



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL
CAMPUS ARAPIRACA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E AMBIENTE – PPGAA
MESTRADO EM AGRICULTURA E AMBIENTE

JANYNNE JOYCE DE LIMA ROCHA

**ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO EM FUNÇÃO
DO USO DA TERRA NO MUNICÍPIO DE LIMOEIRO DE ANADIA - AL**

ARAPIRACA

2021

Janyne Joyce de Lima Rocha

Alterações nos atributos físicos e químicos do solo em função do uso da terra no município de
Limoeiro de Anadia - AL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Alagoas, para a obtenção do título de Mestra em Agricultura e Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Tadeus dos Santos
Dias

Coorientador: Prof. Dr. Valdevan Rosendo dos
Santos

Arapiraca

2021



Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Campus Arapiraca
Biblioteca Setorial Campus Arapiraca - BSCA

L732a Lima, Janyne Joyce de
Alterações nos atributos físicos e químicos do solo em função do uso da terra no município de Limoeiro de Anadia – AL / Janyne Joyce de Lima. – Arapiraca, 2022.
42 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Tadeu dos Santos Dias.
Coorientador: Prof. Dr. Valdevan Rosendo dos Santos.
Dissertação (Mestrado em Agricultura e Ambiente) – Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente, Universidade Federal de Alagoas, Campus Arapiraca, Arapiraca, 2022.
Disponível em: Universidade Digital (UD) – UFAL (Campus Arapiraca).
Referências: f. 38- 42.

1. Propriedades físicas e químicas. 2. Solo – Índice de qualidade.
3. Agrossistemas. I. Dias, Carlos Tadeu dos Santos. II. Santos, Valdevan Rosendo dos. III. Título.

CDU 636

Janyenne Joyce de Lima Rocha

Alterações nos atributos físicos e químicos do solo em função do uso da terra no município de
Limoeiro de Anadia - AL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Alagoas, para a obtenção do título de Mestra em Agricultura e Ambiente.

Defesa: 29/09/2021.

Banca Examinadora



Prof. Dr. Carlos Tadeu dos Santos Dias
Universidade de São Paulo - USP
(Orientador)



Prof. Dr. Valdevan Rosendo dos Santos
Universidade Federal de Alagoas - UFAL
Campus Arapiraca
(Coorientador)



Prof. Dr. Rubens Pessoa de Barros
Universidade Estadual de Alagoas – UNEAL
Campus I
(Examinador)



Prof. Dr. Gilson Moura Filho
Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Ciências Agrárias - CECA
(Examinador)

A Deus por me fortalecer e à minha família,
em especial, meu filho Jonathan Davi Santos
da Rocha, amo imensamente todos vocês!

OFEREÇO E DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, por me dar forças e sabedoria para enfrentar todas as dificuldades nessa trajetória, obrigado meu pai todo poderoso por todas as graças alcançadas em minha vida.

A minha família, em especial meu esposo José Ediberto Cosme dos Santos, meus pais José Cícero Emiliano da Rocha e Josineide Pereira de Lima, meus irmãos Jayne Maria e Jamys Weverton e minha avó Janete Maria que sempre acreditaram em mim, me apoiaram e estiveram ao meu lado nos momentos de aflição e alegria.

A Universidade Federal de Alagoas, *Campus* de Arapiraca por todos os ensinamentos e aprendizados e aos técnicos e funcionários.

Ao meu orientador Prof. Dr. Carlos Tadeu dos Santos Dias por me auxiliar nesse trabalho.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Valdevan Rosendo dos Santos, pelo apoio para a realização desta pesquisa.

Aos membros da banca examinadora Prof. Dr. Gilson Moura Filho que admiro pela dedicação e ao Prof. Dr. Rubens Pessoa pela contribuição nesse trabalho.

A todos os professores do Programa de Pós- Graduação em Agricultura e ambiente, pelos ensinamentos e confiança, em especial ao professor Cícero Gomes dos Santos pela imensa contribuição e ensinamentos.

As minhas amigas que conheci no mestrado Millena Rodrigues, Waneska Santos, Adielma Menezes e Maria Aparecida, meu enorme carinho à vocês!

Aos técnicos do laboratório de Agronomia, em especial, Sivaldo Paulino, pelo apoio e disponibilidade.

A todos que participaram no desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, desde a coleta do solo em campo às análises laboratoriais.

Enfim, agradeço a todos que direta ou indiretamente me ajudaram nessa caminhada, mesmo aqueles que não citei aqui, mas que moram em meu coração. Muito obrigada e minha imensa gratidão!

RESUMO

Como consequência da crescente demanda por alimentos, áreas de mata nativa foram cada vez mais sendo substituídas por diferentes usos da terra. Dessa forma, faz-se necessário o estudo das alterações dos atributos físicos e químicos do solo para estabelecer parâmetros capazes de avaliar a qualidade do solo. O objetivo desse estudo foi testar as hipóteses de que a intensificação da agricultura através do cultivo de cana-de-açúcar, milho e pastagem alteram as propriedades físicas e químicas do solo, quando comparados ao uso da terra com vegetação nativa. Amostras de solo foram coletadas em quatro áreas (1 hectare cada, com 12 pontos de amostragem) em três camadas (0,0 – 0,10; 0,10 – 0,20; 0,20 – 0,30 m) no município de Limoeiro de Anadia – AL. Em seguida foram analisadas quanto as propriedades de acidez e CTC (pH, CTC total e efetiva, saturação por bases, saturação por alumínio, acidez potencial, saturação por sódio), macronutrientes (P, K, Ca e Mg) e atributos físicos (textura do solo, densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, resistência mecânica do solo à penetração e estabilidade de agregados). Os resultados demonstraram que, houve alterações nas propriedades do solo. Nos atributos físicos, com a substituição da área de mata pelo cultivo da cana-de-açúcar, milho e pastagem, a qualidade do solo foi diminuída, comprometendo sua estrutura, principalmente nas áreas que se faz uso de máquinas pesadas. Por outro lado, a intensificação da agricultura resultou na melhoria dos atributos químicos do solo, quando comparados a vegetação nativa, em especial, nas áreas, nas quais, são utilizadas práticas adequadas de manejo, como adubação e correção do solo.

Palavras-chave: propriedades físicas e químicas; índice de qualidade do solo; agroecossistemas.

ABSTRACT

As a result of the growing demand for food, areas of native forest were increasingly being replaced by different land uses. Thus, it is necessary to study the changes in the physical and chemical attributes of the soil to define parameters to assess the quality of the soil. The objective of this study was to test the hypotheses that the intensification of agriculture through the cultivation of sugarcane, corn and pasture alter the physical and composite properties of the soil, when compared to land use with native vegetation. Soil samples were collected in four areas (1 hectare each, with 12 sampling points) in three layers (0.0 - 0.10; 0.10 - 0.20; 0.20 - 0.30 m) in the municipality of Lemon Tree from Anadia - AL. Then, the properties of acidity and CTC (pH, total and effective CTC, base saturation, aluminum saturation, potential acidity, sodium saturation), macronutrients (P, K, Ca and Mg) and physical attributes (texture) were analyzed. soil density, soil density, particle density, total porosity, soil mechanical resistance to penetration and aggregate stability). The results showed that there were changes in soil properties. In terms of physical attributes, with the replacement of the forest area by the cultivation of sugar cane, corn and pasture, the quality of the soil was reduced, compromising its structure, especially in areas where heavy machinery is used. On the other hand, the intensification of agriculture resulted in the improvement of the chemical attributes of the soil, when compared to native vegetation, especially in areas where management practices are used, such as fertilization and soil correction.

Keywords: physical and chemical properties; soil quality index; agroecosystems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização geográfica do local de estudo no nordeste do Brasil.....	20
Figura 2 - Análise de preferência multidimensional em quatro diferentes usos da terra - Pasto, Cana, Mata e Milho. (Densidade do solo – DENS; Densidade de Partículas – DPAR; Porosidade Total – PORO; Os números 1, 2 e 3 correspondem às profundidades estudadas, ou seja, 0-10, 10-20 e 20-30 cm, respectivamente)	26
Figura 3 - Densidade do solo, Densidade de Partículas e Porosidade total para diferentes usos da terra (Pasto, Mata, Milho sob SPD e Cana-de-açúcar sob SPC) em três profundidades (0-10; 10-20 e 20-30 cm do solo)	27
Figura 4 - Estabilidade de Agregados e Análise granulométrica em quatro diferentes usos da terra - Pasto, Cana, Mata e Milho. (IEA – Índice de estabilidade de agregados; DMP – Diâmetro médio ponderado; DMG – Diâmetro médio geométrico; ARG – Argila; AREIA e SILT – Silte). Os números 1 e 2 correspondem às profundidades estudadas, ou seja, 0-10 e 10-20 cm, respectivamente.....	28
Figura 5 - Análise granulométrica e Estabilidade de Agregados para quatro diferentes usos da terra em duas profundidades diferentes.....	31
Figura 6 - Resistência do solo à penetração mecânica em diferentes usos da terra.....	33
Figura 7 - Caracterização química para as camadas 0,0-0,10; 0,10-0,20; e 0,20-0,30 m sob diferentes usos da terra (VN – vegetação nativa; PA – pastagem; CA – cana-de-açúcar em sistema de preparo convencional (SPC) e MI – milho em sistema de plantio direto (SPD) para o município de Limoeiro de Anadia – Alagoas)	35
Figura 8 - Dendrograma de Análise química do solo em quatro diferentes usos da terra submetidas a três profundidades do solo.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Percentuais granulométricos do solo em quatro usos da terra (cana-de-açúcar; milho; pasto e vegetação nativa) sob diferentes profundidades do solo.....	30
Tabela 2 - Resistência média (MPa) à penetração do solo de doze pontos de amostragem em áreas com diferentes usos da terra no município de Limoeiro de Anadia - AL.....	32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1	O USO DA TERRA NO ESTADO DE ALAGOAS	11
2.2	QUALIDADE DO SOLO	12
2.3	PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO	14
2.3.1	Densidade e Porosidade do solo	14
2.3.2	Textura do solo	16
2.3	ESTABILIDADE DOS AGREGADOS.....	16
2.3.4	Resistência do solo à penetração radicular	18
2.4	ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO	19
3	MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1	DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	20
3.2	HISTÓRICO DAS ÁREAS.....	21
3.3	AMOSTRAGEM E COLETA DE SOLO	21
3.4	ANÁLISES FÍSICAS.....	21
3.4.1	Densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total	21
3.4.2	Estabilidade de agregados	22
3.4.3	Textura do Solo	22
3.4.4	Resistência à penetração	23
3.5	ANÁLISES QUÍMICAS	23
3.6	ANÁLISE DOS DADOS	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1	PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO	25
4.2	PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO	34
5	CONCLUSÕES	37
	REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por produtos alimentícios, como consequência do aumento da população mundial, exige uma maior produção de alimentos, fibras e forragem. Para atender tal necessidade, muitas áreas ocupadas com vegetação nativa foram convertidas em áreas com intenso cultivo agrícola (BALOTA, 2015). Dessa forma, compreender e administrar as mudanças do uso da terra (MUT) é um desafio central para a sustentabilidade global (BARRETO *et al.*, 2013). As maiores áreas de uso da terra no Brasil são ocupadas pelo cultivo de grãos, como soja e milho, principalmente sob sistema de plantio direto (SPD), cana-de-açúcar e pastagens (SÁ *et al.*, 2017; DIAS-FILHO, 2014).

A substituição de áreas ocupadas com vegetação nativa por terras cultiváveis, nas quais se faz uso de métodos de intenso revolvimento do solo, causa impactos quanto ao comprometimento da qualidade do solo e na redução da produtividade das culturas (PERUSI, 2001). Os sistemas de manejo do solo interferem diretamente nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, nos quais, são utilizados como indicadores para mensurar sua qualidade (DORAN e PARKIN, 1994). Entretanto, informações inerentes às mudanças, bem como os padrões de indicadores da qualidade do solo em função do uso da terra são escassos em muitas regiões do planeta, além disso, é incorreto utilizar dados coletados em uma região e transferir para outra, devido às condições adversas de cada local e o sistema agrícola adotado (POWLSON *et al.*, 2016).

No estudo foram utilizados indicadores físicos e químicos para avaliar a qualidade do solo sob diferentes usos da terra no município de Limoeiro de Anadia- AL. Foram avaliados quatro usos da terra (vegetação nativa, pastagem, cultivo com cana-de-açúcar e cultivo com milho), sendo os dois últimos cultivados sob sistema convencional do solo e sistema de plantio direto, respectivamente.

Dessa forma, o objetivo do estudo foi testar as seguintes hipóteses: a) a conversão de mata nativa para os usos da terra com pasto, cana-de-açúcar e milho pode prejudicar as propriedades físicas do solo e b) melhorar os atributos químicos do solo em áreas com boas práticas de manejo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O USO DA TERRA NO ESTADO DE ALAGOAS

O Estado de Alagoas, antes pertencente à capitania de Pernambuco, teve sua economia desenvolvida com base na produção açucareira. Nas três mesorregiões geográficas alagoanas, desenvolveram-se as duas principais atividades econômicas: a cana-de-açúcar e a pecuária. Tais atividades foram responsáveis pela formação territorial, cultural e social do estado (ANJOS; LAGES, 2010).

A monocultura da cana-de-açúcar sempre foi presente no Estado. Essa prática é definida como o cultivo de uma única espécie agrícola em determinada área ou região. No país, esse modelo é bastante aplicado, pois desde que iniciou seu desenvolvimento como país agrário, concentrou seus esforços em culturas específicas, como foi o caso da cana-de-açúcar, do café e da soja (ZIMMERMANN, 2009).

De acordo com a CONAB (2021), Alagoas se destaca sendo o maior produtor de cana-de-açúcar do Nordeste. A estimativa da produtividade para a safra de 2020/21 é de 17.003,0 milhões de toneladas e para a safra de 2021/22 é de 18.010,6 milhões de toneladas. Já a área plantada em 2020/21 foi de 298,5 milhões de hectares.

Em contrapartida, o cultivo da cana-de-açúcar foi também uma das principais causas responsáveis pela redução das áreas com vegetação nativa (ANJOS; LAGES, 2010). De acordo com o IBGE (2021), em 1970, a área ocupada com matas naturais no Estado era de 392.496 hectares, já no ano de 2017 essa área diminuiu, com apenas 13.481 hectares, ou seja, áreas com vegetação natural foram destinadas à produção de cana-de-açúcar e/ou pastagens.

A segunda atividade de maior expressão econômica no Estado é a pecuária. A bovinocultura leiteira, apesar dos problemas econômicos e climáticos enfrentados pela cadeia do leite em Alagoas, está sempre em crescimento, sendo uma das atividades agrárias predominantes e é a segunda maior atividade rural geradora de empregos e renda, perdendo apenas para a produção e cultivo da cana-de-açúcar (LIMA, 2017). As áreas ocupadas com pastagem natural, pastagem em boas e más condições no Estado são de 526.452 hectares, 245.606 hectares e 45.147 hectares, respectivamente (IBGE, 2017).

Além das áreas destinadas à produção de cana-de-açúcar e pecuária, o incentivo na produção de grãos tem recebido destaque por parte da Secretaria de Estado da Agricultura, Pecuária, Pesca e Aquicultura (SEAGRI). Dessa forma, locais onde a produção da cana-de-açúcar predominava, estão sendo implantados grãos, como a plantação de milho e soja,

principalmente. A safra de grãos de 2021 em Alagoas conta com uma área de plantio com mais de seis mil hectares com milho, soja, feijão, sorgo e algodão nos municípios de Limoeiro de Anadia e Campo Alegre. (SEAGRI, 2021).

No município de Limoeiro de Anadia, local do presente estudo, a área plantada destinada para produção de grãos foi de 3.300 e 1.500 hectares, para milho e soja, respectivamente (IBGE, 2021). Cerca de 60% do relevo do município faz parte da unidade dos Tabuleiros Costeiros e o restante de sua área está inserida na unidade geoambiental do Planalto da Borborema. De modo geral, os solos são profundos e de baixa fertilidade natural (MASCARENHAS; BELTRÃO; SOUZA JÚNIOR, 2005). O tipo de solo predominante nos locais de amostragem foi o Latossolo. Essa ordem de solos são caracterizados como profundos, bem drenados, minerais, de coloração relativamente homogênea com matizes avermelhadas e/ou amareladas, apresentam distribuição mais ou menos uniforme de argila ao longo do perfil, elevada estabilidade de agregados e baixo conteúdo de silte em relação à argila (KER, 1997).

Esse município, faz parte do cenário atual do Estado, ou seja, áreas que antes eram cultivadas com a cultura da cana-de-açúcar estão sendo substituídas por outras, principalmente grãos. Entretanto, apesar de ser um aspecto positivo para a economia do Estado, tais mudanças geram algumas dúvidas e preocupações quanto à qualidade do solo e suas propriedades físicas, químicas e biológicas.

2.2 QUALIDADE DO SOLO

A partir dos anos 90, a discussão sobre Qualidade do Solo (QS) intensificou-se consideravelmente. Cientistas, conscientes da importância do solo para a qualidade ambiental, iniciou a abordagem da preocupação com a degradação dos recursos naturais, a sustentabilidade agrícola e a função do solo nesse contexto (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

Definir um conceito concreto e consensual sobre a qualidade do solo não é uma tarefa fácil. Dessa forma, alguns autores sustentam ser a qualidade do solo uma característica abstrata e que, portanto, não pode ser definida, uma vez que ela depende de fatores externos, tais como práticas de manejo e uso da terra, interações do meio ambiente e dos ecossistemas, além de prioridades socioeconômicas e políticas (DORAN; PARKIN, 1994). Essa ideia é reforçada por SOJKA e UPCHURCH (1999), ao relatarem a complexidade em definir a

qualidade do solo, visto que, existem muitas variações nas composições física, química e biológica.

Apesar disso, alguns autores definiram que qualidade do solo pode ser conceituada como a capacidade que um determinado tipo de solo apresenta, em ecossistemas naturais ou agrícolas, para desempenhar uma ou mais funções relacionadas à sustentação da atividade, da produtividade e da diversidade biológica, à manutenção da qualidade do ambiente, à promoção da saúde das plantas e dos animais e à sustentação de estruturas sócio-econômicas e de habitação humana (DORAN e PARKIN, 1994; KARLEN *et al.*, 1997). A maioria das ideias em relação à QS está centrada na identificação de um índice capaz de servir como indicador de qualidade do solo (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

Segundo Doran e Parkin (1994), que foram pioneiros na busca de um Índice de qualidade do Solo (IQS), um bom índice deve identificar um conjunto de propriedades do solo, de acordo com os seguintes critérios: correlacionar-se com os processos naturais do ecossistema; integrar propriedades físicas, químicas e biológicas do solo; ser acessível a muitos usuários e aplicável a condições de campo; ser sensível a variações de manejo e de clima ao longo do tempo; e, quando possível, fazer uso de um banco de dados já existente. Dessa forma, tais autores propuseram um conjunto básico de indicadores de ordem física, química e biológica do solo.

Indicadores de qualidade do solo são propriedades mensuráveis do solo ou da planta acerca de um processo ou atividade e que permitem caracterizar, avaliar e acompanhar as alterações ocorridas em um determinado ecossistema (ARAÚJO *et al.*, 2012). A seleção de indicadores é fundamental para a avaliação da qualidade do solo. Estes referem-se a atributos que influenciam a capacidade do solo para cumprir suas funções ambientais, tal como a produção de culturas (FERNANDES, 2019). A escolha de alguns indicadores depende da finalidade a que se propõe a utilização de determinado solo. Escolher também apenas uma propriedade específica como indicador de qualidade do solo pode não ser muito adequado e isso também varia de acordo com as características intrínsecas de cada ambiente (ARAÚJO *et al.*, 2012).

Segundo Arshad e Martin (2002), os principais atributos mensuráveis do solo que são usados são: profundidade do solo, matéria orgânica, agregação, densidade, textura, infiltração, disponibilidade de nutrientes e capacidade de retenção. Ainda de acordo com os mesmos autores, é necessário um número mínimo de indicadores, ou seja, um conjunto mínimo de dados, que precisa ser medido para averiguar as mudanças na qualidade do solo resultantes de diferentes sistemas de manejo.

2.3 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

A qualidade física do solo agrícola refere-se principalmente à resistência do solo e às características de transmissão e armazenamento de fluidos na zona da raiz da cultura. Dessa forma, é considerado um solo com boa qualidade física aquele que é resistente o suficiente para manter uma boa estrutura, sustentar as plantações e resistir à erosão e compactação, mas, também fraco o suficiente para permitir o crescimento radicular e o desenvolvimento da flora e da fauna do solo. Além disso, deve apresentar as proporções corretas de água, nutrientes dissolvidos e ar para o desempenho máximo das culturas e mínima degradação ambiental (TOPP *et al.*, 1997).

As propriedades físicas e os processos do solo estão envolvidas no suporte ao crescimento radicular, armazenagem e suprimento de água e nutrientes, trocas gasosas e atividade biológica (ARSHAD *et al.*, 1996). Comumente, os principais indicadores físicos utilizados e recomendados são textura, profundidade, densidade do solo, resistência à penetração, porosidade, capacidade de retenção de água, condutividade hidráulica e estabilidade de agregados (ARAÚJO *et al.*, 2002).

De acordo com Singer e Ewing (2000), os atributos mais empregados como indicadores de qualidade física do solo são aqueles que consideram a profundidade efetiva de enraizamento, porosidade total, distribuição e tamanho dos poros, distribuição do tamanho das partículas, densidade do solo, resistência do solo à penetração das raízes, intervalo hídrico ótimo, índice de compressão e estabilidade dos agregados.

2.3.1 Densidade e Porosidade do solo

Dentre as propriedades físicas do solo utilizadas, a densidade é a mais estudada e monitorada. A variação nos valores da densidade do solo, em sua maior parte, é proveniente das diferenças no volume total de poros, de modo que densidade e porosidade se correlacionam (FERREIRA; TAVARES FILHO; FERREIRA, 2010). Os atributos densidade e porosidade do solo têm sido amplamente utilizados como indicadores da qualidade do solo. Isso é justificável, pois são propriedades dinâmicas, passíveis ao uso e de fácil determinação, estando relacionadas, à compactação e à relativa restrição ao crescimento radicular (ARSHAD *et al.*, 1996).

A densidade do solo é definida como a relação entre a massa e o volume ocupado. O aumento da densidade é caracterizado pela diminuição dos espaços porosos em função da aplicação de força externa e, dessa forma, a penetração de raízes no solo se torna mais

onerosa, sendo assim um indicador sensível a variações de acordo com o manejo adotado (MOTA *et al.*, 2013). De maneira geral, o valor de $1,40 \text{ g cm}^{-3}$ é aceito como limite crítico, que aumenta com o decréscimo do teor de argila do solo (SOUZA; CARNEIRO; PAULINO, 2005).

Segundo Kiehl (1979), a densidade do solo deve permanecer no intervalo entre 1,1 a $1,6 \text{ Mg m}^{-3}$ em solos minerais e em solos de textura arenosa esses valores podem apresentar-se superiores a $1,6 \text{ Mg m}^{-3}$. Entretanto, não existe consenso sobre um valor específico para densidade, visto que, cada tipo de solo apresenta sua particularidade (CARVALHO; GOEDERT; ARMANDO, 2004).

A densidade é a propriedade física mais dinâmica e varia em função da textura, de acordo com as condições estruturais do solo e é modificada pelo tipo de cultivo, pela utilização e compressão de máquinas agrícolas, por animais e condições do meio ambiente (ARSHAD *et al.*, 1996). Tal afirmação é reforçada por Santos *et al.* (2011a), pois à medida em que se intensifica o uso agrícola os atributos físico-hídricos do solo sofrem alterações, o que compromete o desenvolvimento das plantas, e isso, pode ser observado quando os sistemas de uso da terra são comparados com o estado do solo ainda sob vegetação natural.

Alguns processos, como a compactação, podem também alterar a estrutura do solo. Consequentemente, algumas propriedades são transformadas, resultando no aumento da densidade, redução da porosidade e permeabilidade (ar e água) e ainda, alteram o padrão de crescimento das raízes (BATEY e MCKENZIE, 2006).

De modo geral, as propriedades do solo estão sempre interligadas, de maneira similar ocorre com a porosidade do solo, que é diretamente influenciada com a textura e com as estruturas do solo, tendo uma grande influência sobre a drenagem, a retenção do perfil e também com a aeração (CARMO *et al.*, 2018).

Geralmente, a porosidade total é calculada a partir das medidas de densidade do solo (KAY; VANDENBYGAART, 2002). Algumas alterações ocasionadas na porosidade do solo, modificam as taxas de trocas gasosas e alteram a disponibilidade de água para as culturas (FERREIRA; TAVARES FILHO; FERREIRA, 2010). Quando a estrutura do solo é afetada, ocorre as modificações no arranjo de suas partículas, e consequentemente, gera redução no tamanho dos poros, principalmente nos macroporos. Tal mudança leva à redução na área da seção transversal para o fluxo de água, o que dificulta o movimento do fluido, afetando com isso o processo de infiltração (ALVES; SUZUKI; SUZUKI, 2007).

A porosidade total é a soma dos macroporos e microporos do solo. A presença de macroporos no solo é fundamental, visto que, esses estão relacionados com processos vitais

para as plantas. A diminuição da macroporosidade reflete na porosidade total e no aumento de densidade de solo (SPERA *et al.*, 2006). A maioria das raízes podem crescer com macroporosidade acima de 10 % (KLEIN; LIBARDI, 2002). O armazenamento de água é comprometido com reduções acentuadas de microporosidade, porém, seu aumento pode indicar compactação do solo, quando associado à diminuição da macroporosidade (FONSECA *et al.*, 2007). Dessa forma, é considerado um solo ideal aquele que apresenta proporção de macro:microporos de 1:2, garantindo melhor aeração, permeabilidade e armazenamento de água (FERREIRA; TAVARES FILHO; FERREIRA, 2010).

Estudar a porosidade total do solo auxilia na compreensão de como a manutenção de solos agriculturáveis funcionam. Como exemplo, entender como a passagem de máquinas pesadas compacta e reduz a porosidade do solo, além disso, ajuda na realização de balanços hídricos, pois a porosidade influencia diretamente na infiltração de água no solo (SILVA, 2020).

2.3.2 Textura do solo

Outra propriedade física do solo que é bastante utilizada como indicador de qualidade e produtividade é a textura (CENTENO *et al.*, 2017). A textura representa as proporções das frações areia, argila e silte do solo. Para quantificação de tal propriedade, é necessário realizar algumas etapas laboratoriais como pré-tratamentos, dispersão da amostra e separação e quantificação das frações texturais (MAURI *et al.*, 2011).

Ainda de acordo com os mesmos autores, a textura apresenta aplicações no uso e manejo dos solos. Dessa forma, contribuindo para o melhor aproveitamento da água em sistemas produtivos, nos estudos de gênese e classificação de solos, em muitas práticas agrícolas como fertilização e correção do solo, no desenvolvimento e rendimento das culturas, além de ajudar na avaliação do comportamento de nutrientes e poluentes no solo. Todas essas afirmativas, justificam a importância de estudar e compreender esse atributo físico do solo.

2.3.3 Estabilidade dos Agregados

A estrutura do solo é uma propriedade que sofre modificações de acordo com o manejo adotado e pode ser determinada segundo as variáveis de estabilidade dos agregados, tamanhos e formas que podem estar presentes no solo. A cobertura vegetal e o manejo convencional, com grande uso de máquinas agrícolas, podem provocar alterações nas

características estruturais do solo e desfavorecer os processos de infiltração, qualidade e disponibilidade de água e ar para as plantas e animais (PANACHUKI *et al.*, 2011).

Segundo Bronick e Lal (2005), a estrutura do solo refere-se ao tamanho e ao padrão de agrupamento das partículas primárias (areia, silte e argila) e poros do solo, e como esses estão organizados. Dessa forma, a interação entre fatores ambientais, de manejo do solo, influência da planta e algumas propriedades do solo, tais como composição mineral, massa textural, carbono orgânico do solo, processos pedogenéticos, atividade microbiana, capacidade de troca de cátions, reserva nutricional e disponibilidade de água, resulta na agregação do solo que, por sua vez, é frequentemente conhecida como estabilidade de agregados.

De acordo com Kemper e Rosenau (1986) um agregado é um grupo de partículas primárias que aderem umas às outras mais fortemente do que outras partículas do solo. A maioria das partículas adjacentes se aderem a um determinado grau. Entretanto, a desintegração da massa do solo em agregados requer a imposição de uma força de ruptura. Dessa forma, a estabilidade dos agregados é uma função das forças coesivas entre as partículas de resistir à força disruptiva aplicada.

Os agregados do solo são classificados em dois grupos, os microagregados (aqueles que possuem o tamanho menor que 250 μm) e os macroagregados (os superiores a esse valor), dessa forma, são divididos de acordo com o tamanho: menores que 2 μm , de 2 a 20 μm , de 20 a 250 μm , de 250 a 2 mm e maiores que 2 mm (TISDALL; OADES, 1982).

O aumento da estabilidade de agregados, ou seja, agregados maiores e mais pesados, conferem uma melhor estruturação do solo, fornecida através dos espaços porosos, que possibilita melhor desenvolvimento das raízes das plantas, da fauna do solo, além de contribuir com o fluxo de água e ar (SALTON *et al.*, 2008). Em contrapartida, a má agregação do solo resulta na diminuição das condições favoráveis ao desenvolvimento das plantas aumenta a susceptibilidade do solo à erosão hídrica. Mas, o manejo adequado do solo, como por exemplo rotação de cultura e uso consciente de máquinas agrícolas, reduz esses problemas e age com o intuito de melhorar a estabilidade de agregados (COUTINHO *et al.*, 2010).

Para fins de determinação, o diâmetro médio ponderado (DMP), que está diretamente relacionado à percentagem de agregados maiores, diâmetro médio geométrico (DMG), que representa a estimativa do tamanho da classe de agregados de maior ocorrência e o índice de estabilidade dos agregados (IEA), que representa uma medida da agregação total do solo sem considerar a distribuição de agregados por classes de tamanho, são os parâmetros mais utilizados para avaliar o tamanho dos agregados e do estado de agregação do solo. Os três

índices são suficientes para monitorar características físicas, químicas e biológicas do solo, apesar de existirem outros métodos para tais determinações (CASTRO FILHO; MUZILLI; PODANOSCHI, 1998).

2.3.4 Resistência do solo à penetração radicular

A resistência do solo à penetração (RSP) é um bom indicador de qualidade física, a qual vem sendo amplamente empregado para avaliar sistemas de usos e qualidade de operações agrícolas. É um atributo eficaz na determinação da qualidade do solo por se tratar de uma propriedade diretamente relacionada ao crescimento das plantas, além da facilidade na determinação (CARVALHO *et al.*, 2006).

A resistência à penetração refere-se à compactação do solo e é capaz de justificar o motivo pelo qual as plantas encontram caminhos difíceis para se desenvolver (SILVA *et al.*, 2020). Esse conceito é reforçado de acordo com Llanillo (2006), que retrata que a RSP expressa o grau de compactação, e evidentemente, determina quão facilmente as raízes penetram o solo.

A compactação é um processo consequente de práticas agrícolas inadequadas. Isso causa a degradação dos solos, através da mudança estrutural, ou seja, o rearranjo das partículas do solo e, conseqüentemente, promove o aumento da densidade e redução da porosidade total e da macroporosidade (STONE *et al.*, 2002). Ideia semelhante é observada segundo Collares *et al.* (2006), ao afirmarem que a compactação gera o aumento da densidade do solo, da resistência do solo à penetração radicular e redução da macroporosidade ou porosidade de aeração do solo.

O tráfego de máquinas agrícolas é a principal causa da compactação do solo, porém, o grau de compactação varia de acordo com o tipo de solo e com a espécie cultivada. Dessa forma, o aumento da resistência à penetração e, conseqüentemente da compactação, ocasiona modificações morfológicas e fisiológicas específicas em cada cultivar (RICHART *et al.*, 2005).

De acordo com Cortez *et al.* (2014) a RSP pode ser modificada de acordo com o sistema de manejo adotado, ou seja, está relacionada com o preparo do solo. Segundo Carvalho *et al.* (2010), o sistema convencional de preparo do solo, quando utilizado a longo prazo, resulta na formação de camadas compactadas, além de expor o solo a diferentes formas de erosão.

Contudo, é importante determinar a resistência do solo à penetração, pois esse atributo interfere no crescimento das raízes, no fluxo, transporte e retenção de água e nutrientes, além de ser importante para o manejo de áreas, na determinação da qualidade e na classificação dos solos (SILVA *et al.*, 2020).

2.4 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Avaliar os indicadores químicos do solo é de grande importância tanto em estudos agronômicos, quanto ambientais. Comumente, são agrupados em quatro classes: a) aqueles que indicam o comportamento do solo; b) aqueles que indicam a resistência do solo à troca de cátions; c) aqueles inerentes às necessidades nutricionais das culturas e d) aqueles que indicam a contaminação do solo (LIRA *et al.*, 2012). Geralmente, esses estão ligados às variáveis relacionadas com o teor de matéria orgânica do solo, o conteúdo de nutrientes, acidez do solo, elementos fitotóxicos e determinadas relações como a saturação de bases (V%) e de alumínio (m) (ARAÚJO *et al.*, 2012).

De acordo com Kelly *et al.* (2009), os atributos químicos do solo estão correlacionados com a capacidade de fornecer nutrientes às plantas e/ou reter elementos químicos que comprometem de forma negativa o meio ambiente e o desenvolvimento das culturas. O pH do solo, a capacidade de troca catiônica (CTC), a matéria orgânica e os níveis de nutrientes (macro e micronutrientes) são os indicadores químicos mais empregados, principalmente quando se considera a capacidade do solo para suportar culturas de grande rendimento.

O pH do solo é um parâmetro de grande importância, principalmente para os solos das regiões tropicais. A maioria dos solos brasileiros são naturalmente ácidos, e, como principal consequência disso, é observada a presença de alumínio e manganês em quantidades tóxicas para as culturas. Associada a elevada saturação por alumínio, ocorre deficiência de cálcio e magnésio. Dessa forma, tal situação limita o desenvolvimento das raízes, principalmente em camadas mais profundas, o que compromete a absorção de água e nutrientes (MELLONI *et al.*, 2008).

Diversos trabalhos demonstram a importância da qualidade química do solo. Medidas que expressam a disponibilidade de nutrientes, como cálcio e magnésio trocáveis, fósforo, potássio, micronutrientes, assim como suas relações são importantes para avaliar qualidade de solo entre diferentes sistemas de manejos (ARAÚJO, 2012).

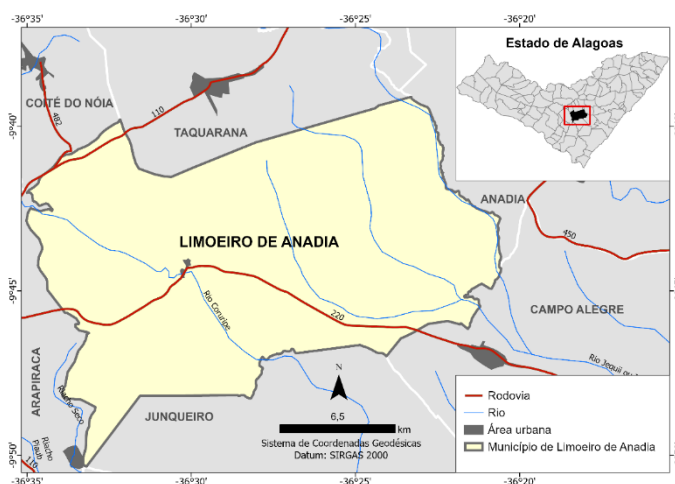
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

Trata-se de uma pesquisa experimental que foi realizado na região Nordeste do Brasil, na fazenda São João, no município de Limoeiro de Anadia – AL. Foram escolhidas quatro áreas (1 hectare cada) em locais estratégicos, ou seja, áreas adjacentes de cana-de-açúcar (A), milho (B), pastagem (C) e mata nativa (D). As coordenadas geográficas para cada área de estudo foi a seguinte: (A) Latitude $9^{\circ}40'589''\text{S}$ e Longitude $36^{\circ}25'464'\text{W}$ com altitude de 145m; (B) Latitude $9^{\circ}40'621''\text{S}$ e Longitude $36^{\circ}25'43'\text{W}$ com altitude de 239m; (C) Latitude $9^{\circ}40'225''\text{S}$ e Longitude $36^{\circ}25'730'\text{W}$ com altitude de 169m e (D) Latitude $9^{\circ}40'220''\text{S}$ e Longitude $36^{\circ}25'693'\text{W}$ com altitude de 173m.

O município de Limoeiro de Anadia está localizado na região central do Estado de Alagoas, limitando-se a norte com os municípios de Taquarana e Coité do Nóia, a sul com Junqueiro, a leste com Campo Alegre e Anadia e a oeste com Arapiraca (Figura 1). De acordo com a classificação climática de Koppen, a área estudada apresenta clima do tipo **As'**, ou seja, tropical e quente com chuvas de outono/inverno (meses de junho, julho e agosto) com precipitação pluviométrica média anual entre 900 mm a 1200 mm e temperatura média anual entre 24 a 26°C . O Estado de Alagoas tem como principais características climáticas as irregularidades da precipitação pluviométrica e pouca variação sazonal da radiação solar, do fotoperíodo e da temperatura do ar (LYRA; OLIVEIRA-JÚNIOR e ZERI, 2014).

Figura 1 - Localização geográfica do local de estudo no nordeste do Brasil.



Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/territorio#/N6/2704203>. Acesso em: 10 set. 2021. Adaptado (2021).

3.2 HISTÓRICO DAS ÁREAS

A pastagem é cultivada com *Brachiaria decumbens* implantada em 2016, anteriormente era mata nativa, com adubação anual de 80 kg de N por hectare. O cultivo da cana-de-açúcar foi instalado há mais de 20 anos, com renovação feita a cada cinco anos. A cultivar utilizada é a RB92-579 em sistema de preparo convencional (SPC), com a utilização de herbicidas para reduzir a infestação com plantas invasoras. O cultivo do milho foi instalado em 2018, antes a área era cultivada com cana-de-açúcar. A cultivar utilizada é a LG36790 com sistema de plantio direto (SPD). O preparo do solo foi realizado apenas no primeiro ano, com a implantação da cultura, com a correção do solo (aplicação de calcário) e utilização da grade. A adubação foi realizada em sulcos com 450 kg de Super Fosfato Simples por hectare na fundação, 200 kg de cloreto de potássio e 350 kg de uréia, dividindo-se em duas aplicações.

3.3 AMOSTRAGEM E COLETA DE SOLO

A coleta do solo foi realizada em agosto de 2020 nas camadas de 0,0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m. As amostras de solo foram coletadas com trado holandês, para as análises químicas, e com o auxílio de enxada e anel volumétrico para as análises físicas. A amostragem para cada local de uso da terra constituiu-se de 12 pontos amostrais (distanciados 25 m entre si) em três profundidades, totalizando 36 sub amostras para cada tratamento e 144 amostras no total. Na área de vegetação nativa, foi evitada a amostragem próximo a formigueiros, ninhos e árvores grandes. Em seguida, as amostras foram encaminhadas ao laboratório para as respectivas análises físicas e químicas.

3.4 ANÁLISES FÍSICAS

3.4.1 Densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total

Para análise de densidade do solo (D_s) foram coletadas amostras indeformadas com o auxílio de anéis volumétricos (50 mm de diâmetro por 100 mm de altura) nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30 cm. A densidade do solo foi obtida dividindo-se a massa de solo, seco em estufa a 105°C por 48hs ou até peso constante, pelo volume do anel. A densidade de partículas (D_p) foi obtida após a pesagem do solo seco, na qual, retirou-se uma sub amostra do solo contido no anel volumétrico. A metodologia utilizada foi a do balão volumétrico (TEIXEIRA, 2017),

a qual visa determinar o volume de álcool gasto para completar a capacidade de um balão, contendo uma amostra de terra fina seca em estufa (TFSE). Já a obtenção da porosidade total (Pt) do solo foi calculada através da relação existente entre densidade do solo e densidade de partículas ($Pt = 1 - (Ds / Dp)$).

3.4.2 Estabilidade de agregados

Foram coletados monólitos de solo das camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm, nos quais se utilizou o método descrito por Kemper; Chepil (1965), com alterações propostas por Carpenedo; Mielniczuk (1990) e Silva; Mielniczuk (1997), que utiliza um aparelho de oscilação vertical. Para cada uso da terra foi utilizado cinco repetições para cada profundidade do solo citada. Foram colocados 50 g de cada amostra na peneira superior de um jogo de peneiras com abertura de malhas de 2,0, 1,0, 0,5, 0,25 e 0,106 mm. O nível de água no aparelho foi ajustado na posição mais alta das peneiras, para que a água cobrisse apenas o fundo da peneira de 2 mm. O aparelho foi ligado durante 10 minutos e a massa do material retido em cada peneira foi separado e seco em estufa a 105°C e depois pesado. Os valores obtidos nos peneiramentos foram usados para cálculo do Diâmetro Médio Ponderado (DMP), Diâmetro Médio Geométrico (DMG) e Índice de Estabilidade de agregados (IEA).

O DMP foi obtido através da equação (1), $DMP = \sum_{i=1}^n (x_i \cdot w_i)$, em que w_i = proporção (%) de cada classe em relação ao total; e x_i = diâmetro médio das classes, expresso em mm. O IEA foi obtido pela equação (2) $IEA = [PAS - wp_{25} - (areia/PAS) - areia] \times 100$, em que: wp_{25} é a massa de matéria seca dos agregados da classe < 0,25 mm e PAS é a massa da amostra seca. O DMG foi obtido através da equação (3) proposta por Castro Filho *et al.*, (1998), no qual o $DMG = \exp (\sum PA_i \cdot \ln DMCi / \sum PTA_i)$, em que $\sum PA_i$ = Peso de agregado de cada classe (g) $\ln DMCi$ = Logaritmo natural do diâmetro médio da classe e $\sum PTA_i$ = Peso Total da Amostra (g).

3.4.3 Textura do Solo

Para análise de textura do solo, as amostras foram secas ao ar (TFSA), destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de diâmetro. As frações granulométricas (areia, silte e argila) foram determinadas pelo método do densímetro de Boyoucos utilizando o método do densímetro, que se baseia na velocidade de queda das partículas que compõem o solo de acordo com a metodologia preconizada pela Embrapa (1997).

3.4.4 Resistência à penetração

A avaliação de resistência mecânica do solo à penetração radicular foi realizada com o penetrômetro de impacto (STOLF *et al.*, 2014) em profundidades de 0 a 60 cm. Em cada uso da terra foram realizados 12 pontos de amostragem (área de 1 hectare para cada tratamento). Os dados de campo foram registrados em número de impactos (n), depois processados na equação: $R \text{ (kgf cm}^{-2}\text{)} = 5,6 + 6,98 \cdot n$ (SENE *et al.*, 1985) e multiplicados por 0,098 para atingir a unidade MPa (ARSHAD *et al.*, 1996).

3.5 ANÁLISES QUÍMICAS

Em torno de cada ponto de amostragem, amostras compostas por 12 sub amostras foram coletadas usando um trado holandês, em três profundidades: 0-10, 10-20 e 20-30 cm. As amostras foram secas em temperatura ambiente até peso constante, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de diâmetro para obtenção da TFSA para a extração dos nutrientes.

Os nutrientes cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e Alumínio (Al^{3+}) trocável foram extraídos com solução de cloreto de potássio (KCl) na concentração de 1 mol L^{-1} . A extração da acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) do solo foi realizada com acetato de cálcio tamponado a pH 7,0 e determinação volumétrica com solução de hidróxido de sódio (NaOH) em presença de fenolftaleína como indicador. O potássio (K), sódio (Na) e fósforo (P), foram extraídos pela metodologia Mehlich-1 e as leituras realizadas em fotômetro de chamas e espectrofotômetro, respectivamente. A medição do potencial hidrogeniônico (pH) foi encontrada por meio da leitura em eletrodo de vidro, após a adição e repouso de 10 ml de solo misturado a 10 ml de água destilada. Todos os procedimentos foram seguidos conforme Teixeira (2017).

A capacidade de troca de cátions total ($\text{CTC}_{\text{total}}$) foi calculada pela soma dos cátions trocáveis (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$). A saturação por bases (V) representa a proporção (%) da $\text{CTC}_{\text{total}}$ ocupada por bases trocáveis (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}). A saturação por alumínio (m) representa uma proporção (%) da $\text{CTC}_{\text{total}}$ (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+}) ocupada pelo Al^{3+} . A saturação por sódio (Na^+) representa a proporção (%) de sódio solúvel em relação a $\text{CTC}_{\text{total}}$ do solo.

3.6 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados foram analisados usando o programa Statistical Analysis System - SAS versão livre (2021). Foi realizada a análise multivariada para comparar os diferentes usos da terra entre si. Utilizou-se as análises de componentes principais através do gráfico Biplot (GABRIEL, 1971) e o método de agrupamento utilizado para a construção dos dendrogramas foi o de distância média (UPGMA).

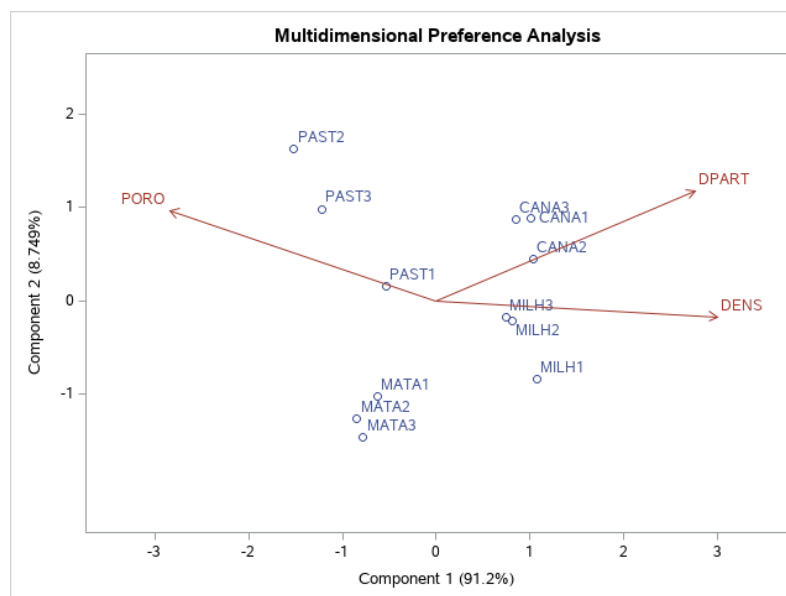
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As interpretações contidas neste trabalho foram realizadas cuidadosamente, visto que, as condições de solo apresentaram-se distintas para algumas áreas. Dessa forma, mesmo estudando áreas próximas não foi possível controlar a variação do tipo de solo nos locais de estudo. Nas áreas com cana-de-açúcar e milho predomina a ordem Argissolo e para as áreas de vegetação nativa e pasto predomina o Latossolo.

4.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

Para densidade do solo e densidade de partículas foram encontrados baixos valores nas áreas com vegetação nativa e pastagem em todas as profundidades analisadas. Como consequência disso, a porosidade total do solo foi maior para esses usos da terra. Em contrapartida, nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar sob sistema de preparo convencional (SPC) do solo e milho sob sistema de plantio direto (SPD), as propriedades de densidade apresentaram-se maiores e para porosidade os menores valores foram observados nas três camadas de solo (figura 2). Isso demonstra que quanto mais intensificado é o uso da terra, maiores serão os valores de densidade do solo e de partículas e menores serão os valores de porosidade, devido ao uso frequente de máquinas pesadas que alteram a estrutura do solo, principalmente no SPC da terra. Tais mudanças na estrutura do solo, modificam as taxas de trocas gasosas e alteram a disponibilidade de água para as plantas (FERREIRA; TAVARES FILHO; FERREIRA, 2010), além de dificultar a penetração das raízes no solo (MOTA *et al.*, 2013).

Figura 2 - Análise de preferência multidimensional em quatro diferentes usos da terra - Pasto, Cana, Mata e Milho. (Densidade do solo – DENS; Densidade de Partículas – DPAR; Porosidade Total – PORO; Os números 1, 2 e 3 correspondem às profundidades estudadas, ou seja, 0-10, 10-20 e 20-30 cm, respectivamente).



Fonte: A autora (2021).

A área com pasto apresentou altos valores de porosidade do solo. Em contrapartida, esse uso da terra apresentou baixos valores de densidade do solo. A área com mata caracterizou-se por apresentar baixos valores de densidade de partículas. Esse resultado já era esperado, pois são áreas nas quais, não são submetidas ao intenso revolvimento do solo e trânsito de equipamentos e máquinas. Viana *et al.* (2011) encontraram resultados semelhantes, pois os menores valores de densidade também se apresentaram nas áreas sob vegetação nativa.

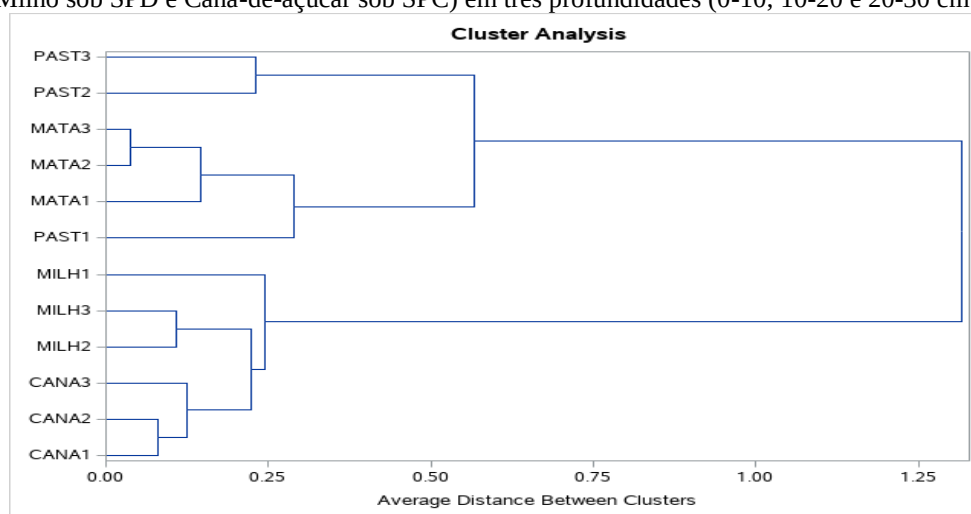
O uso da terra com cana-de-açúcar caracterizou-se por apresentar altos valores de densidade de partículas nas três camadas analisadas. Cherubin *et al.* (2016a), ao estudar a qualidade física do solo em resposta à expansão de cana-de-açúcar na região centro-sul do Brasil, observaram uma diminuição das propriedades físicas do solo em áreas com cana-de-açúcar.

O dendrograma obtido pela análise de agrupamentos é apresentado na figura 3. As áreas de vegetação nativa e pasto são bastante similares entre si e diferem das áreas com milho e cana-de-açúcar (figura 3). Dessa forma, há uma alta similaridade multivariada entre os usos da terra com vegetação nativa e pasto, se observar à distância de 0,75. De maneira análoga, também ocorre com as áreas de milho e cana-de-açúcar. A maior ou menor associação dos grupos formados, deve-se principalmente pelo tipo de solo nas áreas

estudadas. É notável uma alta dissimilaridades entre os dois grupos e isso é evidenciado pela caracterização do solo em cada área.

Custódio *et al.* (2015), ao avaliarem os indicadores de qualidade física de um latossolo amarelo sob diferentes manejos de pastagens e mata nativa também não encontraram diferença significativa para densidade do solo entre os usos da terra com pasto e mata, o que corrobora com os resultados apresentados.

Figura 3 - Densidade do solo, Densidade de Partículas e Porosidade total para diferentes usos da terra (Pasto, Mata, Milho sob SPD e Cana-de-açúcar sob SPC) em três profundidades (0-10; 10-20 e 20-30 cm do solo).

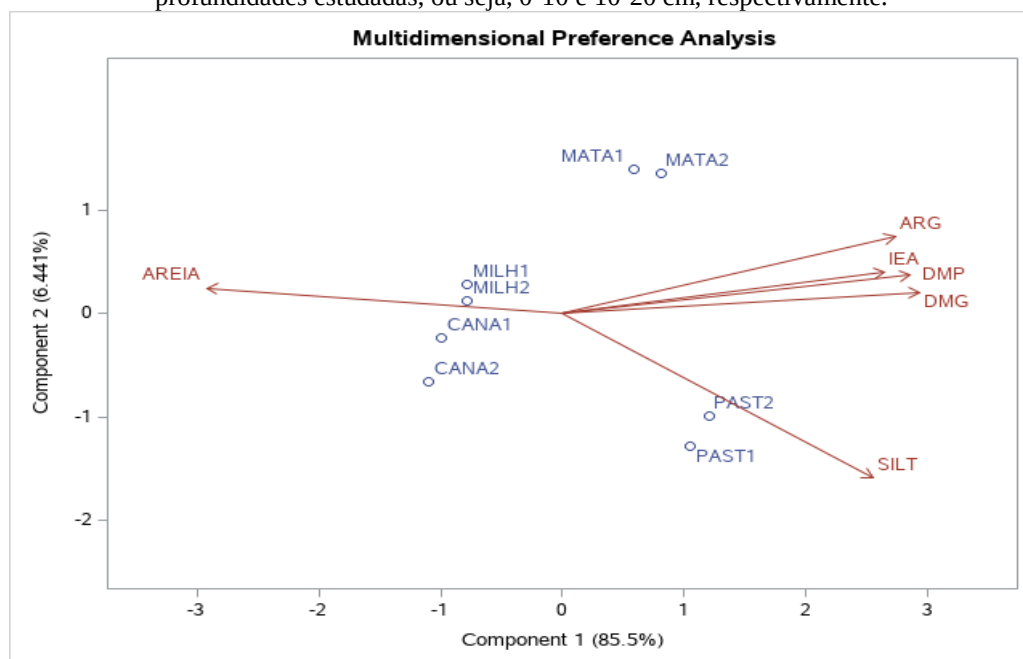


Fonte: A autora (2021).

De modo geral, os resultados reportados neste trabalho, demonstram que ocorre um aumento da densidade do solo e de partículas e uma diminuição da porosidade total do solo quando as áreas de mata nativa são substituídas por uso agrícola, principalmente em áreas com cana-de-açúcar.

Os resultados referentes à estabilidade de agregados e análise granulométrica (areia, silte e argila) são apresentados na figura 4. A área de mata caracterizou-se por apresentar altos valores de Índice de estabilidade de agregados (IEA), diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP) e alto teor de argila nas duas profundidades estudadas. A área com pasto caracterizou-se por apresentar altos teores de silte, mas, baixos valores no teor de areia nas camadas de 0-10 e 10-20 cm do solo. A área com milho sob SPD apresentou alto teor de areia. E a área com cana-de-açúcar sob SPC caracterizou-se por apresentar baixos valores de IEA, DMP e DMG, além de menor teor de argila, apresentando-se inferior aos demais tratamentos.

Figura 4 - Estabilidade de Agregados e Análise granulométrica em quatro diferentes usos da terra - Pasto, Cana, Mata e Milho. (IEA – Índice de estabilidade de agregados; DMP – Diâmetro médio ponderado; DMG – Diâmetro médio geométrico; ARG – Argila; AREIA e SILT – Silte). Os números 1 e 2 correspondem às profundidades estudadas, ou seja, 0-10 e 10-20 cm, respectivamente.



Fonte: A autora (2021).

No preparo convencional do solo, o índice de estabilidade dos agregados (IEA) para as camadas de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m foi menor quando comparados aos demais tratamentos. O segundo menor valor para o IEA foi observado no sistema de plantio direto para as respectivas profundidades do solo. Vale ressaltar que essa área antes era cultivada com cana-de-açúcar sob SPC do solo e o SPD foi adotado há quatro anos, o que pode explicar esse resultado. O uso da terra com pasto apresentou os maiores valores de IEA para as duas camadas analisadas e não diferiu estatisticamente da área com mata nativa. O pasto foi submetido à boas condições de manejo do solo e a área estava em pousio, ou seja, sem lotação de animais no momento da coleta do solo e isso, contribuiu para os resultados positivos encontrados.

Resultados semelhante a estes, foram encontrados por Konradt *et al.* (2015), ao analisar a estabilidade de agregados de um latossolo vermelho sob diferentes usos da terra. Nesse trabalho, o IEA também foi menor em área de cultivo de cana-de-açúcar nas duas camadas avaliadas (0-10 e 10-20 cm do solo) com 82,60% e 81,59%, respectivamente. Wendling *et al.* (2005) ao estudar o carbono orgânico e a estabilidade de agregados de um latossolo vermelho em diferentes usos da terra em Minas Gerais, observaram uma redução no índice de estabilidade de agregados nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar, sob sistema de

preparo convencional do solo, em todas as profundidades analisadas. E para área de vegetação nativa, os valores apresentaram-se superiores aos demais tratamentos.

No trabalho intitulado como análise da estabilidade de agregados de solos da microbacia do Ribeirão São Domingos, Santa Cruz do Rio Pardo – SP, sob diferentes tipos de uso e ocupação, Demarchi, Perusi e Piroli (2011), demonstraram que o uso da terra com pastagem e vegetação nativa apresentaram os maiores valores de DMP (4,121 e 3,434 mm), DMG (2,961 e 2,039 mm) e IEA (79,72 e 63,72%), respectivamente, quando comparados aos usos com cultivo de cana-de-açúcar, soja em rotação com culturas de inverno e solo urbano. Nas áreas com pastagem e vegetação nativa, um dos principais fatores responsáveis pela elevada estabilidade dos agregados é o teor elevado de argila nas duas camadas de solo, quando comparado aos demais usos da terra (tabela 1). A textura do solo para ambos os tratamentos foi classificada como franco argilo arenosa na primeira camada (apresentando os maiores percentuais de argila com 29,0 e 32,17%) e franco argilo arenosa e argilo arenosa na segunda camada para as áreas de pasto com percentual de argila de 34,50% e mata com 38,54% (tabela 1). Vezzani e Mielniczuk (2011) afirmaram que um maior teor da fração argila favorece a aproximação das partículas do solo, devido à presença de cargas elétricas em maiores quantidades e isso contribui positivamente na agregação do solo.

Segundo Bronick e Lal (2005), em solos tropicais, os teores de óxidos de Fe e Al associados à argila caulinita desempenham papel importante como agentes cimentantes. Além disso, a matéria orgânica do solo, bem como a presença de raízes nas áreas de mata, cobertura vegetal densa (que protege o solo contra o impacto das gotas de chuvas e radiação intensa) e ausência da ação antrópica contribui para a estabilização dos agregados.

Em contrapartida, solos arenosos dificultam a proteção física da matéria orgânica, afetando negativamente a formação de agregados (SANTOS *et al.*, 2011), o que foi observado neste trabalho, pois, para as duas camadas estudadas, a classificação textural do solo foi franco arenosa para os usos da terra com cana-de-açúcar e milho, apresentando percentuais acima de 70% de areia e, conseqüentemente baixos valores de DMP, DMG e IEA.

Além disso, em áreas submetidas às práticas intensivas de preparo do solo, pode ocorrer a transformação de compostos minerais, ocasionando a dispersão desses minerais argilosos pela quebra dos agregados do solo (BRONICK; LAL, 2005). Dessa forma, pode haver a redução nos teores da matéria orgânica e, conseqüentemente, na estabilidade de agregados, o que também pode justificar os baixos valores observados em locais sob SPC com o cultivo da cana-de-açúcar e sob SPD com milho.

Os percentuais granulométricos de areia, silte e argila com a classificação textural são apresentados na tabela 1. Os solos com textura franco arenosa possuem estrutura granular, apresentando pouca ou nenhuma coesão entre as partículas. E isso interfere na capacidade de retenção de água, nutrientes e matéria orgânica.

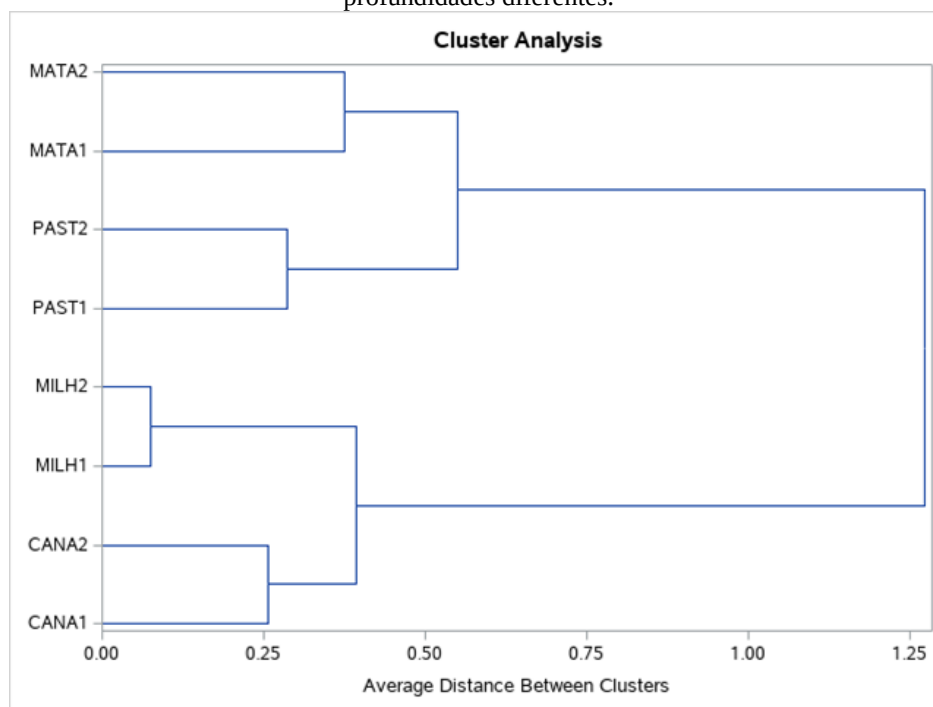
Tabela 1- Percentuais granulométricos do solo em quatro usos da terra (cana-de-açúcar; milho; pasto e vegetação nativa) sob diferentes profundidades do solo.

naturais sob diferentes profundidades do solo.				
Uso da Terra	Areia	Silte	Argila	
	------(%)-----			
Camada do solo 0,0 - 0,10 m				
Cana-de-açúcar	77,54	3,95	18,50	Franco arenoso
Milho	79,79	3,71	16,50	Franco arenoso
Pasto	52,31	18,69	29,00	Franco argilo arenoso
Vegetação Nativa	60,63	7,18	32,17	Franco argilo arenoso
Camada do solo 0,10 - 0,20 m				
Cana-de-açúcar	75,33	5,17	19,50	Franco arenoso
Milho	79,35	4,15	16,50	Franco arenoso
Pasto	46,87	18,63	34,50	Franco argilo arenoso
Vegetação Nativa	52,84	8,62	38,54	Argilo arenoso

Fonte: A autora (2021).

De acordo com a figura 5 é notável a formação de dois grupos se observar um corte no dendrograma à distância de 0,75, ou seja, a diferença de textura do solo pode ser considerada com clareza nas áreas de mata e pasto, apresentando alta similaridade entre si e nas áreas de milho e cana-de-açúcar apresentando-se também similares. Por outro lado, os dois grupos formados apresentaram alta dissimilaridade, devido às características de composição e textura do material analisado.

Figura 5 - Análise granulométrica e Estabilidade de Agregados para quatro diferentes usos da terra em duas profundidades diferentes.



Fonte: A autora (2021).

Quanto a resistência do solo à penetração mecânica, para as áreas com cana-de-açúcar e milho, as camadas mais compactadas se concentraram no intervalo entre 15 a 30 cm de profundidade, com altos valores de resistência, quando comparados às demais camadas do solo (tabela 2, figura 6).

Nas áreas cultivadas com pastagem e mata nativa, as camadas mais profundas foram as mais compactadas, principalmente na profundidade de 60 cm do solo (tabela 2). De modo geral, todos os tratamentos estudados apresentaram altos valores de resistência do solo à penetração radicular e tal resultado deve ser justificado, principalmente, pela diferença textural nas áreas de pasto e mata (textura média) e milho e cana (textura arenosa). Isso justifica os altos valores de R_p nas áreas de pasto e mata, apesar de apresentar baixos valores de densidade do solo e densidade de partículas.

Tabela 2 - Resistência média (MPa) à penetração do solo de doze pontos de amostragem em áreas com diferentes usos da terra no município de Limoeiro de Anadia - AL.

	Cana	Pasto	Milho	Mata
	----- Resistência (MPa) -----			
Profundidade (cm)				
0	1,44	2,26	0,96	1,18
5	2,41	3,33	1,22	1,80
10	2,95	3,25	1,66	2,47
15	3,60	3,10	3,10	2,66
20	3,90	3,09	3,67	2,72
25	3,56	3,16	3,76	2,53
30	3,16	3,31	3,46	2,59
35	3,00	3,54	2,99	3,14
40	2,96	3,81	2,84	3,62
45	2,76	3,93	2,66	4,04
50	2,54	3,87	2,68	3,84
55	2,36	4,35	2,61	3,75
60	2,87	4,87	2,42	4,05

Fonte: A autora (2021).

De acordo com a figura 6, as áreas cultivadas com milho e cana-de-açúcar apresentaram comportamento semelhantes, pois, os maiores valores de resistência à penetração (R_p) encontrados foram obtidos na camada arável do solo. O preparo convencional do solo a longo prazo, pode favorecer a formação de uma densa camada compactada no solo, além de expor o solo a diferentes formas de erosão (CARVALHO *et al.*, 2010). Esse fato foi observado nas áreas com cana-de-açúcar, pois, a partir de 30 cm de profundidade a R_p diminuiu. Na área com milho, apesar de adotar o SPD também foi observada a presença de uma camada compactada na camada arável, porém, isso é justificado pelo pouco tempo de uso desse sistema de preparo do solo. Cortez *et al.* (2014) afirmaram que a R_p pode ser modificada de acordo com o sistema de manejo adotado, ou seja, está relacionada com o preparo do solo, o que foi evidenciado neste trabalho.

Figura 6 - Resistência do solo à penetração mecânica em diferentes usos da terra.



Fonte: A autora (2021).

Os resultados da resistência do solo à penetração, obtidos com o penetrômetro de impacto no trabalho realizado por Tavares Filho *et al.* (2001) foram semelhantes aos apresentados. Esses autores, ao estudarem a resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays* L.) sob diferentes sistemas de manejo em um latossolo roxo, encontraram maior R_p nas camadas de 0,15 a 0,35 m nos sistemas de preparo convencional do solo e plantio direto. Dessa forma, os maiores valores médios de resistência para essa profundidade foram 4,06 MPa no sistema convencional do milho e 3,91 MPa no sistema de plantio direto. Também encontraram valores inferiores de R_p a partir de 0,35 m de profundidade, concordando com os dados aqui obtidos.

No uso da terra com pasto os valores variaram de 2,26 a 4,87 MPa, demonstrando que alguns pontos apresentaram restrições ao crescimento radicular das plantas. Para Imhoff *et al.* (2000), o limite crítico da resistência à penetração para gramíneas é de 2,5 MPa. Com exceção da primeira camada, todas as demais estudadas na área de pasto apresentaram valores superiores a 2,5 MPa. Tais resultados demonstram que, apesar da área estar em pousio, a alta R_p do solo deve-se principalmente ao pisoteio dos animais a longo prazo, compactando camadas e dificultando o desenvolvimento das raízes de *Brachiaria decumbens* no solo. Isso deve-se também pela classificação textural do solo (textura média).

Na área de mata, a R_p variou de 1,18 a 4,05 MPa, sendo encontrados maiores valores nas camadas mais profundas do solo. A acomodação de partículas ao longo dos anos, a grande adição de resíduos e a ausência de preparo da terra podem resultar em maior coesão entre as partículas e agregados do solo, (SOANE, 1990), ocasionando maior R_p nas camadas mais profundas nas áreas de mata, além da alta concentração de raízes mais vigorosas. Por outro

lado, nas camadas de 15 a 30 cm a área com vegetação nativa apresentou valores inferiores de Rp quando comparada aos demais tratamentos (tabela 2). Vale ressaltar também a diferença textural nas áreas de vegetação nativa quando comparada aos demais tratamentos.

Contudo, pode-se observar que os diferentes usos da terra (cana-de-açúcar, milho, pastagem e mata nativa), apresentaram variações nos valores de resistência do solo à penetração radicular. Nas áreas cultivadas com cana e milho devem ser adotadas práticas de manejo a fim de evitar a compactação do solo na camada arável e assim, não comprometer a produtividade das culturas a longo prazo.

4.2 PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO

Todos os valores relatados das propriedades químicas do solo podem ser observados na figura 8, na qual, há uma correlação maior que 80% entre as variáveis. A área de pasto (1º quadrante), caracterizou-se por apresentar altos valores de potássio (quando comparado aos demais tratamentos), alto valor na CTC efetiva, soma de bases e bases trocáveis (cálcio e magnésio) nas três profundidades do solo. O bom manejo do solo nessa área contribuiu para tal resultado, além disso, adubações potássicas eram realizadas na área antes do plantio da gramínea utilizada. Ainda sobre o macronutriente potássio (K), a área com pasto teve maior visibilidade, com valores superiores aos demais usos da terra em todas as profundidades. A inclusão de plantas com sistema de enraizamento intensivo e alta produção de massa seca pode contribuir para a ciclagem de nutrientes (KUMAR *et al.*, 2016). O cultivo com a espécie *Brachiaria decumbens* pode ter contribuído para esse efeito. Torres *et al.* (2008), afirmou que a braquiária é uma gramínea que apresenta grande produção de fitomassa seca e alta taxa de decomposição, resultando numa alta disponibilidade de nutrientes.

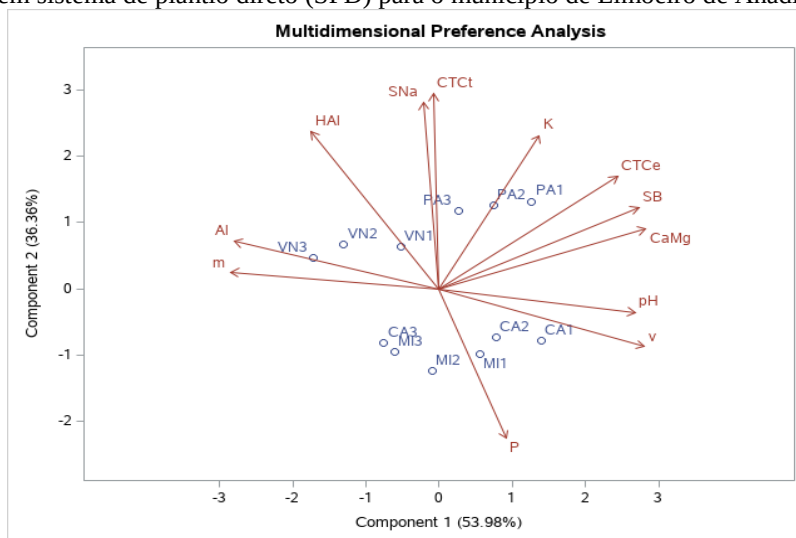
O uso da terra com vegetação nativa (2º quadrante) caracterizou-se por apresentar altos valores de CTC total, saturação por sódio, acidez potencial e saturação por alumínio. Foi notado altos valores de saturação por sódio (SNa) nos tratamentos com vegetação nativa e pasto em todas as camadas. Devido a fatores edafoclimáticos, os sais dissolvidos na solução do solo podem se deslocar ao longo do perfil e se concentrar nas camadas mais profundas do solo (RODRIGUES *et al.*, 2007). Em contrapartida, apresentou baixos valores de fósforo, pH e saturação por bases. Esse tratamento apresentou os menores valores de pH nas três profundidades, apresentando valores inferiores a 4,5, caracterizando um ambiente ácido. Sendo assim, se destacou com valores superiores aos demais usos da terra na acidez potencial do solo, alumínio e saturação por alumínio. Essa acidificação do solo em áreas com vegetação

natural pode ser relacionada com a lixiviação de bases ou pela absorção desses elementos pelas raízes sem sua reposição, o que seria mais evidente em solos com alto grau de intemperização, com quantidade baixa de nutrientes e com baixo tamponamento (ALEXANDER e CRESSE, 1995). Além disso, os solos tropicais são naturalmente ácidos em função das características do seu material parental, necessitando de técnicas de manejo adequadas para controlar a quantidade de alumínio trocável no solo e, como nessa área não há a aplicação de corretivos, esse efeito já era esperado.

No terceiro quadrante pode-se observar altos valores de potássio, CTC efetiva, soma de bases, cálcio e magnésio na área de cana-de-açúcar na terceira profundidade e na área de milho na segunda e terceira profundidade do solo. Os maiores teores de K encontrados na área com milho, deve-se, principalmente, às adubações potássicas realizadas nessa cultura.

No quarto quadrante as áreas de cana-de-açúcar, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm do solo, e milho na camada de 0-10 cm do solo, apresentaram altos valores de pH, saturação por bases e fósforo, quando comparadas aos demais usos da terra. Por outro lado, esses tratamentos caracterizaram-se por apresentar baixos valores de acidez potencial, saturação por sódio, CTC total, teor de alumínio e saturação por alumínio. Esse efeito deve-se, principalmente, pela aplicação de corretivos na camada mais superficial do solo, tornando-o menos ácido, pela adição de bases trocáveis no solo.

Figura 7 - Caracterização química para as camadas 0,0-0,10; 0,10-0,20; e 0,20-0,30 m sob diferentes usos da terra (VN – vegetação nativa; PA – pastagem; CA – cana-de-açúcar em sistema de preparo convencional (SPC) e MI – milho em sistema de plantio direto (SPD) para o município de Limoeiro de Anadia – Alagoas).

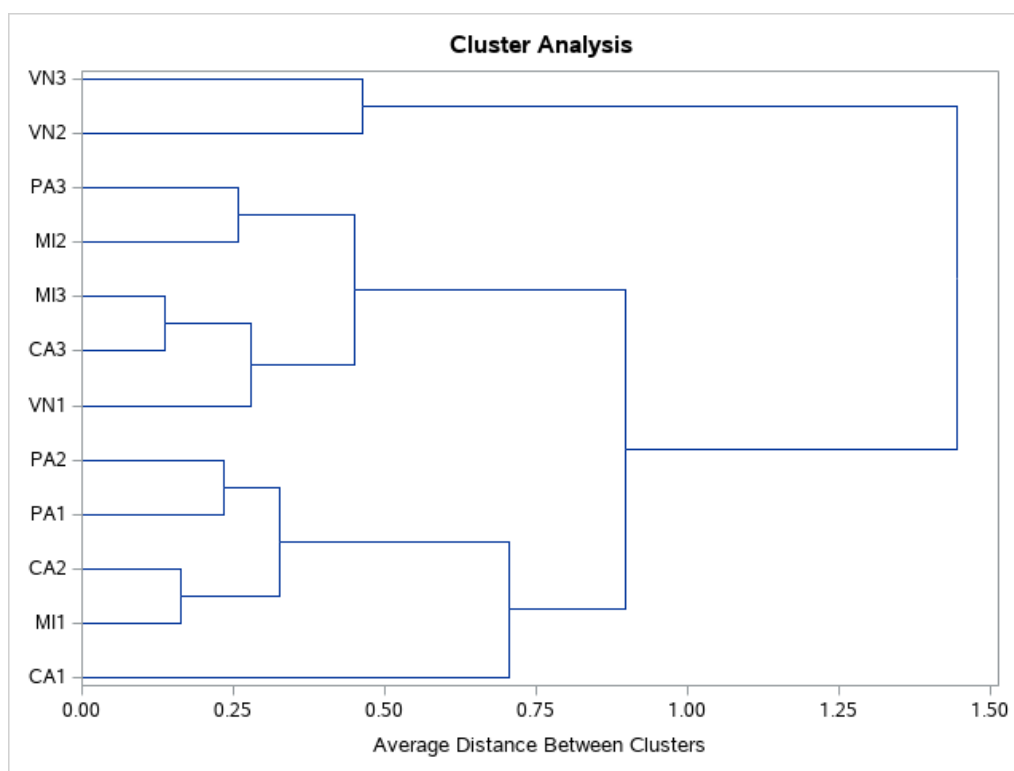


Os valores de saturação por bases (v), por alumínio (m) e sódio (SNa) são apresentados em percentuais. Para alumínio (Al), cálcio e magnésio (Ca+Mg), acidez potencial (H+Al), capacidade de troca catiônica total (CTCt) e (CTCe) e soma de bases (SB) os valores são expressos em cmolc L^{-1} . Para fósforo e potássio as médias são em mg dm^{-3} .

Fonte: A autora (2021).

De acordo com a figura 8, se observar à distância de 0,75 nota-se um corte no dendrograma e a formação de três grupos distintos. O primeiro, formado pelo uso da terra com vegetação nativa nas profundidades 3 e 2, que é caracterizado com altos valores de alumínio, saturação por alumínio e acidez potencial. O segundo, formado pelos tratamentos pasto (na camada 3), milho (nas camadas 2 e 3), cana-de-açúcar (na camada 3) e vegetação nativa (camada 1), que caracteriza-se por apresentar baixos valores de CTC efetiva, soma de bases, cálcio e magnésio. Já o terceiro grupo é composto pelo pasto (camada 2 e 1), cana-de-açúcar (camadas 1 e 2) e milho (camada 1) e caracteriza-se por apresentar boas condições de manejo com altos valores de pH, saturação por bases, potássio e fósforo. Esse último, mostra-se o mais propício ao desenvolvimento das culturas, ou seja, com características químicas do solo adequadas.

Figura 8 - Dendrograma de Análise química do solo em quatro diferentes usos da terra submetidas a três profundidades do solo.



Fonte: A autora (2021).

5 CONCLUSÕES

Os solos quando submetidos aos sistemas agrícolas podem sofrer alterações nos atributos físicos e químicos. Dessa forma, a) a conversão de mata nativa para os usos da terra com pasto, cana-de-açúcar e milho prejudicam as propriedades físicas do solo, principalmente nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar, devido ao preparo do solo com uso intenso de máquinas agrícolas e b) a intensificação da agricultura através do cultivo com cana-de-açúcar, milho e pastagem melhoram os atributos químicos do solo quando comparados às áreas com vegetação nativa, devido à aplicação de corretivos e adubação nas áreas cultivadas, contribuindo para a qualidade do solo.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, C. E.; CRESSE, M. S. An assessment of the possible impact of expansion of native woodland cover on the chemistry of Scottish freshwaters. **Forest Ecology and Management**, v.73, n.1, p.1-27, 1995.
- ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um latossolo vermelho distrófico em recuperação. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 617-625, 2007.
- ARAÚJO, E. A. *et al.* Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Applied Research and Agrotechnology**, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.
- ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. *In*: DORAN, J. W.; JONES, A. J. **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 123-141.
- ARSHAD, M.A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.88, n.2, p.153-160, 2002.
- AZEVEDO, A.C.; DALMOLIN, R.S.D. **Solos e ambiente**: uma introdução. Santa Maria: Pallotti, 2004. 100 p.
- BALOTA, E. L. *et al.* Qualidade do solo em relação à conversão da floresta para cultivo perene ou anual no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1003-1014, 2015.
- BARRETTO, A. G. O. P. *et al.* Intensificação agrícola no Brasil e seus efeitos sobre os padrões de uso da terra: uma análise do período 1975–2006. **Biologia da Mudança Global**, v. 19, n. 6, p. 1804-1815, 2013.
- BATEY, T.; MCKENZIE, D.C. Soil compaction: identification directly in the field. **Soil Use and Management**, v.22, n.2, p.123-131, 2006.
- BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, v. 124, n. 1, p. 3–22, 2005. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 27, n. 2, p. 193-198, 2005.
- BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v.124, n.1, p.3-22, 2005.
- CARMO, M. C. *et al.* Densidade e porosidade do solo em pastagem recuperada e degradada, na amazônia ocidental. **Agrarian academy**, Goiânia: Centro Científico Conhecer, v.5, n.9, 2018.
- CARVALHO, G.J. *et al.* Correlação da produtividade do feijão com a resistência à penetração do solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 45, n.3, p.765-771, 2006.
- CARVALHO, J. L. N., *et al.* Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.277-290, 2010.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1153-1155, 2004.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.527- 538, 1998.

CHERUBIN, M. R. *et al.* Resposta da qualidade física do solo à expansão da cana-de-açúcar no Brasil. **Geoderma**, v. 267, p. 156-168, 2016.

CONAB. **Alagoas mantém liderança como maior produtor de cana do NE**. Recife, PE: CONAB, 2021. Disponível em: www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana. Acesso em: 4 ago. 2021.

CORTEZ, J. W. *et al.* Avaliação da intensidade de tráfego de tratores em alguns atributos físicos de um argissolo amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 3, 2014.

COUTINHO, F. S. *et al.* Estabilidade de agregados e distribuição do carbono em Latossolo sob sistema plantio direto em Uberaba, Minas Gerais. **Comunicata Scientiae**, v. 1, n. 2, p. 100, 2010.

CUSTÓDIO, G. D. *et al.* Densidade do solo e densidade relativa-indicadores da qualidade física de um latossolo amarelo sob diferentes manejos de pastagens e mata nativa. **Campo Digital**, v. 10, n. 1, 2015.

DEXTER, A. R.; CZYŻ, E. A.; GAŹE, O. P. Um método para previsão da resistência do solo à penetração. **Soil and Tillage Research**, v. 93, n. 2, p. 412-419, 2007.

DIAS FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. (Documentos; 402).

DORAN, J. W. *et al.* Defining and assessing soil quality. **Defining Soil Quality for a Sustainable Environment**. Madison, SSSA, v. 35, p.1-20, 1994. Special.

FERREIRA, M. R. R.; TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, V. Martins. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 4, p. 913-932, 2010.

FLIEBBACH, A. *et al.* Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. **Agric. Ecosys. Environ.**, v.118, p.273-284, 2007.

FONSECA, G. C. *et al.* Atributos físicos, químicos e biológicos de latossolo vermelho distrófico de cerrado sob duas rotações de cultura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiás, v. 37, n. 1, p. 22-30. 2007.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**: Tabela 264: Área dos estabelecimentos agropecuários por utilização das terras - série histórica (1970/2006) Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

IBGE. **Censo Agropecuário 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/pesquisa/24/76693>. Acesso em: 6 set. 2021.

IMHOFF, E.; SILVA, A. P. da; TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistencia no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 35, n. 7, p. 1493-1500, jul. 2000.

KARLEN, D. L. *et al.* Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. **Soil Science Society American Journal**, Madison. v. 61, p. 4–10, 1997.

KAY, B. D.; VANDENBYGAART, A. J. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam., v.66, p.107 – 118, 2002.

KELLY, B.; ALLAN, C.; WILSON, B.P.. Soil indicators and their use by farmers in the Billabong Catchment, southern New South Wales. **Australian Journal of Soil Research**, v. 47, p.234-242, 2009.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. **Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods**, v. 5, p. 425-442, 1986.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262 p.

KLEIN, V. A. **Física do solo**. 3. ed. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2014.

KONRADT, E. C. *et al.* Estabilidade de Agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes usos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 35., 2015, Natal, RN. **Anais [...]**. Natal, RN: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. p. 1-4.

KUMAR, Shrvan; GARG, Ashok K .; AULAKH, Milkha S. Efeito de práticas de agricultura de conservação nos atributos físicos, químicos e biológicos da saúde do solo sob rotação soja-colza. **Pesquisa agrícola** , v. 5, n. 2, p. 145-161, 2016.

LIMA, C. M. D. *et al.* A pecuária leiteira no estado de Alagoas. **Diversitas Journal**, v. 2, n. 2, p. 203-211, 2017.

LIRA, Raniere Barbosa *et al.* Efeitos dos sistemas de cultivo e manejo da caatinga através da análise dos indicadores químicos de qualidade do solo na produção agrícola em Apodi, RN. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 3, p. 18-24, 2012.

LYRA, G. B.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; ZERI, M. Cluster analysis applied to the spatial and temporal variability of monthly rainfall in Alagoas state, Northeast of Brazil. **International Journal of Climatology** , v. 34, n. 13, p. 3546-3558, 2014.

MOTA, J. C. A.; FREIRE, A. G.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Qualidade física de um Cambissolo sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 5, p. 1196- 1206, 2013.

OTTO, R.; VITTI, G. C.; LUZ, P. H. C. Manejo da adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1137-1145, 2010.

PANACHUKI, E. *et al.* Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 1777-1785, set. 2011.

POWLSON, David S. *et al.* A agricultura de conservação oferece mitigação das mudanças climáticas por meio do sequestro de carbono do solo em agroecossistemas tropicais?. **Agricultura, Ecosystemas e Meio Ambiente**, v. 220, p. 164-174, 2016.

RICHART, Alfredo *et al.* Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, n. 3, p. 321-343, 2005.

RODRIGUES, J. O. *et al.* Modelos da concentração iônica em águas subterrâneas no Distrito de Irrigação Baixo Acaraú. **Revista ciência Agrônômica**, v.38, n.4, p.360-365, 2007.

RSHAD, M.A.; LOWER, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. **Soil Science Society of America**, v.49, p.123- 141, 1996. Special publication.

SÁ, M. J. C. *et al.* Agricultura de baixo carbono na América do Sul para mitigar as mudanças climáticas globais e aumentar a segurança alimentar. **Environment International** , v. 98, p. 102-112, 2017.

SALTON, J. C. *et al.* Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.1, p.11-21, 2008.

SANTOS, D. C. *et al.* Agregação e frações físicas da matéria orgânica de um Argissolo Vermelho sob sistemas de uso no bioma Pampa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1735-1744, 2011.

SANTOS, G. G. *et al.* Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1339-1348, 2011a.

SEAGRI. **Aumento na produção de grãos no Estado de Alagoas**. Maceió, AL: SEAGRI, 2021. Disponível em: <http://www.agricultura.al.gov.br/sala-de-imprensa/noticias/2020/abril/em-alagoas-seagri-realiza-inicio-da-safra-de-graos>. Acesso em: 24 abr. 2021.

SILVA, A. P. *et al.* Indicadores da qualidade física do solo. In: VAN LIER, Q. de J. (ed.). **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 241-280.

SILVA, A. P. *et al.* Indicadores da qualidade física do solo. In: VAN LIER, Q. de J. (ed.). **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 241-280.

SILVA, O. M. *et al.* Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 47838-47855, 2020.

SINGER, M.; EWING, S. Soil quality. In: SUMNER, M. E. (ed.). **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, 2000. p.271-298.

SOJKA, R. E.; UPCHURCH, D. R. Reservations regarding the soil quality concept; discussion. *Soil Science Society of America Journal*, v. 63, n.5, p.1039-1054, 1999.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos físicos de um neossolo quartzarênico e um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 11, p.1135-1139, 2005.

STEFANOSKI, Diane C. *et al.* Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 1301-1309, 2013.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. L. Penetrômetro de impacto IAA/PLANALSUCAR-STOLF: recomendação para seu uso. **Stab**, v. 1, n. 3, p. 18-23, 1983.

STOLF, Rubismar *et al.* Penetrômetro de impacto stolf - programa computacional de dados em EXCEL-VBA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2014, v. 38, n. pp. 774-782. Epub 23 Jul 2014.

STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: Efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **R. Bras. Eng. Agric. Amb.**, 6:207-212, 2002.

TAVARES FILHO, J. *et al.* Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 725-730, 2001.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 33, n. 1, p. 141-163, 1982.

TORRES, Jose Luiz Rodrigues; PEREIRA, Marcos Gervasio; FABIAN, Adelar José. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 421-428, 2008.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 213-223, 2011.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 743-755, 2009.

VIANA, E. T. *et al.* Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 2105-2114, 2011.

WENDLING, Beno *et al.* Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 487-494, 2005.