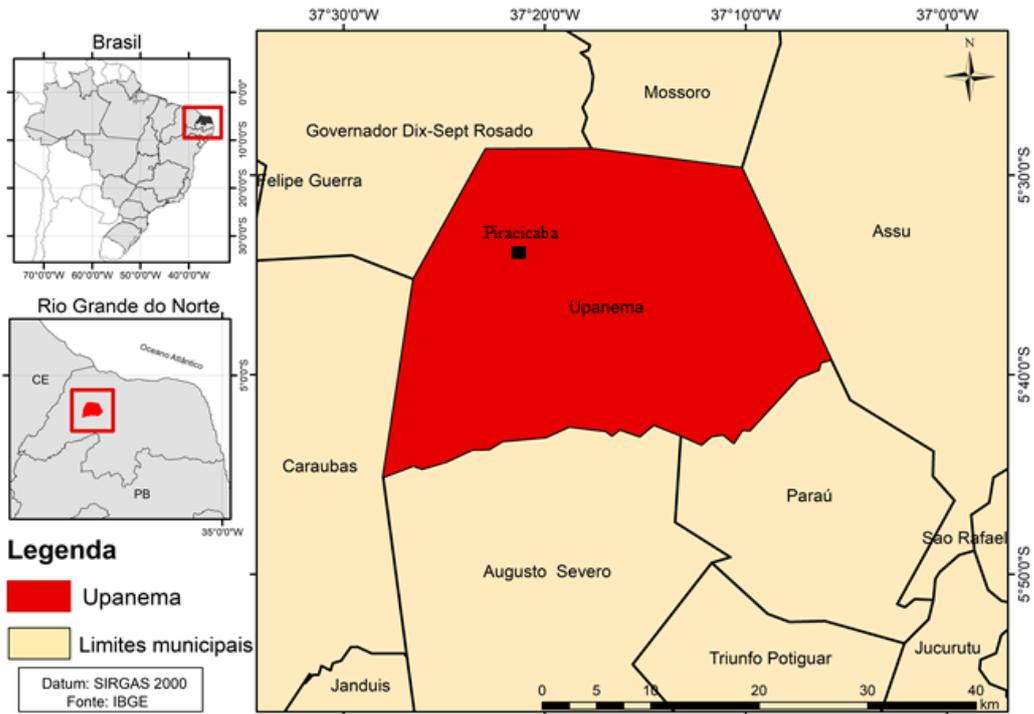


Figura 2. Localização da área de estudo, comunidade rural Piracicaba, Upanema/RN

As áreas estudadas foram definidas considerando a posição topográfica, abrangendo a topossequência entre o topo da chapada e a depressão periférica, bem como os diferentes usos agrícolas do solo (Figura 2). Foram selecionados quatro agroecossistemas (Tabela 1), onde foram abertos perfis para posteriores coletas. Os solos foram classificados no primeiro nível categórico, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (Santos et al., 2018).



Figura 2. Topossequência característica dos agroecossistemas estudados, comunidade rural Piracicaba, Upanema/RN. Fonte: Google Earth, 2019.

Tabela 1. Histórico de uso e localização dos agroecossistemas estudados, Piracicaba, Upanema/RN

Agroecossistemas	Coordenadas Geográficas	Histórico de uso
Área de Mata nativa/ LATOSSOLO	05° 36' 01" S 37° 22' 40" W	Área de mata preservada, sem histórico de desmatamento ou cultivo na mesma. Entre as principais espécies encontradas estão Sabiá (<i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth.), Angico (<i>Anadenanthera colubrina</i> Vell.), Jurema preta (<i>Mimosa hostilis</i> Benth.), Arueira, Pau Darco (<i>Tabebuia serratifolia</i> Vahl), Joazeiro (<i>Ziziphu joazeiro</i> Mart.) e outras características da Caatinga. Localizada no topo da Chapada.
Área de Consórcio Milho e feijão/ CAMBISSOLO	05° 36' 31" S 37° 22' 38" W	Até 2015 a área era remanescente de mata nativa com espécies da Caatinga. A partir de 2016 a terra foi preparada com trator grade niveladora e foi iniciado cultivo. Primeiro ano com melancia (<i>Citrullus lanatus</i> L.), 2017- milho (<i>Zea mays</i> L.), e 2018-2019 milho e feijão de corda (<i>Vigna unguiculata</i> L.). Área cultivada apenas no período chuvoso, em sistema sequeiro. No período seco fica em pousio.
Área de pastagem/ ARGISSOLO	05° 36' 31" S 37° 22' 38" W	A área era utilizada para criação de gado até meados de 2014. Desde 2016 até atualmente (2020), é usada para pastagem de ovinos, tendo como vegetação predominante o capim Panasco (<i>Aristida adscensionis</i> L.).
Área de Cajueiro/ LATOSSOLO	05° 36' 50" S 37° 22' 38" W	Área localizada na cota mais baixa da paisagem, próxima ao açude. Inicialmente, até o ano 1996 já foi cultivado culturas anuais. A partir de então foram plantados os primeiros cajueiros (<i>Anacardium occidentale</i> L.) e 2003 foi replantado novas mudas formando o pomar, que atualmente produz de 1 a 1,5 toneladas do fruto por ano.

Amostragem e análises dos solos

Foram coletadas amostras de solos com estruturas deformadas e indeformadas nos quatro agroecossistemas supracitados, nas camadas 0,0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30 (m). As amostras deformadas foram coletadas de duas formas, em pontos de amostragem (15 subamostras simples, formando uma amostra composta) e posteriormente coletadas também nos perfis abertos, considerando os agroecossistemas e camadas supracitados. As mesmas foram levadas ao Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (LASAP-CCA-UFERSA). Posteriormente secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA).

Realizou-se, em triplicata, as análises de granulometria, densidade de partículas (DP) e os atributos químicos: Sódio (Na^+), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), fósforo (P), condutividade elétrica (CE), potencial hidrogeniônico (pH), acidez potencial (H+Al) e carbono orgânico total (COT).

As amostras indeformadas foram coletadas utilizando trado tipo Uhland e anéis com dimensões de 0,05 m de altura e 0,05 m de diâmetro. Foram coletadas 10 amostras por camada, totalizando 120 amostras. Os anéis foram revestidos com papel laminado e, posteriormente, levados ao LASAP-CCA-UFERSA com o cuidado de manter a estrutura e a umidade do solo original. Dessas amostras, realizaram-se as análises de porosidade total (PT), macro e microporosidade, capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), água disponível no solo (AD) e densidade do solo (DS).

Na determinação da porosidade total, macro e micro, as amostras indeformadas foram saturadas com água por 48 horas e pesadas (para determinar a porosidade total). A microporosidade foi determinada a uma tensão de 6kPa e por diferença estimou-se a macroporosidade. O valor da CC foi definido na tensão de 10 kPa e o PMP, obtido com a tensão de 1500 kPa. A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico como descrita por Forsythe (1975) calculando-se a relação entre massa de solo seco e volume total do anel (Teixeira et al., 2017).

A granulometria foi obtida pelo método da pipeta (Gee & Or, 2002), sendo quantificadas a areia (2 a 0,05 mm) por tamisagem, a argila (< 0,002 mm) por sedimentação e o silte (0,05 a 0,002 mm) por diferença. A densidade de partículas foi realizada pelo método do balão volumétrico (Black et al., 1965). O pH do solo, acidez

potencial ($H^+ + Al^{3+}$), componentes do Complexo Sortivo (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , P) e a condutividade elétrica (CE) foram determinados de acordo com o método proposto por Richards (1954). Posteriormente foram calculados capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases (SB), saturação por bases (V) e porcentagem de sódio trocável (PST). O carbono orgânico total (COT) foi determinado pela titulação do dicromato de potássio 0,167 mol L⁻¹ remanescente com sulfato ferroso amoniacal após o processo de oxidação por via úmida, conforme metodologia proposta por Yeomans e Bremner (1988).

Para o estudo dos agregados, foram coletadas amostras dos solos em blocos, e preservando a estrutura por unidades de fraqueza, passadas em peneiras com abertura de malha de 4,00 e 2,00 (mm). Na análise, empregou-se o método de peneiramento via úmido (Kemper & Rosenau, 1986), com conjunto de quatro peneiras com diâmetros de malha: 4,76 a 2mm; 2 a 1mm; 1 a 0,5mm e 0,5 a 0,25mm. Após a separação dos agregados, obtido por agitação em água por meio do aparelho de oscilação vertical (42 oscilações/minuto), as amostras foram levadas à estufa para secagem a 105°C. Com a obtenção da massa seca foi descontado o teor de areia, e posteriormente obtida a distribuição do tamanho dos agregados e o diâmetro médio ponderado para cada uma das camadas em estudo, sendo calculado conforme equação:

$$DMP = \sum_{i=1}^N X_i \cdot W_i$$

Em que:

DMP – diâmetro médio ponderado, por via úmida, em mm.

x_i – diâmetro médio de cada classe, em mm.

w_i – proporção de agregados em cada classe/peneira, em %.

Análise estatística

Os resultados foram submetidos a análise estatística por meio da técnica de análise multivariada como ferramenta principal, utilizada na detecção dos atributos mais sensíveis na distinção dos ambientes nos solos sob diferentes usos. Foi realizada a análise de correlação de Pearson ($p \leq 0,05$), sendo os dados padronizados pela matriz de correlação e submetidos às análises componentes principais (ACP), fatorial (AF) e agrupamento (AA), utilizando o programa Software Statistica 7.0 (Stansoft, 2004).

A Análise de agrupamento foi realizada com processo de aglomeração hierárquico, pelo método Ward's, com o objetivo de apresentar as similaridades dentro dos grupos. Na análise fatorial, os fatores foram extraídos por componentes principais e os eixos rotacionados pelo método Varimax, sendo considerados os que apresentaram autovalores maiores que 1. Foi estabelecido o valor de 0,65 para cargas fatoriais significativas (Hair Júnior. et al., 2009). As análises fatorial e de componentes principais têm como objetivo reduzir os dados e apresentar as variáveis mais discriminantes na distinção dos ambientes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos 26 atributos dos solos analisados, 22 apresentaram maior correlação na matriz de correlação de Pearson e maior influência na variação total nas análises fatorial e dos componentes principais sendo eles: Densidade do solo (DS); Porosidade total (PT); Macroporosidade (Macro); Microporosidade (Micro); Capacidade de campo (CC); Ponto de murcha permanente (PMP); Água disponível (AD); Areia; Silte; Argila; Grau de floculação (GF); Diâmetro médio ponderado (DMP); potencial hidrogeniônico (pH); Condutividade elétrica (CE); Carbono orgânico total (COT); Fósforo (P); Potássio (K⁺); Sódio (Na⁺); Cálcio (Ca²⁺); Magnésio (Mg²⁺); Soma de bases (SB) e Saturação por bases (V).

Na matriz de correlação (Tabela 2), observou-se que as variáveis estudadas apresentaram elevado número de correlações significativas (P<0,05). Essa boa correlação demonstra adequação dos dados para o uso das análises Fatorial (AF), componentes principais (ACP) e análise de agrupamento (AA).

As principais correlações significativas foram observadas entre os atributos de porosidade total com a CE e COT (positivas), e negativas com a DS. A microporosidade foi correlacionada de forma positiva com os dados de armazenamento de água (CC, PMP e AD), com a soma de bases, grau de floculação e os teores de silte e argila (Brady & Weil, 2013; Klein & Klein, 2015). A areia foi correlacionada positivamente com a macroporosidade.

Tabela 2. Matriz de correlação linear simples entre os atributos físicos, químicos e estruturais do solo, em agroecossistemas, comunidade rural Piracicaba, Upanema-RN

	Ds	PT	Macro	Micro	CC	PMP	AD	AREIA	SILTE	ARGILA	GF	DMP	pH	CE	COT	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	V	
Ds	1,00																						
PT	-0,81	1,00																					
Macro	-0,65	0,45	1,00																				
Micro	0,21	0,13	-0,83	1,00																			
CC	0,05	0,35	-0,64	0,93	1,00																		
PMP	0,00	0,34	-0,57	0,85	0,92	1,00																	
AD	0,08	0,32	-0,62	0,89	0,94	0,74	1,00																
AREIA	-0,22	-0,10	0,73	-0,87	-0,91	-0,93	-0,78	1,00															
SILTE	0,33	-0,22	-0,73	0,67	0,52	0,46	0,51	-0,54	1,00														
ARGILA	0,15	0,18	-0,60	0,78	0,87	0,91	0,73	-0,96	0,30	1,00													
GF	0,02	0,16	-0,52	0,68	0,68	0,75	0,54	-0,74	0,79	0,59	1,00												
DMP	-0,39	-0,16	0,14	-0,25	-0,39	-0,35	-0,38	0,34	0,13	-0,42	-0,02	1,00											
pH	-0,11	-0,09	0,42	-0,52	-0,46	-0,43	-0,43	0,40	-0,77	-0,21	-0,68	0,10	1,00										
CE	-0,69	0,71	0,67	-0,30	-0,10	0,05	-0,22	0,21	-0,46	-0,09	-0,12	-0,01	0,29	1,00									
COT	-0,65	0,70	0,53	-0,15	-0,01	0,15	-0,15	0,14	-0,31	-0,06	-0,01	0,04	0,09	0,94	1,00								
P	-0,27	0,17	0,24	-0,16	-0,27	-0,04	-0,43	0,25	0,00	-0,29	0,09	0,34	0,02	0,54	0,69	1,00							
K ⁺	0,31	-0,25	-0,66	0,58	0,41	0,57	0,23	-0,58	0,58	0,48	0,63	0,13	-0,15	-0,13	-0,01	0,43	1,00						
Na ⁺	-0,41	0,14	0,20	-0,13	-0,22	-0,25	-0,17	0,41	0,21	-0,53	0,04	0,55	-0,30	0,06	0,23	0,38	-0,12	1,00					
Ca ²⁺	-0,04	0,39	-0,47	0,77	0,81	0,78	0,74	-0,66	0,50	0,59	0,60	-0,31	-0,60	0,09	0,31	0,08	0,33	0,19	1,00				
Mg ²⁺	0,00	0,37	-0,39	0,67	0,77	0,71	0,73	-0,58	0,47	0,50	0,60	-0,45	-0,52	0,04	0,14	-0,14	0,23	0,15	0,82	1,00			
SB	-0,01	0,37	-0,50	0,79	0,83	0,80	0,75	-0,68	0,53	0,60	0,65	-0,31	-0,60	0,08	0,29	0,08	0,38	0,19	1,00	0,86	1,00		
V	-0,04	-0,12	0,08	-0,16	-0,11	-0,14	-0,08	0,15	-0,43	-0,03	-0,43	0,11	0,70	0,12	0,07	-0,06	-0,02	0,10	-0,05	0,02	-0,04	1,00	

Nota: DS – Densidade do solo; PT – Porosidade total; Macro – Macroporosidade; Micro – Microporosidade; CC – Capacidade de campo; PMP – Ponto de murcha permanente; AD– Água disponível; GF – Grau de floculação; DMP – Diâmetro médio ponderado; pH – potencial hidrogeniônico; CE – Condutividade elétrica; COT – Carbono orgânico total; P – Fósforo; K⁺ – Potássio; Na⁺ – Sódio; Ca²⁺ – Cálcio; Mg²⁺ – Magnésio; SB – Soma de bases; V – saturação por bases.

Na formação dos grupos pela análise de agrupamento hierárquico (AAH) busca-se a máxima similaridade dentro do grupo e heterogeneidade entre os grupos (Hair Júnior. et al., 2009). No dendrograma (Figura 3) a leitura é feita da direita para esquerda, no qual o eixo y indica as distâncias entre os grupos formados, e o eixo x representa os grupos unidos por ordem decrescente de semelhança, sendo que a alta dissimilaridade indica que dois indivíduos são distintos em relação ao conjunto.

Considerando o nível máximo de dissimilaridade entre os grupos com a linha de corte em 50% do valor da distância euclidiana, admitindo a formação dos grupos entre indivíduos com grau de similaridade acima de 50%, foram formados três grupos. Sendo o grupo I representado por P1 (AMN – Latossolo) nas camadas 0,0-0,10; 0,10-0,20 (m) e P4 (AC - Latossolo), camada 0,0-0,10 (m); o grupo II reuniu o P3 (AP Argissolo), em todas as camadas e as camadas subsuperficiais do P4. O grupo III foi formado pelo P2 (ACMF - Cambissolo) e camada 0,20-0,30 (m) do P1.

O grupo I P1 (AMN – Latossolo) nas camadas 0,0-0,10; 0,10-0,20 (m) e P4 (AC - Latossolo) camada 0,0-0,10 (m), apresentou similaridades principalmente quanto ao maior teor de COT. Sendo esses agroecossistemas os que possuem uma maior conservação da cobertura do solo, conseqüentemente melhor manutenção do carbono orgânico total, o que refletiu ainda em maior porosidade total (Klein & Klein, 2015). Manejos de área de pomar possibilita a manutenção da cobertura vegetal do solo, com

redução mínima dos valores de COT (Marinho et al., 2016).

O grupo II (P3 - AP Argissolo e as camadas subsuperficiais do P4 AC Latossolo) foi discriminado por apresentarem maiores teores de areia e conseqüentemente menor água disponível e grau de floculação. Apesar do P3 ser um Argissolo, até a profundidade estudada não atingiu os horizontes diagnósticos para P3 e P4, sendo estes ambientes mais arenosos que os demais. A fração areia aumenta a macroporosidade do solo, reduzindo a retenção com aumento da infiltração de água (Silva et al., 2018).

O grupo III foi formado pelos ambientes P2 ACMF - Cambissolo e camada 0,20-0,30 m do P1 AMN- Latossolo. Estes foram agrupados por apresentarem similaridades com maior teor de argila, soma de bases, microporosidade e quantidade de água disponível. O que reflete as características da argila como fração ativa do solo quanto à fertilidade, bem como sua influência no armazenamento de água (Brady & Weil, 2013; Klein & Klein, 2015).

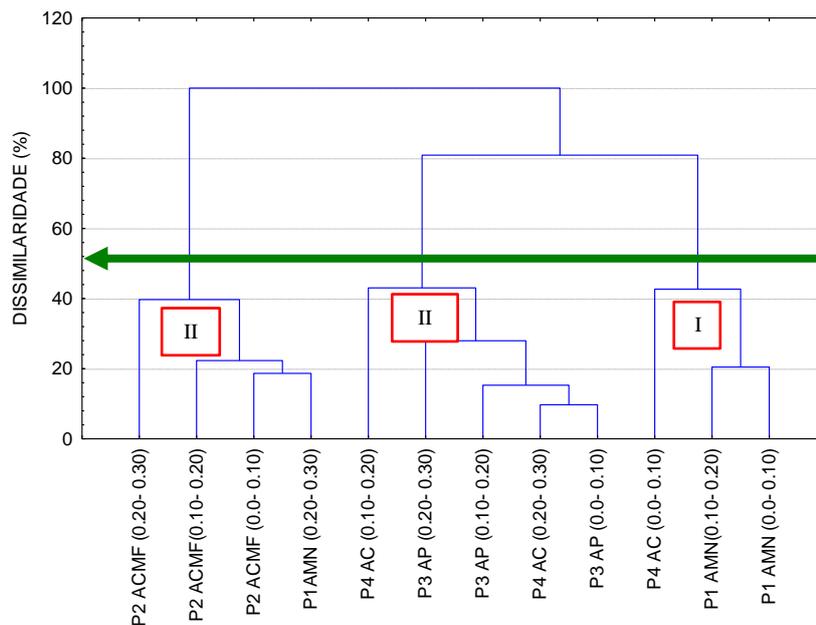


Figura 3. Dendrograma vertical da matriz de distâncias, pelo método de agrupamento por ligação simples, em agroecossistemas, comunidade rural Piracicaba, Upanema-RN

O resumo da análise fatorial destaca os fatores obtidos, as respectivas cargas fatoriais, os autovalores e a percentagem da variância explicada por cada fator (Tabela 3). Obteve-se seis fatores, com autovalores maiores que 1, sendo que a proporção acumulada do Fator 1 (F1) ao Fator (F6), explicou 95,59 % da variância total dos resultados obtidos.

O F1 reuniu as variáveis Micro, CC, PMP, AD, Areia, Argila, GF, Ca²⁺, Mg²⁺ e SB, representando uma explicabilidade de 44,34% da variabilidade contida no conjunto de dados. Enquanto o F2 destacou as variáveis DS, PT, Macro, CE e COT (19,71%). Juntos representaram variância acumulada de 64,05%, permitindo afirmar que esses fatores agrupam as variáveis mais discriminantes na distinção dos ambientes estudados. Os demais fatores foram formados pelos atributos: Na⁺ (F3), P e K⁺ (F4), pH e V (F5) e DMP (F6), representando respectivamente 12,10%; 8,20%; 6,44% e 4,80% da variância total dos dados.

Tabela 3. Eixos fatoriais extraídos para atributos de solos, rotacionados pelo método Varimax, com cargas fatoriais $\geq 0,65$ consideradas significantes para fins de interpretação.

Atributos	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	Fator 6
Ds	0,04	-0,88	-0,16	0,13	0,01	0,41
PT	0,30	0,91	0,05	-0,17	0,09	0,03
Macro	-0,64	0,70	0,04	-0,12	-0,07	0,04
Micro	0,93	-0,21	-0,01	0,03	0,13	-0,03
CC	0,98	0,02	-0,10	-0,11	0,09	0,07
PMP	0,93	0,11	-0,21	0,15	0,12	0,05
AD	0,90	-0,05	0,01	-0,32	0,06	0,08
AREIA	-0,91	0,15	0,34	-0,04	-0,12	0,02
SILTE	0,55	-0,45	0,29	0,19	0,51	-0,21
ARGILA	0,86	-0,03	-0,47	-0,02	-0,02	0,05
GF	0,72	-0,05	0,02	0,24	0,50	-0,20
DMP	-0,29	0,01	0,30	0,20	-0,04	-0,87
pH	-0,44	0,13	-0,39	0,02	-0,78	-0,09
CE	-0,09	0,90	-0,06	0,32	-0,14	0,12
COT	0,03	0,85	0,13	0,45	-0,08	0,14
P	-0,17	0,35	0,20	0,87	0,07	-0,08
K ⁺	0,51	-0,32	-0,17	0,72	0,02	-0,25
Na ⁺	-0,11	0,16	0,92	0,09	0,04	-0,29
Ca ²⁺	0,85	0,16	0,34	0,13	0,09	0,25
Mg ²⁺	0,79	0,10	0,35	-0,06	0,05	0,33
SB	0,87	0,13	0,34	0,15	0,08	0,23
V	0,01	-0,02	0,14	0,00	-0,98	-0,04
Autovalores	9,75	4,34	2,66	1,80	1,42	1,06
Variância total (%)	44,34	19,71	12,10	8,20	6,44	4,80
Variância acumulada (%)	44,34	64,05	76,15	84,35	90,79	95,59

Nota: DS – Densidade do solo; PT – Porosidade total; Macro – Macroporosidade; Micro – Microporosidade; CC – Capacidade de campo; PMP – Ponto de murcha permanente; AD – Água disponível; GF – Grau de flocculação; DMP – Diâmetro médio ponderado; pH – potencial hidrogeniônico; CE – Condutividade elétrica; COT – Carbono orgânico total; P – Fósforo; K⁺ – Potássio; Na⁺ – Sódio; Ca²⁺ – Cálcio; Mg²⁺ – Magnésio; SB – Soma de bases; V – saturação por bases.

As variáveis em destaque (F1) demonstram as inter-relações ocorrentes entre as frações inorgânicas, especialmente a argila, com os atributos químicos e estruturais do solo (Lopes et al., 2019). Sendo a textura uma propriedade intrínseca do solo, de difícil

alteração e que influencia diretamente na estrutura, fertilidade e retenção de água (Klein & Klein, 2015).

Os teores de sódio (Na^+) e potássio (K^+) foram baixos, contribuindo pouco para o valor da soma de bases, sendo mais expressivos Ca^{2+} e Mg^{2+} presentes no F1. Esses teores expressam a influência da litologia local, sendo a região localizada sob a formação geológica calcário Jandaíra, composta basicamente por rochas ricas em carbonatos, fornecendo quantidades elevadas de cálcio e magnésio (Angelim et al., 2006). O Fósforo (P) foi pouco expressivo nos ambientes estudados, sendo reconhecida a deficiência deste nutriente para a região semiárida (BRASIL, 1971; Brito et al., 2017).

Vale ressaltar que todos os solos estudados apresentaram pH próximos da neutralidade (6,0 a 7,3) e caráter eutrófico ($V \geq 50\%$), inclusive o Latossolo (Pefis 1 e 4), sendo uma particularidade da região encontrar essa classe com alta saturação por bases (Silva et al., 2018; Lopes et al., 2019). Ocorrentes em função do padrão climático da região semiárida, com precipitação pluvial baixa, que minimiza o processo de lixiviação das bases trocáveis, mantendo os solos férteis. Além da influência do material de origem com rochas básicas ou calcáricas (Santos et al., 2018).

Na Análise de Componentes Principais (ACP), observa-se o círculo de correlação entre os fatores 1 e 2 (Figura 4A). Quanto maior o comprimento do vetor, maior influência terá na análise (Souza et al., 2018), sendo assim, as variáveis mais próximas ao círculo apresentam maior representatividade, e são as mais discriminantes nos ambientes correlacionados (Figura 4 B).

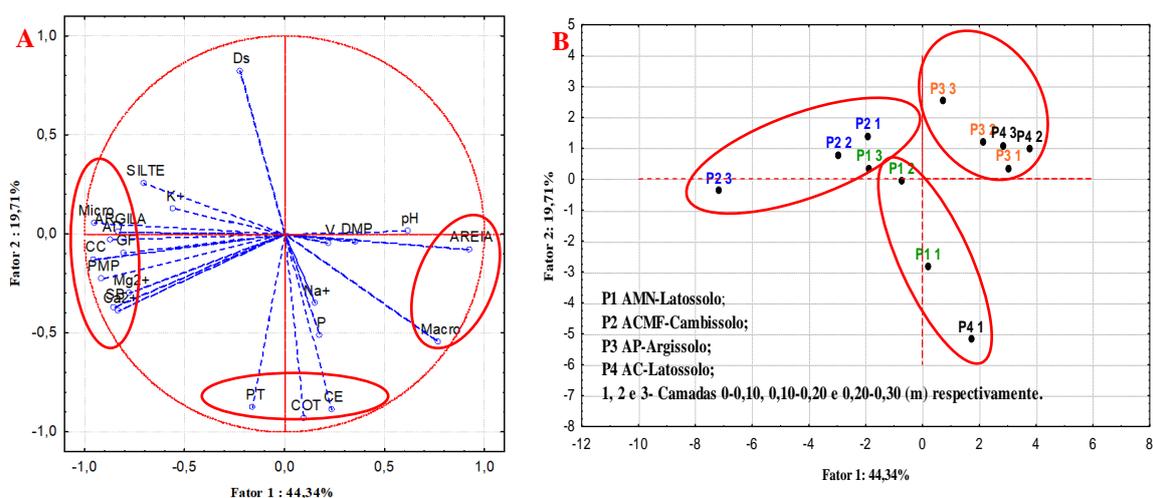


Figura 4 (A e B). Distribuição da nuvem de variáveis, no círculo de correlações (A) e distribuição da nuvem de pontos (B), representando a relação entre fatores 1 e 2 e os ambientes em estudo, comunidade rural Piracicaba, Upanema/RN

Os gráficos representados na ACP confirmam o resultado obtido com a análise de agrupamento, que a aproximação dos ambientes na nuvem de pontos coincide com os grupos formados no dendrograma vertical. O círculo de correlação demonstrou as variáveis discriminantes na diferenciação e/ou semelhança entre os mesmos.

As frações inorgânicas (areia, silte e argila), se apresentaram distantes dentro do círculo de correlação, demonstrando variabilidade quanto à textura e inferindo a influência da mesma na distinção dos ambientes estudados (Lopes et al., 2019). A argila e areia foram mais determinantes, estando ambas presentes no F1, com interações negativas (Tabela 3), sendo apresentadas em posições opostas no círculo de correlações (Figura 4 A).

As variáveis COT, CE e PT foram as mais sensíveis para distinção dos ambientes P1 (Área de Mata nativa- Latossolo) nas camadas 0,0-0,10 e 0,0-0,20 (m) e P4 (Área de Cajueiro – Latossolo) na camada 0,0-0,10 (m). Os atributos apresentação correlações positivas entre si, enquanto que, a densidade do solo no quadrante oposto indica correlação negativa. A porosidade total e a matéria orgânica são atributos influenciados pelo manejo do solo, sendo facilmente modificados por práticas adotadas (Assis et al., 2015; Loss et al., 2015). Por sua vez, o acúmulo da matéria orgânica proporciona alterações na estrutura do solo (Reis et al., 2016). O aumento do carbono orgânico total contribui para formação dos agregados secundários, com decréscimo da densidade do solo, por sua atuação positiva na estabilidade estrutural e também, por ser um material de baixa densidade, quando comparado com os minerais do solo (Brady e Weil; 2013).

Os atributos areia e macroporosidade foram os que mais se destacaram na distinção dos ambientes P3 (Área de pastagem-Argissolo) e nas camadas subsuperficiais do P4 (Área de Cajueiro-Latossolo). Os atributos físico-estruturais Argila, Micro, CC, PMP, AD, GF e químicos Ca^{2+} , Mg^{2+} e SB, foram os mais discriminantes nos ambientes P2 (Área de consórcio milho feijão- Cambissolo) e na camada 0,20-0,30 (m) do P1 (Área de Mata nativa- Latossolo) (Figura 2 (A e B)). O Ca^{2+} teve maior contribuição na soma de bases evidenciado por alta correlação na matriz (Tabela 2). Sendo uma característica da região, os solos apresentarem elevados teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis (Brito et al., 2017).

CONCLUSÕES

Os atributos avaliados apresentaram variabilidade quanto aos usos e classes de solos, sendo sensíveis na distinção dos ambientes. Contudo, as variáveis mais discriminantes foram: Microporosidade (Micro), capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), água disponível (AD), areia, argila, grau de floculação (GF), Ca^{2+} , Mg^{2+} , soma de bases (SB), densidade do solo (DS), porosidade total (PT), macroporosidade (Macro), condutividade elétrica (CE) e carbono orgânico total (COT).

O COT foi discriminante para agrupar as áreas de mata nativa e de cajueiro nas camadas superficiais. Os demais ambientes foram agrupados em função das características intrínsecas do solo, com diferenciação da textura influenciando na variabilidade dos atributos.

LITERATURA CITADA

- Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J.L.M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*. v. 22, p. 711–728, 2013.
- Angelim, L. A. A.; Medeiros, V. C.; Nesi, J. R. Programa Geologia do Brasil - PGB. Projeto Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Norte. Escala 1:500.000. Recife: CPRM/FAPERN, 2006.
- Assis, P. C.; Stone, L. F.; Medeiros, J. C.; Madari, B. E.; OLIVEIRA, J. D. M.; Wruck, F. J. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v. 19, p. 309-3016, 2015.
- Black, C. A.; Evans, D. D.; Ensminger, L. E.; White J. L., Clark F. E. *Methods of soil analysis*. American Society of Agronomy. 2.ed. Madison, Wisconsin, 1965. 770 p.
- Brady, N.C.; Weil, R. R. *Elementos da natureza e propriedades dos solos*. 3.ed. PortoAlegre: Bookman, 2013. 704p.
- BRASIL. Levantamento exploratório, reconhecimento de solos do estado do Rio Grande do Norte. Recife: Ministério da Agricultura, 1971. 531 p.
- Brito, R. F. D.; Neto, M. F.; Dias, N. D. S.; Holanda, J. S. D.; Lira, R. B. D.; Gomes, J. W. D. S. Morfologia e fertilidade do solo em áreas de produção do semiárido. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 40, p. 525-532, 2017.

- FAO. (Food and Agriculture Organization of the United Nations). The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk. Food and Agriculture Organization of the United, Rome and Earthscan, London, 2011. 308 p.
- Forsythe, W. Física de suelos: manual de laboratorio. San Jose: IICA, 1975. 212 p.
- Gee, G. W.; Or, D. Particle size analysis. In: Dane, J. H.; Topp, G. C. (Ed.). Methods of soil analysis: part 4: physical methods. Madison: Soil Science Society of America, 2002. p. 255-293.
- Gennaro, L. A., Souza, Z. M., Silva, L. F. S., Cooper, M., Campos, M. C. C. 2015. Estrutura do solo sob feijão irrigado e diferentes manejo do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 39, p. 608-614.
- Hair, Júnior, F.; Black, W. C.; Babin, B. J.; Anderson, R. E.; Tatham, R. L. Análise multivariada de dados. Bookman Editora, 2009. 688 p.
- Kemper, W.D.; Rosenau, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. Methods of soil analysis. 2ed. Madison, Am Soc Ag Soil Sci Soc Am, Part 1, p. 425-442. 1986. (Agronomy Monography, 9).
- Klein, C.; Klein, V. A. Estratégias para potencializar a retenção e disponibilidade de água no solo. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 19, p. 21-29, 2015.
- Lopes, T. C. S.; Portela, J. C.; Melo, S. B.; Oliveira, V. N. S.; Gondim, J. E. F.; Batista, R. O.; Cunha, M. E. Characterization of physical-chemical and structural soil attributes in the semiarid region of the Rio Grande do Norte State, Brazil. Journal of Agricultural Science, v. 11, p. 22-33, 2019.
- Loss, A.; Basso, A.; Oliveira, B. S.; de Paula Koucher, L.; de Oliveira, R. A.; Kurtz, C.; Comin, J. J. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.39, p. 1212-1224, 2015.
- Marinho, A.C.C.S.; Portela, J.C.; Silva E.F.; Dias, N.S.; Sousa Júnior 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, p. 32-41, 2016.
- Reis, D. A.; de Lima, C. L. R.; Bamberg, A. L. Qualidade física e frações da matéria orgânica de um Planossolo sob sistema plantio direto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 51, p. 1623-1632, 2016.

- Richards, L.A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: US Department of Agriculture, 1954. 160p.
- Santos, H. G. Dos; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C. Dos; Oliveira, V. A. de; Lumbrreras, J. F.; Coelho, M. R.; Cunha, T. J. F. Sistema de Classificação de Solos. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018, 590 p.
- 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.105-115, 2018.
- Souza, H. S.; Tsukamoto Filho, A. D. A.; Souza, É. C.; Arriel, D. A. A.; Medeiros, R. A. Análise multivariada de atributos químicos e físicos do solo em sistema agroflorestal com teca. *Scientia agraria*, v.19, 87-93. 2018.
- Statsoft. Statistica Version 7.0. StatSoft. Retrieved from <http://www.statsoft.com>, 2004.
- Teixeira, P. C.; Donagemma G. K.; Wenceslau, A. F.; Teixeira, G. Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017, 573 p.
- Yeomans, J. C. e Bremner, J. M. A rapid and precise method for routine determination of carbon in soil. *Communications in Soil Science Plant Analysis*, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.

CAPÍTULO 2
RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO EM AGROECOSSISTEMAS NO
SEMIÁRIDO POTIGUAR

RESUMO

A dinâmica da água no solo é influenciada por suas características intrínsecas e propriedades do solo e pelas ações antrópicas nos usos agropecuários. O objetivo desse estudo foi avaliar a retenção de água no solo e as inter-relações com os atributos que a influenciam em agroecossistemas no semiárido potiguar. A pesquisa foi conduzida na comunidade Piracicaba, Upanema, RN. Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas nos agroecossistemas (Área de mata nativa, área de consórcio milho e feijão, área de pastagem e área de cajueiro), nas camadas de 0,0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 (m) para realização das análises dos atributos como: granulometria, densidade do solo, porosidade total determinada, macroporosidade e microporosidade, capacidade de campo, ponto de murcha permanente, água disponível, pH em água, fósforo e carbono orgânico total. As curvas de retenção de água foram obtidas nas tensões 0, 2, 6, 10, 33, 50, 100, 200, 300, 500 e 1500 kPa. A retenção de água no solo variou entre os agroecossistemas estudados, sendo que as áreas de mata nativa e área de consórcio milho e feijão apresentaram conteúdo de água retida no solo superior as demais áreas e os atributos do solo influenciaram na retenção de água, sendo a areia, argila, microporosidade, capacidade de campo, ponto de murcha permanente, água disponível, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e carbono orgânico total as variáveis mais sensíveis nessa diferenciação.

Palavras-chave: análise multivariada, estruturação, usos agropecuários.

ABSTRACT

The dynamics of water in the soil is influenced by its intrinsic characteristics and properties of the soil and by the anthropic actions in the agricultural uses. The aim of this study was to evaluate soil water retention and the interrelationships with the attributes that influence it in agroecosystems in the semi-arid region of Rio Grande do Sul. The research was conducted in the Piracicaba community, Upanema, RN, Brazil. Deformed and undisturbed samples were collected in the agroecosystems (Native forest area, corn and bean consortium area, pasture area and cashew area), in the 0.0-0.10 layers; 0.10-0.20 and 0.20-0.30 (m) to perform the analysis of attributes such as: granulometry, soil density, determined total porosity, macroporosity and microporosity, field capacity, permanent wilting point, water available, pH in water, phosphorus and total organic carbon. The water retention curves were obtained at voltages 0, 2, 6, 10, 33, 50, 100, 200, 300, 500 and 1500 kPa. The retention of water in the soil varied among the studied agroecosystems, with the areas of native forest and intercropping area corn and beans having water content retained in the soil superior to the other areas and the attributes of the soil influenced water retention, being the sand, clay, microporosity, field capacity, permanent wilt point, available water, soil density, total porosity, macroporosity and total organic carbon the most sensitive variables in this differentiation.

Keywords: multivariate analysis, structuring, agricultural uses.

INTRODUÇÃO

O conhecimento dos atributos físico-hídricos do solo é importante, tendo em vista que a água participa de diversas funções que tem implicações diretas no crescimento vegetal, sendo a sua determinação de importância científica e econômica (Silva et al., 2018), auxiliando para o manejo da irrigação (Bruning et al., 2019), bem como, na manutenção e conservação dos atributos do solo (Souza et al., 2019).

O conteúdo de água do solo vem sendo descrito pela curva de retenção de água (CRAS), considerada indicador na avaliação da qualidade física e estrutural do solo, por meio de gráficos que representam a relação entre o conteúdo de água e a energia com a qual ela está retida no solo, sendo esse conhecimento essencial no estudo das relações solo-água-planta. (Martinkoski et al., 2017).

A curva de retenção de água no solo é influenciada por diversos fatores, como estrutura, textura, mineralogia, teor de matéria orgânica, manejo e uso do solo (Klein & Klein, 2015). Pesquisas apontam que existe uma maior retenção de água nos solos que apresentam maior proporção de microporos, em função da quantidade e tipo de argila, que conferem maior força de coesão, como também, a matéria orgânica do solo em função da alta área superficial específica (Portela et al., 2014).

O clima predominante na região, segundo Köpper é classificado como quente e seco, caracterizado pela irregularidade e má distribuição de chuvas, temperaturas elevadas que favorecem as altas taxas de evaporação e balanço hídrico negativo durante boa parte do ano (Silva et al., 2018). Os solos apresentam em sua maioria, boa fertilidade, porém rasos, com limitações físicas quanto à permeabilidade, os quais requerem maior cuidado quanto à adoção das práticas adotadas.

Nesse contexto, a retenção de água no solo nas regiões semiáridas se faz necessário, uma vez que a água é um recurso escasso, sendo essencial o uso adequado da mesma. Ao caracterizar a curva de retenção de água no solo e suas inter-relações com os atributos físicos e estruturais do solo, é possível construir conhecimentos concisos no sentido de subsidiar a adoção de práticas adequadas às particularidades locais (Lopes et al., 2019).

Diante do exposto, o objetivo desse estudo foi avaliar a retenção de água no solo e as inter-relações com seus atributos, em agroecossistemas no semiárido potiguar.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi conduzido na comunidade rural de Piracicaba, área de agricultura familiar, com extensão equivalente a 600 ha, situada no município de Upanema, Rio Grande do Norte (Figura 1), cujas coordenadas geográficas são 05° 38' 31" S e 37° 15' 28" W, altitude de 93 m. Apresenta classificação climática segundo Köppen, tipo BSh, semiárido quente, precipitação pluvial média anual de 715 mm, e temperatura média anual de 26 °C. A precipitação anual apresenta uma distribuição unimodal com 79% concentrada nos meses de fevereiro a maio (Alvares et al., 2013).

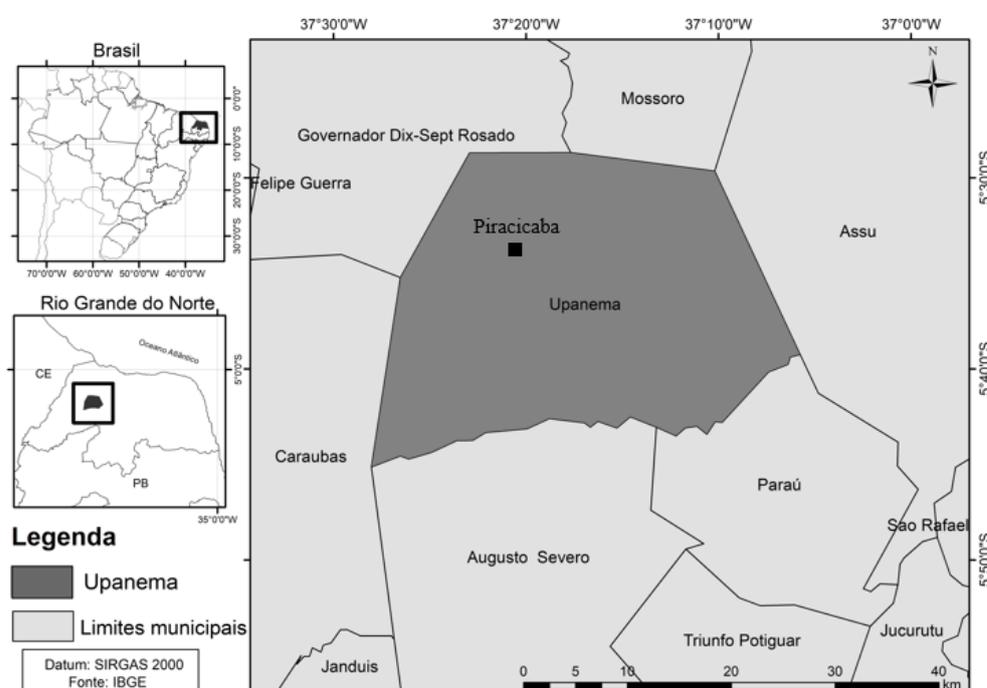


Figura 1. Localização da área de estudo, Comunidade rural Piracicaba, Upanema/RN

As áreas foram definidas considerando a posição topográfica, abrangendo todas as áreas na topossequência entre o topo da chapada e a depressão periférica, bem como os diferentes usos agrícolas do solo. Dessa forma, os agroecossistemas estudados foram: Área de mata nativa/ Latossolo (AMN); Área de Consórcio Milho e Feijão/ Cambissolo (ACMF); Área de Pastagem/ Argissolo (AP) e Área de Cajueiro/ Latossolo (AC) (Tabela 1).

Tabela 1. Histórico de uso e localização dos agroecossistemas estudados, Piracicaba, Upanema/RN

Agroecossistemas	Coordenadas Geográficas	Histórico de uso
Área de Mata nativa/ LATOSSOLO	05° 36' 01" S 37° 22' 40" W	Área de mata preservada, sem histórico de desmatamento ou cultivo na mesma. Entre as principais espécies encontradas estão Sabiá (<i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth.), Angico (<i>Anadenanthera colubrina</i> Vell.), Jurema preta (<i>Mimosa hostilis</i> Benth.), Arueira, Pau D'arco (<i>Tabebuia serratifolia</i> Vahl), Joazeiro (<i>Ziziphu joazeiro</i> Mart.) e outras espécies características da Caatinga. Localizada no topo da Chapada.
Área de Consórcio Milho e feijão/ CAMBISSOLO	05° 36' 31" S 37° 22' 38" W	Até 2015 a área era remanescente de mata nativa com espécies da Caatinga. A partir de 2016 a terra foi preparada com trator grade niveladora e foi iniciado cultivo. Primeiro ano com melancia (<i>Citrullus lanatus</i> L.), 2017- milho (<i>Zea mays</i> L.), e 2018-2019 milho e feijão de corda (<i>Vigna unguiculata</i> L.). Área cultivada apenas no período chuvoso, em sistema sequeiro. No período seco fica em pousio.
Área de pastagem/ ARGISSOLO	05° 36' 31" S 37° 22' 38" W	A área era utilizada para criação de gado até meados de 2014. A partir de 2016, até atualmente (2020) é usada para pastagem de ovinos, tendo como vegetação predominante o capim Panasco (<i>Aristida adscensionis</i> L.).
Área de Cajueiro/ LATOSSOLO	05° 36' 50" S 37° 22' 38" W	Área localizada na cota mais baixa da paisagem, próxima ao açude. Inicialmente, até o ano 1996 já foi cultivado culturas anuais. A partir de então foram plantados os primeiros cajueiros (<i>Anacardium occidentale</i> L.) e 2003 foi replantado novas mudas formando o pomar, que atualmente produz de 1 a 1,5 toneladas do fruto por ano.

Amostragem e análises dos solos

Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas nos agroecossistemas supracitados, nas camadas de 0,0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 (m) e conduzida ao Laboratório de Análises de Solo, Água e Planta do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal Rural do Semiárido (LASAP-CCA-UFERSA) para realização dos beneficiamentos e análises.

As amostras deformadas foram passadas em peneiras de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA), e em triplicata no laboratório, foram realizadas as análises de: granulometria utilizando o método da pipeta, pH em água; extração de P disponível com Mehlich-1 e determinação dos teores por colorimetria, seguindo a metodologia de Teixeira et al. (2017). O carbono orgânico total (COT) foi determinado pela titulação do dicromato de potássio 0,167 mol L⁻¹ remanescente com sulfato ferroso amoniacal após o processo de oxidação por via úmida conforme metodologia proposta por Yeomans e Bremner (1988).

As amostras indeformadas foram coletadas utilizando trado tipo Uhland e anéis com dimensões de 0,05 m de altura e 0,05 m de diâmetro, sendo considerados as três camadas em cada agroecossistema, dez amostras por camadas, totalizando 120 amostras. Os anéis foram revestidos com papel laminado e, posteriormente, levados ao laboratório (LASAP-CCA-UFERSA) com o cuidado de manter a estrutura, para a realização das análises.

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, calculando-se a relação entre massa de solo seco e volume total do anel. A porosidade total do solo (Pt) foi determinada medindo-se a umidade de saturação das amostras, conforme a equação:

$$Pt = ((Msat - Ms) / VT) \times 100$$

Em que:

MSat = massa do solo na condição de saturação;

Ms = massa do solo seco e,

VT= volume da amostra.

A microporosidade foi determinada, pelo conteúdo de água retida no solo para o valor de h igual a 60 cm de água e a macroporosidade do solo determinada pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade do solo (Teixeira et al., 2017).

Para elaboração da curva de retenção foram utilizadas as tensões 0, 2, 6, 10, 33, 50,

100, 200, 300, 500 e 1500 kPa. Sendo a mesa de tensão utilizada para aplicação das baixas tensões 0, 2, 6 e 10 kPa, câmaras de média tensão para os pontos 33, 50, 100, 200 e 300 kPa e de alta tensão para os pontos 500 e 1500 kPa.

As amostras foram mantidas, tanto nas mesas de tensão como nas câmaras de pressão, pelo tempo necessário para atingir o equilíbrio, ou seja, o momento em que cessada a drenagem de água. O ajuste das curvas de retenção da água no solo foi feito com base na equação de Van Genuchten (1980), utilizando o software Soil Water Retention Curve (SWRC) versão 3.0 beta, desenvolvido por Dourado Neto et al. (2001). A equação considera o potencial mátrico (ϕ_m), como variável independente e a umidade volumétrica (θ), como variável dependente:

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

Em que:

θ_r = umidade volumétrica residual ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

θ_s = umidade volumétrica saturada ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

$|\phi_m|$ = potencial mátrico (kPa);

α , m , n = parâmetros empíricos da equação.

Por ser um parâmetro teórico que pode variar entre 10 e 33 kPa, o valor da capacidade de campo (CC) foi definido na tensão de 10 kPa para a condição de solos arenosos 33 kPa para solos argilosos. O ponto de murcha permanente (PMP), foi obtido com a tensão de 1500 kPa. A água disponível (AD) foi determinada pela diferença entre CC e PMP.

Análise estatística

Os principais resultados obtidos foram submetidos à análise estatística por meio da técnica de análise multivariada como ferramenta principal, para detecção dos atributos mais sensíveis na distinção dos agroecossistemas. Foi realizada a análise de correlação de Pearson ($p \leq 0,05$), para padronização dos dados pela matriz de correlação e efetuadas as análises de agrupamento hierárquico (AAH), componentes principais (ACP) e fatorial (AF), utilizando o programa Software Statística 7.0 (Stansoft, 2004).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observando os atributos do solo, quanto à granulometria, percebe-se a predominância da fração Areia em todas as camadas estudadas (Tabela 2), com valores maiores nos agroecossistemas 3 (Área de Pastagem / ARGISSOLO) e 4 (Área de Cajueiro/ LATOSSOLO). Durante o processo de formação da classe dos Argissolos, ocorre a translocação da fração argila para subsuperfície (Santos et al., 2018), não sendo atingido o horizonte diagnóstico nas camadas aqui estudadas, explicando alto teor de areia. A fração Silte foi mais expressiva no agroecossistema 2- Área de Consórcio milho e feijão / CAMBISSOLO sendo um indicativo de solos jovens, pouco intemperizados (Brady & Weil, 2013).

Tabela 2. Atributos físicos, químicos e estruturais do solo em agroecossistemas, comunidade rural Piracicaba, Upanema/RN

Camadas	Areia	Silte	Arg.	Ds	U	θ	PT.	Macro	Micro	CC	PMP	AD	V	pH	P	COT
m	g.kg	g.kg	g.kg	g.cm ³	g.g	cm ³ .cm ³	%	%	%	cm cm ³	cm cm ³	cm cm ³	%		mg.dm ³	g.kg
Agroecossistema 1- Área de Mata Nativa/ LATOSSOLO																
0,00-0,10	853	61	86	1,40	0,12	0,15	46,27	30,96	15,31	0,15	0,07	0,08	88	6,76	2,58	19,97
0,10-0,20	767	63	170	1,57	0,12	0,17	39,99	24,61	15,38	0,15	0,07	0,08	90	6,94	2,61	14,80
0,20-0,30	738	54	208	1,53	0,14	0,23	41,23	18,1	23,12	0,18	0,10	0,08	87	6,91	1,71	12,07
Agroecossistema 2- Área de Consórcio milho e feijão / CAMBISSOLO																
0,00-0,10	817	104	79	1,68	0,13	0,22	35,16	13,0	22,17	0,14	0,07	0,07	88	6,54	5,85	11,49
0,10-0,20	769	97	135	1,58	0,13	0,19	37,60	18,5	19,12	0,15	0,08	0,07	83	6,00	2,98	7,76
0,20-0,30	697	103	200	1,50	0,22	0,32	44,49	12,5	31,94	0,27	0,11	0,16	87	6,03	0,21	6,47
Agroecossistema 3- Área de Pastagem / ARGISSOLO																
0,00-0,10	893	74	33	1,43	0,09	0,13	40,34	27,27	13,07	0,08	0,04	0,04	85	6,75	3,29	8,48
0,10-0,20	881	78	41	1,49	0,08	0,13	39,21	26,55	12,66	0,09	0,03	0,06	81	6,40	1,83	6,18
0,20-0,30	876	70	54	1,68	0,09	0,16	36,75	20,73	16,02	0,12	0,04	0,07	84	6,31	0,16	3,45
Agroecossistema 4 – Área de Cajueiro/ LATOSSOLO																
0,00-0,10	906	54	40	1,33	0,11	0,13	47,14	33,65	13,49	0,11	0,06	0,05	87	6,45	6,62	33,33
0,10-0,20	914	48	38	1,50	0,07	0,11	36,71	25,57	11,15	0,08	0,03	0,05	100	7,29	1,44	7,11
0,20-0,30	908	47	45	1,60	0,07	0,11	39,70	28,22	11,48	0,08	0,03	0,05	88	6,96	2,67	7,04

Nota: Arg.: argila; Ds: densidade do solo; U: umidade a base de massa; θ : umidade a base de volume; PT: porosidade total determinada; Micro: microporosidade; Macro.: macroporosidade; CC: capacidade de campo; PMP: ponto de murcha permanente; AD: água disponível; V: Saturação por bases; pH: potencial hidrogeniônico; P: fósforo; COT: Carbono Orgânico Total.

A densidade do solo (Ds) variou de 1,33 a 1,68 g.cm⁻³, destacando que, em geral, os solos minerais apresentam DS variando de 1,1 a 1,6 g.cm⁻³ (Brady & Weil, 2013), sendo essa influenciada pelos sistemas de cultivos e manejo do solo, pela mineralogia, textura e teor de matéria orgânica (Souza et al., 2019). A camada 0,0-0,10 (m) da Área de

cajueiro (AC) apresentou menor valor pra D_s , podendo ser correlacionado com o maior teor de Carbono orgânico total (COT) encontrado na área (Tabela 2). Portela et al. (2014) observou a redução da densidade do solo com o aumento do teor de matéria orgânica no mesmo. A matéria orgânica atua na redução da densidade do solo por sua função como agente cimentante, que associada a fração argila é responsável pela formação dos agregados do solo, que define a estrutura do mesmo, aumentando os espaços entre agregados e aumenta a porosidade, reduzindo a densidade do solo (Brady & Weil, 2013; Portela et al., 2014).

Os valores de Porosidade total determinada (PT) e macroporosidade (macro) tendem a serem inversos aos valores da D_s , ou seja, o aumento da densidade do solo diminui a macroporosidade que conseqüentemente compromete a porosidade total (Souza et al., 2019).

De modo geral, a umidade gravimétrica e volumétrica (U e θ), capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) foram maiores em subsuperfície, exceto para o agroecossistema 4 (AC) que foi maior na camada superficial. Apesar do alto teor de areia dessa área, os maiores teores de umidade são explicados pela matéria orgânica mantida na superfície, representado aqui pelo maior teor de COT. A matéria orgânica atua aumentando o conteúdo de água retida, principalmente por sua alta área superficial específica, que o aumento dos microporos entre essas partículas e sua área de contato beneficia a absorção e retenção de umidade (Souza et al., 2019). O conteúdo de água disponível (AD) foi constante entre as camadas para a AMN e AC, e aumentado em subsuperfície para as ACMF e AP.

Os valores de pH variaram em valores próximos a neutralidade (6,00 a 7,29) e a saturação por bases (V) variou de 81 a 100%, sendo todos os solos considerados eutrófico ($V \geq 50\%$). Ocorre uma relação entre o pH e a saturação por bases, sendo essa favorecida com o aumento do pH e reduzida com a maior acidez do solo (Anghinoni et al., 2019). Os altos valores apresentados para a saturação por bases, com todos os solos considerados eutróficos, inclusive os Latossolos, evidencia uma particularidade local, com influência exercida pelo material de origem aliado ao clima da região Semiárida sobre a formação dos solos. A baixa precipitação pluvial e alta evaporação ocasiona uma baixa lixiviação das bases e reduzido intemperismo químico, sendo os solos, mesmo quando apresentam pouca argila considerados com boa fertilidade.

Os teores de Fósforo (P) variaram de 0,16 a 6,62 mg.dm^{-3} e os teores de carbono orgânico total (COT) variaram de 3,45 a 33,33 g.kg^{-1} nas camadas e agroecossistemas

estudados. Na camada superficial os teores encontrados foram de 8,48 g.kg⁻¹ (AP), 11,49 g.kg⁻¹ (ACMF), 19,97 g.kg⁻¹ (AMN) e 33,33 g.kg⁻¹ (AC). Esses valores de P e COT são considerados baixos conforme Ribeiro et al. (1999). Mota et al. (2017a) destacam que, as condições do Semiárido não favorecem o acúmulo de matéria orgânica no solo, em virtude da vegetação típica ser predominantemente estabelecida por espécies de pequeno porte, com pouca massa foliar, para o incremento da cobertura vegetal do solo. Sendo esse fato aliado às condições climáticas, com altas temperaturas que favorecem a decomposição acelerada dos resíduos orgânicos.

Os maiores teores encontrados na área de mata área de cajueiro, remetem a importância da umidade para a conservação e manutenção da matéria orgânica, uma vez que essa área é localizada na cota mais baixa da paisagem e próxima ao açude, onde em períodos de chuvas essa área é umedecida por ascensão capilar, que aumenta a umidade local e colabora para manutenção da matéria orgânica, que resulta em maior aporte do carbono orgânico total.

Conforme os parâmetros da curva de retenção de água no solo (Tabela 3), pode se observar que os valores para θ_s variaram entre 0,3646 e 0,3830 cm³.cm³, com ponto máximo de saturação de 0,3830 cm³.cm³ na camada 0,10-0,20 m da Área de cajueiro (AC).

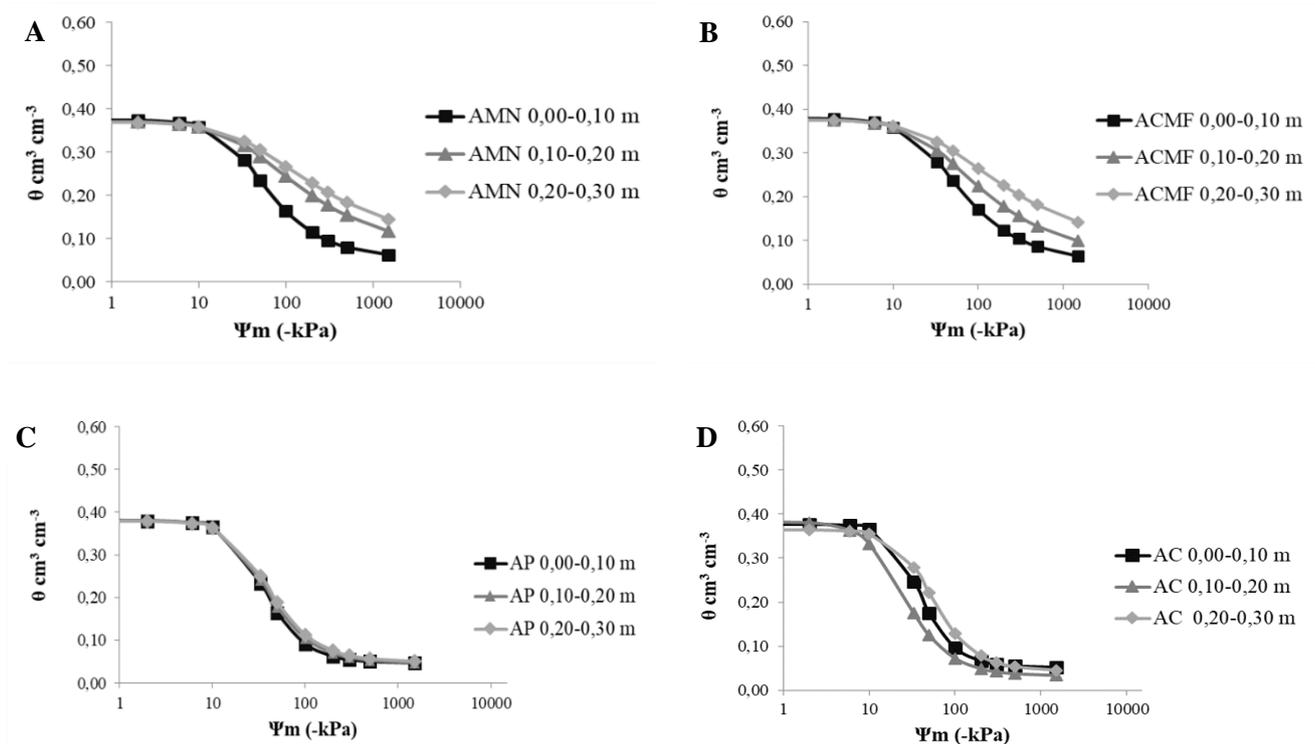
Tabela 3. Parâmetros das curvas de retenção de água do solo em agroecossistemas, comunidade rural Piracicaba, Upanema/RN

Camadas	θ_r	θ_s	α	n	m
m	cm³ cm³		Adimensionais		
Área de Mata Nativa (AMN - Latossolo)					
0,00-0,10	0,0528	0,3752	0,0316	1,8816	0,4685
0,10-0,20	0,0586	0,3719	0,0281	1,4460	0,3084
0,20-0,30	0,0629	0,3708	0,0265	1,3678	0,2609
Área de consórcio milho e feijão (ACMF - Cambissolo)					
0,00-0,10	0,0470	0,3799	0,0359	1,7364	0,4241
0,10-0,20	0,0517	0,3771	0,0325	1,4956	0,3314
0,20-0,30	0,0598	0,3764	0,0289	1,3553	0,2622
Área de pastagem (AP - Argissolo)					
0,00-0,10	0,0467	0,3800	0,0365	2,5270	0,6043
0,10-0,20	0,0465	0,3814	0,0370	2,3206	0,5691
0,20-0,30	0,0487	0,3793	0,0352	2,2764	0,5611
Área de Cajueiro (AC - Latossolo)					
0,00-0,10	0,0515	0,3771	0,0333	2,6296	0,6197
0,10-0,20	0,0322	0,3830	0,0529	2,0269	0,6362
0,20-0,30	0,0435	0,3646	0,0239	2,1398	0,6597

Nota: θ_r : Umidade residual; θ_s : Umidade de saturação; α , n, m: Parâmetros adimensionais.

O conteúdo de água residual (θ_r), oscilou entre 0,0322 e 0,0629 $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$, com valores inferiores também na camada 0,10-0,20 m da Área de cajueiro e máximo na camada 0,20-0,30 m da área de mata nativa (AMN). Os parâmetros empíricos ajustados no modelo de ajuste de Van Genuchten (1980) (θ_s , θ_r , α , m e n), são amplamente utilizados por se ajustarem com melhor qualidade à curva experimental para uma ampla variedade de solos (Mota et al., 2017b).

Na Figura 2, encontram-se representados os gráficos correspondentes às curvas de retenção de água dos agroecossistemas e camadas estudadas. Analisando as curvas características de água no solo, observa-se a similaridade entre os ambientes estudados quanto à umidade de saturação, sendo encontradas no intervalo de umidade (0,36 e 0,38 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), apresentando maiores variações conforme as tensões aplicadas. Esses resultados podem ser associados ao fato da retenção de água no solo nessas condições ser mais atribuída ao arranjo das partículas do solo, do que com as forças de adsorção (Bruning et al., 2019).



Nota: A: Área de Mata Nativa (AMN – LATOSSOLO); B: Área de consórcio milho e feijão (ACMF – CAMBISSOLO); C: Área de Pastagem (AP – ARGISSOLO); e D: Área de Cajueiro (AC – LATOSSOLO).

Figura 2. Curvas características de água no solo para os agroecossistemas em estudo, comunidade rural Piracicaba, Upanema/RN

A área de mata nativa (Figura 2 A) e área de consórcio milho e feijão (Figura 2 B) apresentaram valores superiores de retenção da água no solo, com retenção de água superior em subsuperfície, sendo essa diferença entre as camadas mais expressiva a partir da aplicação da tensão de -33 kPa. A retenção nessas áreas é relacionada ao incremento da fração argila (Tabela 2), que reflete em maior microporosidade e conseqüentemente maior capacidade de retenção de água no solo (Klein & Klein, 2015).

Vale ressaltar que quanto aos teores de água disponível (AD) na área de mata nativa não ocorreu variação entre as camadas ($0,08 \text{ cm}^{-3} \text{ cm}^{-3}$), enquanto que na ACMF esse teor foi aumentado em subsuperfície (Tabela 2). Ankenbauer & Loheide (2016) destacam que, a retenção de água não necessariamente resulta em maior disponibilidade, uma vez que a água disponível está relacionada aos limites de capacidade de campo (CC) e do ponto de murcha permanente (PMP), sendo estes modificados por características intrínsecas do solo e por ações antrópicas.

A capacidade de campo (CC) é facilmente alterada por usos e manejos do solo, que modificam os atributos estruturais, como o aporte de matéria orgânica, a agregação, porosidade e distribuição dos poros por tamanho, modificando a capacidade de retenção de água do solo. O ponto de murcha permanente representa o conteúdo de água do solo retido em maiores tensões, ou seja, fortemente adsorvidos as partículas do solo, sendo essa influenciada por características inerentes ao solo, como a textura. A fração argila é a principal responsável pela retenção de água nos solos, devido a elevada área superficial específica de suas partículas com predominância de microporos e superfície de adsorção (Brady & Weil, 2013; Souza et al., 2019).

As áreas de pastagem (AP) e área de cajueiro (AC) apresentaram menores conteúdos de retenção de água e com poucas variações entre as camadas (Figura 2 C e D). Essa tendência pode ser atribuída à composição granulométrica, predominantemente arenosa, sendo que a retenção de água em solos arenosos, em geral, é limitada, pelas condições de macroporosidade predominante nesses solos, que favorecem a drenagem, comprometendo a retenção (Silva et al., 2018).

A área de cajueiro (AC) apresentou na curva de retenção uma tendência diferenciada entre as camadas, quanto às demais áreas, sendo observado maior conteúdo de água retido na camada superficial (0,00-0,10 m) comparada com a camada 0-10-0,20 m. Essa peculiaridade é atribuída pelo maior teor de carbono orgânico total (COT) no solo, tendo em vista que, a matéria orgânica favorece o aumento da umidade e capacidade do solo de reter água (Mota et al, 2017a).

Analisando a matriz de correlação entre os atributos químicos, físico-hídricos e estruturais dos solos nos agroecossistemas (Tabela 4), observa-se, que a areia apresentou correlação positiva com a macroporosidade, e alta e negativa com a fração argila e os atributos ligados a retenção de água (U, θ , CC, PMP e AD). O silte apresentou correlação positiva com a umidade gravimétrica (U), umidade volumétrica (θ) e microporosidade e a fração argila se correlacionou positivamente com a umidade gravimétrica (U), umidade volumétrica (θ), microporosidade, capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e água disponível (AD) (Silva et al., 2018; Lopes et al., 2019).

Tabela 4. Matriz de correlação entre os atributos químicos e físico-hídricos do solo, em agroecossistemas, comunidade rural Piracicaba, Upanema-RN

Atributos	AREIA	SILTE	ARGILA	DS	U	θ	PT	Macro	Micro	CC	PMP	AD	V	pH	P	COT
AREIA	1,00															
SILTE	-0,54	1,00														
ARGILA	-0,97	0,30	1,00													
DS	-0,22	0,33	0,15	1,00												
U	-0,87	0,61	0,80	-0,01	1,00											
θ	-0,90	0,66	0,82	0,23	0,96	1,00										
PT	-0,10	-0,22	0,18	-0,81	0,36	0,13	1,00									
Macro	0,73	-0,73	-0,60	-0,65	-0,67	-0,82	0,45	1,00								
Micro	-0,87	0,67	0,78	0,21	0,96	1,00	0,13	-0,83	1,00							
CC	-0,91	0,52	0,87	0,05	0,98	0,95	0,35	-0,64	0,93	1,00						
PMP	-0,93	0,46	0,91	0,00	0,90	0,87	0,34	-0,57	0,85	0,92	1,00					
AD	-0,78	0,51	0,73	0,08	0,92	0,90	0,32	-0,62	0,89	0,94	0,74	1,00				
V	-0,69	0,57	0,60	-0,01	0,85	0,79	0,37	-0,50	0,79	0,83	0,80	0,74	1,00			
pH	0,40	-0,77	-0,21	-0,11	-0,52	-0,49	-0,09	0,42	-0,52	-0,46	-0,43	-0,43	0,70	1,00		
P	0,25	0,00	-0,29	-0,27	-0,14	-0,17	0,17	0,24	-0,16	-0,27	-0,04	-0,43	0,08	0,02	1,00	
COT	0,14	-0,31	-0,06	-0,65	0,02	-0,14	0,70	0,53	-0,15	-0,01	0,15	-0,15	0,27	0,09	0,69	1,00

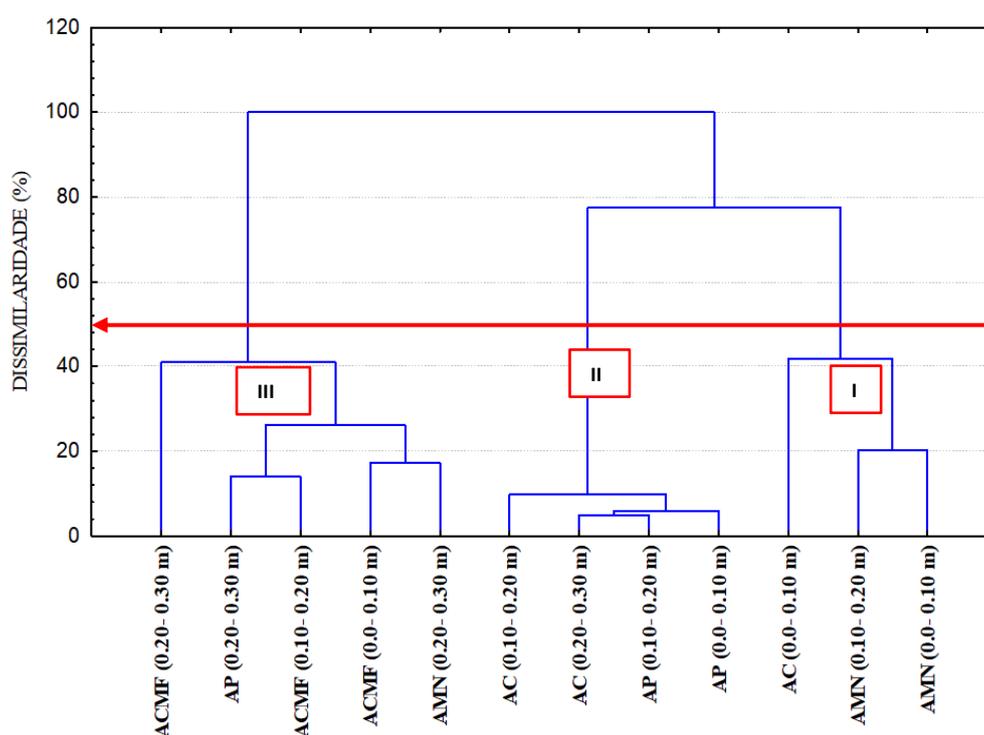
Nota: DS – Densidade do solo; U- Umidade gravimétrica; θ - Umidade volumétrica; PT – Porosidade total determinada; Macro – Macroporosidade; Micro – Microporosidade; CC – Capacidade de campo; PMP – Ponto de murcha permanente; AD – Água disponível; V – Saturação por bases; pH – potencial hidrogeniônico; P – Fósforo; COT – Carbono orgânico total.

A densidade do solo (DS) possui correlação negativa com a porosidade total (PT), macroporosidade e carbono orgânico total (COT), evidenciando a influência desses atributos para diminuir a densidade dos solos. O COT apresentou correlações positivas com a PT e o P. O carbono orgânico total interfere diretamente na formação e estabilidade de agregação do solo, que por sua vez exerce influência sobre a densidade e a porosidade (Silva et al., 2015).

O pH apresentou correlação negativa com a fração silte e positiva com a saturação por bases (V). Solos siltosos têm como característica serem solos jovens, pouco intemperizados e conseqüentemente tendem a apresentar maior fertilidade e pH mais

elevado, sem problemas de acidez (Brady & Weil, 2013).

No dendograma vertical, feito a partir da análise de agrupamentos hierárquicos (AAH), a leitura é feita da direita para esquerda, no qual as linhas verticais indicam as distâncias euclidianas entre os grupos formados e, a posição horizontal, ou o eixo x, representa os grupos formados ordem decrescente de semelhança. Os grupos são formados considerando simultaneamente, todos os atributos e agroecossistemas avaliados. Para este estudo, foi considerado um nível de dissimilaridade de 50%, sendo formados três grupos (Figura 3).



Nota: AMN: Área de mata nativa; ACMF: Área de consórcio milho e feijão; AP: Área de pastagem; AC: Área de cajueiro

Figura 3. Dendrograma vertical da matriz de distâncias, pelo método de agrupamento por ligação simples, nos agroecossistemas em estudo, comunidade rural Piracicaba, Upanema-RN

O grupo I foi formado pela área de mata nativa (AMN) (Camadas 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m) e área de cajueiro (AC) na camada 0,0-0,10 m, refletindo maiores teores de carbono orgânico total (COT) nessas camadas, que as diferenciaram das demais áreas estudadas (Figura 3 e Tabela 2). O aporte de carbono orgânico na área de cajueiro ocorre em razão da deposição de resíduos orgânicos, e pela reduzida taxa de

decomposição da matéria orgânica, pois a AC está submetida à maiores umidades no período chuvoso anual, por sua localização na cota mais baixa da paisagem e proximidade ao reservatório de água, o que favorece a conservação e acúmulo da matéria orgânica.

O grupo II foi composto pelas áreas de pastagem (AP) nas camadas 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m e área de cajueiro (AC) nas camadas 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, sendo esse agrupamento explicado principalmente pelos maiores teores da fração areia que refletiram em menor retenção de água no solo (Figura 3 e Tabela 2).

O grupo III foi formado pela área de consórcio milho e feijão (ACMF) em todas as camadas, as AMN e AP na camada 0,20-0,30 m. O agrupamento entre a ACMF e a camada em subsuperfície da AMN é resultando de solos mais argilosos, com maior incremento de argila nessas camadas, consequentemente maior microporosidade e maiores teores observados para as umidades gravimétrica e volumétrica (U e θ), capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível. A camada da AP se assemelha quanto à ACMF por apresentarem as maiores densidades do solo.

A análise fatorial busca reduzir o número de atributos ou variáveis em um pequeno conjunto de fatores que represente um alto grau de explicação da variabilidade original dos dados, facilitando a interpretação dos resultados. Considerando cargas fatoriais maiores ou iguais a 0,65 e autovalores maiores que 1, foram formados três fatores (Tabela 5).

O fator 1 agrupou os atributos com maior representatividade na diferenciação dos ambientes estudados, representando uma variação de 57,84% total dos dados, sendo os atributos: Areia, argila, umidade gravimétrica (U), umidade volumétrica (θ), microporosidade, capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e água disponível (AD). Os atributos agrupados estão relacionados com a estrutura do solo e consequentemente, com a capacidade de armazenar água, tendo a granulometria (areia e argila) influenciado os demais atributos do solo. A textura influencia a agregação do solo, e consequentemente a estrutura, e a movimentação de água e ar nele, sendo na fração argila predominante a microporosidade e funções de armazenagem de água e na fração areia maior macroporosidade relacionando melhor infiltração e drenagem da água (Souza et al., 2019).

Tabela 5. Eixos fatoriais extraídos para atributos dos solos, rotacionados pelo método Varimax, com cargas fatoriais $\geq 0,65$ consideradas significantes para fins de interpretação

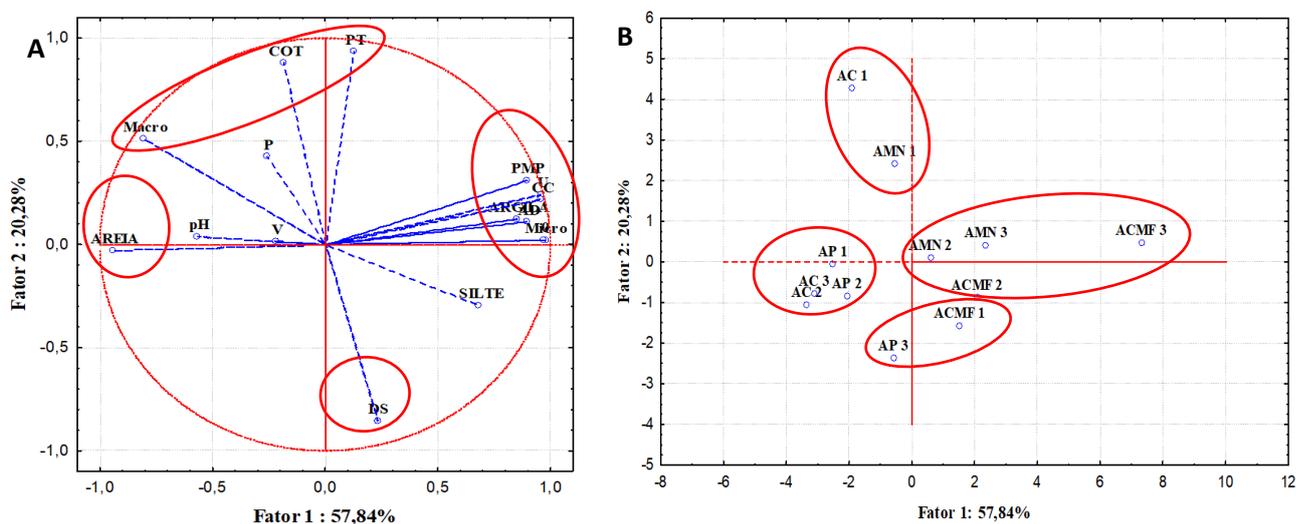
	Fator 1	Fator 2	Fator 3
Atributos	Granulometria, estruturais e hídricos	Estruturais	Granulometria e químico
AREIA	-0,94	0,13	-0,10
SILTE	0,49	-0,41	0,66
ARGILA	0,91	-0,01	-0,09
DS	0,09	-0,90	0,03
U	0,96	0,09	0,22
θ	0,96	-0,15	0,20
PT	0,26	0,95	0,06
Macro	-0,62	0,67	-0,17
Micro	0,94	-0,15	0,23
CC	0,97	0,09	0,15
PMP	0,94	0,11	0,11
AD	0,88	0,07	0,16
V	0,02	-0,07	-0,39
pH	-0,34	0,05	-0,89
P	-0,17	0,15	0,07
COT	0,01	0,71	-0,11
Autovalores	9,25	3,24	1,53
Variância Total (%)	57,84	20,28	9,56
Variância Acumulada (%)	57,84	78,12	87,68

Nota: DS – Densidade do solo; U- Umidade gravimétrica; θ - Umidade volumétrica; PT – Porosidade total determinada; Macro – Macroporosidade; Micro – Microporosidade; CC – Capacidade de campo; PMP – Ponto de murcha permanente; AD – Água disponível; V – Saturação por bases; pH – potencial hidrogeniônico; P – Fósforo; COT – Carbono orgânico total.

O fator 2 representando uma variância total de 20,28% e agrupou os atributos estruturais: densidade do solo (DS), porosidade total (PT), macroporosidade (macro) e carbono orgânico total (COT) e o fator 3 foi formado pelo silte e pH que explicou 9,56% da variância total. Vale ressaltar que, o somatório das variâncias acumuladas explica 87,68% da variabilidade dos dados, entretanto somando os fatores 1 e 2 representam 78,12% dessa variância, sendo estes os fatores de maior contribuição para a distinção dos ambientes em estudo, encontrando-se representados graficamente na análise de componentes principais (ACP).

Na ACP observando-se o círculo de correlação (Figura 4A) e a distribuição da nuvem de pontos (Figura 4B), a sobreposição das imagens permite inferir quais

atributos foram mais representativos na diferenciação das camadas e agroecossistemas estudados. Os atributos do solo, dispostos no gráfico mais próximos do círculo de correlação são os mais representativos e que apresentaram maiores cargas de variação na análise fatorial. Dessa forma percebem-se os atributos Areia, Macro, COT, PT, Argila, U, θ , Micro, CC, PMP, AD e DS estão distribuídos bem próximos ao círculo de correlação, demonstrando que estes possuem maior contribuição, em relação aos atributos que estão mais afastados e centralizados no gráfico. A posição mais distante do círculo para os atributos pH, fósforo (P) e saturação por bases (V) indicam que essas variáveis, não foram as mais sensíveis na diferenciação das áreas estudadas, demonstrando que, para esses atributos os valores apresentaram pouca variação em relação aos agroecossistemas.



Nota (A): Nota: DS – Densidade do solo; U- Umidade gravimétrica; θ - Umidade volumétrica; PT – Porosidade total determinada; Macro – Macroporosidade; Micro – Microporosidade; CC – Capacidade de campo; PMP – Ponto de murcha permanente; AD – Água disponível; V – Saturação por bases; pH – potencial hidrogeniônico; P – Fósforo; COT – Carbono orgânico total. Nota (B): AMN: Área de mata nativa; ACMF: Área de consórcio milho e feijão; AP: Área de pastagem; AC: Área de cajueiro; 1, 2 e 3 representam as camadas 0,0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 (m) respectivamente.

Figura 4. Distribuição da nuvem de variáveis, no círculo de correlações (A) e distribuição da nuvem de pontos (B), representando a relação entre fatores 1 e 2 e os ambientes em estudo, comunidade rural Piracicaba, Upanema-RN

A areia foi o atributo mais sensível na diferenciação dos agroecossistemas da AC nas camadas subsuperficiais e AP nas camadas 0,0-0,10; 0,10-0,20 (m). Solos arenosos possuem maior abundância de macroporos, que se relacionam à infiltração e drenagem de água em função da gravidade, sendo comprometida a retenção de água no solo (Silva et al., 2018; Souza et al., 2019).

Os atributos Argila, umidade gravimétrica (U), umidade volumétrica (θ), microporosidade, ponto de murcha permanente (PMP), capacidade de campo (CC) e água disponível (AD) foram mais representativos para os agroecossistemas de área de mata nativa (AMN) e área de consórcio milho e feijão ACMF nas camadas 0,10-0,20 e 0,20-0,30 (m). O incremento da fração argila influencia diretamente no aumento da microporosidade e por consequência aumenta a capacidade de retenção de água na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente (Klein & Klein, 2015).

Na camada 0,00-0,10 m da área de consórcio milho e feijão (ACMF), o teor de silte foi representativo, entretanto a maior proximidade do círculo de correlação da densidade do solo (DS) representa que esse atributo foi mais sensível na distinção desse ambiente assim como para a área de pastagem (AP) na camada 0,20-0,30 (m). A maior densidade do solo para a camada superficial da ACMF é atribuída ao manejo do solo, tendo em vista que essa área apresenta incrementos das frações argila e silte, a densidade esperada seria menor que solos arenosos (Souza et al., 2019). Entretanto, a área é preparada com aração e gradagem, o que favorece a aeração do solo inicialmente, mas ao desagregar as partículas, compromete a estrutura do solo, ocasionando posterior compactação e aumento da densidade do solo.

As áreas de mata nativa (AMN) e área de cajueiro (AC) na camada 0,0-0,10 m, foram representadas pelos maiores teores de COT, porosidade total (PT) e macroporosidade. O maior aporte de carbono orgânico total (COT) na AC se deve ao cultivo de cajueiro que permite uma boa produção de biomassa vegetal, e principalmente à localização desse agroecossistema na cota mais baixa da paisagem, próximo ao açude, que influencia a umidade local permitindo uma manutenção maior da cobertura vegetal.

A posição no círculo contrária a densidade do solo (DS) indica correlação negativa, sendo os menores valores para as áreas de mata nativa (AMN) e área de cajueiro (AC). Souza et al. (2019), enfatizam a influência da textura na densidade do solo, afirmam que solos mais arenosos apresentam valores maiores de densidade, do que com textura mais argilosa. Solos arenosos tendem em geral a apresentarem pouca agregação, em função da mineralogia e tamanho de suas partículas com predominância de minerais primários, que conferem baixa coesão (Brady & Weil, 2013). Entretanto vale observar nesse estudo a importância da matéria orgânica do solo, principalmente em solos arenosos, sendo essa agente de agregação, melhorando a estrutura desses solos e diminuindo a sua densidade.

CONCLUSÕES

A retenção de água no solo variou entre os agroecossistemas estudados, sendo que as áreas de mata nativa (AMN) e área de consórcio milho e feijão (ACMF) apresentaram conteúdo de água retida no solo superior as demais áreas.

Os atributos do solo influenciaram na retenção de água e separação dos agroecossistemas, sendo a areia, argila, umidade gravimétrica (U), umidade volumétrica (θ), microporosidade, capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), água disponível (AD), densidade do solo (DS), porosidade total (PT), macroporosidade e carbono orgânico total (COT) as variáveis mais sensíveis na distinção dos ambientes.

O maior aporte de carbono orgânico total (COT), favorece a estruturação do solo e maior retenção de água, especialmente em solos de textura mais arenosa.

LITERATURA CITADA

- Anghinoni, I.; Martins, A. P.; Carmona, F. C. Inter-relação entre manejo e atributos químicos do solo. In: Bertol, I.; de Maria, I. C.; Souza, L. S. Manejo e conservação do solo e da água. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. Cap. 9, p. 251-277.
- Ankenbauer, K.J.; Loheide, S.P. The effects of soil organic matter on soil water retention and plant water use in a meadow of the Sierra Nevada, CA. *Hydrological Processes*. v.31, p. 891-901, 2016.
- Brady, N. C.; Weil, R. R. *Elementos da natureza e propriedades dos solos*. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 704 p., 2013.
- Bruning, J.; Robaina, A. D.; Peiter, M. X.; Boscaini, R.; da Conceição, C. G.; de Almeida Gollo, E. Estimativa da curva de retenção de água no solo por função de pedotransferência. *Revista Cultura Agronômica*, v. 28, p. 97-110, 2019.
- Dourado Neto, D.; Nielsen, D. R.; Hopmans, J. W.; Reichardt, K.; Bacchi, O. O. S.; Lopes, P. P. Programa para confecção da curva de retenção de água no solo, modelo Van Genuchten. *Soil Water Retention Curve, SWRC (version 3,00 beta)*, 2001.
- Klein, C.; Klein, V. A. Estratégias para potencializar a retenção e disponibilidade de água no solo. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 19, p. 21-29, 2015.
- Lopes, T. C. S.; Portela, J. C.; Melo, S. B.; Oliveira, V. N. S.; Gondim, J. E. F.; Batista,

- R. O.; Cunha, M. E. Characterization of physical-chemical and structural soil attributes in the semiarid region of the Rio Grande do Norte State, Brazil. *Journal of Agricultural Science*, v. 11, p. 22-33, 2019.
- Martinkoski, L.; Vogel, G. F.; Jadoski, S. O.; Watzlawick, L. F. Qualidade física do solo sob manejo silvipastoril e floresta secundária. *Floresta e Ambiente*, v. 24, p. 1-9, 2017.
- Mota, J. C. A.; Freire, A. G.; Alves, C. V. O.; Alencar, T. L. Impactos de uso e manejo do solo na variabilidade e qualidade de atributos físicos de Cambissolos. *Revista Agro@mbiente On-line*, v. 11, p. 277-289, 2017a.
- Mota, J. C. A.; Libardi, P. L.; Brito, A. S., Moraes, S. O.; Nascimento, Í. V.; Alencar, T. L. Variabilidade espacial dos parâmetros da equação de van Genuchten em um Latossolo Vermelho-Amarelo. *Revista Agro@mbiente On-line*, v. 11, p. 92-100, 2017b.
- Portela, J. C.; Cintra, F. L. D.; Carvalho, H. W. L. De; Anjos, J. L.; Melo, P. O. Atributos físico-hídricos e químicos de solos sob cultivo de milho na região agreste de Sergipe. *Agropecuária Científica no Semi-Árido*, v. 10, p. 51-58, 2014.
- Ribeiro, A. C.; Guimarães, P.; Venegaz, V. 5ª Aproximação-Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Editora UFV, Viçosa, Minas Gerais. 1999.
- Santos, H. G. Dos; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C. Dos; Oliveira, V. A. de; Lumbreras, J. F.; Coelho, M. R.; Cunha, T. J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018, 590 p.
- 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.105-115, 2018.
- Silva, V. M. D.; Teixeira, A. F. R.; Souza, J. L. D.; Guimarães, G. P.; Benassi, A. C.; Mendonça, E. D. S. Estoques de carbono e nitrogênio e densidade do solo em sistemas de adubação orgânica de café conilon. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, p. 1436-1444, 2015.
- Souza, L. S.; Mafra, A. L.; Souza, L. D.; da Silva, I. F.; Klein, V. A. Inter-relação entre manejo e atributos físicos do solo. In: Bertol, I.; de Maria, I. C.; Souza, L. S. Manejo e conservação do solo e da água. Viçosa, MG:Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. Cap. 8, p. 193-249.
- Statsoft. Statistica Version 7.0. StatSoft. 2004. Retrieved from <http://www.statsoft.com>.

- Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. Manual de métodos de análise de solo. – 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573 p.
- Yeomans, J. C.; Bremner, J. M. A rapid and precise method for routine determination of carbon in soil. *Communications in Soil Science Plant Analysis*, v. 19, p. 1467-1476, 1988.
- Van Genuchten, M. T. A closed-form equation for predicting the conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of American Journal*, v. 44, p. 892-898, 1980.

CAPÍTULO 3

MACROARTRÓPODES E SUAS INTER-RELAÇÕES COM ATRIBUTOS DO SOLO E A SAZONALIDADE CLIMÁTICA EM AGROECOSSISTEMAS NO SEMIÁRIDO POTIGUAR

RESUMO

Os macroartrópodes edáficos são organismos relevantes na ciclagem de nutrientes, degradação da matéria orgânica e estruturação do solo, sendo estes influenciados pelo ambiente. O objetivo dessa pesquisa foi avaliar os macroartrópodes edáficos em agroecossistemas e suas inter-relações com os atributos do solo e a sazonalidade climática do semiárido potiguar. A pesquisa foi realizada em quatro agroecossistemas: Área de mata nativa, área de consórcio milho e feijão, área de pastagem e área de cajueiro. Foram realizadas coletas de solos para análises dos atributos físicos, químicos e estruturais. Os macroartrópodes foram coletados nos períodos seco e chuvoso com armadilhas de queda do tipo provid, contabilizados e separados por ordens. Foram realizadas avaliações da biomassa, abundância e diversidade dos macroartrópodes, e as inter-relações com os atributos do solo obtidas por meio de análises multivariadas. Foram encontrados 2322 indivíduos no período seco e 1189 no período chuvoso, distribuídos em 16 ordens taxonômicas. Ocorreu interação entre os macroartrópodes e épocas de coleta, sendo a abundância maior no período seco e a diversidade maior no período chuvoso. Os agroecossistemas e os atributos físicos, químicos e estruturais do solo influenciaram a ocorrência e diversidade das comunidades dos macroartrópodes edáficos, sendo os atributos mais influentes a macroporosidade, microporosidade, densidade do solo, areia, silte, argila, Ca^{2+} , K^{+} e capacidade de troca catiônica.

Palavras-chave: análise multivariada, macrofauna edáfica, manejo do solo.

ABSTRACT

Edaphic macroarthropods are relevant organisms in nutrient cycling, degradation of organic matter and soil structure, which are influenced by the environment. The objective of this research was to evaluate edaphic macroarthropods in agroecosystems and their interrelationships with soil attributes and climatic seasonality in the semi-arid region of Rio Grande do Norte, Brazil. The research was carried out in four agroecosystems: Native forest area, corn and bean consortium area, pasture area and cashew area. Soil collections were carried out to analyze the physical, chemical and structural attributes. Macroarthropods were collected in the dry and rainy periods with pitfall-type fall traps, counted and separated by orders. Evaluations of the biomass, abundance and diversity of macroarthropods were carried out, as well as the interrelationships with soil attributes obtained through multivariate analyzes. 2322 individuals were found in the dry period and 1189 in the rainy period, distributed in 16 taxonomic orders. There was an interaction between macroarthropods and collection periods, with greater abundance in the dry period and greater diversity in the rainy period. The agroecosystems and the physical, chemical and structural attributes of the soil influenced the occurrence and diversity of the communities of the edaphic macroarthropods, the most influential attributes being macroporosity, microporosity, soil density, sand, silt, clay, Ca^{2+} , K^{+} and capacity of cation exchange.

Keywords: multivariate analysis, edaphic macrofauna, soil management.

INTRODUÇÃO

O solo, considerado como substrato para o desenvolvimento de plantas e produção de alimentos, também deve ser reconhecido como um ser vivo e abrigo de uma diversidade de animais e microrganismos (Brown et al., 2015). Além das partículas minerais e orgânicas, existem no solo uma variedade de organismos vivos interagindo e definindo a qualidade do mesmo (Silva et al., 2016). Os organismos invertebrados, que vivem durante um ciclo ou toda existência no solo, são os componentes da fauna edáfica, sendo estes classificados quanto ao tamanho corporal em: microfauna (até 0,2 mm), mesofauna (0,2 – 2,0 mm) e macrofauna (> 2,0 mm) (Barreta et al., 2011). A macrofauna, inclui os organismos visíveis a olho nu, e é composta por uma diversidade de organismos, pertencentes a mais de 20 grupos taxinômicos, entre eles os artrópodes (Brown et al., 2015).

O filo Arthropoda é o filo que reúne maior diversidade de espécies do reino animal, onde os artrópodes mais representativos dessa classificação são as formigas, besouros, aranhas, centopeias, piolhos-de-cobra, baratas, tesourinhas, grilos, escorpiões, percevejos, cigarras e outros (Barreta et al., 2011; Brown et al., 2015). Esses macroinvertebrados muitas vezes são denominados engenheiros do ecossistema, ou engenheiros do solo. As formigas, besouros e cupins se destacam nesse contexto, pois atuam na formação e estruturação do solo, além de suas funções como detritívoros, onde fragmentam e distribuem resíduos vegetais, facilitando a ação decompositora dos microrganismos (Lavelle et al., 2016). Assim, promovem alterações físico-químicas e estruturais no solo, como formação de agregados, areação do solo e facilita a ciclagem de nutrientes disponibilizando-os para as plantas, além de estar entre os principais dispersores secundários de semente e controle biológico de parasitas (Lavelle et al., 2016; Costa & Drescher, 2018; Souza et al., 2018).

Os macroartrópodes edáficos se mostram diversificados e abundantes, dependentes das interações entre os agentes ambientais: solos, clima e vegetação (Casaril et al., 2019). Na escala da paisagem, o mosaico de diferentes tipos de vegetação ou agroecossistemas tem efeito sobre o padrão de diversidade e composição da comunidade da fauna edáfica e dos atributos do solo, que se mostram sensíveis às modificações exercidas pelos ambientes (Rosa et al., 2015; Lima et al., 2019).

O clima exerce influência nas características físicas, químicas e estruturais do solo, bem como na atividade dos macroinvertebrados (Brown et al., 2015). A região semiárida

apresenta um padrão climático característico, com dois períodos definidos, chuvoso e seco (Almeida et al., 2015). Nesse contexto, surge a necessidade de conhecer a variação das populações de macroartrópodes do solo relacionando à sazonalidade climática da região.

O interesse atual no conhecimento das comunidades edáficas advém da necessidade do uso sustentável do ambiente, uma vez que, esses organismos são relevantes na ciclagem de nutrientes, degradação da matéria orgânica e estruturação do solo. Sua diversidade é influenciada pelos atributos do solo, e estes por sua vez, influenciados pelo manejo do solo (Brown et al., 2015; Silva et al., 2016). Assim, nessa inter-relação busca-se subsídios para direcionar um planejamento adequado das atividades agrícolas e conservação da capacidade produtiva do solo. Considerando que, a avaliação em termos de quantificação e diversidade da macrofauna pode contribuir para avaliar a qualidade do ambiente e auxiliar no planejamento de manutenção e/ou recuperação dos agroecossistemas (Silva et al., 2016).

Diante do exposto, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar os macroartrópodes edáficos em agroecossistemas, buscando compreender a dominância e distribuição dos grupos de organismos e suas relações com os atributos físicos, químicos e estruturais do solo, considerando a sazonalidade climática do semiárido potiguar.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A pesquisa foi conduzida no município de Upanema, estado Rio Grande do Norte, na comunidade rural de Piracicaba, cujas coordenadas geográficas são 05° 38' 31" S e 37° 15' 28" W, altitude de 93 m. Apresenta classificação climática segundo Köppen, tipo BSh, semiárido quente, precipitação pluvial média anual de 715 mm, e temperatura média anual de 26, 2 °C (Alvares et al., 2013). A precipitação pluvial anual apresenta distribuição unimodal, com maior concentração das chuvas nos primeiros meses do ano de janeiro a abril e estiagem nos meses de julho a dezembro, conforme dados da EMPARN (2019) (Figura 1).

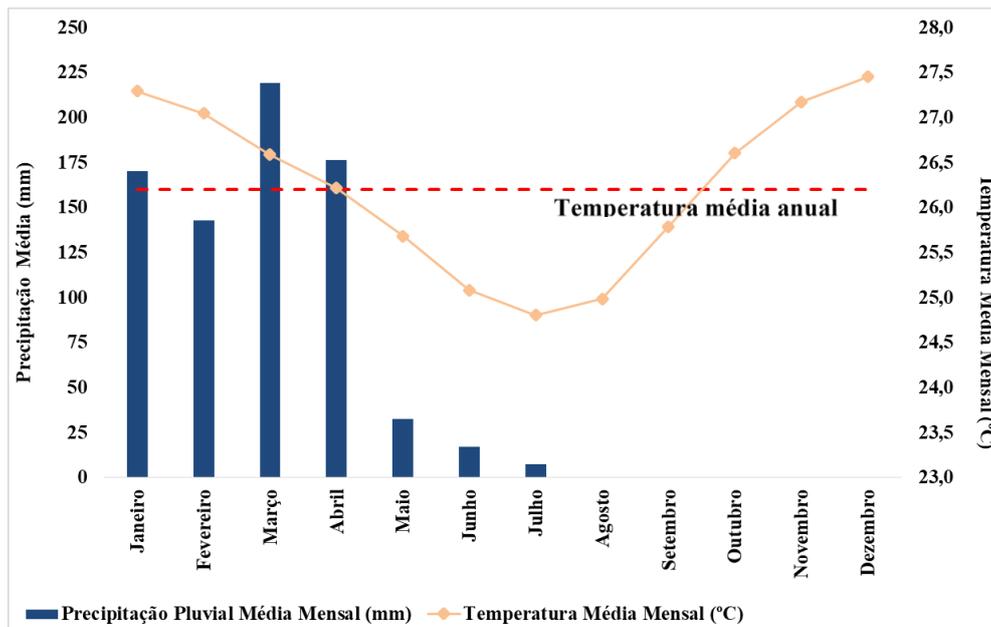


Figura 1. Precipitação pluvial (mm) e temperatura (°C), no município de Upanema/RN, ano 2019. Fonte: <http://www.emparn.rn.gov.br>

Os agroecossistemas estudados foram: Área de mata nativa (AMN), área de consórcio milho e feijão (ACMF), área de pastagem (AP) e área de cajueiro (AC) (Tabela 1).

Tabela 1. Histórico de uso e localização dos agroecossistemas estudados, comunidade rural Piracicaba, Upanema/RN

Agroecossistemas	Coordenadas Geográficas	Histórico de uso
Área de Mata nativa	05° 36' 01" S 37° 22' 40" W	Área de mata preservada, sem histórico de desmatamento ou cultivo na mesma. Com presença de espécies características do bioma Caatinga e localizada no topo da Chapada.
Área de Consórcio Milho e feijão	05° 36' 31" S 37° 22' 38" W	Área de cultivo de plantas de ciclo curto em sistema sequeiro, sendo cultivado apenas no período chuvoso. Anualmente o solo é preparado com trator e grade niveladora e atualmente é produzido em consórcio milho (<i>Zea Mays</i>) e feijão de corda (<i>Vigna unguiculata</i> L.).
Área de pastagem	05° 36' 31" S 37° 22' 38" W	Área utilizada para pastagem de ovinos, tendo como vegetação predominante o capim Panasco (<i>Aristida adscensionis</i> L.).
Área de Cajueiro	05° 36' 50" S 37° 22' 38" W	A área já foi utilizada para cultivo de culturas anuais, mas a partir de 1996 foi iniciado o cultivo do cajueiro (<i>Anacardium occidentale</i> L.), sendo esses replantados em 2003 aumentando o pomar, que atualmente produz de 1 a 1,5 toneladas do fruto por ano. Área localizada na cota mais baixa da paisagem, próxima ao açude.

Coleta e análise dos Macroartrópodes do solo

Foram instaladas 20 armadilhas do tipo Provid, em cada um dos quatro (4) agroecossistemas, em transecto, espaçadas a uma distância de 5 m, totalizando 80 armadilhas. O período de instalação ocorreu nos meses de abril e novembro de 2019, respectivamente período chuvoso e seco na região (Figura 2).

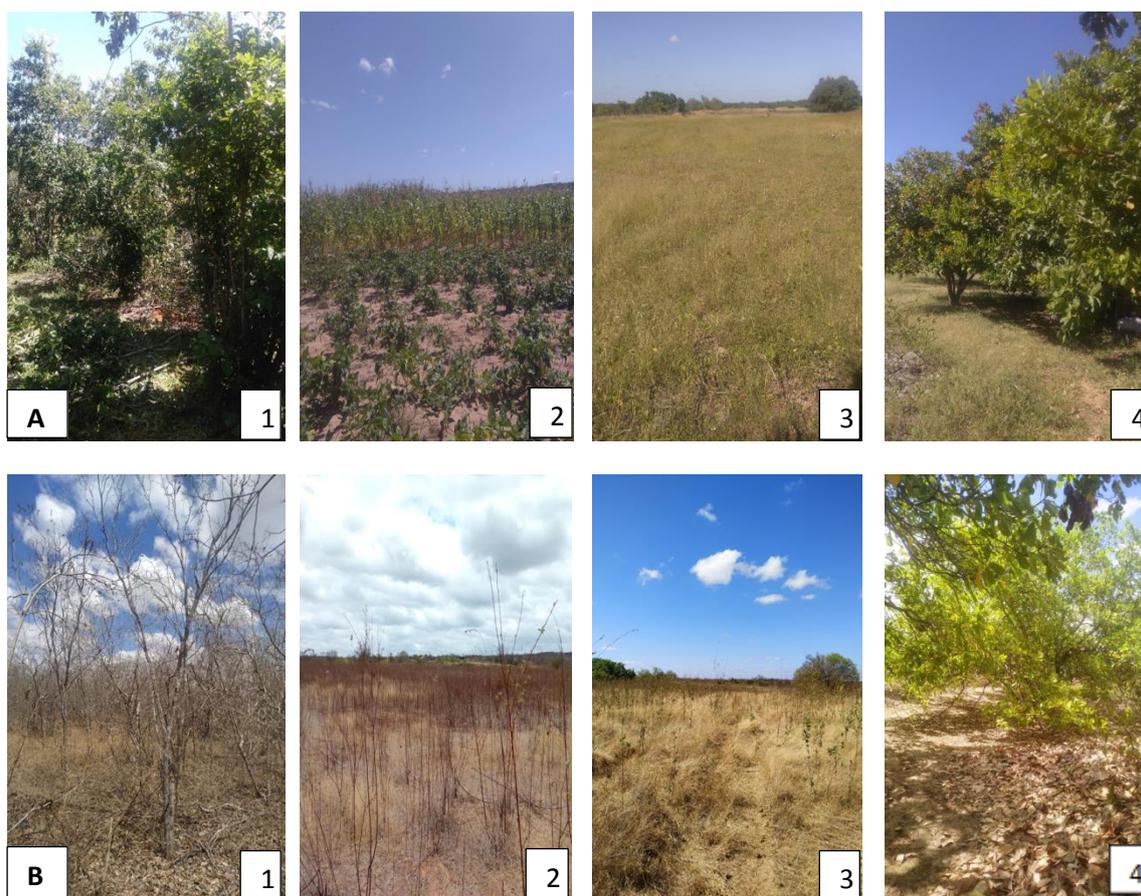


Figura 2. Agroecossistemas no período chuvoso (A) e período seco (B). 1: Área de mata nativa (AMN), 2: Área de consórcio milho e feijão (ACMF), 3: Área de pastagem (AP) e 4: Área de cajueiro (AC), comunidade rural Piracicaba, Upanema/RN

As armadilhas tipo Provid utilizadas foram constituídas por garrafas plásticas com capacidade de 2 L, contendo quatro orifícios com dimensões de 2x2 cm na altura média de 15 cm de sua base (Figura 3), contendo 200 ml de uma solução de detergente a d10% e 50% de álcool. Após instalação, as armadilhas permaneceram no local por um período de três dias (72 horas) (Almeida et al., 2015). Sendo posteriormente coletadas e levadas ao Laboratório de Análises de Solo, Água e Planta do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal Rural do Semiárido (LASAP-CCA-UFERSA), onde o material foi

lavado de modo a ser realizado uma triagem, permanecendo em peneira de 0,25 mm. Os macroártropodes coletados foram classificados com uso de lupa binocular, quantificados manualmente o número de indivíduos (abundância) e reunidos no grupo taxonômico Ordem. Após classificação ficaram expostos ao ar até total secagem para obtenção da biomassa (g).



Figura 3. Armadilhas tipo Provid, instaladas nos agroecossistemas estudados, na comunidade rural Piracicaba, Upanema/RN

Posteriormente, foram calculados a frequência relativa e os índices ecológicos de diversidade de Shannon H' ($H' = - \sum p_i \cdot \log p_i$, onde $p_i = n_i/N$; n_i = densidade de cada grupo; $N = \sum$ da densidade de todos os grupos) e o índice de equitabilidade de Pielou (J') em que $J' = H'/\log S$, onde H' = índice de Shannon; S = Número de espécies ou grupos. Os resultados para o índice de Shannon variam de 0,0 a 5,0 e quanto mais próximo de zero indicam uma menor diversidade e, correspondentemente maior a dominância de um ou mais grupos na comunidade. Enquanto que, o índice de Pielou (J') tem valor variando de 0,0 a 1,0, onde 1,0 representa a máxima diversidade, ou seja, todas as espécies são igualmente abundantes.

Amostragem e análises dos solos

Foram coletadas amostras de solo com estrutura deformada próximos aos pontos de

instalação das armadilhas de coleta dos macroartrópodes, sendo 20 subamostras na camada de 0,00-0,10 m, retiradas com trado holandês, que foram homogeneizadas para formar uma amostra composta em cada agroecossistema estudado. Foram analisados os atributos químicos conforme Richards (1954): Carbono Orgânico total (COT), pH em água, cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), fósforo (P) e potássio (K^+). A granulometria (Areia, Silte e argila) foi determinada pelo método da pipeta (Gee & Or, 2002).

Amostras de solo com estrutura indeformada foram coletadas nos agroecossistemas supracitados, na camada 0,00-0,10 m. Sendo, uma porção coletada em torrões, utilizada para análise da estabilidade de agregados e determinação do diâmetro médio ponderado (DMP), pelo método de peneiramento via úmido de Kemper & Rosenau (1986). Amostras retiradas com anéis volumétricos, sendo 10 amostras por camadas, nos quatro agroecossistemas, totalizando 40 amostras, para determinação das análises de densidade do solo (DS), macroporosidade (Macro) e microporosidade (Micro). As análises foram realizadas no complexo de Laboratório de Análises de Solo, Água e Planta (LASAP-CCA-UFERSA), conforme metodologia descrita por Teixeira et al. (2017), (Tabela 2).

Tabela 2. Atributos físicos, químicos e estruturais do solo nos agroecossistemas estudados, comunidade rural Piracicaba, Upanema/RN

Áreas	Areia	Silte	Argila	DS	DMP	Macro	Micro	pH	P	COT	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	CTC
	g. kg	g. kg	g. kg	g.cm ³	mm	cm ³ .cm ³	cm ³ .cm ³		mg.dm ³	g. kg	cmol.dm ³	cmol.dm ³	cmol.dm ³	
AMN	853	61	86	1,40	0,87	30,96	15,31	6,76	2,58	19,97	4,37	1,07	0,24	6,57
ACMF	817	104	79	1,68	1,35	12,98	22,17	6,54	5,85	11,49	5,37	0,74	0,67	7,83
AP	893	74	33	1,43	1,71	27,27	13,07	6,75	3,29	8,48	2,18	0,17	0,27	3,26
AC	906	54	40	1,33	1,33	33,65	13,49	6,45	6,62	33,33	6,70	0,66	0,20	8,91

Nota: AMN: Área de mata nativa, ACMF: Área de consórcio milho e feijão, AP: Área de pastagem e AC: Área de cajueiro. DS: Densidade do solo, DMP: Diâmetro médio ponderado, Macro: Macroporosidade, Micro: Microporosidade, pH: Potencial hidrogeniônico, P: Fósforo, COT: Carbono orgânico total, Ca^{2+} : Cálcio, Mg^{2+} : Magnésio, K^+ : Potássio e CTC: Capacidade de troca catiônica.

Análise estatística multivariada

As ordens mais frequentes dos macroartrópodes foram relacionadas com os atributos físicos, químicos e estruturais do solo, e a sazonalidade climática, por meio da análise multivariada. Especificamente, com uso das análises de agrupamento hierárquico (AAH) e componentes principais (ACP), para avaliar os atributos mais sensíveis na distinção dos agroecossistemas, bem como suas inter-relações com a abundância dos macroartrópodes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram encontradas 16 ordens de macroartrópodes nos agroecossistemas estudados, sendo elas: Araneae (aranhas), Hymenoptera (formigas e abelhas), Coleóptera (besouros), Orthoptera (grilos e gafanhotos), Díptera (moscas), Blatodeae (baratas), Hemíptera (percevejos), Scorpiones (escorpião), Scutigermorpha (centopéias), Lepidoptera (borboletas), Larva de lepdoptera, Odonata (libélulas), Chilopoda (lacrarias), Phasmatodea (bicho-pau), Thysanoptera (tripes) e Ixodida (ácaros). A diversidade de ordens foi maior no período chuvoso (15) que no período seco (11). Entretanto, o número de indivíduos contabilizados foi maior no período seco com 2322 e 1189 no período chuvoso (Tabela 3).

Tabela 3. Número de indivíduos por ordens de macroartrópodes, nos períodos seco e chuvoso, em agroecossistemas, comunidade rural Piracicaba, Upanema/RN

Ordens	Mata Nativa		Área de Consórcio		Área de Pastagem		Área de Cajueiro	
	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso
Número de indivíduos								
ARA	12	9	2	2	6	10	8	9
HYM	672	173	233	141	715	210	372	266
COL	-	11	13	117	30	41	210	50
ORT	2	11	4	62	3	23	2	13
DÍP	1	5	6	5	9	4	11	3
BLA	-	-	-	-	-	-	-	2
HEM	-	-	-	1	-	2	1	-
SCO	1	-	-	-	-	-	-	-
SCU	3	1	-	-	-	2	2	3
L. LEP	-	-	1	-	1	1	-	-
LEP	1	1	-	-	-	-	-	2
ODO	-	1	-	-	-	-	1	-
CHI	-	-	-	1	-	2	-	1
PHA	-	-	-	1	-	-	-	-
THY	-	-	-	1	-	1	-	-
IXO	-	-	-	-	-	1	-	-
TOTAL	692	212	259	331	764	297	607	349

Nota:ARA: Araneae, HYM: Hymenoptera, COL: Coleoptera, ORT: Orthoptera, DIP: Diptera, BLA: Blatodeae, HEM: Hemiptera, SCO: Scorpiones, SCU: Scutigermorpha, L. LEP: Larva de Lepidoptera, LEP: Lepidoptera,ODO: Odonata, CHI: Chilopoda, PHA: Phasmatodea, THY: Thysanoptera, IXO: Ixodida.

O período chuvoso proporcionou maior diversidade dos macroinvertebrados em função da maior oferta de alimentos (Nunes et al., 2019). Por outro lado, estudos

apontam que a abundância e uniformidade da comunidade de artrópodes pode ser reduzida em períodos de fortes chuvas, pois a alta precipitação pluvial pode comprometer as redes alimentares e os habitats subterrâneos, por meio de impactos físicos e alteração da umidade do solo (Wang et al., 2018).

Os períodos de coleta influenciaram na comunidade das ordens, tanto em frequência, como ocorrência. As ordens Chilopoda, Blattodea, Thysanoptera, Phasmatodea e Ixodida foram ocorrentes apenas no período chuvoso, enquanto que a Scorpiones no período seco. A ordem Hymenoptera foi a mais abundante, com maior número de indivíduos nos agroecossistemas e períodos estudados. No período chuvoso foi seguida pelas ordens COL> ORT>ARA> DIP > SCU> CHI> HEM= LEP = BLA> THY>L.LEP= ODO =PHA =THY =IXO e no seco as ordens COL> DIP >ARA> ORT> SCU> L. LEP> HEM> SCO= LEP= ODO (Tabela 3).

Lima et al. (2019), avaliaram a fauna epígea no semiárido brasileiro, e encontraram resultados semelhantes, com dominância das ordens Hymenoptera (Formicidae) e Coleoptera, relacionando esse fato à maior adaptação e resistência desses grupos às condições climáticas da região.

A dominância da ordem Hymenoptera é evidenciada pela maior frequência relativa nas áreas de mata nativa (97,12% e 81,6%); área de consórcio milho e feijão (89,96% e 42,6%); área de pastagem 93,59% e 70,71%) e área de cajueiro (61,29% e 76,22%) nos períodos seco e chuvoso, respectivamente (Tabela 4). Observa-se que a mesma foi maior para todas as áreas no período seco, com exceção da área de cajueiro que foi maior no período chuvoso.

Os principais organismos representantes dos Hymenopteras foram as formigas, pertencentes à família Formicidae, estando entre os invertebrados mais abundantes encontrados nos ecossistemas terrestres (Neto et al., 2018; Lima et al., 2019). Sendo conhecida sua alta capacidade de sobrevivência em ambientes diversos, habitando variados ecossistemas, como florestas, áreas de praias, dunas, áreas extrativistas de minérios e pastagens (Nunes et al., 2019). Rosa et al. (2015) destaca que, as espécies Formicidae são menos exigentes quanto às condições de ambiente, necessitando apenas de estabilidade quanto aos atributos físicos do solo, como maior presença de macroporos. Enquanto que, outros macroartópodes como as Araneae e Chilopoda, que são predadores mais ativos, requerem cadeias alimentares estabelecidas para sua maior ocorrência.

Tabela 4. Frequência de ocorrência das ordens de macroartrópodes nos períodos seco e chuvoso, em agroecossistemas, comunidade rural Piracicaba, Upanema/RN

Ordens	Mata Nativa		Área de Consórcio		Área de Pastagem		Área de Cajueiro	
	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso
Frequência relativa (FR%)								
ARA	1,74	4,25	0,77	0,6	0,79	3,37	1,32	2,58
HYM	97,12	81,6	89,96	42,6	93,59	70,71	61,29	76,22
COL	-	5,19	5,02	35,35	3,93	13,8	34,6	14,33
ORT	0,29	5,19	1,54	18,73	0,39	7,74	0,33	3,72
DÍP	0,14	2,36	2,32	1,52	1,17	1,35	1,81	0,86
BLA	-	-	-	-	-	-	-	0,57
HEM	-	-	-	0,3	-	0,67	0,16	-
SCO	0,14	-	-	-	-	-	-	-
SCU	0,43	0,47	-	-	-	0,67	0,33	0,86
L. LEP	-	-	0,39	-	0,13	0,34	-	-
LEP	0,14	0,47	-	-	-	-	-	0,57
ODO	-	0,47	-	-	-	-	0,16	-
CHI	-	-	-	0,3	-	0,67	-	0,29
PHA	-	-	-	0,3	-	-	-	-
THY	-	-	-	0,3	-	0,34	-	-
IXO	-	-	-	-	-	0,34	-	-
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100

Nota:ARA: Araneae, HYM: Hymenoptera, COL: Coleoptera, ORT: Orthoptera, DIP: Diptera, BLA: Blatodeae, HEM: Hemiptera, SCO: Scorpiones, SCU: Scutigermorpha, L. LEP: Larva de Lepidoptera, LEP: Lepidoptera,ODO: Odonata, CHI: Chilopoda, PHA: Phasmatodea, THY: Thysanoptera, IXO: Ixodida.

Os principais organismos representantes dos Hymenopteras foram as formigas, pertencentes à família Formicidae, estando entre os invertebrados mais abundantes encontrados nos ecossistemas terrestres (Neto et al., 2018; Lima et al., 2019). Sendo conhecida sua alta capacidade de sobrevivência em ambientes diversos, habitando variados ecossistemas, como florestas, áreas de praias, dunas, áreas extrativistas de minérios e pastagens (Nunes et al., 2019). Rosa et al. (2015) destaca que, as espécies Formicidae são menos exigentes quanto às condições de ambiente, necessitando apenas de estabilidade quanto aos atributos físicos do solo, como maior presença de macroporos. Enquanto que, outros macroartrópodes como as Araneae e Chilopoda, que são predadores mais ativos, requerem cadeias alimentares estabelecidas para sua maior ocorrência.

Para a variável biomassa, observou-se que, no período chuvoso, mesmo apresentando menor número de indivíduos que no período seco, a biomassa total foi expressivamente maior para todos os agroecossistemas estudados. Esse valor resulta principalmente da

ocorrência maior dos Orthoptera, seguidos por Coleoptera, sendo estes os maiores valores encontrados para biomassa no período chuvoso (Tabela 5).

Tabela 5. Biomassa das ordens de macroartrópodes nos períodos seco e chuvoso, em agroecossistemas, comunidade rural Piracicaba, Upanema/RN

Ordens	Mata Nativa		Área de Consórcio		Pastagem		Cajueiro	
	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso
Biomassa (g)								
ARA	0,0488	0,6173	0,0039	0,0302	0,0408	0,1115	0,3502	0,3539
HYM	2,6655	1,7287	0,1078	0,2484	0,1941	0,2422	2,0806	1,1619
COL	-	1,3484	0,0751	1,4348	0,3696	3,1579	1,5789	2,0507
ORT	0,0446	3,4029	0,0559	4,5809	0,0239	4,1442	0,0475	1,0926
DÍP	0,0004	0,0176	0,0106	0,0377	0,1546	0,0237	0,0342	0,6105
BLA	-	-	-	-	-	-	-	0,4371
HEM	-	-	-	0,1256	-	0,0089	0,0046	-
SCO	0,1188	-	-	-	-	-	-	-
SCU	0,19	0,0005	-	-	-	0,1552	0,1044	0,072
L. LEP	-	-	0,0144	-	0,0027	0,0810	-	-
LEP	0,0128	0,0836	-	-	-	-	-	0,1093
ODO	-	0,0036	-	-	-	-	0,0408	-
CHI	-	-	-	0,0028	-	0,0332	-	0,2337
PHA	-	-	-	0,7638	-	-	-	-
THY	-	-	-	0,0776	-	0,0048	-	-
IXO	-	-	-	-	-	0,0002	-	-
TOTAL	3,08098	7,2026	0,2677	7,3018	0,7857	7,9628	4,2412	6,1217

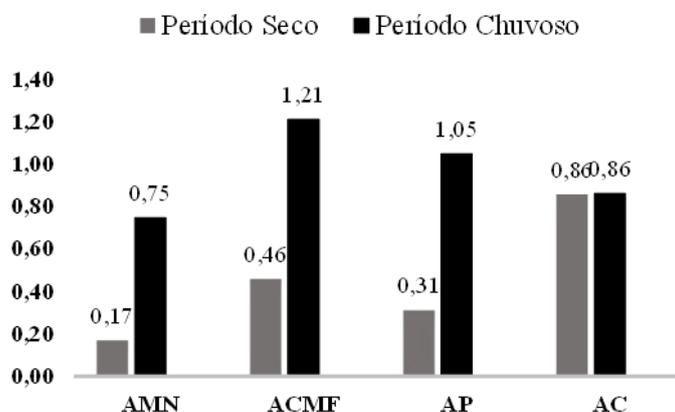
Nota: ARA: Araneae, HYM: Hymenoptera, COL: Coleoptera, ORT: Orthoptera, DIP: Diptera, BLA: Blatodeae, HEM: Hemiptera, SCO: Scorpiones, SCU: Scutigeraomorpha, L. LEP: Larva de Lepidoptera, LEP: Lepidoptera, ODO: Odonata, CHI: Chilopoda, PHA: Phasmatodea, THY: Thysanoptera, IXO: Ixodida.

Os resultados permitem inferir que as comunidades das ordens estudadas foram influenciadas pela sazonalidade climática da região, sendo a ocorrência de chuvas um fator que proporciona maior aporte de biomassa da fauna edáfica. No período chuvoso há maior oferta de alimentos, aumentando a diversidade de organismos (Nunes et al., 2019), o que atrai artrópodes predadores como Orthopteras e Coleopteras aumentando sua comunidade.

O Índice de Shannon indicou que a diversidade dos macroartrópodes foi superior no período chuvoso em relação ao seco, exceto, para a área de cajueiro que manteve o índice igual entre os dois períodos (Figura 4). Esse índice expressa a relação entre densidade de indivíduos e riqueza de grupos, e os resultados evidenciam que na época chuvosa os agroecossistemas foram representados por uma comunidade mais diversificada, o que significa dizer que as ordens ocorreram de forma mais

representativa e com maior distribuição, embora isso não signifique uma maior abundância total (Bianchi et al., 2017).

ÍNDICE DE SHANON H'

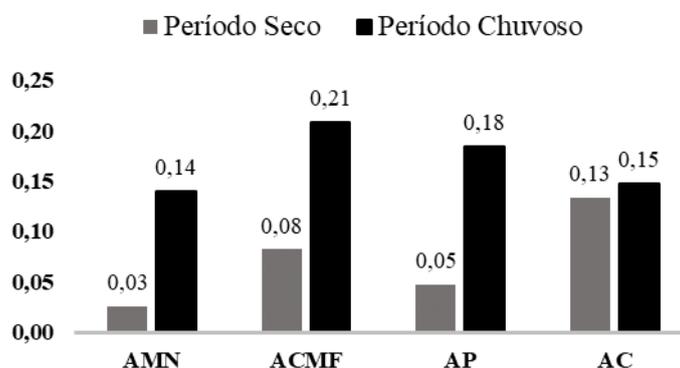


Nota: AMN: Área de mata nativa, ACMF: Área de consórcio milho e feijão; AP: Área de pastagem; AC: Área de cajueiro.

Figura 4. Índice de diversidade de Shanon nos períodos seco e chuvoso, em agroecossistemas, comunidade rural Piracicaba, Upanema/RN

Entre os agroecossistemas, no período chuvoso a área de consórcio de milho e feijão (ACMF) apresentou o maior índice de Shanon, seguida pela as áreas de pastagem, cajueiro e mata nativa. Enquanto, que no período seco a área de cajueiro obteve maior índice. Os valores do índice de equitabilidade de Pielou (Figura 5) são proporcionais aos do índice de Shanon, sendo estes complementares (Casaril et al., 2019).

ÍNDICE DE PIELOU J'



Nota: AMN: Área de mata nativa, ACMF: Área de consórcio milho e feijão; AP: Área de pastagem; AC: Área de cajueiro.

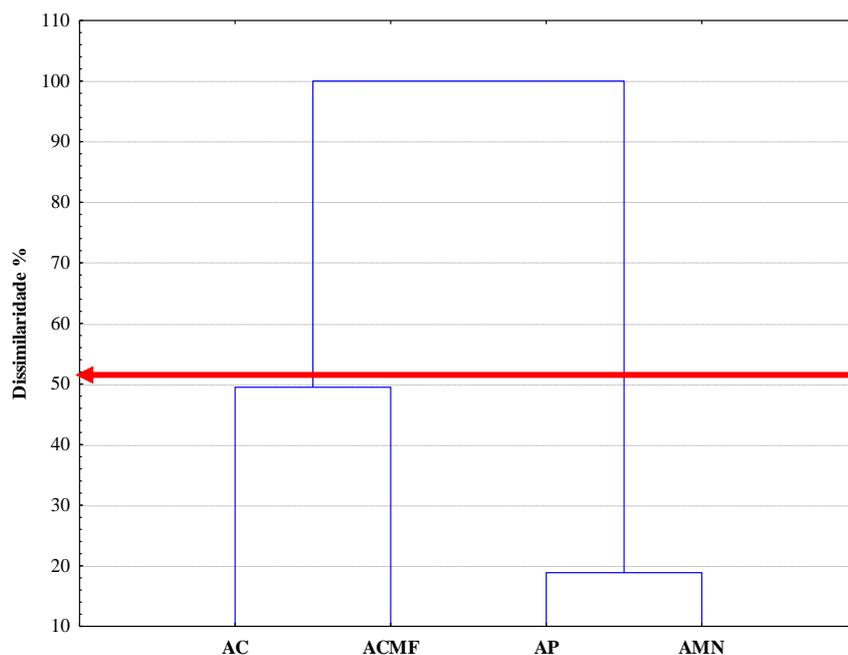
Figura 5. Índices de equitabilidade de Pielou nos períodos seco e chuvoso, em agroecossistemas, comunidade rural Piracicaba, Upanema/RN

As similaridades entre os valores dos índices ecológicos na área de cajueiro (AC) nos dois períodos de coleta, indicam a importância da cobertura vegetal para manutenção da abundância e diversidade da comunidade dos macroartrópodes edáficos. A cultura do cajueiro se desenvolve bem em solos profundos e sem restrições físicas, sendo reconhecida como planta adaptada ao clima seco do semiárido, com vegetação permanentemente verde durante o ano inteiro (Silva et al., 2019). O agroecossistema é localizado na cota mais baixa da paisagem, ao lado do açude, favorecendo que no período chuvoso essa área seja umedecida pelo processo de capilaridade. A umidade retarda a decomposição da matéria orgânica, o que associado a grande produção de biomassa vegetal, proporciona manutenção da cobertura do solo e condiciona um microclima favorável para os macroartrópodes (Castidelli et al., 2015).

Os menores índices na área de mata nativa em comparação com demais agroecossistemas podem ser explicados pela dominância de indivíduos da ordem Hymenoptera nesse agroecossistema, com uma frequência relativa de 97,12% e 81,6% nos períodos seco e chuvoso, respectivamente. Uma vez que, quanto maior o número de indivíduos de um grupo maior será a dominância do mesmo e conseqüentemente menor diversidade, reduzindo assim, a equitabilidade (Rosa et al., 2015), sendo resultados comumente encontrados com grupos dominantes diminuindo a diversidade de espécies (Bianchi et al., 2017; Hoffmann et al., 2018; Lima et al., 2019).

Além da dominância, a vegetação nativa predominante é a Caatinga hiperxerófila, que apresenta riqueza e diversidade, porém predominantemente rala e de baixo porte, e com queda das folhas nos períodos secos. Dessa forma, nas áreas de cultivos pode ocorrer maior oferta de alimentos, como observado para a área de consórcio milho e feijão, no período chuvoso, quando a área é cultivada, e na área de cajueiro, que exibe vegetação não caducifólia.

A análise de agrupamento hierárquico (AAH) é realizada buscando demonstrar as similaridades dentro do grupo e heterogeneidade entre esses (Hair Júnior. et al., 2009). Por meio do dendrograma vertical e traçando-se uma reta considerando um nível de 50% de similaridade observa-se a formação de dois grupos distintos, sendo a leitura feita da direita para a esquerda, o grupo I (Área de mata nativa (AMN) e Área de pastagem (AP)) e grupo II (Área de consórcio milho e feijão (ACMF) e Área de Cajueiro (AC)) (Figura 6).



Nota: AMN: Área de mata nativa, ACMF: Área de consórcio milho e feijão; AP: Área de pastagem; AC: Área de cajueiro.

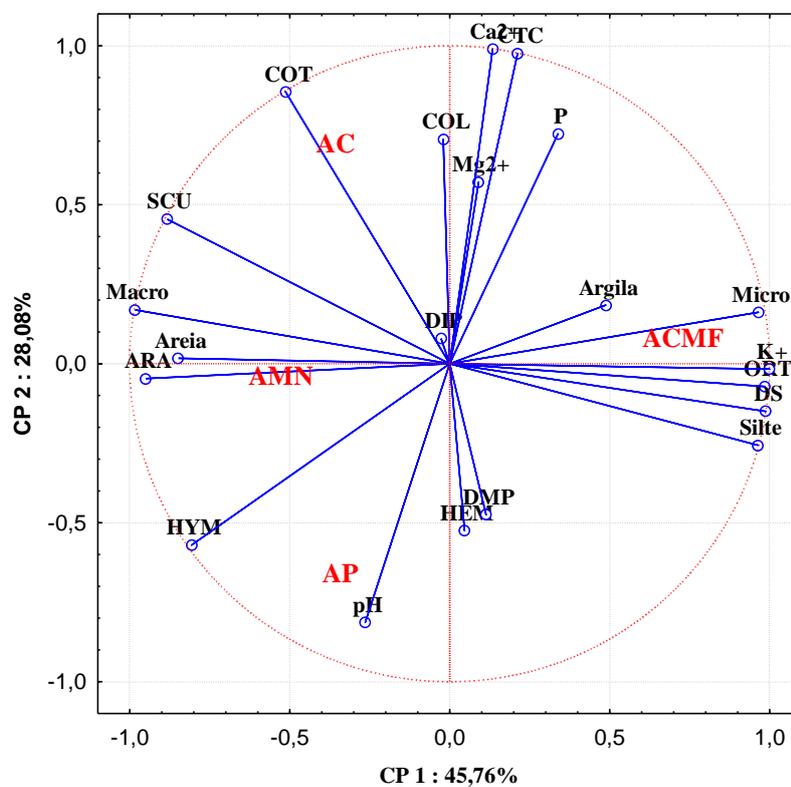
Figura 6. Dendrograma de similaridade construído por meio da análise de agrupamentos hierárquicos, com os dados de ordens de macroartrópodes e atributos do solo obtidos nos agroecossistemas estudados, comunidade rural Piracicaba, Upanema/RN

A menor distância euclidiana entre o grupo I (Área de mata nativa e Área de pastagem), indica a maior semelhança entre esses agroecossistemas, com relação aos demais, apresentando similaridade maior que 80 %. Esse agrupamento se deve a grande frequência relativa e maior dominância da ordem Hymenoptera que separou essas áreas. O segundo grupo (ACMF e AC) apresentou maior dissimilaridade (Quase 50%), evidenciada pela maior distância euclidiana entre os agroecossistemas. Nessas áreas, quanto aos atributos do solo, o Ca^{2+} e CTC foram mais expressivos com relação aos demais, e quanto aos macroartrópodes, a ACMF apresentou maior diversidade de organismos no período chuvoso e a AC no período seco, podendo inferir que a fertilidade dos solos contribui para maior diversidade dos macroartrópodes (Casaril et al., 2019).

A análise de componentes principais (ACP) correlacionou a abundância dos organismos mais frequentes (Hymenoptera, Coleóptera, Orthóptera, Díptera, Araneae, Hemíptera e Scutigeromorpha) com os dados dos atributos físicos, químicos e estruturais do solo: Granulometria (Areia, silte e argila), densidade do solo (DS), macroporosidade (Macro), microporosidade (micro), diâmetro médio ponderado

(DMP), carbono orgânico total (COT), pH, cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), fósforo (P), potássio (K^+) e capacidade de troca catiônica (CTC) (Figura 7).

A ACP revelou que os componentes 1 e 2 explicaram mais de 73% da variabilidade total dos dados, com variância de 45,76% para CP 1 e 28,08% CP 2. Observando o círculo de correlação, verificou-se diferenciação da população dos macroartrópodes em função dos atributos do solo mais expressivos em cada agroecossistema. As características do solo (físicas, químicas e estruturais) são alteradas pelos macroartrópodes (Lavelle et al., 2016), ao mesmo tempo que a variabilidade desses atributos exerce influência sobre as comunidades dos mesmos (Rosa et al., 2015; Casaril et al., 2018).



Nota¹ HYM: Hymenoptera, COL: Coleoptera, ORT: Orthoptera, DIP: Diptera, ARA: Araneae, HEM: Hemiptera, SCU: Scutigera. Nota² AMN: Área de mata nativa, ACMF: Área de consórcio milho e feijão; AP: Área de pastagem; AC: Área de cajueiro. Nota³ DS: Densidade do solo, DMP: Diâmetro médio ponderado, Macro: Macroporosidade, Micro: Microporosidade, pH: Potencial hidrogeniônico, P: Fósforo, COT: Carbono orgânico total, Ca^{2+} : Cálcio, Mg^{2+} : Magnésio, K^+ : Potássio e CTC: Capacidade de troca catiônica.

Figura 7. Círculo de correlação obtido da análise dos componentes principais, entre os atributos do solo, ordens dos macroartrópodes e agroecossistemas em estudo, comunidade rural Piracicaba, Upanema/RN

A ordem Scutigeromorpha se mostrou mais presentes na área de cajueiro (AC), se correlacionando com a macroporosidade e o teor de COT. A ordem Coleóptera também apresentou correlação com o COT, Ca^{2+} , Mg^{2+} e CTC sendo essa ordem mais frequente nas áreas AC e ACMF. Castidelli et al. (2015), obtiveram resultados semelhantes, onde a abundância da ordem Coleoptera foi favorecida com o aumento na CTC, Ca^{2+} , Mg^{2+} e SB. Os nutrientes do solo, especialmente o Ca^{2+} são importantes para os artrópodes edáficos, estando fisiologicamente relacionado a mecanismos desses organismos, como na regulação osmótica e processo de ecdise (troca do exoesqueleto) (Rosa et al., 2015).

A Coleoptera é a ordem mais numerosa de insetos, apresentando ao menos uma centena de famílias e com variados hábitos alimentares, principalmente rizófagos, detritívoros, fungívoros e predadores (Barreta et al., 2011). Entre os grupos mais importantes em sua interação com o solo, está a família Scarabaeidae, que inclui os besouros. Alguns desses indivíduos apresentam hábitos de retirar porções de excremento, transportando os sobre o solo e/ ou incorporando em profundidades no mesmo. Essas práticas associadas às variáveis adaptações alimentares (frutos em decomposição, fungos, carcaças e excrementos), fazem desses organismos importantes decompositores e incorporadores de matéria orgânica ao solo, além de suas escavações que contribuem benéficamente com a aeração e estrutura do solo (Lavelle et al., 2016; Souza et al., 2018).

A ordem Araneae foi mais abundante na área de mata nativa (AMN), juntamente com a ordem Hymenoptera que foi destaque nas áreas de mata nativa e pastagem (AP). Quanto aos atributos do solo, essas ordens se correlacionaram com areia, macroporosidade e pH. A posição contrária no círculo indica correlação negativa das mesmas com a densidade do solo (Figura 8), sendo esses organismos relacionados com solos mais aerados (Rosa et al., 2015). A relação das Hymenopteras com o pH pode ser compreendida de maneira indireta, uma vez que o pH mais elevado aumenta a atividade dos microrganismos do solo que são fonte alimentar para as formigas (Casaril et al., 2019), dessa forma, o aumento na atividade microbiana estimula a abundância do grupo nessas áreas.

As formigas, principais representantes da ordem Hymenoptera, do ponto de vista ecológico são espécies que têm importantes relações com diversos grupos vegetais e animais, podendo em sua interação com as plantas se apresentar como protetoras contra herbívoros, ou como predadoras (Barreta et al., 2011). Em sua relação com o solo, durante escavações e construções de galerias, promove revolvimento do solo e

incorporação da matéria orgânica, transportando-a da superfície para camadas mais profundas. Essas ações vão alterar a estrutura do solo, diminuindo a densidade, melhorando a infiltração da água no solo, com aumento da porosidade e conseqüentemente, aumenta a disponibilidade de nutrientes para as plantas e microrganismos do solo (Costa & Drescher, 2018; Barreta et al., 2011; Lavelle et al., 2016).

Os Orthópteras diferenciaram o ambiente de área de consórcio milho e feijão (ACMF), por se apresentarem em maior quantidade nessa área, denotando uma correlação maior com os atributos microporosidade, silte, potássio (K^+) e densidade do solo (DS) (Figura 8). A maior abundância desse grupo apenas na ACMF e sua relação positiva com a DS, representa organismos de superfície, sendo estes menos influenciados pela maior densidade do solo apresentada na área em relação às demais (Casaril et al., 2019).

CONCLUSÕES

A abundância e diversidade dos organismos foram influenciadas pela sazonalidade climática, sendo a abundância maior no período seco, enquanto que a diversidade maior no período chuvoso;

As ordens mais abundantes foram Hymenoptera, Coleoptera, Orthoptera, Díptera, Araneae, Hemíptera e Scutigermorpha, em valores menos expressivos também foram encontrados organismos das ordens Blatodeae, Scorpiones, Larva de Lepdoptera, Leptdoptera, Odonata, Chilopoda, Phasmatodea, Thysanoptera e Ixodida;

Para os índices de diversidade de Shanon e equitabilidade de Pielou, no período chuvoso a área de consórcio de milho e feijão apresentou os maiores valores e no período seco a área de cajueiro.

As comunidades dos macroartrópodes encontradas nos agroecossistemas foram influenciadas pelos atributos físicos, químicos e estruturais do solo, sendo essa correlação existente evidenciada com uso da análise de componentes principais, onde os atributos macroporosidade, carbono orgânico total (COT), microporosidade, densidade do solo, textura (areia, silte e argila), Ca^{2+} , K^+ e CTC foram os que mais influenciaram.

LITERATURA CITADA

- Almeida, M. A. X.; Souto, J.S.; Andrade, A. P. Sazonalidade da macrofauna edáfica do Curimataú da Paraíba, Brasil. *Revista Ambiência Guarapuava*, v. 11, p. 393 – 407, 2015.
- Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J.L.M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*. v. 22, p. 711–728, 2013.
- Barreta, D.; Santos, J. C. P.; Segat, J. C.; Geremia, E. V.; Oliveira Filho, L. D.; Alves, M. V. Fauna edáfica e qualidade do solo. In: *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. Cap. 4 ,p. 141-192.
- Bianchi, M. D. O.; Scoriza, R. N.; Resende, A. S. D.; Campello, E. F. C.; Correia, M. E. F.; Silva, E. M. R. D. Macrofauna edáfica como indicadora em revegetação com leguminosas arbóreas. *Floresta e Ambiente*, v. 24, p.1-8, 2017.
- Brown, G.G.; Niva, C.C.; Zagatto, M.R.G.; Ferreira, S.A.; Nadolny, H.S.; Cardoso, G.B.X.; Martinez, A.S.G.A.; Pasini, A.; Bartz, M.L.C.; Sautter, K.D.; Thomazini, M.J., Barreta, D.; Silva, E.; Antonioli, Z.I.; Decaëns, T.; lavelle, P. M. Sousa, J. P.; Carvalho, F. Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. In: Parron, L.M.; Garcia, J.R; Oliveira, E.B.; Brown, G.G.; Prado, R.B. (Eds.). *Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do bioma mata atlântica*. Colombo: Embrapa Florestas, Cap. 10, p.122-154. 2015.
- Casari, C. E.; de Oliveira Filho, L. C. I.; Santos, J. C. P.; da Rosa, M. G. Fauna edáfica em sistemas de produção de banana no Sul de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 14, p. 5613, 2019.
- Costa, L. M.; Drescher, M. S. Implications of agricultural management on the epigeic fauna and soil physical properties of a clayey Oxisol. *Revista Ceres*, v. 65, p. 443-449, 2018.
- Empresa Agropecuária do Estado do Rio Grande do Norte (EMPARN). Disponível em: <http://www.emparn.rn.gov.br>. 2019.
- Gee, G. W.; Or, D. Particle size analysis. In: Dane, J. H.; Topp, G. C. (Ed.). *Methods of soil analysis: part 4: physical methods*. Madison: Soil Science Society of America, 2002. p. 255-293.
- Hair, J. F.; Black, W. C.; Babin, B. J.; Anderson, R. E.; Tatham, R. L. *Análise multivariada de dados*. Bookman Editora, 2009, 688 p.

- Hoffmann, R. B.; de Lima, S. V.; da Silva Hoffmann, G. S.; de Araújo, N. S. F. Efeito do uso do solo sobre a macrofauna edáfica. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v. 1, p. 125-133, 2018.
- Kemper, W.D., Rosenau, R.C., 1986. Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. *Methods of soil analysis*. 2ed. Madison, Am Soc Ag Soil Sci Soc Am, Part 1, p. 425-442. (Agronomy Monography, 9).
- Lavelle, P.; Spain, A.; Blouin, M.; Brown, G.; Decaëns, T.; Grimaldi, M.; Zangerlé, A. Ecosystem engineers in a self-organized soil: A review of concepts and future research questions. *Soil Science*, v. 181, p. 91-109, 2016.
- Lima, S. S.; Benazzi, E. S.; Oliveira, N. C. R.; Leite, L. F. C. Diversidade da fauna epígea em diferentes sistemas de manejo no semiárido. *Agrarian*, v. 12, p. 328-337, 2019.
- Neto, T. D. A. C.; Camara, R.; dos Anjos, L. H. C.; Correia, M. E. F.; Pereira, M. G.; Jaccoud, C. F. S. Relação fauna do solo-paisagem em plantio de eucalipto em topossequência. *FLORESTA*, v. 48, p. 213-224, 2018.
- Nunes, L.A.P.L.; Araújo, A. S. F.; Pessoa, M. M. C.; Souza, R. S.; Silva, J. D. C.; Matos Filho, C. H. A. Edaphic fauna in a vegetation gradient in the Sete Cidades National Park. *Brazilian Journal of Biology*, v.79, p.45-51, 2019.
- Rosa, M. G.; Klauberg Filho, O.; Bartz, M. L. C.; Mafra, A. L.; Souza, J. P. F. A.; Barreta, D. Macrofauna edáfica e atributos físicos e químicos em sistemas de uso do solo no planalto catarinense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 39, p. 1544-1553, 2015.
- Silva, E. M.; Parreira, M. C.; Siebeichler, S. C.; Rodrigues, E.; dos Santos, C. M. S.; Neto, F. D. C. V.; de Freitas, G. A. Produção de mudas de Cajueiro Anão-precoce em substratos de resíduos orgânico. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)*, v. 9, p. 90-96, 2019.
- Silva, F. C; Santana, I. J.; Martins, R. D.; Lemes, N. M.; Rietjens, A. R.; Lima, M. L. P. Quantificação da microbiota e diversidade ecológica da meso e macrofauna do solo sob diferentes usos no município de Urutaí (região Sudeste Goiano). *Multi-Science Journal*, v. 1, p. 12-18, 2016.
- Souza, M. S.; Salman, A.; dos Anjos, M. R.; Sausen, D.; Pedersoli, M. A.; Pedersoli, N. R. N. B. Serviços ecológicos de insetos e outros artrópodes em sistemas agroflorestais. *Revista EDUCAmazônia*, v. 20, p. 22-35, 2018.

- Teixeira, P. C.; Donagemma G. K.; Wenceslau, A. F.; Teixeira, G. Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017, 573 p.
- U.S. Salinity Laboratory Staff (1954). Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. USDA Agriculture Handbook 60. (US Govt Printing Office: Washinton, DC). 160p.
- Wang, S.; Pan, K.; Tariq, A.; Zhang, L.; Sun, X.; Li, Z. Sun, F.; Xiong, O.; Song, D.; Olatunji, O. A. Combined effects of cropping types and simulated extreme precipitation on the community composition and diversity of soil macrofauna in the eastern Qinghai-Tibet Plateau. *Journal of Soils and Sediments*, v.18, n4, p.1-13, 2018.

CONCLUSÕES GERAIS

Na caracterização e diferenciação dos ambientes, os atributos mais discriminantes foram: Microporosidade, capacidade de campo, ponto de murcha permanente, água disponível, areia, argila, grau de flocculação, Ca^{2+} , Mg^{2+} , soma de bases, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, condutividade elétrica e carbono orgânico total.

O carbono orgânico total foi discriminante para agrupar as áreas de mata nativa e de cajueiro, nas camadas superficiais e os demais ambientes foram agrupados em função das características intrínsecas do solo, sendo a textura determinante na variabilidade dos atributos.

Os atributos do solo influenciaram na retenção de água, sendo a textura (areia e argila), umidade a base de massa e volume e os estruturais (microporosidade, capacidade de campo, ponto de murcha permanente, água disponível, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e carbono orgânico total) as variáveis mais sensíveis na distinção dos ambientes. O conteúdo de água no solo foi superior nas áreas de mata nativa (AMN) e área de consórcio milho e feijão (ACMF).

Foram encontradas 16 ordens de macroartrópodes: Hymenoptera, Coleoptera, Orthoptera, Díptera, Araneae, Hemíptera, Scutigeromorpha, Blatodeae, Scorpiones, Larva de Lepdoptera, Leptdoptera, Odonata, Chilopoda, Phasmatodea, Thysanoptera e Ixodida, sendo que, a abundância e diversidade dos organismos foram influenciadas pela sazonalidade climática e atributos do solo, principalmente a macroporosidade, carbono orgânico total, microporosidade, densidade do solo, granulometria, Ca^{2+} , K^{+} e capacidade de troca catiônica.