

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOLOS E QUALIDADE DE
ECOSSISTEMAS**

**UTILIZAÇÃO DE SOLOS COM PASTAGEM: PROBLEMA OU
SOLUÇÃO?**

DAVI NEY SANTOS

CRUZ DAS ALMAS - BAHIA
FEVEREIRO - 2021

UTILIZAÇÃO DE SOLOS COM PASTAGEM: PROBLEMA OU SOLUÇÃO?

DAVI NEY SANTOS

Engenheiro Agrônomo

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2019

Dissertação submetida ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Solos e Qualidade de Ecossistemas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Solos e Qualidade de Ecossistemas.

ORIENTADOR: DR. JOSÉ MARIA DE LIMA

COORIENTADOR: DR. JÚLIO CÉSAR AZEVEDO NÓBREGA

CRUZ DAS ALMAS – BAHIA

FEVEREIRO DE 2021

FICHA CATALOGRÁFICA

S237u	<p>Santos, Davi Ney. Utilização de solos com pastagem: problema ou solução? / Davi Ney Santos._ Cruz das Almas, Bahia, 2021. 66f.</p> <p>Orientador: José Maria de Lima. Coorientador: Júlio César Azevedo Nóbrega.</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Mestrado em Solos e Qualidade de Ecossistemas.</p> <p>1.Solos – Manejo – Qualidade. 2.Física do solo – Conservação. 3.Pastagens – Análise. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.</p> <p>CDD: 631.4</p>
-------	---

Ficha elaborada pela Biblioteca Central de Cruz das Almas - UFRB.
Responsável pela Elaboração - Antonio Marcos Sarmento das Chagas (Bibliotecário - CRB5 / 1615).
(os dados para catalogação foram enviados pelo usuário via formulário eletrônico).

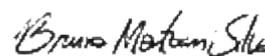
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOLOS E QUALIDADE DE
ECOSISTEMAS**

UTILIZAÇÃO DE SOLOS COM PASTAGEM: PROBLEMA OU SOLUÇÃO?

COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE
DAVI NEY SANTOS



Prof. Dr. José Maria de Lima (Orientador)
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB



Prof. Dr. Bruno Montoani Silva
Universidade Federal de Lavras – UFLA



Prof. Dr. Glenio Guimarães Santos
Universidade Federal de Goiás – UFG

Dissertação homologada pelo Colegiado do Curso de Mestrado em Solos e Qualidade de Ecossistemas em _____, conferindo o Grau de Mestre em Solos e Qualidade de Ecossistemas em _____.

Aos meus queridos pais Florisvaldo e Conceição pelo amor, apoio, dedicação que sempre tiveram por mim, e por todos os ensinamentos sem os quais não poderia ter me tornado a pessoa que sou. Ao meu irmão Alex, pelo companheirismo de sempre e para sempre.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me fortalecido durante cada batalha travada, permitindo que eu chegasse até aqui.

Aos meus pais, que fizeram um sonho se tornar realidade, dando todo apoio, incentivo e amor incondicional.

Ao professor Júlio César Azevedo Nóbrega, por ter acreditado em mim, por ter me ensinado o que é fazer pesquisa através de uma orientação impecável.

Ao Senhor Arivaldo (seu Val), por ter me ensinado “tudo” que sei dentro de um laboratório de Física do solo.

Ao Ailton por todo apoio pessoal e laboratorial prestado ao longo destes anos e por todas as conversas descontraídas.

Ao professor José Maria de Lima, por ter aceitado a missão de me orientar, mesmo com todas as dificuldades, por toda paciência e por ter expandido meus horizontes com ideias inovadoras.

À Raissa, pelo apoio prestado em laboratório durante as análises e pelas conversas descontraídas e aleatórias, as quais permitiram que o trabalho se tornasse mais leve.

À Mariana, pela amizade e por tantas conversas motivacionais, sempre colocando um ar de esperança para as perspectivas futuras.

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, por ter me acolhido desde a graduação.

À CAPES, pela concessão da bolsa durante a vigência do curso, sem a qual este trabalho não poderia ter sido executado.

A todos aqueles que participaram direta ou indiretamente, tornando possível a realização deste trabalho.

Muito obrigado!

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	VIII
ABSTRACT	IX
INTRODUÇÃO GERAL	10
REFERÊNCIAS	13
CAPÍTULO 1	15
Resumo	16
Abstract	17
Introdução	18
Material e métodos	19
Resultados e discussão	25
Conclusão	41
Referências	41
CAPÍTULO 2	46
Resumo	47
Abstract	48
Introdução	49
Material e métodos	51
Resultados e discussão	56
Conclusão	62
Referências	63
CONSIDERAÇÕES FINAIS	65

UTILIZAÇÃO DE SOLOS COM PASTAGEM: PROBLEMA OU SOLUÇÃO?

Autor: Davi Ney Santos

Orientador: Prof. Dr. José Maria de Lima

Coorientador: Prof. Dr. Júlio César Azevedo Nóbrega

RESUMO: O Brasil possui boa parte das suas pastagens em algum estágio de degradação. Desta forma, estudos acerca da qualidade do solo sob pastagens, são importantes para conter o avanço inadequado e propor estratégias de mitigação da degradação destes solos. Atributos como a densidade do solo, porosidade, condutividade hidráulica, resistência à penetração, capacidade de retenção de água e estabilidade de agregados, servem como indicadores da qualidade física do solo. Desta forma, objetivou-se realizar o diagnóstico da qualidade física de uma área de pastagem tendo como referência uma floresta nativa, situadas em encosta de relevo reconhecido como “mar de morros” (Capítulo 1), a partir desse diagnóstico, avaliar a capacidade de espécies florestais em construir, propiciar e preservar a qualidade física do solo, comparando-as com uma área de pastagem (Capítulo 2). O solo da área é um Argissolo Amarelo, localizado em declividade acentuada, sob pastagem e floresta nativa, no qual foram avaliados indicadores físicos de qualidade, além do carbono orgânico. No segundo capítulo, o solo estudado é um Latossolo Amarelo distrocoeso, sob povoamentos florestais e pastagem, tendo sido avaliados atributos físicos e caracterizado o intervalo hídrico ótimo. Para o Argissolo Amarelo (Capítulo 1), a área de pastagem foi dividida em três tratamentos, de acordo com a posição na encosta, e demonstrou a necessidade de atenção quanto ao manejo, principalmente em razão da elevada resistência ao penetrômetro e baixo volume de macroporos. Já no caso do Latossolo Amarelo distrocoeso (Capítulo 2), tanto as espécies florestais quanto a pastagem, se mostraram eficientes maior qualidade física do solo, mantendo os indicadores físicos em níveis ideais, com intervalo hídrico ótimo também adequado ao desenvolvimento radicular, mostrando ser uma alternativa de espécies a serem utilizadas na área declivosa para recuperar a qualidade do Argissolo Amarelo.

PALAVRAS-CHAVE: qualidade do solo; manejo do solo; áreas degradadas; indicadores de qualidade do solo

USE OF SOIL WITH PASTURE: PROBLEM OR SOLUTION?

Author: Davi Ney Santos

Adviser: Prof. Dr. José Maria de Lima

Co-adviser: Prof. Dr. Júlio César Azevedo Nóbrega

ABSTRACT: Brazil has a good part of its pastures in some stage of degradation. Thus, studies on the quality of the soil under pastures are important to avoid and to propose strategies to mitigate degradation of these soils. Attributes such as soil density, porosity, hydraulic conductivity, resistance to penetration, water holding capacity and stability of aggregates, serve as indicators of the physical quality of the soil. In this way, the objective was to carry out the diagnosis of the physical quality of a pasture area having as reference a native forest, located on a hillside recognized as “Mar de Morros” (Chapter 1); based on this diagnosis, to evaluate the capacity of forest species to build, provide and preserve the physical quality of the soil, comparing them with a pasture area (Chapter 2). The soil in Chapter 1 is an Ultisol, located on a steep slope, under pasture and native forest, in which physical quality indicators, in addition to organic carbon, were evaluated. In the second chapter, the studied soil is an Oxisol, under forest stands and pasture, having been evaluated physical attributes and characterized the least limiting water range. For the Ultisol (Chapter 1), the pasture area was divided into three treatments, according to the position on the slope, and demonstrated the need for attention regarding management, mainly due to the high resistance to the penetrometer and low volume of macropores. In the case of the Oxisol (Chapter 2), both forest species and pasture proved to be more efficient in terms of physical quality of the soil, keeping the physical indicators at ideal levels, with the least limiting water range also suitable for root development, showing to be an alternative of species to be used in the sloping area to recover the quality of the Ultisol as well.

KEYWORDS: soil quality; soil management; degraded areas; soil quality

INTRODUÇÃO GERAL

De acordo com Dias-Filho (2014), o Brasil possui 172.3 milhões de ha de áreas de pastagens. Dessas áreas, 50 a 70% apresentam algum estágio de degradação (DIAS-FILHO, 2011). Desta forma, estudos acerca da qualidade do solo sob pastagens são importantes para conter o avanço e propor estratégias de mitigação da degradação destas áreas, pois, além da relevância ambiental, a qualidade dos solos tem importância econômica, por proporcionar condições ideais para o desenvolvimento das culturas, em razão da manutenção dos níveis ideais dos indicadores físicos, químicos e biológicos de qualidade do solo.

O termo qualidade do solo refere-se à capacidade do solo de exercer funções, dentro de um ecossistema natural ou manejado, para manter a produtividade vegetal e animal, além de manter ou melhorar a qualidade da água e do ar, e contribuir para a saúde humana e habitacional (KARLEN et al., 1997).

A qualidade física dos solos como é expressa por meio de vários indicadores, a partir dos quais pode-se estabelecer estratégias, ou manejos, que podem mitigar, quando necessário, ou manter a qualidade. Densidade do solo, porosidade do solo, condutividade hidráulica, resistência à penetração, capacidade de retenção de água e estabilidade de agregados, são atributos indicadores da qualidade do solo (ARAÚJO et al., 2012).

A densidade do solo é afetada pela compactação do solo, causada principalmente pelo pisoteio animal, sobretudo em áreas de pastagem (REICHERT et al., 2007). A ausência de pastejo e a diversidade dos sistemas radiculares, são fatores construtivos da estrutura do solo, que conferem aos solos valores mais baixos de densidade do solo, sobretudo, quando se compara áreas de pastagem com áreas de florestas nativas. Onde estes fatores são demasiadamente impactados pela intervenção antrópica, a superlotação animal e a baixa diversidade dos sistemas radiculares, a qualidade do solo fica comprometida (BRIZZI et al., 2019).

A porosidade do solo, diretamente relacionada à densidade aparente, é outro indicador de qualidade que sofre rápidas modificações com o manejo que é aplicado (FERREIRA, 2010). A macroporosidade é a porção do volume total de poros mais sensível a alterações, o que se deve ao fato de que os macroporos estão localizados entre os agregados, sendo mais vulneráveis a modificações na estrutura do solo.

Segundo Dexter (1988), solos com porosidade de aeração igual ou inferior a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ apresentam limitações ao desenvolvimento das culturas, devido a restrita troca de gases e o deficitário espaço para o crescimento das raízes. Já as espécies florestais desenvolvem sistemas radiculares mais robustos e profundos, sendo extremamente importantes para a criação de bioporos, a partir da decomposição de raízes (SUZUKI et al., 2014).

A condutividade hidráulica apresenta, naturalmente, elevada variabilidade espacial, sendo influenciada por diversos outros atributos, mesmo em curtas distâncias (LEITE et al., 2018). Maiores valores de condutividade hidráulica estão relacionados com a manutenção da estrutura do solo e diversidade da vegetação de cobertura. Práticas de monocultivo são, na maioria das vezes, responsáveis pela redução da atividade biológica e da diversidade radicular. Essa atividade altera de maneira negativa a estrutura do solo, reduzindo, conseqüentemente, a capacidade de conduzir água em seu perfil (LIMA et al., 2014; BEZERRA et al., 2019).

No caso da resistência do solo à penetração, trata-se de um ótimo indicador de qualidade física do solo e, assim como a densidade do solo e a porosidade, é um atributo rapidamente modificado pelo uso e manejo do solo, em razão da inter-relação entre esses fatores.

Tendo em vista o adequado uso e manejo do solo, diversos autores concordam em relação ao limite de resistência à penetração, acima do qual passa a ser limitante ao desenvolvimento dos sistemas radiculares. Este valor está na faixa entre 2,00 e 3,00 MPa, sendo que alguns consideram o valor médio dessa faixa como limitante (2,50 MPa) (CANARACHE, 1990; IMHOFF et al., 2000; LIPIEC & HATANO, 2003; COLOMBI et al., 2018). Menores valores de resistência à penetração propiciam melhor desenvolvimento das culturas, devido à absorção de água e nutrientes mais eficientes.

Um bom parâmetro que expressa o conjunto de fatores que afeta a qualidade dos solos é a estabilidade dos agregados. A estabilidade de agregados pode ser expressa através de diferentes índices, um deles é o diâmetro médio ponderado, para o qual Pereira & Thomaz (2014) atribuíram o valor de referência é de 2,30 mm, como limite, abaixo do qual os solos são mais susceptíveis ao processo erosivo.

Além dos indicadores mencionados, Silva et al. (1994) aplicaram, os pressupostos de Letey (1985), em um novo indicador da qualidade física do solo, conhecido como intervalo hídrico ótimo. Este, combina diversos indicadores físicos

isolados em um único e mais robusto indicador de potencial de desenvolvimento dos sistemas radiculares nos solos. Desta forma, os autores utilizaram limites superior e inferior de disponibilidade de água, para definir este intervalo, em função da densidade e da umidade do solo. A porosidade de aeração e a capacidade de campo compõem o limite superior, enquanto o ponto de murcha permanente e a resistência a penetração definem o limite inferior do intervalo hídrico ótimo.

A recomposição, ou recuperação, de áreas de pastagens degradadas deve, na medida do possível ser feita por meio de reflorestamento com espécies preferencialmente nativas. Entre as espécies mais comuns na região do Recôncavo da Bahia, estão a *Anadenanthera macrocarpa* (Angico-Vermelho) e a *Mimosa caesalpinifolia* (Sabiá), da família das *Fabaceae*, de elevada importância ecológica, capazes de fixar biologicamente nitrogênio, através da associação simbiótica com bactérias diazotróficas (MARQUES, 2004). Adicionar ao solo material orgânico rico em nitrogênio a partir da senescência da parte aérea e raízes, propiciando a ciclagem de nutrientes e do carbono orgânico (SILVA et al., 2020), é fator essencial para a melhoria da qualidade do solo.

Por outro lado, espécies como *Astronium fraxinifolium* (Gonçalo Alves), da família *Anacardiaceae*, desperta grande interesse comercial, por produzir madeira de alta densidade, durabilidade e resistente a injúrias. Por estas razões, houve redução da população dessa espécie devido à exploração comercial feita de forma desordenada. Além da qualidade da madeira, casca e raízes são utilizados para fins medicinais (CALDEIRA JÚNIOR et al., 2009). A utilização do Gonçalo Alves para o reflorestamento, além de trazer benefícios para a qualidade do solo, também promove o aumento populacional desta espécie, auxiliando a preservação da mesma.

Além das espécies florestais, a *Urochloa decumbens*, possui grande potencial para melhoria da qualidade física do solo, principalmente nas camadas superficiais, onde o sistema radicular é mais pronunciado. Trata-se de um sistema radicular fasciculado muito denso (SALTON & TOMAZI, 2014), o que é fundamental para a descompactação do solo, por romper camadas mais densas, à medida que as raízes se desenvolvem, promovendo redução da densidade do solo, aumento da aeração e redução da resistência à penetração.

Assim, objetivou-se com o presente estudo, realizar o diagnóstico da qualidade física de uma área de pastagem, tendo como referência uma floresta nativa adjacente, ambas situadas em terço médio e superior de uma encosta acentuada, em paisagem

conhecida como “Mar de Morros” (Capítulo 1) e, a partir desse primeiro estudo, avaliar a capacidade que espécies florestais em mitigar a degradação de áreas degradadas e construir a qualidade física do solo, comparando-as com uma área de pastagem em área com topografia plana (Capítulo 2).

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.
- BEZERRA, C. B.; SOUZA JUNIOR, A. J.; CORRÊA, M. M.; LIMA, J. R. S.; SANTORO, K. R.; SOUZA, E. S.; OLIVEIRA, C. L. Latossolo húmico sob pastagem com diferentes intensidades de usos: atributos químicos e físico-hídricos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, n. 1, p. 1-9, 2019.
- BRIZZI, R. R.; PORTOCARRERO, H.; COSTA, N. M. C.; SOUZA, A. P.; COSTA, A. J. S. T. Análise das características físico-químicas do horizonte superficial de um Latossolo Amarelo sob pastagem como subsídio à compreensão de processos erosivos no município de Parati-RJ. **Caminhos de Geografia**, v. 20, n. 69, p. 223-236, 2019.
- CALDEIRA JÚNIOR, C. F.; SOUZA, R. A.; SANTOS, A. M.; SAMPAIO, R. A.; MARTINS, E. R. Características químicas do solo e crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott em área degradada adubada com lodo de esgoto e silicato de cálcio. **Revista Ceres**, v. 56, n. 2, p. 213-218, 2009.
- CANARACHE, A. PENETR—a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil and Tillage Research**, v. 16, n. 1-2, p. 51-70, 1990.
- COLOMBI, T.; TORRES, L. C.; WALTER, A.; KELLER, T. Feedbacks between soil penetration resistance, root architecture and water uptake limit water accessibility and crop growth—A vicious circle. **Science of the total environment**, v. 626, p. 1026-1035, 2018.
- DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. **Soil and tillage research**, v. 11, n. 3-4, p. 199-238, 1988.
- DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 4. ed. revisada, atualizada e ampliada. Belém, PA, 2011b.
- DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental. 2014, 36 p.
- FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: LIER, Q. de J. V. Física do Solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 1-27, 2010.
- IMHOFF, S.; da SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 1493-1500, 2000.

KARLEN, D. L.; STOTT, D. E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. **Defining soil quality for a sustainable environment**, v. 35, p. 53-72, 1994.

LEITE, P. A.; SOUZA, E. S.; SANTOS, E. S.; GOMES, R. J.; CANTALICE, J. R.; WILCOX, B. P. The influence of forest regrowth on soil hydraulic properties and erosion in a semiarid region of Brazil. **Ecohydrology**, v. 11, n. 3, p. e1910, 2018.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. In: **Advances in soil science**. Springer, New York, NY, p. 277-294, 1985.

LIMA, J. R. S.; SOUZA, E. S.; ANTONINO, A. C. D.; SILVA, I. F.; CORRÊA, M. M.; LIRA, C. A. B. O. Atributos físico-hídricos de um Latossolo Amarelo cultivado e sob mata nativa no Brejo Paraibano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 4, p. 599-605, 2014.

LIPIEC, J.; HATANO, R. Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. **Geoderma**, v. 116, n. 1-2, p. 107-136, 2003.

MARQUES, V. B. **Efeito de fontes e doses de nitrogênio sobre o crescimento de mudas de angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan), jacarandá-da-Bahia (*Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. All. ex Benth.) e sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.)**. 2004.

PEREIRA, A. A.; THOMAZ, E. L. Estabilidade de Agregados em Diferentes Sistemas de Uso e Manejo no Município de Reserva-PR. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 02, p. 378-387, 2014.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos em ciência do solo**, v. 5, p. 49-134, 2007.

SALTON, J. C.; TOMAZI, M. Sistema radicular de plantas e qualidade do solo. **Embrapa Agropecuária Oeste-Comunicado Técnico**, 2014.

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range of soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 6, p. 1775-1781, 1994.

SILVA, L. S.; CHAVES, J. S.; ALVES, R. N.; RODRIGUES, T. G.; PARAISO, B. S. A.; NASCIMENTO, J. P. S.; ...; MATOS, S. M. Fixação biológica e transferência de nitrogênio por *Gliricídia sepium* em pomar orgânico consorciado de laranja e banana. **Brazilian Applied Science Review**, v. 4, n. 5, p. 2916-2925, 2020.

SUZUKI, L. E. A. S.; LIMA, C. L. R. D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; PILLON, C. N. Estrutura e armazenamento de água em um Argissolo sob pastagem cultivada, floresta nativa e povoamento de eucalipto no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 94-106, 2014.

CAPÍTULO 1

DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DE UM ARGISSOLO AMARELO COM PASTAGEM E FLORESTA NATIVA ¹

¹ Artigo a ser ajustado para submissão ao Comitê Editorial do periódico científico Revista Sustainability

DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DE UM ARGISSOLO AMARELO COM PASTAGEM E FLORESTA NATIVA

RESUMO: Para diferentes usos agrícolas são exigidas diferentes práticas de manejo, que podem causar diferentes níveis de impacto ao solo. Assim sendo, o objetivo do presente estudo foi de diagnosticar o atual estado da qualidade de um Argissolo Amarelo, em uso com pastagens, tendo como parâmetro de comparação uma mata nativa adjacente, situadas em uma paisagem conhecida como “Mar de Morros”, em terço médio e superior de encosta com declividade acentuada. Para o estudo, a área foi dividida de forma a permitir um delineamento inteiramente casualizado, com parcelas subdivididas. Foram utilizados quatro tratamentos, sendo cada um deles dividido em duas subparcelas. Os tratamentos, distribuídos no sentido do declive do terreno, foram constituídos por: mata nativa, pastagem ao lado da mata (Pasto 1) localizados no terço superior da encosta; e pastagem abaixo da mata (Pasto 2) e pastagem abaixo do Pasto 1 (Pasto 3), ambas localizadas no terço médio da encosta. As subparcelas foram distribuídas em cotas, sendo estas: cota alta e cota baixa, dentro de cada parcela. Foi realizada a determinação de alguns indicadores físicos da qualidade do solo, bem como o carbono orgânico total (COT), tendo seus dados submetidos a análise de variância, e quando significativos a 5%, foi realizado o teste de médias de Skott-Knott. Os resultados evidenciaram que houve um afastamento das condições naturais, encontradas na floresta nativa, para todos os atributos físicos avaliados. Para os parâmetros de retenção de água (capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível), os tratamentos da pastagem apresentaram valores médios superiores aos observados na mata nativa. A parcela correspondente ao Pasto 1 apresentou valores de COT superiores àqueles encontrados para a mata nativa. Resistência à penetração apresentou valores médios acima daquele considerado como limitante ao desenvolvimento das culturas (2,50 MPa), e a macroporosidade abaixo do valor de referência ($0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), sendo necessária a intervenção com manejo apropriado para promover a melhoria destes atributos nas parcelas de pastagem.

Palavras-chave: qualidade do solo; manejo e conservação do solo; atributos físicos; estrutura do solo; floresta nativa; plantas forrageiras

DIAGNOSIS OF SOIL QUALITY IN A ULTISOL UNDER PASTURE AND NATIVE FOREST

ABSTRACT: For different agricultural uses, different management practices are required which can cause different levels of impact on the soil. Therefore, the objective of the present study was to diagnose status of the current quality an Ultisol, in use with pastures, having as a comparison parameter an adjacent native forest, located in a landscape known as “Mar de Morros”, the upper and in the middle slope, both with steep slope. For the study, the area was divided in order to allow a completely randomized design, with split plots. Four treatments were used, each divided into two split plots. The treatments, distributed in the direction of the slope of the land, consisted of: native forest, pasture next to the forest (Pasture 1) located in the upper third of the slope; and pasture below the forest (Pasture 2) and pasture below Pasture 1 (Pasture 3), both located in the middle third of the slope. The split plots were distributed in high and low medley, inside each plot. Some physical indicators of the soil quality, as well as the total organic carbon (TOC), were determined having its data submitted to analysis of variance. When significant at 5%, the Skott-Knott means test was performed. The results showed that the Pastures had soil quality bellow natural conditions, compared to the quality found in the native forest, for all the evaluated physical attributes. For water retention parameters (field capacity, permanent wilt point and available water), pasture treatments showed average values higher than those observed in native forest. The plot corresponding to Pasture 1 presented TOC values higher than those found for native forest. Resistance to penetration showed average values above that considered as limiting the development of cultures (2.50 MPa), and macroporosity below the reference value ($0.10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), requiring intervention with appropriate management to promote the improvement of these attributes in pasture plots.

Keywords: soil quality; soil management and conservation; physical attributes; soil structure; native forest; forage plants

INTRODUÇÃO

Práticas de uso e manejo das terras vêm sendo desenvolvidas há milênios, principalmente para adequar as áreas à produção de alimentos para consumo humano e animal. A crescente demanda por alimentos, em razão do aumento populacional, levaram a práticas muitas vezes nocivas à manutenção da qualidade do solo. Neste sentido, alguns atributos do solo são utilizados como indicadores para estimativa da sua qualidade (OLIVEIRA et al., 2015). Esses indicadores podem ser de caráter físico, químico e/ou biológico e são parâmetros que permitem comparar estágios de degradação e propor estratégias de manutenção ou mitigação de impactos.

Para diferentes usos agrícolas são exigidas diferentes práticas de manejo, algumas mais simples e outras mais complexas. Como essas práticas causam diferentes níveis de impacto ao solo, todos os tipos de manejo tendem, em maior ou menor medida, a distanciar o solo das condições encontradas em áreas com vegetação nativa, principalmente aquelas áreas que estão sob florestas (FREITAS et al., 2017).

A substituição de matas ou outra vegetação nativa para o plantio de espécies forrageiras, com vistas à formação de pastagens é fortemente difundido em todo o território brasileiro (DIAS-FILHO, 2014). De acordo com o mesmo autor, no Brasil, as pastagens constituem a principal fonte de alimento para espécies ruminantes em criação extensiva, devido principalmente ao tamanho do rebanho e às grandes dimensões de áreas exigidas para esse tipo de atividade.

Devido ao aspecto praticamente marginal e à grande dificuldade de mecanização, áreas de relevo acidentado são muito utilizadas para o estabelecimento de pastagens. Nessas condições, o manejo adequado é negligenciado, em razão de dificuldades de mecanização. Segundo Santos et al. (2010) e Caldas et al. (2019), declividade acentuada é um dos fatores que aceleram a degradação do solo e, evidentemente, a perda de sua qualidade, por aumentar a energia cinética do escoamento superficial.

Indicadores físicos da qualidade do solo servem de parâmetros para elucidar problemas envolvendo a sustentabilidade destes solos, servindo também como suporte para o desenvolvimento de práticas que visam a manutenção da qualidade ou sua recuperação (FREITAS et al., 2017). Alguns dos indicadores físicos utilizados para estimar a qualidade física de um dado solo são a estabilidade de agregados,

resistência à penetração, porosidade do solo, retenção de água, condutividade hidráulica saturada, além do carbono orgânico (ARAÚJO et al., 2012).

De acordo com Freitas et al. (2017), as práticas de uso e manejo de solos, neste caso com pastagens, tendem a influenciar negativamente os indicadores físicos supracitados, se comparados a áreas com vegetação nativa preservada. Entretanto, a correta manutenção destas áreas “antropizadas” é essencial para a elevação da qualidade do solo, mesmo que elas não consigam retornar aos níveis de qualidade da condição da vegetação nativa preexistente.

Assim, o estudo de áreas de pastagens adjacentes e com a mesma classe de solo da vegetação nativa, considerando os indicadores de qualidade física mencionados, torna-se social, ambiental e economicamente significativos. Conservar as florestas nativas, bem como promover o correto manejo das pastagens, visando a melhor conservação do solo, gerar-se um sistema mais equilibrado e sustentável, além de manter a produção em melhores níveis, resulta em maior retorno econômico em médio e longo prazo. Assim sendo, o objetivo do presente estudo foi diagnosticar o atual estado de uma área de Argissolo Amarelo em uso com pastagens, tendo como parâmetro de comparação uma mata nativa adjacente, remanescente de Mata Atlântica, situados em paisagem conhecida como “Mar de Morros”, em terço médio e superior da encosta, com declividade acentuada.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização do local de estudo e delineamento estatístico

O estudo foi realizado durante o mês de maio de 2020, em área localizada no Nordeste do Brasil, no município de Amargosa, na região do Recôncavo da Bahia, sob às coordenadas geográficas: 13°03'05”S e 39°41'43”W, com 680 metros de altitude em relação ao nível do mar, medidos no ponto central da área de estudo. O relevo local e regional é classificado como montanhoso, possuindo percentual de declividade na faixa de 45 a 75 %. De acordo com a classificação de Köppen (SEI, 2014), o clima da região é do tipo Am, tropical chuvoso de floresta, com um a três meses secos, com precipitação inferior à 60 mm no mês mais seco e 100 mm no mês mais úmido, com média anual de precipitação de 900 mm e temperaturas médias mensais acima de 18°C.

A área de estudo integra uma propriedade particular, a qual tem na bovinocultura de corte, uma de suas atividades econômicas. Uma porção preservada de floresta remanescente da Mata Atlântica foi empregada como área controle, para comparação com as áreas de pastagens ao lado e abaixo da área de mata (Figura 1). A pastagem, formada por *Urochloa decumbens*, foi implantada a trinta e cinco anos. Desde então, não recebeu nenhum tipo de manejo de caráter físico ou químico, exceto pela adição de fezes dos rebanhos durante o pastejo. Na ocasião do estudo, a área com pastagem encontrava-se a um ano sem pastejo bovino (em pousio).

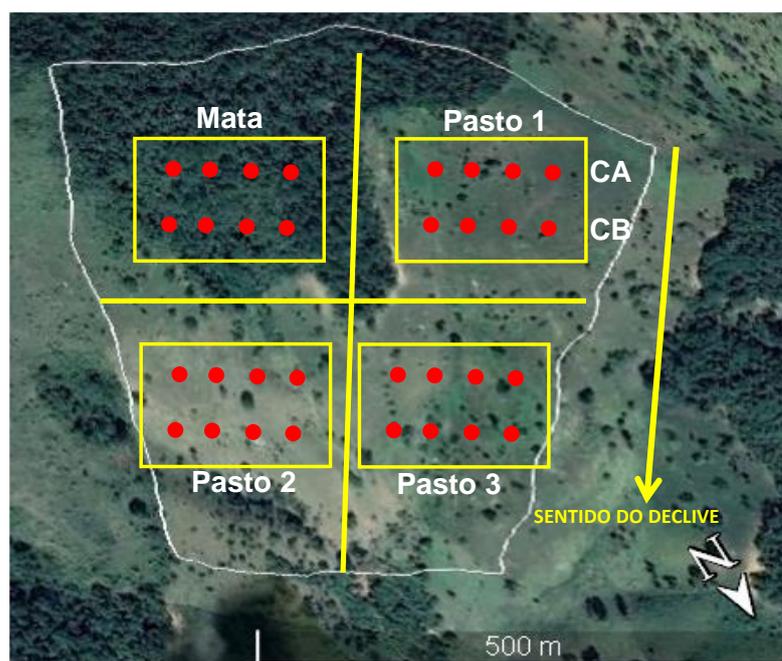


Figura 1. Distribuição dos tratamentos em uma porção preservada de floresta remanescente da Mata atlântica (empregada como área controle) e as áreas de pastagens ao lado e abaixo da área de mata, tendo as cotas altas (CA) e baixas (CB) como subparcelas sobre Argissolo Amarelo, na região de Amargosa, região do Recôncavo da Bahia.

Tanto a área de floresta nativa quanto as áreas de pastagem, estão situadas sobre um Argissolo Amarelo, tendo sua distribuição granulométrica e densidade de partículas (DP) apresentada na Tabela 1, na qual observa-se que o solo apresentou classificação textural variando de franco argilo-arenoso à argiloso. A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta (Day, 1965), com agitação rápida e a DP foi determinada pelo método do balão volumétrico, utilizando álcool etílico para preenchimento do espaço poroso (BLAKE & HARTGE, 1986).

O delineamento experimental empregado no estudo foi o inteiramente casualizado (DIC), em um esquema de parcelas subdivididas, com quatro tratamentos. Cada um destes tratamentos foi dividido em dois tratamentos

secundários. Os tratamentos, distribuídos no sentido do declive do terreno, foram constituídos por: mata nativa, pastagem ao lado da mata (Pasto 1), ambas localizados no terço superior da encosta; pastagem abaixo da mata (Pasto 2) e pastagem abaixo do Pasto 1 (Pasto 3), ambas localizadas no terço médio da encosta; distribuídos conforme Figura 1. Os tratamentos secundários, também relacionados com a declividade do terreno, foram distribuídos qualitativamente em cotas, sendo estas: cota alta e cota baixa; representadas em nível dentro de cada tratamento principal por um transecto situado na parte superior do tratamento (cota alta) e um transecto situado na parte inferior do tratamento (cota baixa).

Tabela 1. Distribuição granulométrica e densidade de partículas de um Argissolo Amarelo sob pastagem e floresta nativa em terço médio e superior de encosta, na região do Recôncavo da Bahia

Trat	Prof m	----- g kg ⁻¹ -----							DP Mg m ⁻³	
		AT	AMG	AG	AM	AF	AMF	Silte		Argila
Mata	0 - 0,10	553	11	122	248	152	20	40	407	2,30
	0,10 - 0,20	475	12	116	182	148	18	56	469	2,32
	0,20 - 0,40	404	10	81	161	123	29	58	538	2,31
Pasto 1	0 - 0,10	513	8	102	186	192	26	64	423	2,28
	0,10 - 0,20	430	5	72	173	147	33	62	507	2,28
	0,20 - 0,40	364	11	67	118	141	27	68	568	2,29
Pasto 2	0 - 0,10	614	14	147	268	161	24	70	316	2,40
	0,10 - 0,20	559	15	144	201	175	25	67	374	2,36
	0,20 - 0,40	437	11	97	180	120	28	69	493	2,33
Pasto 3	0 - 0,10	605	8	119	243	208	26	53	342	2,40
	0,10 - 0,20	484	6	71	198	175	34	75	442	2,37
	0,20 - 0,40	406	7	83	140	150	27	65	529	2,37

Prof: profundidade; AT: areia total; AMG; areia muito grossa; AG: areia grossa; AM: areia média; AF: areia fina; AMF: areia muito fina; DP: densidade de partículas

Amostragem, atributos avaliados e análise estatística

As amostras de solo em cada tratamento foram coletadas em quatro repetições por cota, contabilizando oito pontos amostrais por tratamento (quatro por cota). A área de cada parcela foi de 1,68 ha (120 x 140 m) (Figura 1). Em Cada ponto foram coletadas amostras de solo com estrutura deformada e indeformada, nas camadas de: 0 – 0,10; 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m de profundidade.

As amostras com estrutura deformada foram coletadas com o auxílio de um cavador articulado em substituição ao trado Holandês, para que houvesse a preservação dos agregados. Parte destas amostras foram utilizadas para a

determinação da estabilidade de agregados, expressa através do diâmetro médio ponderado (DMP). Outra parte do material coletado foi passado em peneira de 2 mm, para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA), com a qual foi quantificada a distribuição granulométrica do solo, densidade de partículas (DP) e carbono orgânico total (COT). Amostras com estrutura preservada foram coletadas utilizando um amostrador do tipo Uhland e anéis volumétricos com dimensões conhecidas (0,05 x 0,05 m). Com as amostras de estrutura preservada, foram determinadas: densidade do solo (DS), volume total de poros (VTP), microporosidade (MIP), macroporosidade (MAP), condutividade hidráulica saturada (K_o), resistência mecânica à penetração (RP), capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e água disponível (AD).

Seguindo a metodologia desenvolvida por Yoder (1936) e modificada por Grohmann (1960), a marcha analítica para a estabilidade de agregados consistiu na pesagem, saturação e tamisação por via úmida de 25 g de agregados secos ao ar, utilizando jogo de peneiras (2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,105 mm de diâmetro da malha), em um tamisador a 45 oscilações por minuto, em movimentos verticais, por 15 min, imersos em água. Para a caracterização dos agregados foi utilizado o diâmetro médio ponderado (DMP), empregando a equação 1:

$$DMP = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot w_i)}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (1)$$

em que:

DMG – diâmetro médio ponderado, mm;

x_i – diâmetro médio das classes, mm;

w_i – massa de solo seco em cada classe, g.

O COT foi determinado de acordo com a metodologia proposta por Walkley & Black (1936) e modificada por Yeomans & Bremner (1988), utilizando dicromato de potássio, uma fonte externa de calor para uma maior eficiência analítica do método e titulação com sulfato ferroso amoniacal.

A Ds de cada amostra foi obtida através da relação massa/volume, utilizando o método do método do anel volumétrico (BLAKE & HARTGE, 1965), a partir da equação 2:

$$D_s = \frac{m}{v} \quad (2)$$

em que:

D_s – densidade do solo, Mg m^{-3} ;

m – massa de solo seco a 105°C , Mg ;

v – volume do anel, m^3 .

O VTP, na qual todos os poros do solo estão preenchidos por água, foi calculada a partir da relação existente entre a DP e a DS (DANIELSON & SUTHERLAND, 1986), conforme equação 3:

$$VTP = 1 - \left(\frac{D_s}{D_p} \right) \quad (3)$$

em que:

VTP – volume total de poros, $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$;

DS – densidade do solo, Mg m^{-3} ;

DP – densidade de partículas, Mg m^{-3} .

A microporosidade foi obtida a partir do método da mesa de tensão (TEIXEIRA et al., 2017), sendo as amostras submetidas a uma tensão de 60 cm de coluna de água, equivalente ao potencial matricial de -6 kPa, para a remoção de toda a água presente nos macroporos. Assim sendo, o volume de microporos é igual a umidade na tensão de -6 KPa e a diferença existente entre os valores de VTP e MIP é igual à MAP. A MIP foi determinada a partir da equação 4:

$$MIP = \frac{(M_{60} - m)}{v} \quad (4)$$

em que:

MIP – microporosidade, $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$;

M_{60} – massa de solo úmido na tensão de 60 cm de coluna de água, Mg ;

m – massa de solo seco a 105°C , Mg ;

v – volume do anel, m^3 .

A condutividade hidráulica saturada (K_0) foi determinada de acordo com Klute (1965), com o uso de um permeâmetro de carga constante, no qual as amostras de estrutura preservada receberam uma carga hidráulica constante por sete horas. Durante esse período, foram realizadas leituras do volume de água drenada a cada hora, totalizando sete leituras, a média das duas últimas leituras serviu como base para o cálculo da K_0 . De acordo com a equação 5:

$$K_0 = \frac{V_a \cdot L}{A \cdot t \cdot (h + L)} \quad (5)$$

em que:

K_0 – condutividade hidráulica saturada em mm h^{-1} ;

V_a – volume de água percolado, mL;

L – altura da lâmina de água, mm);

A – área da amostra, mm^2 ;

t – tempo da leitura, h;

h – altura da amostra, mm.

A resistência mecânica a penetração do solo (RP), foi determinada a partir de amostras indeformadas, com umidade padronizada no potencial matricial de -100 kPa em extrator de Richards (LEY et al, 1995). Para o ensaio da RP, foi utilizado um penetrômetro de bancada Marconi, modelo MA 933, tendo um cone com diâmetro de 4 mm em sua extremidade, simulando a penetração das raízes no solo, configurado com velocidade de penetração de 1 cm min^{-1} , operando por 240 segundos. O valor de RP, foi aquele obtido a partir da média das leituras realizadas entre 61 e 240 segundos, desconsiderando assim, os primeiros 60 segundos de leitura.

Ao término das leituras de RP, todas as amostras foram colocadas em estufa com temperatura regulada a 105°C , por uma duração de 24 h, logo em seguida foram resfriadas em dessecador e pesadas para cálculo da DS, a partir da massa seca e do volume do anel, como descrito na equação 2.

Para a determinação da AD, considerou-se como capacidade de campo (CC) a umidade obtida aplicando o potencial matricial de -33 kPa e como ponto de murcha permanente (PMP) a umidade obtida ao aplicarmos o potencial matricial de -1500 kPa;

sendo a AD determinada a partir da diferença entre as umidades obtidas na CC e no PMP, respectivamente, conforme descrito em (VEIHMEYER & HENDRICKSON, 1949).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o software estatístico SISVAR (FERREIRA, 2019). Quando apresentaram significância estatística para as variáveis analisadas, foram realizados os testes de média por Scott - Knott ($p < 0,05$).

A análise de correlação de Pearson para cada camada de solo individualmente também foi realizada, visando identificar o quanto as variáveis utilizadas no estudo estão relacionadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o resumo da análise de variância (Tabela 2), observa-se que para a fonte de variação (FV): Área, houve significância estatística ao nível de 1% para todas as variáveis utilizadas no estudo na camada de 0 – 0,10 m. Já para a camada de 0,10 – 0,20 m, não houve significância estatística para a FV Área ao nível de 5%, apenas para a variável AD e na camada de 0,20 – 0,40 m, apenas para CC e AD.

As cotas de altitude utilizadas como subparcelas dentro de cada tratamento, não diferiram estatisticamente entre si ao nível de 5%, para a maioria das variáveis utilizadas no estudo, nas três camadas de solo avaliadas, demonstrando que mesmo havendo uma diferença de altitude dentro do tratamento, esta não é suficiente para que haja diferença estatística em uma curta distância (70 m entre as cotas alta e baixa) se comparada a distância entre os tratamentos, que foi de 200 m. Na camada de 0 – 0,10 m, as cotas de altitude apresentaram diferença estatística para as variáveis DMP e COT, havendo interação entre os tratamentos e as cotas para as variáveis MAP, DMP e COT. De 0,10 – 0,20 m, a única variável que apresentou significância estatística ($P < 0,05$), para as cotas e interação com os tratamentos foi o COT, seguindo as mesmas condições para a camada de 0,20 – 0,40 m.

Diferentemente do esquema fatorial que apresenta apenas um coeficiente de variação (CV) na análise de variância, o esquema estatístico em parcelas subdivididas apresenta dois valores de CV, sendo o primeiro para os tratamentos e o segundo para as subparcelas (cotas) e interação entre tratamentos e subparcelas.

Tabela 2. Resumo da análise de variância dos atributos avaliados em três camadas do solo, de um Argissolo Amarelo sob pastagem e floresta nativa em terço médio e superior de encosta, na região do Recôncavo da Bahia

FV	GL	Quadrado médio										
		DS	VPT	MIP	MAP	DMP	Ko	RP	CC	PMP	AD	COT
0 - 0,10 m												
Área	3	0,324**	0,045**	0,011**	0,080**	0,094**	76971**	6,014**	0,012**	0,005**	0,002**	98,45**
Erro 1	12	0,003	< 0,001	0,001	0,001	0,009	5588	0,183	0,001	0,001	<0,001	3,21
Cota	1	0,001 ^{ns}	< 0,001 ^{ns}	<0,001 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,018**	2322 ^{ns}	0,618 ^{ns}	0,001 ^{ns}	<0,001 ^{ns}	<0,001 ^{ns}	285,22**
Área x Cota	3	0,005 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,003*	0,007**	1193 ^{ns}	0,505 ^{ns}	<0,001 ^{ns}	<0,001 ^{ns}	<0,001 ^{ns}	32,71**
Erro 2	12	0,003	0,001	<0,001	0,001	0,002	1368	0,418	<0,001	<0,001	<0,001	3,51
CV1 (%)	---	4,04	4,64	8,99	32,98	2,94	112,60	18,96	12,04	14,58	7,92	7,53
CV2 (%)	---	4,28	7,21	6,43	31,82	1,38	55,72	28,68	8,10	10,42	9,08	7,86
0,10 - 0,20 m												
Área	3	0,216**	0,031**	0,005**	0,029**	0,044*	101342**	8,598**	0,005**	0,004*	<0,001 ^{ns}	21,47*
Erro 1	12	0,002	<0,001	<0,001	0,001	0,009	1608	0,531	<0,001	0,001	<0,001	4,28
Cota	1	0,003 ^{ns}	<0,001 ^{ns}	<0,001 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,017 ^{ns}	1657 ^{ns}	0,526 ^{ns}	<0,001 ^{ns}	<0,001 ^{ns}	<0,001 ^{ns}	220,45**
Área x Cota	3	0,004 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,002 ^{ns}	176 ^{ns}	1,044 ^{ns}	0,001 ^{ns}	<0,001 ^{ns}	<0,001 ^{ns}	136,39**
Erro 2	12	0,006	0,001	0,001	0,001	0,005	9671	0,453	0,001	0,001	<0,001	4,40
CV1 (%)	---	3,67	4,48	6,85	22,92	3,01	41,99	25,94	9,4	11,93	10,31	10,65
CV2 (%)	---	5,88	6,21	8,55	36,73	2,26	102,97	23,96	10,03	11,47	8,81	10,79
0,20 - 0,40 m												
Área	3	0,168**	0,019**	0,002**	0,016*	0,074**	55696**	13,166**	0,004 ^{ns}	0,004*	0,001 ^{ns}	90,02**
Erro 1	12	0,005	0,001	<0,001	0,002	0,005	5352	1,392	0,001	0,001	<0,001	9,02
Cota	1	0,008 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,005 ^{ns}	0,001 ^{ns}	2830 ^{ns}	0,447 ^{ns}	0,001 ^{ns}	<0,001 ^{ns}	0,002 ^{ns}	9,61 ^{ns}
Área x Cota	3	0,010 ^{ns}	<0,001 ^{ns}	<0,001 ^{ns}	<0,001 ^{ns}	0,014 ^{ns}	2481 ^{ns}	0,861 ^{ns}	<0,001 ^{ns}	0,001 ^{ns}	<0,001 ^{ns}	28,50 ^{ns}
Erro 2	12	0,007	0,001	0,001	0,002	0,007	1630	1,272	0,001	0,001	0,001	9,13
CV1 (%)	---	5,65	6,86	6,51	43,21	2,33	84,07	37,76	11,73	12,60	44,20	18,72
CV2 (%)	---	6,45	7,23	8,22	42,95	2,64	46,39	36,10	9,81	14,76	49,17	18,83

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; DS: densidade do solo; VTP: volume total de poros; MIP: microporosidade; MAP: macroporosidade; DMP: diâmetro médio ponderado; Ko: condutividade hidráulica saturada; RP: resistência a penetração; CC: capacidade de campo; PMP: ponto de murcha permanente; AD: água disponível; COT: carbono orgânico total; ^{ns}: não significativo a 5%; *: significativo a 5%; **: significativo a 1%

De acordo com os critérios propostos por Warrick & Nielsen (1980), o coeficiente de variação para as propriedades físicas do solo, pode ser classificado em: baixo ($<12\%$), médio ($12\% < CV < 60\%$) e alto ($>60\%$). Desta forma, observa-se na Tabela 2, que as variáveis DS, VTP, MIP e DMP, apresentaram baixos valores de CV1 e CV2 em todas as camadas avaliadas, demonstrando que estes atributos apresentaram uma maior homogeneidade em relação aos demais parâmetros. Já os resultados de MAP e RP, apresentaram uma homogeneidade inferior, se comparados aos anteriores, devido aos valores médios de CV1 e CV2, nas três camadas avaliadas.

Na camada de 0 – 0,10 m, AD e COT apresentavam baixos valores para CV1 e CV2; valores médios de CV1 e baixos de CV2 para CC e PMP, demonstrando que para estes dois atributos, houve uma maior homogeneidade para as cotas, se comparadas aos tratamentos e Ko demonstrou um médio valor para CV2 (55,72%) e um elevado CV1 (112,60%), devido à elevada variabilidade espacial, comumente observada para este atributo (LEITE et al., 2018).

De 0 – 0,20 m, CC, PMP, AD e COT demonstraram baixos valores de CV, e Ko apresentou um CV1 médio e CV2 alto. Na camada de 0,20 – 0,40 m, a variável CC expressou baixos valores de CV, PMP, AD e COT, apresentaram valores médios de CV1 e CV2, já Ko apresentou elevado valor de CV1 e um CV2 médio.

A comparação de médias expressa na Tabela 3, demonstra que para a DS, nas camadas de 0 – 0,10 m e de 0,10 – 0,20 m, os tratamentos compostos por Pasto 2 e Pasto 3, não foram diferentes estatisticamente, apresentando os maiores valores médios (1,52 e 1,47 Mg m^{-3} na camada de 0 – 0,10 m e 1,49 e 1,48 Mg m^{-3} na camada de 0,10 – 0,20 m), em relação ao Pasto 1, que, por sua vez, diferiu da Mata nativa, onde foi observado o menor valor médio para DS (1,07 Mg m^{-3} e 1,14 Mg m^{-3} para as duas camadas). Já para a camada de 0,20 – 0,40 m, o terço médio da paisagem, representado pelos tratamentos Pasto 2 e Pasto 3, também apresentou maiores valores médios de DS (1,46 e 1,43 Mg m^{-3}), diferindo dos tratamentos que representam o terço superior (Mata nativa, com 1,16 Mg m^{-3} e Pasto 1, com 1,23 Mg m^{-3}), os quais apresentaram menores valores médios de DS, sem diferença estatística entre si. Os maiores valores de DS para os tratamentos localizados no terço médio da paisagem decorrem do tipo de solo da área (Argissolo Amarelo), devido ao processo de argiluviação, que associado ao relevo acidentado favorece outro processo, o de elutriação, translocando a argila do ponto alto para o ponto baixo da paisagem, acarretando em um adensamento subsuperficial que eleva a DS.

A DS é uma das propriedades do solo imediatamente afetadas pela compactação do mesmo, causada principalmente pelo pisoteio animal, sobretudo em áreas de pastagem (REICHERT et al., 2007). A ausência do pisoteio, somada à diversidade dos sistemas radiculares, são fatores construtivos da estrutura do solo, que conferem às áreas sob floresta nativa, valores mais baixos de DS, principalmente, se comparada a áreas sob monocultivo, onde estes fatores são demasiadamente reduzidos, devido à intervenção “antrópica” nas áreas, como é o caso das pastagens (BRIZZI et al., 2019).

Tabela 3. Atributos avaliados em três camadas do solo, de um Argissolo Amarelo sob pastagem e floresta nativa em terço médio e superior de encosta, na região do Recôncavo da Bahia

Uso	DS Mg m ⁻³	VTP ----- m ³ m ⁻³ -----	MIP ----- m ³ m ⁻³ -----	MAP	DMP mm	RP MPa
0 – 0,10 m						
Mata	1,07 c	0,53 a	0,28 c	0,25 a	3,29 a	1,01 c
Pasto 1	1,37 b	0,40 b	0,37 a	0,03 b	3,23 a	2,33 b
Pasto 2	1,52 a	0,36 c	0,31 b	0,05 b	3,13 b	2,90 a
Pasto 3	1,47 a	0,39 b	0,32 b	0,07 b	3,05 b	2,78 a
0,10 – 0,20 m						
Mata	1,14 c	0,51 a	0,31 b	0,19 a	3,28 a	1,58 b
Pasto 1	1,31 b	0,45 b	0,35 a	0,10 b	3,18 b	2,32 b
Pasto 2	1,49 a	0,38 c	0,29 c	0,09 b	3,11 b	3,73 a
Pasto 3	1,48 a	0,37 c	0,32 b	0,05 c	3,15 b	3,60 a
0,20 – 0,40 m						
Mata	1,16 b	0,49 a	0,34 a	0,15 a	3,26 a	1,89 b
Pasto 1	1,23 b	0,46 b	0,37 a	0,09 b	3,08 b	2,18 b
Pasto 2	1,46 a	0,39 c	0,30 b	0,09 b	3,09 b	4,50 a
Pasto 3	1,43 a	0,40 c	0,35 a	0,05 b	3,05 b	3,91 a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo Teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade; DS: densidade do solo; VTP: volume total de poros; MIP: microporosidade; MAP: macroporosidade; DMP: diâmetro médio ponderado; RP: resistência a penetração

É possível observar que, para o tratamento Mata nativa, a DS aumenta à medida que a profundidade do solo aumenta. Isso se deve a um adensamento natural do solo, causada pelo aumento no teor de argila em profundidade observado na Tabela 1, pela redução do carbono orgânico total e pela pressão exercida das camadas superficiais sobre as camadas subjacentes, assim como foi observado em um Latossolo Bruno Distrófico de textura argilosa, por Martinkoski et al. (2017). Já para pastagens, os valores de DS decrescem à medida que a profundidade aumenta, devido ao pisoteio animal, que gerou a compactação do solo durante o tempo de uso

das pastagens. Assim, o efeito desse pisoteio foi mais pronunciado na camada superficial do solo.

Klein (2014), de forma generalista, descreve que os solos utilizados para práticas agrícolas apresentam DS variando entre 0,80 e 1,90 Mg m⁻³. Por outro lado, Ramos et al. (2015) relataram que a DS é um atributo que possui relação direta com a textura do solo. Desta forma, buscando valores de referência para DS que pudessem ser comparados aos apresentados neste trabalho, tem-se que para solos de textura franco argilo-arenosa, a DS ideal é <1,10 Mg m⁻³, a DS onde iniciam as restrições é de 1,49 Mg m⁻³, e a densidade se torna limitante quando >1,58 Mg m⁻³; Já para a textura argilosa, também encontrada em algumas amostras nesta área estudada, a DS ideal é aquela <1,10 Mg m⁻³, a DS na qual o crescimento radicular pode começar a ser limitado é de 1,39 Mg m⁻³, e a DS que restringe efetivamente o desenvolvimento radicular é aquela >1,47 Mg m⁻³ (USDA, 1999).

Desta forma, observando-se a Tabela 3, considerando a Tabela 1, apenas a área de mata nativa, na camada de 0 – 0,10 m, apresenta valor médio de DS considerado como ideal ao desenvolvimento do sistema radicular. Para esta mesma camada, a área correspondente aos Pastos 1 e 3, expressaram valores médios de DS mais elevados (1,37 e 1,47 Mg m⁻³), porém abaixo do valor de referência para o início de uma possível restrição ao desenvolvimento dos sistemas radiculares. Já a área do Pasto 2, a DS (1,52 Mg m⁻³) se apresenta próxima ao valor considerado como limitante. Nesse caso, é indicado a adoção de práticas para reduzir o valor de DS, especialmente na área sob Pasto 2. De 0,10 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m, todos os tratamentos apresentaram valores médios abaixo da referência de limitação.

No caso da porosidade, o VTP, assim como a DS, é um atributo extremamente responsivo à compactação do solo, visto que esses parâmetros estão inter-relacionados, quando se trata de compactação do solo. É um parâmetro facilmente alterado, à medida que a vegetação nativa é removida pelas ações antrópicas, a partir de diferentes formas de uso e manejo do solo (FERREIRA, 2010), sendo então, um bom indicador da qualidade física solo a ser medido.

A partir dos valores médios de VTP, expressos na Tabela 3, observa-se que o tratamento composto por mata nativa, apresentou os maiores valores médios para este atributo nas três camadas avaliadas (0,53, 0,51 e 0,49 m³ m⁻³), diferindo significativamente dos tratamentos de pastagens. Já para as pastagens, na camada de 0 – 0,10 m, o Pasto 2 expressou menor valor médio de VTP (0,36 m³ m⁻³), diferindo

dos Pastos 1 e 3, que não diferiram entre si. De 0,10 – 0,20 m e de 0,20 – 0,40 m, os tratamentos do terço médio, Pasto 2 e Pasto 3, também não diferiram entre si, apresentando os menores valores médios de VTP, diferindo do Pasto 1.

Tomando a floresta nativa como referência, observa-se na Tabela 3, que os três outros tratamentos compostos por pastagens, apresentaram valores médios de VTP, abaixo do valor da Mata, devido ao efeito residual da compactação causada pelo pisoteio animal até o ano anterior a amostragem dos solos, quando havia pastejo nas áreas de pastagem.

Ferreira (2010) descreveu que o VTP mais observado para solos agrícolas, variam entre 0,30 e 0,70 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$. Logo, os resultados obtidos neste estudo (Tabela 3) estão de acordo com o que foi verificado por aquele autor, já que o menor valor médio de VTP foi observado na camada de 0 – 0,10 m, para Pasto 2, sendo este de 0,36 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, e o maior para mata nativa, também na camada de 0 – 0,10 m, com valor médio de 0,53 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$. Rocha et al. (2015) salientam que valores muito baixos de VTP, são indicativos de solos degradados.

A proteção proveniente da copa das espécies arbóreas existentes na mata nativa, contra o impacto da gota da chuva sobre o solo que evitam o entupimento de poros, são fatores favoráveis aos maiores valores de VTP observados nas camadas superficiais de áreas sob mata nativa, como foi observado no presente estudo, e também relatado por Martinkoski et al., (2017); Freitas et al., (2017) e Sales et al., (2018).

Ainda quanto a porosidade, a soma de MIP e MAP corresponde ao VTP. Kiehl (1979) descreveu, que o solo com adequada distribuição de poros possui valores de MIP e MAP em torno de dois terços e um terço da VTP, respectivamente. Seguindo este pressuposto, nota-se que na Tabela 3, que apenas a mata nativa, na camada de 0,20 – 0,40 m, atende a esta referência. Os demais resultados demonstram uma predominância da MIP, em relação a MAP. Os teores de argila observados na Tabela 1, que variaram de 316 g kg^{-1} na camada de 0 – 0,10 m a 568 g kg^{-1} na camada de 0,20 – 0,40 m, sendo um dos fatores que propiciam esta predominância de MIP.

Para a MIP, na camada de 0 – 0,10 m, o tratamento Pasto 1, do terço superior, apresentou maior valor médio (0,37 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), diferindo dos tratamentos representativos do terço médio (Pasto 2 e Pasto 3) que por sua vez, diferiram da mata nativa, a qual, apresentou menor valor médio de MIP (0,28 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$). De 0,10 – 0,20 m, a área de Pasto 1 também apresentou maior valor médio de MIP (0,35 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), diferindo dos

demais tratamentos, sendo que o menor valor médio observado foi para a área de Pasto 2 ($0,29 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). De 0,20 – 0,40 m, as áreas de mata nativa, Pasto 1 e Pasto 3, não foram diferentes entre elas, apresentando os maiores valores médios de MIP, diferentemente da área de Pasto 2 (Tabela 3).

Diferentemente da MIP, que, via de regra é mais protegida de impactos externos, por estar no interior dos agregados, a MAP é a parte da VTP que sofre alterações com maior facilidade, isso porque, visto que a predominância da MAP está entre os agregados, onde há pouca proteção estrutural, sendo acometida rapidamente por efeitos da compactação (FERREIRA, 2010) além do processo de argiluviação característico dos Argissolos.

Para MAP, nas três camadas avaliadas, a área de mata nativa expressou os maiores valores médios, diferindo dos demais tratamentos. Na camada de 0,10 – 0,20 m, as áreas correspondentes aos Pastos 1 e 2 não diferiram entre si, diferindo da área de Pasto 3, que apresentou menor valor médio de MAP nesta camada (Tabela 3).

Dexter (1988) e Klein & Libardi (2002) descreveram que solos como porosidade de aeração igual ou inferior a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ apresentam limitações aos sistemas radiculares das plantas, impedindo o pleno desenvolvimento das culturas. Tem-se então, a partir da Tabela 3, que apenas a área de mata nativa apresentou valores de MAP que atendem a este pressuposto, com valores médios de 0,25, 0,19 e $0,15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, para as camadas de 0 – 0,10 m, 0,10 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m, respectivamente. Seguindo o mesmo pressuposto, verifica-se que todos os tratamentos compostos por pastagens apresentam limitações ao desenvolvimento dos sistemas radiculares das plantas, no quesito aeração, apresentando valores médios de MAP iguais ou inferiores a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Os maiores valores de MIP, expressos pelos tratamentos compostos por pastagens estão relacionados com os teores de argila observados, ao processo de eluviação que transloca a argila e ao pisoteio animal que compacta o solo, elevando os microporos, sobretudo na camada de 0 – 0,10 m. Além disso, o denso sistema radicular desenvolvido pela *U. decumbens* possui elevado efeito na porosidade do solo, sobretudo na camada superficial, onde está boa parte das raízes fasciculadas desta espécie (KONDO et al., 2012).

Já as espécies florestais encontradas na área de mata nativa, possuem sistemas radiculares robustos, capazes de criar espaços porosos a partir da decomposição de raízes, conhecidos como bioporos, que incrementam a proporção

de MAP nos solos em diferentes camadas, aumentando a capacidade que estes solos têm de conduzir água e realizar trocas gasosas (SUZUKI et al., 2014).

Os tratamentos que representam o terço superior, mata nativa e Pasto 1, não diferiram entre si e exprimiram os maiores valores médios de DMP na camada de 0 – 0,10 m (3,29 e 3,23 mm), diferindo das áreas de Pasto 2 e Pasto 3, que apresentaram os menores valores médios de DMP, que também não diferiram entre si. Nas camadas de 0,10 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m, a área de mata nativa se mostrou superior aos demais tratamentos compostos por pastagens, apresentando os maiores valores médios de DMP (3,28 e 3,26 mm), Pasto 1, Pasto 2 e Pasto 3, que não foram diferentes entre si e apresentaram os menores valores médios deste atributo, nestas camadas (Tabela 3).

De acordo com Pereira & Thomaz (2014), valores de DMP inferiores a 2,30 mm representam solos susceptíveis ao processo erosivo. No presente estudo, DMP apresentou valores médios mínimos de 3,05 mm e máximo 3,29 mm, ou seja, mesmo as áreas de pastagem diferindo da área de mata nativa, os valores de DMP encontrados são todos superiores ao valor considerado como referência por Pereira & Thomaz (2014). Portanto, apresentam boas condições de agregação, apesar de serem propensos à erosão do solo, devido à declividade acentuada. Já os maiores valores de DMP encontrados para Mata, sobretudo nas camadas de 0,10 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m, demonstram que a manutenção das florestas nativas é importante para a manutenção dos agregados do solo.

Coutinho et al. (2017) também observaram valores elevados de DMP para tratamento com pastagem, e atribuíram este acontecido ao sistema radicular fasciculado característico das gramíneas, o qual, favorece a agregação das partículas do solo, pela rizoacumulação de material orgânico.

Observa-se na Tabela 2, que houve significância estatística ($P < 0,05$), para as cotas e interação entre os tratamentos e as cotas de altitude, na camada de 0 – 0,10 m. Considerando os tratamentos dentro das cotas, a cota alta diferiu significativamente da cota baixa, apresentando maior valor médio, 3,20 mm e 3,15 mm, para cota alta e cota baixa, respectivamente. A interação ocorreu apenas para os tratamentos compostos por Pasto 1 e Pasto 3. Para o Pasto 1, a cota alta apresentou valor médio de DMP superior à cota baixa, 3,27 mm e 3,18 mm, respectivamente; para o Pasto 3, manteve-se a diferença estatística entre as cotas alta e baixa, observada para o Pasto 1, porém com valor médio de 3,10 mm para a cota alta e 3,00 mm para a cota baixa.

A área de Pasto 3, localizado imediatamente abaixo à área do Pasto 1 na paisagem, e a partir da interação observada entre as cotas e estes tratamentos, nota-se que os valores de DMP aumentam à medida que se atinge um ponto mais elevado na paisagem, visto que o DMP aumentou, desde a cota baixa do Pasto 3 (3,00 mm) até a cota alta do Pasto 1 (3,27 mm).

No parâmetro resistência ao penetrômetro, de acordo com Araújo et al. (2012), a RP é um dos atributos físicos que pode ser utilizado como indicador de qualidade do solo, isso porque a RP estima o nível de resistência de um solo, a partir da pressão necessária que uma raiz precisa exercer para penetrá-lo. A RP está diretamente relacionada com a estrutura do solo, distribuição de poros, densidade do solo e conteúdo de água no solo, além do fato de ser uma propriedade do solo que é alterado de acordo com o uso e manejo aplicados ao solo.

Deste modo, observa-se que para a camada de 0 – 0,10 m, a mata nativa apresentou menor valor médio para RP, diferindo dos demais tratamentos compostos por pastagens, sendo que Pasto 2 e Pasto 3, situados no terço médio da paisagem, apresentaram os maiores valores médios de RP, diferindo de Pasto 1, que está localizado no terço superior da encosta. Nas camadas de 0,10 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m, mata nativa e Pasto 1, componentes do terço superior da encosta, apresentaram menores valores médios de RP, não sendo diferentes entre si e diferindo de Pasto 2 e Pasto 3, que apresentaram os maiores valores médios de RP e não foram diferentes entre si (Tabela 3). Magliano et al. (2016), em seu estudo, também encontraram valores de RP para os tratamentos com pastagem maiores que os de mata nativa, geralmente duas vezes maiores, corroborado com o que é observado no presente estudo.

Uma menor RP atribui ao solo melhores condições à produtividade da vegetação, a partir do melhor desenvolvimento do sistema radicular (densidade e profundidade efetiva), que possibilita à planta, um maior aproveitamento de água e nutrientes contidos no solo.

Tendo em vista o melhor uso e manejo do solo, diversos autores ao longo do tempo trouxeram em seus estudos uma concordância em relação ao valor de RP. Este parâmetro passa a ser limitante ao desenvolvimento do sistema radicular das culturas na faixa entre 2,00 e 3,00 MPa, sendo que alguns consideram o valor médio dessa faixa como limitante (2,50 MPa) (CANARACHE, 1990; IMHOFF et al., 2000; LIPIEC & HATANO, 2003; COLOMBI et al., 2018).

De acordo com o valor limitante de RP descrito pelos autores, observa-se na Tabela 3, que apenas os tratamentos, mata nativa e Pasto 1, apresentaram valores médios de RP inferiores a 2,50 MPa nas três camadas de solo avaliadas. Nas áreas de Pasto 2 e Pasto 3, os valores de RP forma superiores ao valor considerando como limitante, sobretudo na camada de 0,20 – 0,40 m, em que Pasto 2, exprimiu uma RP 80% maior que o valor de referência. Os maiores valores de RP nas áreas de pastagem, são resultado do pisoteio animal, principalmente em condições de umidade nas quais a deformação e compactação do solo são favorecidas, uma vez que o manejo do pastejo não era realizado em função das ocorrências das chuvas.

Considerando a condutividade hidráulica do solo, verifica-se na Tabela 4, que a mata nativa apresenta uma maior K_o , se comparada aos demais tratamentos nas camadas de 0 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m, expressando diferença significativa dos demais tratamentos, com os maiores valores médios. De 0,20 – 0,40 mm nativa não diferiu de Pasto 3, apresentando maiores valores médios de K_o (171,93 e 145,24 mm h^{-1}), diferindo de Pasto 1 e Pasto 2, que expressaram os menores valores médios para este atributo (10,63 e 30,30 mm h^{-1}).

Neste estudo houve uma flutuação nos valores obtidos de K_o , demonstrado pelo valor elevado de CV (112,6%). Este é um atributo do solo que apresenta naturalmente elevada variabilidade espacial sendo influenciada por diversos outros atributos, mesmo em curtas distâncias (LEITE et al., 2018). Lopes et al., 2020, também encontraram elevada variabilidade espacial para K_o .

Desta forma, as áreas de mata nativa e Pasto 3, na cama de 0,20 – 0,40 m, sem diferenças entre si, se deve ao elevado CV observado para K_o , o que eleva a diferença mínima significativa, necessária para que estes tratamentos diferissem estatisticamente entre si. Porém, ao observar as camadas de 0 – 0,10 m e de 0,10 – 0,20 m, notou-se que, a K_o do Pasto 3, aumenta de acordo com o aumento da profundidade. Desta maneira, mesmo Pasto 3 possuindo uma K_o próxima a mata nativa na camada de 0,20 – 0,40 m, esta acaba sendo restringida, uma vez que a capacidade de drenagem nas camadas de 0 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m é menor que da camada de 0,20 – 0,40 m. Desta forma, a área do Pasto 3 acaba não sendo diferente aos Pastos 1 e 2. Já o aumento da K_o observado nas camadas subsuperficiais da mata nativa se dá pelo sistema radicular diverso, profundo e abundante, como observado também por (LIMA et al., 2014).

Tabela 4. Atributos avaliados em três camadas do solo, de um Argissolo Amarelo sob pastagem e floresta nativa em terço médio e superior de encosta, na região do Recôncavo da Bahia

Uso	Ko mm h ⁻¹	CC ----- m ³ m ⁻³ -----	PMP ----- m ³ m ⁻³ -----	AD	COT g kg ⁻¹
0 – 0,10 m					
Mata	212,95 a	0,24 b	0,18 b	0,069 c	25,04 b
Pasto 1	8,84 b	0,34 a	0,23 a	0,104 a	28,00 a
Pasto 2	14,39 b	0,27 b	0,18 b	0,093 b	21,35 c
Pasto 3	29,37 b	0,29 b	0,19 b	0,096 b	20,90 c
0,10 – 0,20 m					
Mata	251,52 a	0,26 b	0,20 b	0,059 a	18,96 b
Pasto 1	8,31 c	0,31 a	0,25 a	0,066 a	21,75 a
Pasto 2	18,14 b	0,27 b	0,20 b	0,063 a	19,16 b
Pasto 3	104,05 b	0,29 b	0,22 a	0,068 a	17,88 b
0,20 – 0,40 m					
Mata	171,93 a	0,27 a	0,21 b	0,063 a	14,98 b
Pasto 1	10,63 b	0,32 a	0,25 a	0,065 a	21,00 a
Pasto 2	30,30 b	0,27 a	0,23 b	0,045 a	13,64 b
Pasto 3	145,24 a	0,30 a	0,25 a	0,046 a	14,54 b

Médias seguidas da mesma letra, não diferem significativamente entre si pelo Teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade; Ko: condutividade hidráulica saturada; CC: capacidade de campo; PMP: ponto de murcha permanente; AD: água disponível; COT: carbono orgânico total.

Verifica-se que, entre os tratamentos, os valores de Ko foram reduzidos, em relação à mata nativa, em todas as camadas de solo. Resultados semelhantes também foram observados por Magliano et al. (2016) e Bezerra et al. (2019). Isso indica a essencialidade da preservação da floresta nativa para a manutenção da qualidade física do solo neste ambiente, evidenciada, neste caso, pela capacidade do solo de infiltração de água (LIMA et al., 2014). Assim, a maior Ko, favorece a maior infiltração de água, principalmente nas partes mais elevadas da paisagem, como é o caso do presente estudo, é fundamental para evitar problemas como a erosão, principalmente em áreas com declividade acentuada, e aumentar a recarga do lençol freático, o que não foi objeto deste estudo.

Essa diferença entre as áreas de pastagem e a área de mata nativa, para a variável Ko, se dá pelo fato de que na mata nativa, há um maior equilíbrio ecossistêmico e preservação constante de suas propriedades, incluindo o solo, pois, os maiores valores de Ko estão relacionados à manutenção da estrutura do solo e ausência de monocultivo, que é responsável pela redução da atividade biológica e a diversidade radicular, alterando negativamente a estrutura do solo, conseqüentemente reduzindo a Ko (LIMA et al., 2014; BEZERRA et al., 2019).

A correta interpretação da K_o depende do volume de água precipitada sobre este solo. Se a precipitação de uma região for maior que a K_o , o solo sofrerá com erosões, devido ao escoamento superficial, sobretudo em declividade acentuada, onde a gravidade atua aumentando a intensidade deste escoamento superficial. Por outro lado, se a precipitação for menor que a K_o , este mesmo solo terá melhor capacidade de drenagem do volume de água precipitado, atenuando o efeito da gravidade sobre o escoamento superficial proporcionado pela declividade acentuada.

Uma elevada K_o também pode ter efeito negativo no solo, se o solo possuir baixa capacidade de retenção de água e receber um volume de água abaixo da K_o . A água precipitada é ligeiramente conduzida pelo perfil do solo; pouco tempo depois de cessar a precipitação este solo volta a ficar seco, prejudicando o desenvolvimento das culturas. Por outro lado, caso a precipitação seja elevada e o K_o também elevado, o solo sofrerá com lixiviação e, algumas vezes, com eluviação de partículas de argila no perfil do solo.

Nas camadas de 0 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m, Pasto 1 apresentou os maiores valores médios de CC, diferindo dos demais tratamentos. Meyer & Gee (1999), descreveram que a CC representa o máximo conteúdo de água que o solo é capaz de reter após a drenagem do mesmo, no momento em que a condutividade hidráulica é considerada irrisória. Como a CC está relacionada com a quantidade de MIP existentes no solo, então, tem-se que maiores valores de CC são benéficos ao solo, desde que haja uma quantidade mínima de MAP maior que $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, uma vez que elevados valores de MIP podem estar relacionados a reduzidos valores de MAP, e esta porosidade de aeração também é essencial para o desenvolvimento das culturas (DEXTER, 1988).

No presente estudo, a área de Pasto 1, que apresentou os maiores valores médios de CC nas camadas de 0 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m, também apresentou um reduzido valor de MAP, igual ou abaixo da referência de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Tabela 3), desta maneira estes valores mais altos apresentados na área de Pasto 1 em relação a mata nativa para CC, não refletem em uma melhor qualidade do solo, para este tratamento.

Na camada de 0 – 0,10 m, PMP foi maior em Pasto 1, e diferiu dos demais tratamentos, que expressaram menores valores médios e não foram diferentes entre si. Nas camadas de 0,10 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m, Pasto 1 e Pasto 3 não foram diferentes, apresentando os maiores valores médios de PMP, diferindo das áreas de mata nativa e Pasto 2, e com os menores valores médios. O PMP refere-se ao ponto

de umidade em que a água está retida nos criptoporos do solo com elevada energia, tão alta que as raízes são incapazes de absorver esta água do solo (KLEIN, 1998).

Com isso, os maiores valores médios de PMP encontrados para Pasto 1 na camada de 0 – 0,10 m e para Pasto 1 e Pasto 3, nas camadas de 0,10 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m, significam que mesmo possuindo uma umidade maior que a Mata nativa, o sistema radicular da pastagem já está impedido de absorver água, enquanto que para Mata nativa, ainda há água disponível para ser absorvida.

Os tratamentos utilizados no estudo apresentaram diferença significativa para AD apenas na camada de 0 – 0,10 m, onde o Pasto 1 demonstrou maior valor médio, diferindo dos demais, enquanto a área de mata nativa, foi o tratamento que expressou menor valor médio de AD (Tabela 4). A AD refere-se à faixa de água prontamente disponível à absorção pelas plantas, entre a CC e o PMP (VEIHMEYER & HENDRICKSON, 1949; KLEIN, 2014). Nesse sentido, na camada de 0 – 0,10 m, o Pasto 1 foi o tratamento que disponibilizou uma maior faixa de umidade disponível as plantas. Entretanto, isso se deve a maior predominância de MIP em relação à MAP, como foi discutido para CC, fazendo com que os tratamentos compostos por pastagens apresentassem maiores valores médios de AD em relação à Mata nativa, porém, atrelados a uma porosidade de aeração deficitária que prejudica as trocas gasosas e o desenvolvimento do sistema radicular.

No estudo, para a camada de 0,10 – 0,20 m, onde a densidade do sistema radicular da *U. Decumbens* já começa a reduzir, observa-se que os valores de AD não diferiram estatisticamente. Já na camada de 0,20 – 0,40 m, onde a efetividade do sistema radicular desta gramínea é muito menor, observa-se que a Mata nativa já apresenta valores maiores que o Pasto 2 e Pasto 3, a ausência de diferença significativa para este atributo é decorrente do valor de CV mais alto para a camada de 0,20 – 0,40 m, em relação as predecessoras.

O teor de COT no Pasto 1 foi superior aos demais tratamentos, em todas as camadas avaliadas no estudo. Na camada de 0 – 0,10 m, o Pasto 2 e Pasto 3 apresentaram os menores valores médios de COT, diferindo da Mata nativa. Nas camadas de 0,10 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m, Mata nativa, Pasto 2 e Pasto 3, não diferiram entre si.

O fato de as áreas de pastagens estarem sem pastejo a um ano somados aos 35 anos de implantação, contribuíram para o maior aporte de material orgânico nestes tratamentos, fazendo com que estas áreas apresentassem valores próximos ou

superiores de COT em relação à mata nativa, sobretudo para o tratamento Pasto 1. Espécies forrageiras apresentam material orgânico com elevada relação C/N, o que torna sua decomposição mais lenta em relação ao material orgânico de leguminosas, que apresentam baixa relação C/N e são facilmente decompostos no solo.

Boer et al. (2007), observaram em seus estudos, que o tempo necessário de decomposição, mineralização e conseqüente liberação de nutrientes de materiais orgânicos mais resistentes (C/N elevada), gira em torno de 120 a 240 dias, estando sem pastejo, em estado de vegetação constante, os tratamentos compostos por pastagens estão a pelo menos 365 dias realizando aporte e decomposição da matéria orgânica. Teixeira et al. (2012), em seu estudo, observaram que aos 120 dias de avaliação ainda restava uma significativa quantidade de material orgânico resistente, não decomposto.

Desta forma, valores mais altos, próximos ou superiores ao da mata nativa, servem para qualificar as áreas de pastagens utilizadas no estudo, uma vez que a Mata nativa, possui um ecossistema diverso e mais equilibrado, sendo uma ótima referência de COT para solos da região.

Há uma notável redução da quantidade do COT à medida em que a profundidade do solo aumenta. Isso acontece devido à redução gradual da atividade microbiana com o aumento da profundidade, os sistemas radiculas das plantas, também são efetivamente reduzidos no mesmo sentido, incrementando uma menor quantidade de material orgânico ao sistema, além disso o material orgânico oriundo da parte aérea das plantas, possui uma maior efetividade no aumento do COT, na camada superficial do solo. Esse comportamento também foi verificado por Santos et al. (2017), que também observaram a mesma redução do COT nas camadas subsuperficiais em relação à camada superficial do solo.

No presente estudo, houve significância para as cotas de altitude e interação entre os tratamentos e as cotas nas camadas de 0 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m para COT (Tabela 2). De 0 – 0,10 m, as cotas de altitude da Mata nativa não apresentaram diferença estatística, já os três tratamentos de pastagem, apresentaram diferença entre as cotas. Pasto 1 expressou valores médios de COT para as cotas alta e baixa de 32,73 g kg⁻¹ e 23,26 g kg⁻¹. Pasto 2 de 24,38 g kg⁻¹ e 18,33 g kg⁻¹ e Pasto 3 de 24,94 g kg⁻¹ e 16,86 g kg⁻¹, respectivamente para as cotas alta e baixa, demonstrando que quanto mais alto o transecto amostral na paisagem, considerando a pastagem, maiores serão os valores de COT. Esse comportamento também é confirmado pela

significativa interação que exprimiu a superioridade da cota alta em relação à cota baixa através dos valores médios de COT, 26,81 g kg⁻¹ e 20,84 g kg⁻¹, respectivamente.

Para a camada de 0,10 – 0,20 m, o mesmo comportamento é observado para Mata nativa, que não apresentou diferença significativa para suas cotas, seguido do Pasto 3. Pasto 1 e Pasto 2, demonstraram significância para as cotas, apresentando maiores valores médios para a cota alta, de cada um destes dos tratamentos. A interação tratamento x cota, também apresentou os maiores valores médios de COT para a cota alta, 22,06 g kg⁻¹ e 16,81 g kg⁻¹, para as cotas alta e baixa, respectivamente.

Ao avaliar as relações entre as variáveis avaliadas no presente estudo (Tabela 5), verifica-se correlações positivas e negativas em todas as camadas de solo, tendo as correlações variado entre regular e muito forte, segundo a classificação feita por Callegari-Jacques (2009).

A DS possui uma forte correlação negativa com o VTP, MAP, DMP e Ko, demonstrando que o aumento da DS, devido a compactação do solo é prejudicial para a estrutura do solo, influenciando negativamente os atributos relacionados à estrutura. Nota-se que a DS não possui correção com a MIP, isso porque os microporos do solo estão protegidos no interior dos agregados, os quais possuem uma maior resistência a deformações (CARVALHO et al., 2014), conforme discutido anteriormente. A RP é outro atributo com o qual a DS possui forte correlação positiva, demonstrando mais uma vez o efeito negativo do aumento da DS para o solo, neste caso, proporcionando o aumento da RP, que neste estudo, para Pasto 2 e Pasto 3, já é limitante ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Com isso, se faz necessário adotar um manejo capaz de reduzir a DS nas áreas supracitadas, visando a redução da RP e a melhoria das condições de porosidade e de condutividade hidráulica deste solo.

O VTP possui forte correlação com Ko, RP e AD, sendo a correlação entre VTP e RP negativa e forte, mantendo-se nas três camadas estudadas, ou seja, solos mais porosos apresentam uma menor RP. No solo estudado, principalmente nas áreas sob pastagem, o solo apresenta sinais de compactação, com menores valores de VTP em relação à Mata nativa, conseqüentemente, com maiores valores médios de RP. Já a correlação entre VTP e Ko é positiva nas camadas de 0 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m, não havendo correlação na camada de 0,20 – 0,40 m, demonstrando que a influência da

porosidade do solo sobre a condutividade hidráulica é mais pronunciada em superfície.

Tabela 5. Correlação de Pearson para os atributos avaliados em três camadas do solo, de um Argissolo Amarelo sob pastagem e floresta nativa em terço médio e superior de encosta, na região do Recôncavo da Bahia

Var	DS	VTP	MIP	MAP	DMP	Ko	RP	CC	PMP	AD	COT
----- 0 - 0,10 m -----											
DS	1	-0,97**	0,28 ^{ns}	-0,85**	-0,73**	-0,78**	0,87**	0,29 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,65**	-0,38*
VTP		1	-0,39*	0,92**	0,63**	0,81**	-0,86**	-0,39*	-0,18 ^{ns}	-0,71**	0,29 ^{ns}
MIP			1	-0,72**	0,15 ^{ns}	-0,53**	0,30*	0,97**	0,94**	0,78**	0,29 ^{ns}
MAP				1	0,41*	0,84**	-0,78**	-0,70**	-0,54**	-0,86**	0,10 ^{ns}
DMP					1	0,39*	-0,64**	0,11 ^{ns}	0,30 ^{ns}	-0,32 ^{ns}	0,58**
Ko						1	-0,63**	-0,49**	-0,33 ^{ns}	-0,72**	0,08 ^{ns}
RP							1	0,28 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,49**	-0,40*
CC								1	0,96**	0,82**	0,27 ^{ns}
PMP									1	0,64**	0,34 ^{ns}
AD										1	0,07 ^{ns}
COT											1
----- 0,10 - 0,20 m -----											
DS	1	-0,96**	-0,21 ^{ns}	-0,80**	-0,71**	-0,50**	0,88**	0,18 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,37*	-0,08 ^{ns}
VTP		1	0,19 ^{ns}	0,86**	0,67**	0,49**	-0,81**	-0,15 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	-0,42*	0,11 ^{ns}
MIP			1	-0,34 ^{ns}	0,16 ^{ns}	-0,25 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	0,82**	0,83**	0,39*	-0,14 ^{ns}
MAP				1	0,55**	0,60**	-0,71**	-0,58 ^{ns}	-0,51**	-0,61**	0,18 ^{ns}
DMP					1	0,43*	-0,59**	-0,05 ^{ns}	0,00 ^{ns}	-0,27 ^{ns}	0,19 ^{ns}
Ko						1	-0,38*	-0,47**	-0,43*	-0,42*	-0,08 ^{ns}
RP							1	0,28 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,35 ^{ns}	-0,09 ^{ns}
CC								1	0,98**	0,56**	-0,04 ^{ns}
PMP									1	0,40*	-0,07 ^{ns}
AD										1	0,08 ^{ns}
COT											1
----- 0,20 - 0,40 m -----											
DS	1	-0,89**	-0,38*	-0,59**	-0,42*	-0,20 ^{ns}	0,85**	-0,04 ^{ns}	0,18 ^{ns}	-0,29 ^{ns}	-0,28 ^{ns}
VTP		1	0,23 ^{ns}	0,79**	0,41*	0,25 ^{ns}	-0,76**	-0,05 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,24 ^{ns}
MIP			1	-0,41*	-0,03 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	0,69**	0,55**	0,17 ^{ns}	0,35*
MAP				1	0,40*	0,26 ^{ns}	-0,61**	-0,48**	-0,56**	0,11 ^{ns}	0,00 ^{ns}
DMP					1	0,24 ^{ns}	-0,27 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	0,06 ^{ns}	-0,16 ^{ns}
Ko						1	-0,16 ^{ns}	-0,25 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	-0,37*
RP							1	0,20 ^{ns}	0,38*	-0,24 ^{ns}	-0,28 ^{ns}
CC								1	0,71**	0,36*	0,48**
PMP									1	-0,40*	0,15 ^{ns}
AD										1	0,43*
COT											1

Var: variável; *: significativo a 5% de probabilidade; **: significativo a 1% de probabilidade; ^{ns}: não significativo a 5%; DS: densidade do solo; VTP: volume total de poros; MIP: microporosidade; MAP: macroporosidade; DMP: diâmetro médio ponderado; Ko: condutividade hidráulica saturada; RP: resistência a penetração; CC: capacidade de campo; PMP: ponto de murcha permanente; AD: água disponível; COT: carbono orgânico total.

No geral, a correlação existente entre DS, VTP, RP e Ko, demonstra problemas relacionados à compactação do solo, a partir dos quais, entende-se a necessidade da construção da qualidade física do solo, através da sua estrutura, reduzindo a DS e

mantendo a porosidade em níveis ideais, com a finalidade de possuir uma melhor condutividade hidráulica e menor RP, minimizando as chances de ocorrência de enxurradas e conseqüentemente minimizando a ocorrência da erosão do solo.

A AD apresenta uma correlação negativa com o VTP e positiva com a MIP. A correlação negativa entre AD e VTP decorre da presença de macroporos, responsáveis pela drenagem do solo, enquanto a positiva entre AD e MIP decorre da presença de microporos, que são os responsáveis pela retenção de água no solo. Tal fato também explica a forte correlação da MIP com CC e PMP, que se deve a capacidade de retenção de água mencionada anteriormente.

Para COT foram verificadas poucas correlações com os demais atributos avaliados no estudo, tendo apresentado correlação negativa com a DS. Isso demonstra que o aumento da compactação do solo também é prejudicial aos níveis de matéria orgânica.

CONCLUSÕES

As áreas sob pastagem se afastaram das condições naturais observadas na mata nativa, com redução na condição estrutural do solo, sobretudo para a macroporosidade e resistência a penetração, indicando compactação.

Visto a interdependência existente entre a densidade do solo e vários outros atributos físicos do solo, há necessidade da adoção de práticas de uso e manejo, com a finalidade de reduzir a densidade do solo, mitigando o efeito da compactação.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.
- BEZERRA, C. B.; SOUZA JUNIOR, A. J.; CORRÊA, M. M.; LIMA, J. R. S.; SANTORO, K. R.; SOUZA, E. S.; OLIVEIRA, C. L. Latossolo húmico sob pastagem com diferentes intensidades de usos: atributos químicos e físico-hídricos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, n. 1, p. 1-9, 2019.
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density in methods of soil analysis. **Agronomy**, v. 9, n. 1, p. 374-390, 1965.
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Particle density. **Methods of soil analysis: Part 1 physical and mineralogical methods**, v. 5, p. 377-382, 1986.
- BOER, C. A.; ASSIS, R. L. D.; SILVA, G. P.; BRAZ, A. J. B. P.; BARROSO, A. L. D. L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F. R. Ciclagem de nutrientes por plantas de

cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 9, p. 1269-1276, 2007.

BRIZZI, R. R.; PORTOCARRERO, H.; COSTA, N. M. C.; SOUZA, A. P.; COSTA, A. J. S. T. Análise das características físico-químicas do horizonte superficial de um Latossolo Amarelo sob pastagem como subsídio à compreensão de processos erosivos no município de Parati-RJ. **Caminhos de Geografia**, v. 20, n. 69, p. 223-236, 2019.

CALDAS, V. I. S. P.; SILVA, A. S.; SANTOS, J. P. C. Suscetibilidade à erosão dos solos da bacia hidrográfica lagos–São João, no Estado do Rio de Janeiro–Brasil, a partir do método AHP e análise multicritério. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 04, p. 1415-1430, 2019.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Artmed Editora, 2009.

CANARACHE, A. PENETR—a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil and Tillage Research**, v. 16, n. 1-2, p. 51-70, 1990.

CARVALHO, M. A. D.; RUIZ, H. A.; COSTA, L. M. D.; PASSOS, R. R.; ARAUJO, C. A. D. S. Composição granulométrica, densidade e porosidade de agregados de Latossolo Vermelho sob duas coberturas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 10, p. 1010-1016, 2014.

COLOMBI, T.; TORRES, L. C.; WALTER, A.; KELLER, T. Feedbacks between soil penetration resistance, root architecture and water uptake limit water accessibility and crop growth—A vicious circle. **Science of the total environment**, v. 626, p. 1026-1035, 2018.

COUTINHO, F. S.; PEREIRA, M. G.; MENEZES, C. E. G.; GUARESCHI, R. F.; ASSUNÇÃO, S. A. Atributos edáficos em áreas de agricultura, pastagem e três estágios sucessionais de Floresta. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.

DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L. Porosity. **Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods**, v. 5, p. 443-461, 1986.

DAY, P. R. Particle fractionation and particle-size analysis. **Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling**, v. 9, p. 545-567, 1965.

DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. **Soil and tillage research**, v. 11, n. 3-4, p. 199-238, 1988.

DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental. 2014, 36 p.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: LIER, Q. de J. V. Física do Solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 1-27, 2010.

FREITAS, L.; OLIVEIRA, I. A.; SILVA, L. S.; FRARE, J. C. V.; FILLA, V. A.; GOMES, R. P. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Unimar Ciências**, v. 26, n. 1-2, 2017.

GROHMANN, F. Análise de agregados de solos. **Bragantia**, v. 19, n. 13, p. 201-213, 1960.

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

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia**: relações solo-planta. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1979. 262 p.

KLEIN, V. A. **Física do solo**, 3. ed., Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2014. 263 p.

KLEIN, V. A. **Propriedades físico-hídrico-mecânicas de um Latossolo Roxo, sob diferentes sistemas de uso e manejo**. 1998. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 26, n. 4, p. 857-867, 2002.

KLUTE, Arnold. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil. **Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling**, v. 9, p. 210-221, 1965.

KONDO, M. K.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; WENDLING, B.; SILVA, P. B.; CARDOSO, M. M. Efeito de coberturas vegetais sobre os atributos físicos do solo e características agronômicas do sorgo granífero. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 1, 2012.

LEITE, P. A.; SOUZA, E. S.; SANTOS, E. S.; GOMES, R. J.; CANTALICE, J. R.; WILCOX, B. P. The influence of forest regrowth on soil hydraulic properties and erosion in a semiarid region of Brazil. **Ecohydrology**, v. 11, n. 3, p. e1910, 2018.

LEY, G. J.; MULLINS, C. E.; LAL, R. The potential restriction to root growth in structurally weak tropical soils. **Soil and Tillage Research**, v. 33, n. 2, p. 133-142, 1995.

LIMA, J. R. S.; SOUZA, E. S.; ANTONINO, A. C. D.; SILVA, I. F.; CORRÊA, M. M.; LIRA, C. A. B. O. Atributos físico-hídricos de um Latossolo Amarelo cultivado e sob mata nativa no Brejo Paraibano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 4, p. 599-605, 2014.

LIPIEC, J.; HATANO, R. Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. **Geoderma**, v. 116, n. 1-2, p. 107-136, 2003.

LOPES, V. S.; CARDOSO, I. M.; FERNANDES, O. R.; ROCHA, G. C.; SIMAS, F. N. B.; MOURA, W. M.; LUZ, J. M. R. The establishment of a secondary forest in a degraded pasture to improve hydraulic properties of the soil. **Soil and Tillage Research**, v. 198, p. 1-9, 2020.

MAGLIANO, P. N.; FERNÁNDEZ, R. J.; FLORIO, E. L.; MURRAY, F.; JOBBÁGY, E. G. Soil physical changes after conversion of woodlands to pastures in dry Chaco Rangelands (Argentina). **Rangeland Ecology & Management**, v. 70, n. 2, p. 225-229, 2016.

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, 2017.

MEYER, P. D.; GEE, G. W. Flux-based estimation of field capacity. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, v. 125, n. 7, p. 595-599, 1999.

OLIVEIRA, G. G.; SILVA, É. A.; OLIVEIRA, G. C.; CARDUCCI, C. E.; BARBOSA, S. M.; SILVA, B. M. Indicadores de qualidade física para Argissolos sob pastagens nas regiões leste e sul de Minas Gerais. **Revista de Ciências Agrárias. Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 58, n. 4, p. 388-395, 2015.

PEREIRA, A. A.; THOMAZ, E. L. Estabilidade de Agregados em Diferentes Sistemas de Uso e Manejo no Município de Reserva-PR. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 02, p. 378-387, 2014.

RAMOS, M. R.; FAVARETTO, N.; UHLMANN, A.; DIECKOW, J.; VEZZANI, F.; DE ALMEIDA, L. Produção de hortaliças no sistema orgânico: efeito nos atributos físicos do solo. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 58, n. 1, p. 45-51, 2015.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos em ciência do solo**, v. 5, p. 49-134, 2007.

ROCHA, S. P.; PREVEDELLO, J.; REINERT, D. J.; FLEIG, F. D.; VOGELMANN, E. S.; SOARES, J. C. W.; HEINZ, B. B. Propriedades físicas do solo e crescimento de eucalipto implantado em diferentes métodos de preparo do solo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 108, 2015.

SALES, A.; SILVA, A. R.; VELOSO, C. A. C.; CARVALHO, E. J. M.; MIRANDA, B. M. Carbono orgânico e atributos físicos do solo sob manejo agropecuário sustentável na Amazônia Legal. In: **Colloquium Agrariae**. 2018. p. 01-15.

SANTOS, F. A. S.; PIERANGELI, M. A. P.; SILVA, F. L.; SERAFIM, M. E.; SOUSA, J. B.; OLIVEIRA, E. B. Dinâmica do carbono orgânico de solos sob pastagens em campos de murundus. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 2, p. 43-53, 2017.

SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F.C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 115-123, 2010.

SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA. **Mapa tipologia climática KÖPPEN**. Disponível em: <http://www.sei.ba.gov.br/site/geoambientais/mapas/pdf/tipologia_climatica_segundo_koppen_2014.pdf>. Acesso em: 12 jan. 21.

SUZUKI, L. E. A. S.; LIMA, C. L. R. D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; PILLON, C. N. Estrutura e armazenamento de água em um Argissolo sob pastagem cultivada, floresta nativa e povoamento de eucalipto no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 94-106, 2014.

TEIXEIRA, M. B.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PIMENTEL, C. Decomposição e ciclagem de nutrientes dos resíduos de quatro plantas de cobertura do solo. **Idesia (Arica)**, v. 30, n. 1, p. 55-64, 2012.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3ª edição revista e atualizada. EMBRAPA. 2017, 573 p.

USDA - Department of Agriculture. **Soil quality test kit guide**. Washington, USDA-ARS-Soil Quality Institute, 82p., 1999.

VEIHMEYER, F. J.; HENDRICKSON, A. H. Methods of measuring field capacity and permanent wilting percentage of soils. **Soil science**, v. 68, n. 1, p. 75-94, 1949.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil science**, v. 37, n. 1, p. 29-38, 1934.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel, D. (Ed.), **Applications of Soil Physics**. Academic Press, New York, p. 319-344, 1980.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of the American Society of Agronomy**, v. 28, n. 5, p. 337-351, 1936.

CAPÍTULO 2

POVOAMENTOS FLORESTAIS E PASTAGEM COMO CONDICIONANTES DA QUALIDADE DE LATOSSOLO AMARELO DISTROCOESO AVALIADA POR PARÂMETROS DO INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO ²

² Artigo a ser ajustado para submissão ao Comitê Editorial do periódico científico Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental - AGRIAMBI

POVOAMENTOS FLORESTAIS E PASTAGEM COMO CONDICIONANTES DA QUALIDADE DE LATOSSOLO AMARELO DISTROCOESO AVALIADA POR PARÂMETROS DO INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO

RESUMO: Muitas áreas utilizadas para suprir a necessidade produtiva de alimentos no Brasil já estão no limite da sustentabilidade ou entraram perigosamente em degradação, sendo necessário buscar alternativas para reverter quadros de degradação. Desta forma, objetivou-se com o estudo, avaliar o efeito proporcionado por povoamentos florestais e pastagem sobre atributos físicos de um Latossolo Amarelo distrocoeso, da região de Cruz das Almas, Bahia, avaliado pelo Intervalo Hídrico Ótimo (IHO). O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), contando com quatro tratamentos, compostos por: Angico-Vermelho, Gonçalves Alves, Sabiá e Pastagem, na camada de 0 a 0,20 m, sendo determinados: densidade do solo (DS), volume total de poros (VTP), macroporosidade (MAP), microporosidade (MIP), resistência mecânica do solo à penetração (RP), capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e capacidade de água disponível (AD). E caracterizado o IHO para cada tratamento. Com os dados obtidos, foram realizadas análises de variância para as variáveis supracitadas. Quando significativa a 5%, foi realizado teste de médias de Scott-Knott, quando não significativa, foi aplicada a estatística descritiva. As áreas estudadas foram semelhantes estatisticamente para DS, VTP, RP e AD, e para estes atributos não foi observado nenhum nível de limitação ao desenvolvimento do sistema radicular. A Pastagem apresentou maior MIP e menor MAP em relação aos povoamentos florestais. Gonçalves Alves foi o tratamento que proporcionou maior retenção de água na CC, e, para PMP, a que apresentou menor conteúdo de água foi a Pastagem. A porosidade de aeração não foi limitante na composição do IHO para nenhum dos tratamentos. Todos os tratamentos apresentaram baixa amplitude do IHO, sendo limitada pela resistência à penetração.

Palavras-chave: recuperação de áreas degradadas; atributos físicos do solo; manejo do solo; qualidade do solo

FORESTS AND PASTURE AS CONDITIONERS FOR QUALITY OF OXISOL ASSESSED BY PARAMETERS OF THE LEAST LIMITING WATER RANGE

ABSTRACT: Many areas used to supply food production in Brazil are either already at the limit of sustainability or dangerously going into degradation. Therefore, it is necessary to seek for alternatives to reverse degradation. In this way, the objective of the study was to evaluate the effect of forest stands and pasture on physical attributes of an Oxisol from the region of Cruz das Almas, Bahia, evaluated by the Least Limiting Water Range (LLWR). The experimental design used was completely randomized (DIC), to compare the effect of Angico-Vermelho, Gonçalo Alves, Sabiá and Pasture, in the 0 to 0.20 m layer, of soil determined through soil density (DS), total pore volume (VTP), macroporosity (MAP), microporosity (MIP), mechanical resistance of soil to penetration (RP), field capacity (CC), permanent wilt point (PMP), available water capacity (AD). LLWR was is characterized for each treatment. A analyzes of variance were performed and the mean values were compared with Scott-Knott ($p < 0.05$); when not significant, descriptive statistics was applied. There were no differences for DS, VTP, RP and AD, and no limitation to the development of the root system was observed. Pasture showed higher MIP and lower MAP in relation to forest stands. Gonçalo Alves was the treatment that provided the greatest water retention in the WC, and for PMP, the one with the lowest water content was the Pasture. The aeration porosity was not limiting in the composition of the LLWR for any of the treatments. All treatments showed low amplitude of LLWR, being limited by resistance to penetration.

Keywords: recovering degraded areas; soil physical attributes; soil management; soil quality

INTRODUÇÃO

A crescente necessidade de produzir mais alimentos para a população mundial é uma realidade na qual o Brasil tem papel de destaque. Entretanto muitas áreas utilizadas para suprir essa necessidade produtiva já estão no limite da sustentabilidade ou entraram perigosamente em diferentes estágios de degradação. A redução da qualidade do solo e, conseqüentemente, a sua degradação, é tema urgente relacionado aos solos e ecossistemas.

A primeira ação antrópica responsável pela degradação do solo é a supressão da vegetação nativa para implantação de pastagens ou de lavouras dos mais variados tipos (SILVA et al., 2015). Em seqüência, tem-se a utilização de práticas de manejo inadequadas, que reduzem a qualidade do solo, como o repetitivo revolvimento por arações e gradagens, além da utilização de monoculturas, no caso de culturas e, no caso de pastagens, a superlotação animal, causando principalmente a compactação do solo (SUZUKI et al., 2014; CARVALHO et al., 2017).

A alternativa mais difundida para a recuperação de áreas com diferentes níveis de degradação é a utilização de espécies florestais, preferencialmente as nativas, adaptadas à uma dada região em questão, mesmo em condições adversas de ambientes degradados (VALE et al., 2014), de rápido desenvolvimento (CAMPOE et al., 2014), capazes de prover boa cobertura do solo, ciclagem eficiente de nutrientes e incremento de matéria orgânica que, somados à atividade do sistema radicular, propiciam a melhoria da qualidade do solo.

Dentre as espécies florestais com características potenciais para recuperação de áreas degradadas em diferentes biomas brasileiros tem-se: a *Anadenanthera macrocarpa* (Angico-Vermelho), *Astronium fraxinifolium* (Gonçalo Alves) e *Mimosa caesalpinifolia* (Sabiá), em razão das particularidades de cada uma destas espécies.

O Angico-Vermelho e o Sabiá são da família das *Fabaceae*, de elevada importância ecológica, pois são capazes de fixar biologicamente o nitrogênio atmosférico, através da associação simbiótica com bactérias diazotróficas (MARQUES, 2004). Essa característica faz com que haja o fornecimento constante de nitrogênio para as plantas, extremamente necessário para o desenvolvimento vegetativo das culturas, e adicione ao solo material orgânico rico em nitrogênio a partir da senescência da parte aérea e raízes, propiciando a ciclagem de nutrientes e do

carbono orgânico (SILVA et al., 2020). É, portanto, essencial para a construção da estrutura do solo e melhoria na sua qualidade.

Diferentemente das duas espécies anteriores, o Gonçalo Alves é uma espécie da família *Anacardiaceae*, de grande interesse comercial, por se tratar de uma madeira rígida, de alta densidade, durabilidade e resistente a injúrias. Em razão dessas qualidades, houve redução da população dessa espécie por conta da exploração comercial. Além da qualidade da madeira, casca e raízes são comumente utilizados para fins medicinais (CALDEIRA JÚNIOR et al., 2009). Desta forma, a utilização do Gonçalo Alves para o reflorestamento, além de trazer benefícios na esfera da qualidade do solo, a partir da recuperação da sua estrutura e cobertura do mesmo, reduzindo erosão, também promove o aumento populacional desta espécie, auxiliando ativamente na preservação da mesma.

Por outro lado, o plantio de espécies forrageiras, como a *Urochloa decumbens*, é de grande potencial para melhoria da qualidade física do solo, principalmente nas camadas superficiais, onde o sistema radicular é mais pronunciado. Trata-se de um sistema radicular fasciculado muito denso (SALTON & TOMAZI, 2014), o que é fundamental para a descompactação do solo, por romper camadas adensadas à medida que as raízes se desenvolvem, promovendo redução da densidade do solo, aumento da aeração e redução da resistência à penetração. Carvalho et al., (2016) mostraram que a condição estrutural do solo com a forrageira sem pastejo, foi semelhante àquela de campo nativo, sobretudo para densidade do solo, macroporosidade e microporosidade, salientando os benefícios da pastagem. A parte aérea desta espécie propicia rápida cobertura do solo, impedindo o impacto das gotas da chuva diretamente sobre a superfície do solo, reduzindo a erosão. Além disso, devido a elevada relação C/N da biomassa produzida pela *U. Decumbens*, há acúmulo mais duradouro sobre o solo de uma palhada significativa, também elevando a proteção contra o impacto da chuva (LIMA et al., 2013; SALTON & TOMAZI, 2014).

Quanto à qualidade do solo, os princípios e parâmetros envolvidos no Intervalo Hídrico Ótimo são aqueles que melhor expressam a qualidade de um determinado solo, especialmente solos coesos, por considerarem, por princípios, as condições físicas para o adequado desenvolvimento das plantas (TORMENA et al., 1998). Portanto, tendo como base eventuais benefícios promovidos ao solo pela utilização de espécies florestais e forrageiras sobre o solo, objetivou-se com o estudo, avaliar o efeito proporcionado por povoamentos florestais e pastagem sobre atributos físicos

de um Latossolo Amarelo Distrocoeso, da região de Cruz das Almas, Bahia, avaliados pelo Intervalo Hídrico Ótimo.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo e delineamento experimental

A área de estudo está inserida no Nordeste do Brasil, na região de Cruz das Almas, estado da Bahia, sob as coordenadas geográficas 12°39'17"S e 39°04'48"W. O clima, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Af, caracterizado como tropical chuvoso de floresta, sem estação seca definida; pluviosidade média mensal superior a 60mm e anual superior a 1500mm; temperatura do mês mais frio acima de 18°C; verões longos e quentes com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C (Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia - SEI, 2014).

A área de estudo está situada na formação geomorfológica dos Tabuleiros Costeiros, em um Latossolo Amarelo distrocoeso, coberto em parte por *Urochloa decumbens* (Pastagem) e parte com povoamentos florestais compostos por: *Anadenanthera macrocarpa* (Angico-Vermelho), com espaçamento de 6,0x3,0 m, diâmetro a altura do peito (DAP) 17,41 cm e altura de 5 m; *Astronium fraxinifolium* (Gonçalo Alves) em um espaçamento de 6,0x3,0m, 12,9 cm de DAP e 4,8 m de altura; e *Mimosa caesalpinifolia* (Sabiá) com espaçamento de 3,0x3,0 m, DAP igual a 7,7 cm e altura de 5,8 m. Todas estas espécies têm oito anos de plantadas, sendo que na área de pastagem não houve entrada de animais.

A implantação das áreas florestais foi realizada a partir de mudas produzidas por sementes coletadas aleatoriamente de árvores em campo, apresentando em média 0,30 m de altura no momento do transplântio. Não houve revolvimento do solo por aração, sendo realizado o plantio direto em covas de 0,30 m de diâmetro por 0,30 m de profundidade, adubadas com 120g de superfosfato simples. A adubação de cobertura foi feita aos 90 dias após o transplântio, com 120 g da fórmula 20-0-20 por planta. Os tratamentos culturais de controle de formigas e plantas daninhas foram realizados periodicamente, procedendo com três capinas manuais no 1º, 6º e 12º mês após o transplântio das mudas. A pastagem, composta por *Urochloa decumbens*, foi formada a partir de sementes, semeadas a lanço.

A caracterização textural do solo foi realizada de acordo com o método descrito por Day (1965) para todo o perfil do solo, a densidade de partículas foi determinada utilizando o método do balão volumétrico (BLAKE & HARTGE, 1986) (Tabela 1).

Tabela 1. Granulometria e densidade de partículas da camada de 0 – 0,20 m de profundidade de Latossolo Amarelo Distrocoeso sob cultivo de pastagem e povoamentos florestais

Perfil	Prof	AT	Argila	Silte	DP
Horizonte	m	----- g kg ⁻¹ -----			Mg m ⁻³
A	0 – 0,13	300	650	50	2,62
AB	0,13 – 0,35	350	600	50	2,63
BA	0,35 – 0,64	450	450	100	--
B1	0,64 – 0,118	500	400	100	--
B2	0,118 – 0,162	300	600	100	--
B3	0,162 – 0,188+	250	650	100	--

Profundidade (Prof); Areia total (AT); densidade de partículas (DP)

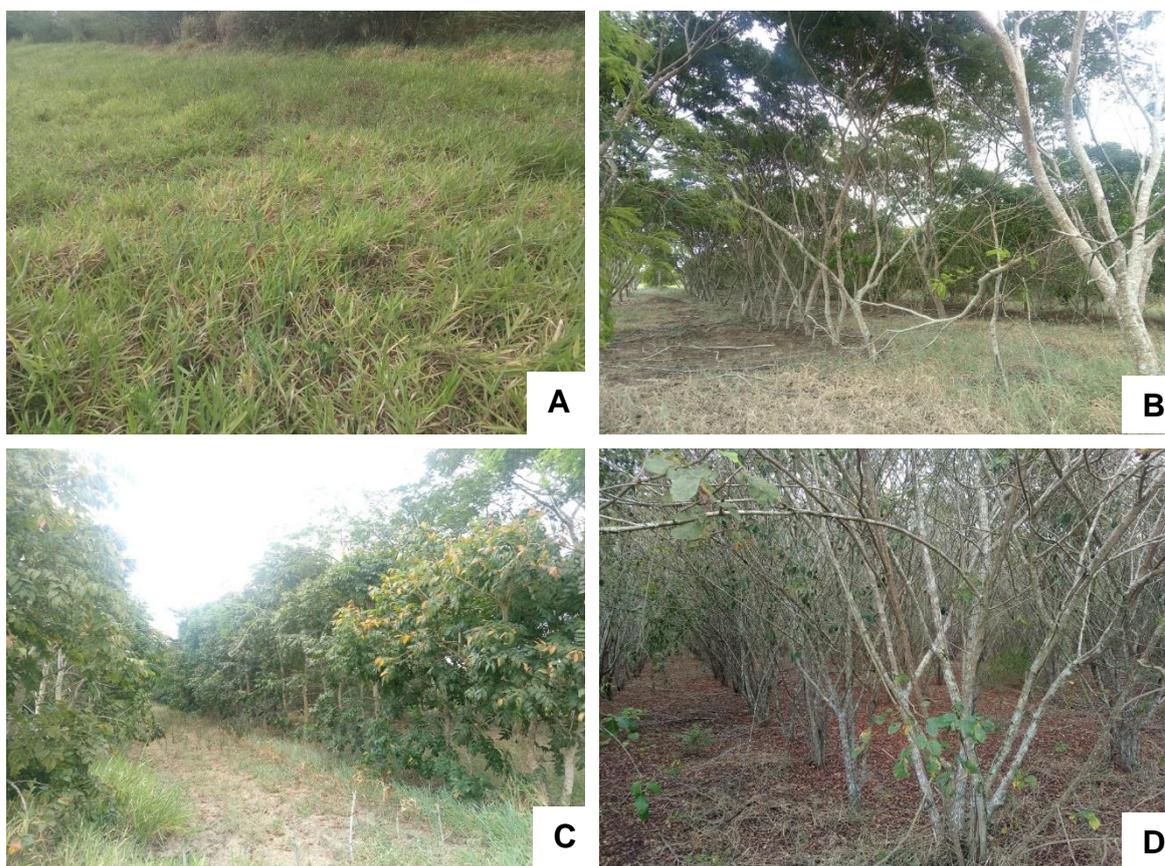


Figura 1. Cultivos de pastagem (a) e povoamentos florestais: Angico (b); Gonçalo Alves (c) e Sabiá (d), sobre um Latossolo Amarelo Distrocoeso.

Amostras com estrutura preservada foram coletadas aleatoriamente na área sob pastagem, e nas linhas de cultivo das espécies florestais, utilizando anéis volumétricos com medidas de 0,05 x 0,05 m e amostrador do tipo Uhland, para as

determinações: densidade do solo (DS), volume total de poros (VTP), macroporosidade (MAP), microporosidade (MIP), resistência mecânica do solo à penetração (RP), capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e capacidade de água disponível (AD).

Para cada parcela, foram coletadas outras quarenta amostras indeformadas, quatro amostras para cada um dos dez potenciais matriciais aplicados, seguindo a descrição de amostragem anterior, para a caracterização do intervalo hídrico ótimo (IHO) de cada cultivo (tratamento).

Atributos físicos analisados

A DS de cada amostra foi obtida através da relação massa/volume, utilizando o método do método do anel volumétrico (BLAKE & HARTGE, 1965), a partir da equação 1:

$$Ds = \frac{m}{v} \quad (1)$$

em que:

Ds – densidade do solo, Mg m⁻³;

m – massa de solo seco a 105° C, Mg;

v – volume do anel, m³.

O VTP foi calculado a partir da relação existente entre a Dp e a Ds (DANIELSON & SUTHERLAND, 1986), estando descrita na equação 2:

$$VPT = 1 - \left(\frac{Ds}{Dp} \right) \quad (2)$$

em que:

VTP – volume total de poros, m³ m⁻³;

Ds – densidade do solo, Mg m⁻³;

Dp – densidade do solo, Mg m⁻³.

A microporosidade foi obtida a partir do método da mesa de tensão (TEIXEIRA et al., 2017), a uma tensão de 60 cm de coluna de água, equivalente à tensão de -6 kPa, para retirada de toda a água presente nos macroporos. Assim sendo, o volume

de microporos é igual a umidade no potencial matricial de -6 kPa e a diferença existente entre os valores de VTP e MIP é igual à MAP. A MIP foi determinada a partir da equação 3:

$$MIP = \frac{(M60-m)}{v} \quad (3)$$

em que:

MIP – microporosidade, $m^3 m^{-3}$;

M60 – massa de solo úmido na tensão de 60 cm de coluna de água, Mg;

m – massa de solo seco a 105° C, Mg;

v – volume do anel, m^3 .

Para a determinação da AD nos diferentes sistemas, considerou-se como capacidade de campo (CC) a umidade obtida no potencial matricial de -10 kPa e como ponto de murcha permanente (PMP) a umidade obtida no potencial matricial de -1500 kPa. Assim, a AD foi determinada a partir da diferença entre as umidades obtidas na CC e no PMP (VEIHMEYER & HENDRICKSON, 1949).

A resistência mecânica a penetração do solo (RP) foi determinada a partir de amostras indeformadas, com umidade padronizada a -100 kPa em extrator de Richards. Para o ensaio de RP, foi utilizado um penetrômetro de bancada da marca Marconi, modelo MA 933, munido de uma célula de carga de 20 kg, com uma haste acoplada tendo um cone com diâmetro de 4 mm em sua extremidade. Essa haste permite simular a resistência a penetração das raízes no solo, configurado com velocidade constante de penetração de 1 cm min^{-1} , com tempo de operação de 240 segundos, penetrando 4 cm no centro geométrico superior de cada amostra. O valor de RP foi obtido a partir da média das leituras realizadas entre 61 e 240 segundos, desconsiderando, portanto, os primeiros 60 segundos de leitura.

Ao término das leituras de RP, todas as amostras foram colocadas em estufa com temperatura regulada a 105° C, por 24 h. Em seguida, as amostras foram transferidas para dessecador, resfriadas, e então pesadas, para cálculo da DS, a partir da massa seca e do volume do anel, conforme Equação 1.

Intervalo Hídrico Ótimo (IHO)

O intervalo hídrico ótimo (IHO) foi determinado segundo Silva et al. (1994), a partir de quatro componentes relacionados ao conteúdo de água e à densidade do solo. São eles: porosidade de aeração (PA), capacidade de campo (CC), resistência à penetração (RP) e ponto de murcha permanente (PMP). Os dois primeiros representam o limite superior do IHO e os dois últimos representam o limite inferior, expressos em razão do conteúdo de água (eixo das ordenadas) e a densidade do solo (eixo das abcissas).

No gráfico de IHO, PA representa a porosidade mínima de aeração a partir da qual a cultura passa a sofrer limitações para o seu pleno desenvolvimento, que deve ser no mínimo de $0,1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ da porosidade livre de água, sendo esta obtida a partir da equação 4.

$$PA = \left(1 - \frac{DS}{DP}\right) - 0,1 \quad (4)$$

A CC e o PMP foram determinados a partir do ajuste das curvas de retenção de água para cada tratamento, nas quais as amostras foram submetidas aos potenciais matriciais de -0,004, -0,006 MPa, obtidas em mesa de tensão; -0,008, -0,01, -0,03, -0,05, -0,07, -0,1, -0,5 e -1,5 MPa empregando extratores de Richards. A umidade na CC foi determinada em -0,01 MPa e PMP em -1,5 MPa, ajustados com base no procedimento descrito por Silva et al. (1994), de acordo com a equação 5.

Após a determinação de umidade em cada ponto de tensão supracitado, foi realizado o teste de RP para a obtenção da curva de resistência a penetração, sendo que a mesma foi ajustada a partir do modelo proposto por Busscher (1990), de acordo com a equação 6. Em seguida as amostras foram secas em estufa a 105° C para determinação da DS, também descrita anteriormente.

Os componentes utilizados para a caracterização do IHO, bem como os gráficos correspondentes, foram obtidos com o auxílio do software estatístico R (R-core Team, 2017).

$$\theta = \exp(a + b \cdot DS \cdot \psi^c) \quad (5)$$

$$RP = d \cdot DS^e \cdot \theta^f \quad (6)$$

em que:

a, b, c, d, e, f – parâmetros adimensionais de ajuste;

θ – umidade do solo, $m^3 m^{-3}$;

DS – densidade do solo, $Mg m^{-3}$;

DP – densidade de partículas, $Mg m^{-3}$.

A partir da determinação dos constituintes dos limites superior e inferior do IHO, o mesmo foi obtido a partir da diferença do conteúdo de água existente entre esses dois limites.

Os resultados obtidos foram submetidos a análises de variância para as variáveis: densidade do solo, volume total de poros, macroporosidade, microporosidade, resistência a penetração, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível; dos diferentes sistemas de uso do solo. Quando significativa ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$), foi realizado teste de média de Scott-Knott. Quando não significativa ao nível de 5%, foi aplicada a estatística descritiva, para interpretação dos resultados, para ambas situações, foi utilizado o software estatístico SISVAR (FERREIRA, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo do quadro da análise de variância é apresentado na Tabela 2 e da análise descritiva na Tabela 3. Observa-se que dos atributos físicos analisados, DS, VTP, RP e AD não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 2). Já os parâmetros MIP, MAP e PMP apresentaram diferença significativa ao nível de 1% e CC ao nível de 5% de probabilidade.

A partir dos coeficientes de variação (Tabela 2) e faixas de comparação apresentadas por Warrick & Nielsen (1980), observa-se que DS, VTP, MIP, MAP, CC e PMP, possuem baixo CV ($CV(\%) < 12$), indicando uma elevada homogeneidade dos dados. Apenas RP e AD apresentaram CV médio ($12 < CV(\%) < 60$), o que indica uma menor homogeneidade dos dados, em relação aos atributos anteriores.

Apesar de possuírem elevada homogeneidade de dados, o que reduz a diferença mínima significativa entre as médias, não houve diferença estatística nos atributos DS e VTP, o que indica que, na camada avaliada, tanto as áreas com espécies florestais quanto a área com pastagem mantem qualidade de solo semelhantes.

Já nos casos dos parâmetros RP e AD, o CV foi considerado médio (26,73 e 39,04 %), o que eleva a diferença mínima significativa para que os tratamentos empregados no estudo apresentassem diferença significativa entre si para estes dois atributos, por consequente, a diferença observada entre os tratamentos, não foi suficiente para diferenciá-los entre si quanto a esses dois parâmetros.

Tabela 2. Resumo do quadro da análise de variância dos atributos físicos da camada de 0 a 0,20 m de profundidade de um Latossolo Amarelo distrocoeso sob povoamentos florestais e pastagem.

FV	GL	Quadrado Médio							
		DS	VTP	MIP	MAP	RP	CC	PMP	AD
Tratamento	3	0,006 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,002 ^{**}	0,005 ^{**}	0,420 ^{ns}	0,0004 [*]	0,0005 ^{**}	0,0003 ^{ns}
Erro	20	0,005	0,001	0,0001	0,001	0,242	<0,0001	<0,0001	0,0002
CV (%)	---	4,67	5,98	6,86	9,89	26,73	8,45	10,45	39,04

Não significativo (ns); significativo a 5% (*); significativo a 1% (**), fonte de variação (FV); graus de liberdade (GL); densidade do solo (DS); volume total de poros (VTP); microporosidade (MIP); macroporosidade (MAP); resistência a penetração (RP); capacidade de campo (CC); ponto de murcha permanente (PMP); água disponível (AD).

Os valores de MIP e MAP contrariam aqueles apresentados por Kiehl (1979), com cerca de dois terços de macroporos e um terço de microporos, evidenciando boa capacidade de aeração no solo (Tabela 4).

Tabela 4. Atributos físicos da camada de 0 a 0,20 m de profundidade de um Latossolo Amarelo Distrocoeso sob povoamentos florestais e pastagem.

Cultivo	MIP	MAP	CC	PMP
	----- m ³ m ⁻³ -----			
A. Vermelho	0,134 c	0,321 a	0,114 b	0,079 a
G. Alves	0,151 b	0,285 b	0,123 a	0,082 a
Sabiá	0,157 b	0,280 b	0,109 b	0,082 a
Pastagem	0,177 a	0,248 c	0,105 b	0,063 b

microporosidade (MIP); macroporosidade (MAP); capacidade de campo (CC); ponto de murcha permanente (PMP).

A pastagem apresentou o maior valor médio de MIP (0,177 m³ m⁻³), diferindo dos demais tratamentos compostos por espécies florestais. As espécies Sabiá e G. Alves não diferiram entre si, diferindo, do tratamento composto por A. Vermelho, que apresentou menor valor médio de MIP (0,134 m³ m⁻³).

O maior valor médio de MIP para a pastagem é atribuído à diferença existente entre o sistema radicular de plantas forrageiras e de espécies florestais. Neste caso, a *U. Decumbens* possui um denso sistema radicular, do tipo fasciculado, que se desenvolve principalmente na camada superficial do solo (0 a 0,20 m). Essa característica difere das espécies florestais, que possuem um sistema radicular

robusto e profundo, do tipo pivotante, que, para além de absorver água e nutrientes, forneça à planta melhor sustentação no solo.

Dadas às características particulares, a pastagem promove uma melhor estruturação do solo em superfície, uma vez que seu denso sistema radicular é responsável pelo incremento de matéria orgânica, decorrente da constante renovação e decomposição de raízes além da liberação de compostos orgânicos, fatores importantes para a agregação do solo e construção de poros (LIMA et al., 2013).

Tendo em vista que os tratamentos utilizados no estudo não diferiram quanto ao VTP (Tabela 2), as respostas dos tratamentos foram inversas para MIP e MAP. Deste modo, o tratamento composto por *A. Vermelho*, com menor valor médio para MIP, apresentou maior valor médio para MAP, diferindo de *G. Alves* e *Sabiá*, e da Pastagem, que por sua vez, expressou menor valor médio de MAP.

A MAP é a porção do VTP que mais facilmente sofre alterações, o que se deve ao fato de que a MAP está presente entre os agregados, havendo pouca proteção no que diz respeito à estrutura do solo. As espécies florestais desenvolvem sistema radicular robusto e profundo, aplicando uma pressão pontual sobre os agregados, auxiliando na agregação e porosidade, tendo como outro fator importante, a criação de bioporos a partir da decomposição de raízes (SUZUKI et al., 2014).

De acordo com o proposto por Dexter (1988), solos com porosidade de aeração acima de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ não apresentam limitações ao desenvolvimento das culturas, sendo então considerados ideais os valores obtidos no presente estudo, que apresentou menor valor médio de $0,248 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, para o tratamento composto por *U. Decumbens*.

A CC refere-se ao conteúdo de água retida no solo após cessada a drenagem do mesmo (MEYER & GEE, 1999), enquanto o PMP refere-se à água retida nos criptoporos e todo o restante é drenado, neste estágio, a energia com que a água é retida é tão alta que o sistema radicular não mais consegue absorver a água do solo (KLEIN, 1998). A área com *G. Alves* apresentou maior conteúdo de água na CC, com valor médio de $0,123 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, diferindo dos demais tratamentos, enquanto que o menor valor médio foi observado na pastagem, $0,105 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. A superioridade observada para o *G. Alves* demonstra que este tratamento promove uma maior retenção de água na CC, em comparação com os demais, mesmo se comparado com as outras duas espécies arbóreas, *A. Vermelho* e *Sabiá*.

Para PMP, os tratamentos compostos por espécies florestais não diferiram entre si, expressando os maiores valores médios, diferindo da pastagem, onde foi verificado o menor valor médio de $0,063 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Os maiores valores de umidade no PMP observados para os tratamentos com espécies florestais, significam que estas áreas, mesmo com uma umidade maior que a observada para a pastagem, já atingem a limitação imposta pela energia de retenção, que impede a disponibilidade da água.

Na Tabela 5 estão descritos os parâmetros obtidos para os ajustes das curvas de retenção de água e de resistência a penetração para os tratamentos avaliados. Para a curva de retenção de água, o tratamento que apresentou menor coeficiente de determinação foi o A. Vermelho (68%), enquanto que o G. Alves foi o tratamento que expressou maior coeficiente de determinação, sendo este de 79%.

Para a curva de resistência a penetração, o A. Vermelho também foi o tratamento que apresentou menor coeficiente de determinação, de 48%, sendo este valor maior para o G. Alves, sendo de 89%.

Os baixos coeficientes de determinação observados para o A. Vermelho em ambas as curvas demonstram uma maior variação dos dados obtidos para os potenciais utilizados no estudo.

Tabela 5. Ajuste da curva de retenção de água e curva de resistência à penetração da camada de 0 a 0,20 m de profundidade de um Latossolo Amarelo Distrocoeso sob povoamentos florestais e pastagem.

Cultivo	Equação	R ²	RMSE	Parâmetros		
				a	b	c
Curva de Retenção de Água						
A. Vermelho	$\theta = \exp(a + b \cdot Ds \cdot \psi^c)$	0,68	0,018	-3,184**	0,394 ^{ns}	-0,13**
G. Alves	$\theta = \exp(a + b \cdot Ds \cdot \psi^c)$	0,79	0,015	-3,823**	0,841*	-0,14**
Pastagem	$\theta = \exp(a + b \cdot Ds \cdot \psi^c)$	0,76	0,022	-3,743**	0,535 ^{ns}	-0,22**
Sabiá	$\theta = \exp(a + b \cdot Ds \cdot \psi^c)$	0,73	0,019	-3,653**	0,660*	-0,15**
Curva de Resistência à Penetração						
				d	e	f
A. Vermelho	$RP = d \cdot Ds^e \cdot \theta^f$	0,48	0,499	0,0088 ^{ns}	4,896**	-1,37**
G. Alves	$RP = d \cdot Ds^e \cdot \theta^f$	0,89	0,585	0,0001 ^{ns}	17,26**	-3,01**
Pastagem	$RP = d \cdot Ds^e \cdot \theta^f$	0,70	0,875	0,0001 ^{ns}	16,00**	-3,00**
Sabiá	$RP = d \cdot Ds^e \cdot \theta^f$	0,73	1,310	0,0001 ^{ns}	12,46**	-4,14**

Parâmetros de ajuste das curvas de retenção de água (a, b, c), parâmetros de ajuste das curvas de resistência à penetração (d, e, f); não significativo (^{ns}); significativo a 5% (*); significativo a 1% (**); Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE)

O IHO representado na Figura 2 demonstra que os tratamentos utilizados no estudo, não influenciaram a PA no limite superior do IHO, estando este intervalo delimitado apenas pela CC, o que se deve aos elevados valores de macroporosidade,

responsáveis pela aeração do solo, a qual não limita o desenvolvimento das culturas utilizadas nas áreas sob estudo (Tabela 4). Para o limite inferior, nota-se que pastagem e Sabiá sofreram limitação no IHO pela RP. Já para A. Vermelho e G. Alves, no limite inferior, o PMP é crescente até a intercessão com a RP (Figura 2). De forma geral mesmo apresentando um conteúdo de água baixo, os tratamentos apresentaram baixas amplitudes do conteúdo de água no IHO, semelhantes às observadas por Dias et al. (2016).

Para A. Vermelho e G. Alves, o IHO é crescente até a DS na qual inicia a influência da RP, $1,41 \text{ Mg m}^{-3}$ e $1,44 \text{ Mg m}^{-3}$, na qual a RP, começa a limitar a absorção da água pelas plantas, devido a restrição ao desenvolvimento do sistema radicular, que quando reduzido, se dispõe em uma área menor, aproveitando menos a água do meio. Para pastagem e Sábida não há faixa crescente do IHO, estando essa faixa em redução entre as DS de $1,40$ a $1,64 \text{ Mg m}^{-3}$ para a pastagem e de $1,38$ a $1,71 \text{ Mg m}^{-3}$ para o Sabiá. Neste caso, a RP é o fator que implica maior limitação ao IHO para os tratamentos utilizados, reduzindo-o consideravelmente à medida que a DS aumenta.

O A. Vermelho apresentou maior IHO na DS de $1,39 \text{ Mg m}^{-3}$ e menor na DS de $1,66 \text{ Mg m}^{-3}$, sendo estes $0,061 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,017 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ respectivamente; para G. Alves os valores máximo e mínimo do IHO foram, $0,066 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,012 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para as DS de $1,39 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $1,62 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ nesta ordem; Sabiá, $0,062 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,030 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, nas DS de $1,38 \text{ Mg m}^{-3}$ e $1,71 \text{ Mg m}^{-3}$ e a pastagem $0,086 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,040 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, nas respectivas DS, $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$ e $1,64 \text{ Mg m}^{-3}$. Para o limite superior, observa-se que à medida que a DS aumenta, a umidade na CC também aumenta nos tratamentos, isso porque, com o aumento da DS, há um incremento na quantidade de microporos, que são os poros responsáveis pela retenção de água no solo (KLEIN, 2014), já a PA apesar não ter efeito nesse estudo, sofre uma redução com o aumento da DS, sendo reflexo da aproximação de agregados, resultando na redução da quantidade de macroporos presentes no solo (OWUOR et al., 2018).

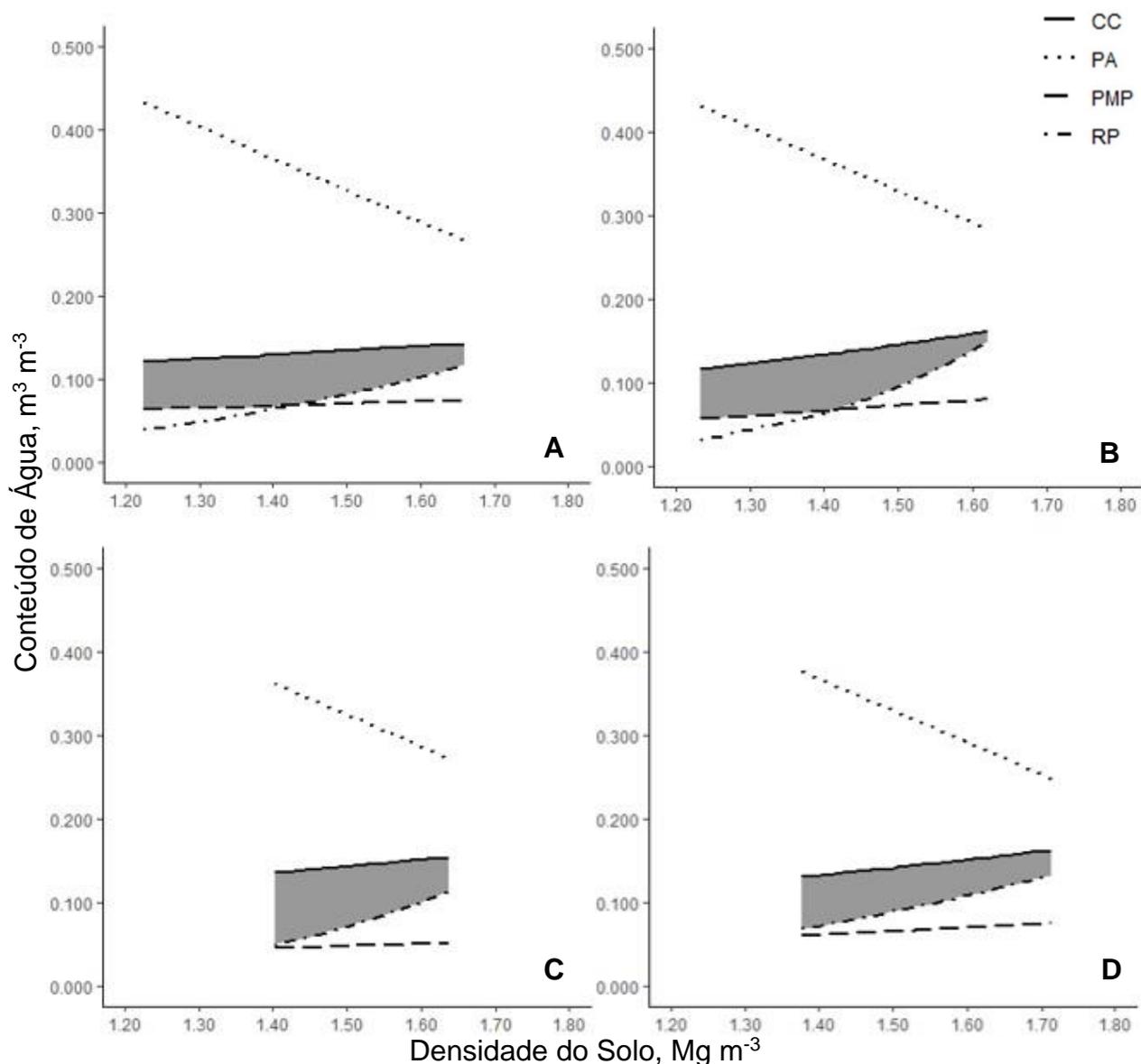


Figura 2. Intervalo Hídrico Ótimo (IHO). Angico-Vermelho (A); Gonçalo Alves (B); Pastagem (C); Sabiá (D); capacidade de campo (CC); porosidade de aeração (PA); ponto de murcha permanente (PMP); resistência a penetração (RP).

Considerando a DS em torno de $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$, dos tratamentos, a pastagem é o que apresenta maior IHO, seguido pelos tratamentos com espécies florestais (Figura 3), reflexo do sistema radicular denso e superficial, que possui maior capacidade de alteração dos atributos físicos do solo em superfície, melhorando com maior eficiência esses atributos.

O efeito da RP também é visível na Figura 3, onde, pois constata-se o aumento do IHO para os tratamentos A. Vermelho e G. Alves, até o momento em que há a

intercessão com a curva de resistência a penetração, a partir da qual o IHO nestes tratamentos decresce, uma vez que o aumento da RP em função da DS é mais pronunciado do que o aumento da retenção de água em função das mesmas DS.

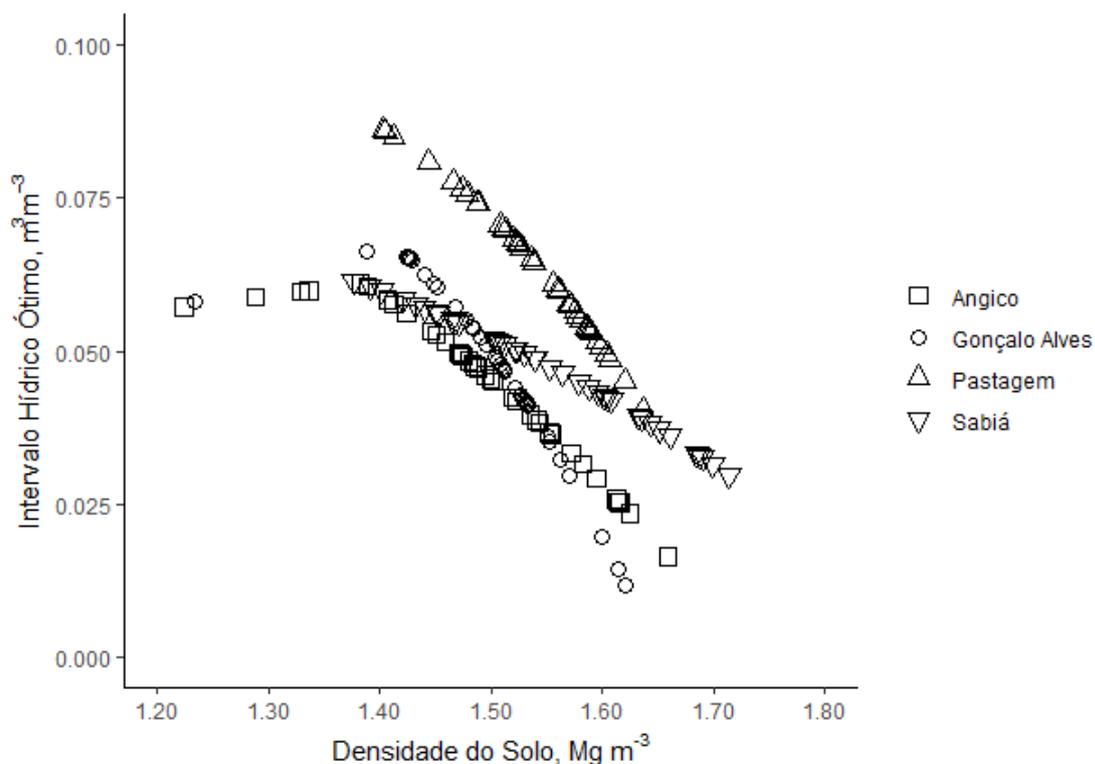


Figura 3. Intervalo Hídrico Ótimo (IHO), da camada de 0 a 0.20 m de profundidade de um Latossolo Amarelo distrocoeso sob povoamentos florestais e pastagem. Angico-Vermelho (A); Gonçalves Alves (B); Pastagem (C); Sabiá (D); capacidade de campo (CC); porosidade de aeração (PA); ponto de murcha permanente (PMP); resistência a penetração (RP).

CONCLUSÕES

Quanto a densidade do solo, volume total de poros, resistência a penetração e água disponível em Latossolo Amarelo Distrocoeso, os tratamentos utilizados demonstraram eficiência semelhante.

Na área sob pastagem ocorreu uma maior alteração nos atributos físicos do solo, refletindo em uma maior microporosidade e menor macroporosidade.

Os povoamentos florestais e pastagem expressaram baixa amplitude do intervalo hídrico ótimo, tendo a disponibilidade de água restringida pela resistência à penetração.

As espécies *A. macrocarpa*, *A. fraxinifolium*, *M. caesalpinifolia* e *U. Decumbens* são boas condicionantes da qualidade física do solo.

REFERÊNCIAS

- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density in methods of soil analysis. **Agronomy**, v. 9, n. 1, p. 374-390, 1965.
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Particle density. **Methods of soil analysis: Part 1 physical and mineralogical methods**, v. 5, p. 377-382, 1986.
- BUSSCHER, W. J. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. **Transactions of the ASAE**, v. 33, n. 2, p. 519-524, 1990.
- CALDEIRA JÚNIOR, C. F.; SOUZA, R. A.; SANTOS, A. M.; SAMPAIO, R. A.; MARTINS, E. R. Características químicas do solo e crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott em área degradada adubada com lodo de esgoto e silicato de cálcio. **Revista Ceres**, v. 56, n. 2, p. 213-218, 2009.
- CAMPOE, O. C.; IANNELLI, C.; STAPE, J. L.; COOK, R. L.; MENDES, J. C. T.; VIVIAN, R. Atlantic forest tree species responses to silvicultural practices in a degraded pasture restoration plantation: From leaf physiology to survival and initial growth. **Forest Ecology and Management**, v. 313, p. 233-242, 2014.
- CARVALHO, W. T. V.; MINIGHIN, D. C.; GONÇALVES, L. C.; VILLANOVA, D. F. Q.; MAURICIO, R. M.; PEREIRA, R. V. G. Pastagens degradadas e técnicas de recuperação: Revisão. **Pubvet**, v. 11, p. 947-1073, 2017.
- DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L. Porosity. **Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods**, v. 5, p. 443-461, 1986.
- DAY, P. R. Particle fractionation and particle-size analysis. **Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling**, v. 9, p. 545-567, 1965.
- DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. **Soil and tillage research**, v. 11, n. 3-4, p. 199-238, 1988.
- DIAS, C. B.; ROCHA, G. C.; ASSIS, I. R. D.; FERNANDES, R. B. A. Intervalo hídrico ótimo e densidade crítica de um Latossolo Amarelo distrocoeso sob diferentes usos no ecossistema Tabuleiro Costeiro. **Revista Ceres**, v. 63, n. 6, p. 868-878, 2016.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.
- KIEHL, E.J. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1979. 262 p.
- KLEIN, V. A. **Física do solo**, 3. ed., Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2014. 263 p.
- KLEIN, V. A. **Propriedades físico-hídrico-mecânicas de um Latossolo Roxo, sob diferentes sistemas de uso e manejo**. 1998. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

LIMA, A. M. I.; ARAÚJO, C. M.; BARBOSA, S. R. Avaliação das propriedades físicas do solo em sistemas silvopastoris, região centro norte, estado do Piauí. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.9, n.1, p.117-124, 2013.

MARQUES, V. B. Efeito de fontes e doses de nitrogênio sobre o crescimento de mudas de angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan), jacarandá-da-Bahia (*Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. All. ex Benth.) e sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.). 2004.

MEYER, P. D.; GEE, G. W. Flux-based estimation of field capacity. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, v. 125, n. 7, p. 595-599, 1999.

OWUOR, S. O.; BUTTERBACH-BAHL, K.; GUZHA, A. C.; JACOBS, S.; MERBOLD, L.; RUFINO, M. C.; PELSTER, D. E.; DÍAZ-PINÉS, E.; BREUER, L. Conversion of natural forest results in a significant degradation of soil hydraulic properties in the highlands of kenya. **Soil & Tillage Research**, v. 176, n. 9, p. 36–44, 2018.

RAMOS, M. R.; FAVARETTO, N.; UHLMANN, A.; DIECKOW, J.; VEZZANI, F.; DE ALMEIDA, L. Produção de hortaliças no sistema orgânico: efeito nos atributos físicos do solo. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 58, n. 1, p. 45-51, 2015.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, v. 27, p. 29-48, 2003.

ROCHA, S. P.; PREVEDELLO, J.; REINERT, D. J.; FLEIG, F. D.; VOGELMANN, E. S.; SOARES, J. C. W.; HEINZ, B. B. Propriedades físicas do solo e crescimento de eucalipto implantado em diferentes métodos de preparo do solo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 108, 2015.

RODRIGUES, A. B. M.; GIULIATTI, N. M.; PEREIRA JÚNIOR, A. Aplicação de metodologias de recuperação de áreas degradadas nos biomas brasileiros. **Brazilian Applied Science Review**, v. 4, n. 1, p. 333-369, 2020.

SALTON, J. C.; TOMAZI, M. Sistema radicular de plantas e qualidade do solo. **Embrapa Agropecuária Oeste-Comunicado Técnico**, 2014.

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range of soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 6, p. 1775-1781, 1994.

SILVA, G. F.; SANTOS, D.; SILVA, ALEXANDRE, P. S.; SOUZA, J. M. Indicadores de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso na mesorregião do agreste paraibano. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 25-35, 2015.

SILVA, L. S.; CHAVES, J. S.; ALVES, R. N.; RODRIGUES, T. G.; PARAISO, B. S. A.; NASCIMENTO, J. P. S.; ...; MATOS, S. M. Fixação biológica e transferência de nitrogênio por *Gliricídia sepium* em pomar orgânico consorciado de laranja e banana. **Brazilian Applied Science Review**, v. 4, n. 5, p. 2916-2925, 2020.

SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA. **Mapa tipologia climática KÖPPEN**. Disponível em: <http://www.sei.ba.gov.br/site/geoambientais/mapas/pdf/tipologia_climatica_segundo_koppen_2014.pdf>. Acesso em: 12 jan. 21.

SUZUKI, L. E. A. S.; LIMA, C. L. R. D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; PILLON, C. N. Estrutura e armazenamento de água em um Argissolo sob pastagem cultivada, floresta nativa e povoamento de eucalipto no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 94-106, 2014.

TEAM, R. Core. R: A language and environment for statistical computing. 2017.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3ª edição revista e atualizada. EMBRAPA. 2017, 573 p.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 22, n. 4, p. 573-581, 1998.

VALE, I.; COSTA, L. G. S.; MIRANDA, I. S. Espécies indicadas para a recomposição da floresta ciliar da sub-bacia do rio Peixe-Boi, Pará. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 3, p. 573-582, 2014.

VEIHMEYER, F. J.; HENDRICKSON, A. H. Methods of measuring field capacity and permanent wilting percentage of soils. **Soil science**, v. 68, n. 1, p. 75-94, 1949.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel, D. (Ed.), **Applications of Soil Physics**. Academic Press, New York, p. 319-344, 1980.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com o que foi observado no estudo, a alteração do ambiente por meio da supressão da vegetação nativa para a implantação de pastagens contribui para a redução da qualidade do solo, por meio do afastamento dos valores de atributos do solo daqueles verificados para solos sob floresta nativa. Por esse lado, a pastagem é problema! Todavia, espécies forrageiras como a *Urochloa decumbens*, possuem potencial para auxiliar a construção da qualidade do solo em áreas degradadas, principalmente na camada superficial (0 a 0,20 m), desde que manejadas corretamente, sendo, neste caso, solução.

Visto que o manejo de pastagens na maioria das vezes é negligenciado, tendo um dos motivos, a implantação destas pastagens em áreas marginais, como as de declividade acentuada, que dificultam as práticas de manejo, áreas de pastagem normalmente encontram-se em algum nível de degradação, aparente ou intrínseco, como é o caso da pastagem estudada no Capítulo 1, que apesar de não apresentar visível degradação, expressa valores elevados de resistência a penetração e baixos de porosidade de aeração, o que possivelmente se tornará um problema maior no futuro, caso não haja intervenção com boas práticas de manejo.

Por outro lado, para a recuperação de áreas com algum nível de degradação, as espécies florestais nativas de Mata Atlântica utilizadas no estudo: *Anadenanthera macrocarpa*, *Astronium fraxinifolium* e *Mimosa caesalpinifolia*, demonstraram ser boas condicionantes da qualidade física do solo, mantendo os indicadores de qualidade física em níveis ideais. Desta forma, caso pastagens que apresentem níveis elevados de degradação, a ponto de ficar insustentável a prática do pastejo, sugere-se a utilização destas espécies florestais para elevação da qualidade física do solo, ou em situações onde a declividade é acentuada, como observado no Capítulo 1, mas que a pastagem não apresenta elevado nível de degradação, estas espécies podem ser utilizadas em cordões vegetais, os quais auxiliariam na conservação deste solo.

Estudos mais avançados com a temática do Capítulo 2 deste trabalho devem ser realizados, não somente em áreas parecidas com aquelas do atual estudo, mas em outras áreas não tão declivosas, onde as limitações químicas são mais críticas. Estudar o efeito destas espécies florestais e da *Urochloa decumbens* em solos mais susceptíveis à degradação continua sendo um desafio que requer a mesma pergunta título deste trabalho, cujos efeitos são mais superficiais, justificam-se ampliar o estudo para camadas mais profundas (0,20 a 0,40m e 0,40 a 0,60 m), verificando assim de que forma os sistemas radiculares destas florestais atuam sobre a camada coesa existente neste solo, que é um dos principais problemas para o uso e recuperação do solo na região do Recôncavo da Bahia.