



AVALIAÇÃO DA PERMEABILIDADE DO SOLO AO AR EM MATA NATIVA, SISTEMA CONVENCIONAL, SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA E SISTEMA AGROFLORESTAL EM UM SOLO ARENOSO

Gabrielle do Carmo Vitalino¹, Rayanna Elizabeth Queiroz², Wagner Henrique Moreira³

¹Acadêmica do Curso de Agronomia, *Campus Nova Andradina-MS*, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul - IFMS. Bolsista PIBITI. gabrielle.vitalino@estudante.ifms.edu.br. ²Acadêmica do Curso de Agronomia, *Campus Nova Andradina-MS*, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul - IFMS. Bolsista PIBITI. rayanna.queiroz@estudante.ifms.edu.br. ³Docente do Curso de Agronomia, *Campus Nova Andradina-MS*, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul - IFMS. wagner.moreira@ifms.edu.br.

RESUMO

Solos arenosos, são conhecidos por sua elevada macroporosidade e baixa retenção de água, porém, isso não significa que a permeabilidade do solo ao ar (K_a) seja alta, pois a K_a depende da continuidade dos poros e não apenas da quantidade. Assim, compreender a dinâmica da K_a em solos arenosos, é relevante para o desenvolvimento de práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis. O objetivo deste estudo foi avaliar e monitorar a qualidade do solo através da K_a em diferentes sistemas de uso e manejo num solo arenoso. Foram coletadas amostras de solo em: mata nativa (MN), sistema de semeadura convencional (SPC), sistema de semeadura direta por quatro anos (SSD4), sistema de semeadura direta por sete anos (SSD7) e sistema agroflorestal (SAF). Além da K_a , também houve determinação da densidade do solo (D_s), porosidade de aeração (E_a), porosidade total (PT) e teor de água volumétrico (θ). Os resultados obtidos foram submetidos à análise de componentes principais (ACP). Os valores indicaram que houve correlação positiva entre E_a , PT e K_a , indicando que locais com maior E_a e PT tendem a ter uma maior K_a . Além disso, observou-se uma correlação inversa entre D_s com E_a , PT e K_a , resultados em acordo com a literatura. Por outro lado, a ACP demonstrou que MN, SPC, SSD4, SSD7 e SAF não apresentaram diferenças ou padrão. A ausência de diferenças para os sistemas de uso e manejo, pode estar relacionada aos altos valores de K_a e E_a obtidos.

PALAVRAS-CHAVE: Atributos físicos; Cerrado; Sistemas de manejo.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a *Soil Taxonomy* (2022), o solo constitui corpos naturais independentes, compostos por gases, líquidos e sólidos derivados de materiais minerais ou orgânicos, que revestem a maior parte da superfície terrestre. Esses corpos apresentam uma morfologia única, desenvolvida a partir de combinações específicas de clima, material originário, organismos vivos e relevo.

O solo pode ser caracterizado por formações distinguíveis com base em seu material de origem, nos processos de formação (adição, perda, transferência e/ou transformação) ou até mesmo pelo uso antrópico. Devido à sua natureza mutável, o solo possui propriedades que variam ao longo das estações. Este pode alternar entre frio e quente, seco e úmido, afetando, assim, a atividade biológica, que pode ser dificultada ou interrompida quando o solo se torna muito frio ou seco.

O solo acumula camadas de matéria orgânica (MO), como folhas caídas ou palhada, e seu pH, concentração de sais solúveis, teor de MO, relação carbono-nitrogênio, quantidade de microrganismos, fauna do solo, temperatura e umidade variam tanto ao longo das estações quanto em períodos mais prolongados. Portanto, o solo deve ser analisado considerando tanto suas características de curto prazo quanto suas mudanças ao longo do tempo (*Soil Taxonomy*, 2022).



A textura do solo é classificada com base na proporção de partículas minerais de diferentes tamanhos, como argila, silte e areia. Solos classificados como "arenosos" possuem mais de 70% de areia (partículas entre 2,0 mm e 0,05 mm) e menos de 15% de argila (partículas < 0,002 mm) (Cordeiro et al., 2020).

No Brasil, os Latossolos compõem os solos mais expressivos, ocupando aproximadamente 39% da área total do país, distribuídos praticamente por todo o território nacional e 46% da área do bioma Cerrado, sendo essas áreas de relevo plano a suave-ondulado, chapadas ou vales. Os Latossolos de textura média, apresentam semelhanças com as Areias Quartzosas devido aos seus altos teores de areia, e são altamente vulneráveis à erosão, exigindo práticas conservacionistas e manejo cauteloso. A elevada percolação de água nesses solos, combinada com a baixa capacidade de troca catiônica (CTC), pode resultar na lixiviação de nutrientes. Em sistemas de sequeiro, a limitada capacidade de retenção de água dos Latossolos pode comprometer significativamente o rendimento das culturas, especialmente durante períodos de seca, típicos do Cerrado. Portanto, é recomendável adotar sistemas que mantenham a cobertura do solo e aumentem os níveis de MO, promovendo uma maior retenção de água no solo (Embrapa, 2018).

A utilização agrícola de solos arenosos tem sido problemática, pois, apesar da alta profundidade e valores significativos de atributos como a K_a , a textura arenosa ao longo do perfil resulta em baixa coesão entre as partículas, tornando-os suscetíveis à erosão, conforme Bernini (2016), citado por Moreira et al. (2024). Além disso, a baixa disponibilidade de água em solos arenosos limita o desenvolvimento de culturas anuais, especialmente em regiões com alta evapotranspiração, onde a retenção de água no solo é baixa e o consumo hídrico é elevado (Franchini et al., 2016).

Ao considerar a influência de fatores bióticos que podem causar variabilidades no solo, e tendo em vista que este é um recurso limitado cujas propriedades muitas vezes requerem longos períodos para se restabelecer, torna-se urgente compreender as consequências positivas e negativas dos diferentes tipos de uso e manejo do solo. Esses manejos, que visam a produção vegetal, envolvem operações simultâneas aplicadas ao solo, devendo sempre levar em conta a conservação e preservação de suas qualidades intrínsecas (Cordeiro et al., 2020).

Dentre os modelos de uso tradicionais, tem-se o sistema de plantio convencional (SPC), que consiste no uso de implementos agrícolas de forma grosseira, através de arados ou grades pesadas, com o fim de modificar a estrutura física do solo, bem como a incorporação de corretivos, fertilizantes, restos vegetais e plantas invasoras. No entanto, comumente ocasiona a compactação subsuperficial, a deformação de agregados, através da redução da quantidade de macroagregados, aumento de microagregados e a rápida decomposição da MO do solo, corroborado por Frazão et al. (2008) e mencionado por Moreira et al. (2024).

Outro sistema de grande importância no Cerrado é o sistema semeadura direta (SSD), que baseia-se no princípio de não revolvimento do solo, cobertura constante e rotação de culturas, possibilidade de redução da erosão hídrica do solo, aumento do teor de MO, e o incremento da atividade biológica do solo e outros bônus a longo prazo. Porém, os principais obstáculos consistem na dificuldade de adoção da rotação de culturas em SSD, na conscientização dos agricultores e o impasse entre a busca pela viabilidade econômica, que é o parâmetro indispensável dos produtores rurais (Fortini et al., 2020).

O sistema agroflorestal (SAF) é uma forma de uso conservacionista, que combina diferentes espécies de plantas lenhosas perenes, culturas agrícolas, forrageiras e/ou em integração com animais, em um arranjo espacial e temporal. Suas vantagens estão na



sucessão natural, na combinação de espécies com diferentes ciclos de vida e estratos, na ciclagem de nutrientes, na conservação da água e do solo, no aumento da biodiversidade e na otimização de recursos produzidos, expresso por Moreira (2024), ao discutir trabalhos de Guimarães e Mendonça (2019), Trindade (2022), e Rebello (2018).

Por não ser uniforme, o solo requer metodologias específicas para avaliar suas características. Desta forma, um conjunto de atributos do solo tem sido avaliado. A D_s , é um atributo essencial para avaliar a compactação do solo, que influencia indiretamente o desenvolvimento radicular e a capacidade do solo em reter água. Em relação ao θ , é um indicador da quantidade de água para as plantas, afetando a absorção de macro e micronutrientes e a eficiência do uso da água. Quanto à fração gasosa, os atributos que avaliam a capacidade do solo em fornecer oxigênio e facilitar a movimentação de água e nutrientes são representados pela E_a e pela PT . Esses atributos são essenciais para o desenvolvimento vegetal e a atividade microbiológica. Além disso, destaca-se, no contexto dos gases a K_a .

Os atributos do solo avaliados em conjunto, oferecem uma visão ampla das condições do solo, sendo fundamentais para promover a sustentabilidade agrícola. Ademais, permitem a comparação entre diferentes sistemas de uso e manejo, possibilitando a identificação de diferenças estatísticas em tais contextos (MOREIRA et al., 2024).

Devido às características contrastantes dos diferentes sistemas de manejo, espera-se a ocorrência de diferenças significativas entre eles. No entanto, é importante que as avaliações considerem propriedades específicas para determinar se esses atributos promovem melhorias em solos arenosos. Para isso, são utilizadas análises estatísticas, como a Análise de Componentes Principais (ACP).

Na ACP, os autovetores são valores que indicam a relevância de cada variável em relação a cada componente (ou eixo) e atuam como coeficientes de correlação, variando de -1 a +1. Geralmente, variáveis que possuem autovetores altos no primeiro eixo tendem a ter autovetores mais baixos no segundo eixo. Os autovalores, por sua vez, expressam a contribuição relativa de cada componente na explicação da variabilidade total dos dados, com um autovalor correspondente para cada componente, conforme mencionado por Silva et al. (2010) e citado por Cherubin et al. (2011).

Portanto, a ACP tem o potencial de auxiliar na identificação de atributos que causam variabilidade nas áreas analisadas, o que torna viável a obtenção de informações para definir o tipo de decisão a ser tomada, e, nesse caso, se o tipo de uso e manejo do solo causa mudanças (positivas ou negativas), como idealizado por Cherubin (2011) através do trabalho de Santi (2007).

Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar e monitorar a qualidade do solo através da K_a em diferentes sistemas de uso e manejo num solo arenoso.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida no município de Nova Andradina, Mato Grosso do Sul, precisamente no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul (IFMS) - Campus Nova Andradina. Rodovia MS 473, Km 23, apresentando relevo plano a suave ondulado e declividade média de 3%. A região apresenta médias anuais de temperatura e precipitação pluvial entre 20-22 °C e 1500-1700 mm, respectivamente, conforme Moreira et al. (2024). O solo foi identificado como Latossolo Vermelho de textura arenosa.



Em fevereiro de 2024, foram coletadas amostras indeformadas de cinco áreas cultivadas no IFMS. Foram selecionadas cinco áreas contíguas:

- Mata nativa (MN): Mantida há mais de 20 anos sem cultivo ou qualquer outro tipo de atividade antrópica, com ocorrência de contato Savana/Floresta Estacional (Costacurta, 2010).

- Preparo convencional (SPC): A área foi cultivada desde 2010, utilizando a grade aradora e grade niveladora para o preparo do solo, com as últimas culturas implantadas representadas na Tabela 1. A condução das espécies em sistema seguiu os padrões já utilizados por agricultores da região, enquanto as plantas de cobertura seguiram as recomendações de Lima Filho et al. (2014).

- Sistema semeadura direta por quatro anos (SSD4): Área cultivada em SPC em período anterior a 2019 e com implantação do SSD no verão de 2019. A condução das espécies em sistema seguiu os padrões já utilizados por agricultores da região, enquanto as plantas de cobertura seguiram as recomendações de Lima Filho et al. (2014).

- Sistema semeadura direta por sete anos (SSD7): Área cultivada em SSD desde 2016, composto por um esquema de rotação de culturas. A condução da soja (*Glycine max* (L.)) seguiram os padrões já utilizados por agricultores da região, os sistemas consorciados com milho (*Zea mays* L.), braquiária (*Urochloa ruziziensis*) e guandu (*Cajanus cajan* L.) foram executados respeitando as recomendações de Ceccon (2013), Oliveira et al. (2010). E, por fim, as plantas de cobertura em rotação (cultivo solteiro e/ou consorciado), seguiram as recomendações de Lima Filho et al. (2014).

- Cultivo agroflorestal sucessional (SAF), em área de 540 m² (18x30 m), com foco em frutíferas e nativas do Cerrado, implantado em dezembro de 2021, em uma área anteriormente ocupada por pastagem. Para a implantação da agrofloresta, foi realizada análise de solo (0-0,2 e 0,2-0,4 m), seguida de calagem, gessagem, aração, gradagem e adubação em superfície com fósforo. A partir disso, a área recebe adubações orgânicas e os restos vegetais, oriundos da colheita de espécies de ciclo curto ou da poda das plantas têm sido deixados sobre a superfície do solo. O sistema agroflorestal foi desenhado com foco em frutíferas, sendo que cada canteiro foi composto por uma espécie principal, com espaçamento de 5 m, sendo elas: limão Tahiti (*Citrus latifolia*), manga Palmer (*Mangifera indica*), goiaba Paluma (*Psidium guajava*). Também compõem o sistema agroflorestal outras espécies nativas e exóticas com várias finalidades, por exemplo, até este momento: eucalipto (*Eucalyptus grandis*), banana (*Musa acuminata*), mamão (*Carica papaya* L.), moringa (*Moringa oleifera* Lam.), ingá (*Inga edulis*), milho (*Zea mays* L.), guandu (*Cajanus cajan* L.), crotalária (*Crotalaria juncea*), feijão de porco (*Canavalia ensiformis*).

Foram coletadas oito amostras de cada área na profundidade de 0-0,1 m e 0,1-0,2 m, totalizando 80 amostras. Após avaliação da Ka, foram realizadas avaliação da Densidade do solo, porosidade do solo e teor de água do solo. Os dados foram então tabulados e realizada análise estatística.

A Ka foi determinada conforme Silva et al. (2009), seguindo a equação 1.

$$K_a = \frac{\mu LV}{AP_a} \cdot |S|$$

.....Eq. 1

Em que μ é o coeficiente de viscosidade dinâmica do ar ($18,1 \times 10^{-6} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ a 20 °C); V é o volume do reservatório (m³); Pa é a pressão do ar atmosférico (101,3 kPa a 20



°C); L é o comprimento da amostra (m); A é a área da amostra (m²) e S é o módulo de declividade (ou *slope*) da reta definida pela equação 2. O S pode ser estimado estatisticamente, por regressão linear, a partir de um conjunto de dados de *ln P versus t*.

$$\ln P = - S t + \ln P_0$$

.....Eq. 2

Após tabulação dos resultados, foi realizada análise estatística dos dados com a utilização do *software SAS Institute* (Der e Everitt, 2015). Inicialmente, foi realizado o cálculo da estatística descritiva para resumir e compreender os dados (média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação, assimetria, curtose). Então, foi realizada análise de componentes principais (ACP) e análise discriminante (AD), com objetivo de agrupar, verificar, classificar e/ou identificar a contribuição de cada variável na qualidade do solo, seguindo a descrição de Santos et al. (2017), Andrioli (2021) e Tomaz et al. (2022).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Gráfico 1 mostra os resultados de Ds, Θ , PT, Ea e Ka obtidos nas 80 amostras coletadas no IFMS. Para a camada de 0-0,1 m não foi possível observar diferença entre as diferentes áreas. Para a camada de 0,1-0,2 m, a MN apresentou menor Ds, maior PT e Ea em relação ao SPC. Porém, os resultados não apresentaram uma tendência clara para as outras comparações. A Ka não apresentou diferença entre os tratamentos, fato que pode estar relacionado aos altos valores de porosidade de aeração (macroporos) que são característicos de um solo arenoso.

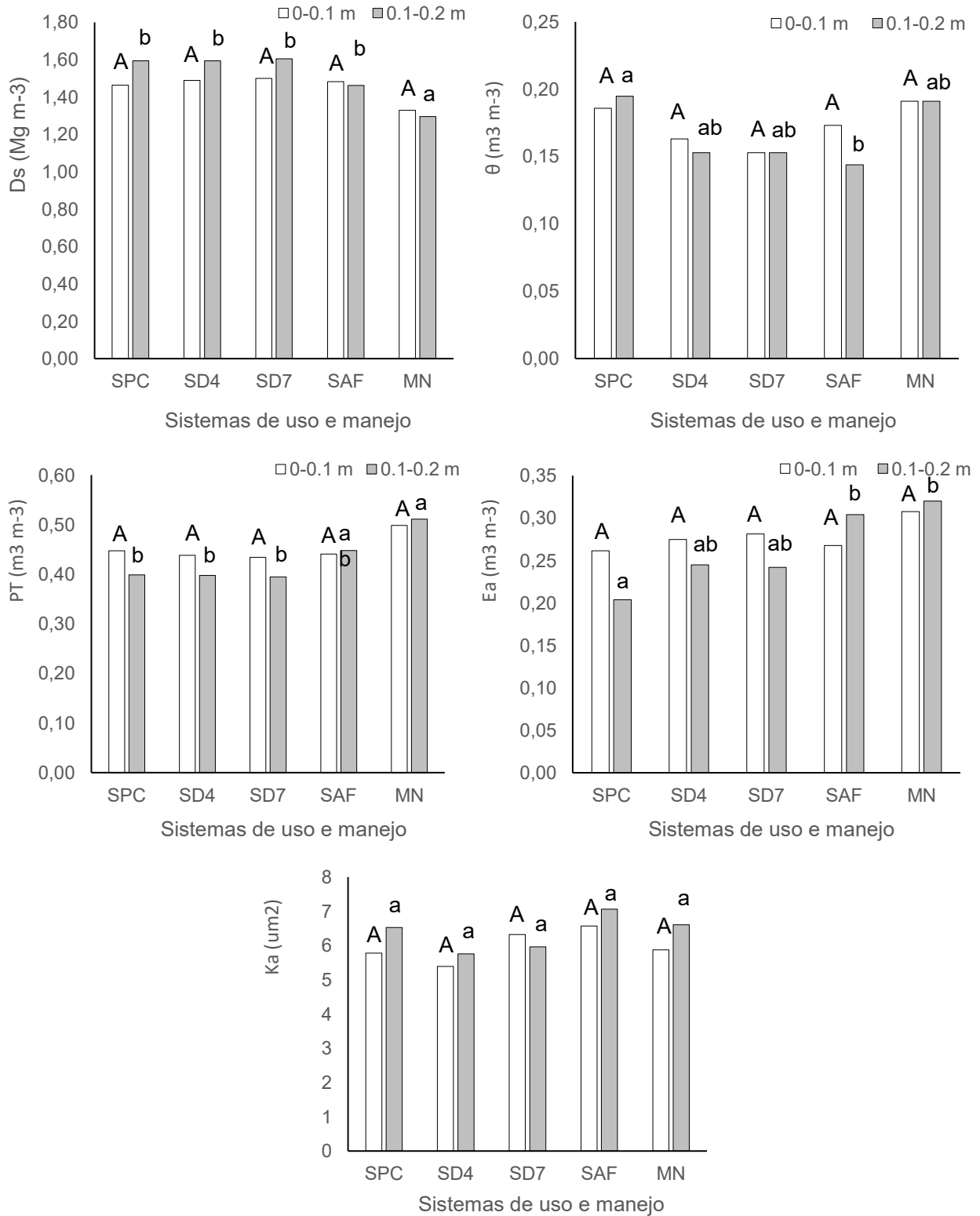


Gráfico 1: Resultados de densidade do solo (Ds), teor de água do solo (Θ), porosidade total (PT), porosidade de aeração (Ea) e permeabilidade do solo ao ar (Ka) obtidas em amostras indeformadas no IFMS.

Fonte: Dados da pesquisa, 2024.



Os resultados foram submetidos à análise de componentes principais (ACP). Conforme documento disponibilizado pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ, 2008), a ACP é efetuada quando se obtém uma matriz de dados, e tem-se “w” características de “x” elementos de uma população “y”. As propriedades observadas são representadas pelas variáveis “Z1”, “Z2”, “Z3”. A matriz de dados é de ordem x correlacionado com z, ou seja, indivíduos correlacionados com as variáveis, resultando em uma nova matriz, geralmente denominada matriz X. O esquema de relação entre as variáveis é representado pela matriz de covariância “S” ou pela matriz de correlação “R”. Obtendo-se a matriz X, com dados correlacionados, pode-se estimar a matriz de covariância da população representada por S.

A matriz S é simétrica e de ordem w correlacionado com w, ou seja, características correlacionadas com características. Caso apresentem unidade de medidas diferentes, as variáveis devem ser padronizadas através de métodos preestabelecidos, como explicado por Regazzi (2000) e mencionado por Varella (2008). A relevância de um componente principal é medida de acordo com a sua interferência ou variância total. Há casos em que o seguinte passo não é necessário, mas como o objetivo desta pesquisa foi comparar os sistemas de manejo, a análise continuou, necessitando calcular os scores para cada componente principal que será utilizado na avaliação. Por fim, são aplicados gráficos de dispersão para visualizar a disposição dos tratamentos em função dos escores dos componentes principais em espaço bidimensional.

O Gráfico 2 indica que houve correlação positiva entre Ea, PT e Ka, apontando que locais com maior Ea e PT tendem a ter uma maior Ka. Além disso, observou-se uma correlação inversa entre Ds com Ea, PT e Ka, resultados em acordo com a literatura. Por outro lado, a ACP demonstrou que MN, SPC, SSD4, SSD7 e SAF não apresentaram diferenças ou padrão. A ausência de diferenças para os sistemas de uso e manejo, pode estar relacionada aos altos valores de Ka e Ea. Assim, a Ka apresentou elevados valores, indicando que há continuidade nos poros e que este atributo apresentou pouca sensibilidade para comparações em solo arenoso.

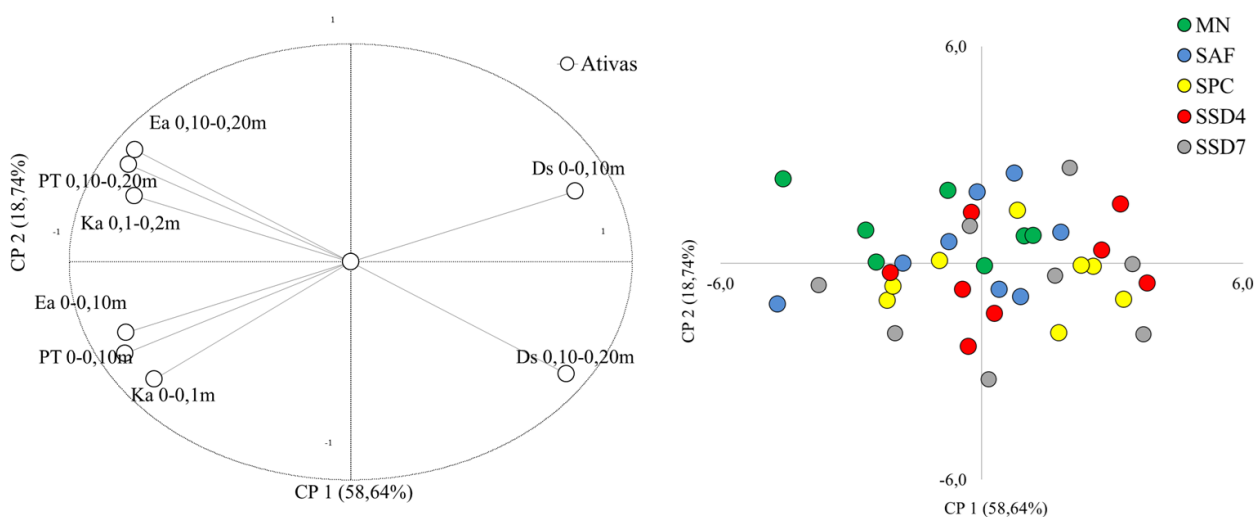


Gráfico 2: Análise de componentes principais mostrando o resultado dos fatores (a) e casos (b).
Fonte: Dados da pesquisa, 2024.



4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos indicam que a K_a , enquanto atributo considerado, pode não ser suficientemente sensível para diferenciar os sistemas de manejo em solos arenosos. Embora as análises não tenham detectado variações significativas para a K_a , é importante destacar que isso não implica necessariamente a ausência de diferenças entre os sistemas de manejo em outros aspectos ou atributos do solo. De fato, outros parâmetros físicos, químicos ou biológicos podem revelar contrastes significativos entre os sistemas avaliados. No entanto, no que se refere especificamente à K_a , os dados sugerem uma homogeneidade nas respostas dos sistemas de manejo, tornando pouco evidente qualquer distinção. Essa ausência de clareza na variação da K_a ressalta a necessidade de investigações adicionais para identificar quais fatores podem estar influenciando estes resultados e para determinar se outros atributos do solo podem oferecer uma sensibilidade maior e, conseqüentemente, uma melhor capacidade de discriminar entre os diferentes sistemas de manejo. Portanto, enquanto a K_a não se mostrou um indicador suficientemente robusto para este fim, é possível que outros aspectos do solo apresentem diferenças relevantes, demandando a consideração de uma gama mais ampla de variáveis para uma avaliação mais completa e precisa dos efeitos dos sistemas de manejo em solos arenosos.

REFERÊNCIAS

CORDEIRO, L., J. KLUTHCOUSKI, ET AL. (2020). "Integração Lavoura-Pecuária em Solos Arenosos: estudo de caso da Fazenda Campina no Oeste Paulista."

CHERUBIN, Maurício Roberto et al. Caracterização e estratégias de manejo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo utilizando a análise dos componentes principais. Enciclopédia Biosfera, v. 7, n. 13, 2011.

FORTINI, R. M., M. J. BRAGA, ET AL. (2020). "Impacto das práticas agrícolas conservacionistas na produtividade da terra e no lucro dos estabelecimentos agropecuários brasileiros." Revista de Economia e Sociologia Rural 58.

FRANCHINI, J., A. BALBINOT JÚNIOR, ET AL. (2016). "Soja em solos arenosos: papel do sistema Plantio Direto e da integração lavoura-pecuária." Embrapa Soja-Circular Técnica (INFOTECA-E).

MOREIRA, W. H. et al. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico em sistema de integração lavoura-pecuária. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 36, p. 389-400, 2012.

MOREIRA, W. H. et al. Impactos na qualidade física de solos arenosos: avaliação comparativa em diferentes sistemas de uso e manejo. Congresso Internacional da Agroindústria (CIAGRO), 2024.

PHILLIPS, R. E.; KIRKHAM, D. Air permeability as related to soil moisture tension. Soil Science Society of America Journal, v. 26, n. 1, p. 27, 196.

SILVA, W. T. L. et al. Medição de permeabilidade ao ar do solo com o modelo AqDXY. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 33, n. 5, p. 1387-1395, 2009.



SOLOS, EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro, 2018.

USDA. Soil Taxonomy. Natural Resources Conservation Service. 2ª ed. Washington, D.C.: United States Department of Agriculture, 2022.

VARELLA, C. A. A. Análise de componentes principais. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia, 2008.