

# QUALIDADE DE SOLO AOS OITO ANOS DE CONDUÇÃO SOB SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

## CALIDAD DEL SUELO DESPUÉS DE OCHO AÑOS DE CONDUCCIÓN BAJO SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

### SOIL QUALITY AFTER EIGHT YEARS OF CONDUCTION UNDER INTEGRATED AGRICULTURAL PRODUCTION SYSTEMS

**Bruna Thalia Silveira Sabino\***  
bruna.thalia18@hotmail.com

**Flávio Pereira de Oliveira\***  
flavio.oliveira@academico.ufpb.br

**Pedro Luan Ferreira da Silva\*\***  
pedroluanferreira@gmail.com

**Camila Costa da Nóbrega\***  
Camila\_cnobrega@hotmail.com

**Bruno de Oliveira Dias\***  
brunodias@cca.ufpb.br

**Milton César Costa Campos\***  
mcesarsolos@gmail.com

\* Universidade Federal da Paraíba, Areia/PB, Brasil

\*\* Universidade Estadual de Maringá, Maringá/PR, Brasil

---

#### Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos físicos de um Planossolo háplico sob sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) no Agreste da Paraíba aos oito anos de condução. A pesquisa foi conduzida no município de Alagoinha, PB, sob um delineamento experimental em blocos casualizados com cinco tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por: 1) Gliricídia + *Brachiaria decumbens* (GC+BD); 2) Sabiá + *Brachiaria decumbens* (SB+BD); 3) Ipê roxo+ *Brachiaria decumbens* (IP+BD); 4) Milho + *Brachiaria decumbens* (ML+BD); 5) *Brachiaria decumbens* (BD). Amostras de solo com estrutura indeformada e deformada foram coletadas no ano de 2022 nas camadas 0-0,1 m e 0,1-0,2 m de profundidade para a determinação da: Granulometria, grau de flocculação (GF), densidade do solo ( $D_s$ ), densidade referência do solo ( $D_{s_{ref}}$ ), densidade relativa ( $D_{s_{relat}}$ ), grau de compactação (GC), porosidade total (PT), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e condutividade hidráulica saturada ( $K_\theta$ ). Os dados foram submetidos ao teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) e a análise de componentes principais (ACP). De acordo com os resultados, após oito anos de implantação foi possível observar diferenças entre os sistemas para GF,  $D_s$ ,  $D_{s_{ref}}$ ,  $D_{s_{relat}}$  e GC. Os atributos que melhor explicaram a variabilidade de tratamentos a partir da ACP foram a PT, Ma, Mi e  $K_\theta$ . Há uma forte correlação entre PT e os demais atributos avaliados. Conclui-se que a melhoria física do solo sob sistemas integrados de produção ocorre no longo prazo, como observado no presente estudo, após oito anos.

**PALAVRAS CHAVE:** Qualidade do solo. Porosidade. Densidade do solo. Semiárido.

#### Resumen

El objetivo de este trabajo fue evaluar los atributos físicos de un Planossolo Háplico bajo el sistema de integración Cultivo-Ganadería-Bosque (iCGB) en Agreste da Paraíba después de ocho años de manejo. La investigación se realizó en la ciudad de Alagoinha, PB, bajo un diseño experimental en bloques al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en: 1) Gliricidia + *Brachiaria decumbens* (GC+BD); 2) Zorzal + *Brachiaria decumbens* (SB+BD); 3) Ipê púrpura+ *Brachiaria decumbens* (IP+BD); 4) Maíz + *Brachiaria decumbens* (ML+BD); 5) *Brachiaria decumbens* (BD). Se recolectaron muestras de suelo con estructura no

perturbada y deformada en el año 2022 en capas de 0-0.1 m y 0.1-0.2 m de profundidad para determinar: Granulometría, grado de floculación (GF), densidad del suelo (Ds), densidad de referencia del suelo (Dsref), relativa densidad (Dsrelat), grado de compactación (GC), porosidad total (PT), macroporosidad (Ma), microporosidad (Mi) y conductividad hidráulica saturada (K $\theta$ ). Los datos fueron sometidos a la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) y análisis de componentes principales (PCA). De acuerdo con los resultados, luego de ocho años de implementación fue posible observar diferencias entre los sistemas para GF, Ds, Dsref, Dsrelat y GC. Los atributos que mejor explicaron la variabilidad de los tratamientos con base en el PCA fueron PT, Ma, Mi y K $\theta$ . Existe una fuerte correlación entre el PT y los demás atributos evaluados. Se concluye que el mejoramiento físico del suelo bajo sistemas integrados de producción ocurre a largo plazo, como se observa en el presente estudio, luego de ocho años.

**PALABRAS CLAVE:** Calidad del suelo. Porosidad. Densidad del suelo. Semiárido.

### Abstract

The objective of this work was to evaluate the physical attributes of an Planosols under integrated Crop-Livestock-Forest systems (iCLF) in Agreste da Paraíba after eight years of management. The research was conducted in the city of Alagoinha, PB, under an experimental design in randomized blocks with five treatments and four replications. The treatments consisted of: 1) Gliricidia + *Brachiaria decumbens* (GC+BD); 2) Thrush + *Brachiaria decumbens* (SB+BD); 3) Purple Ipê+ *Brachiaria decumbens* (IP+BD); 4) Corn + *Brachiaria decumbens* (ML+BD); 5) *Brachiaria decumbens* (BD). Soil samples with undisturbed and deformed structure were collected in the year 2022 in layers 0-0.1 m and 0.1-0.2 m depth to determine: Granulometry, flocculation degree (FD), soil bulk density (Bd), reference bulk density (Bdref), relative bulk density (Bdrelat), degree of compaction (DC), total porosity (TP), macroporosity (Ma), microporosity (Mi) and saturated hydraulic conductivity (K $\theta$ ). Data were submitted to Tukey's test ( $p < 0.05$ ) and principal component analysis (PCA). According to the results, after eight years of implementation it was possible to observe differences between the systems for FD, Bd, Bdref, Bdrelat and DC. The attributes that best explained the variability of treatments based on the PCA were PT, Ma, Mi and K $\theta$ . There is a strong correlation between TP and the other evaluated attributes. It is concluded that the physical improvement of the soil under integrated production systems occurs in the long term, as observed in the present study, after eight years.

**KEYWORDS:** Soil quality. Porosity. Soil bulk density. Semi-arid.

## 1. Introdução

Um dos maiores desafios enfrentados pela agropecuária brasileira é a degradação dos solos provocada por práticas inadequadas de manejo (BARROS et al., 2018). O uso excessivo de máquinas e implementos agrícolas sem rotação de culturas são alguns dos pontos que causam prejuízos à qualidade do solo, ocasionando alterações físicas, químicas e biológicas no solo (NÓBREGA, 2020), consequentemente, reduzindo os níveis de produção em quantidade e qualidade. Cerca de 95% da produção global de alimentos depende do solo, isso explica porque as práticas agrícolas insustentáveis não podem existir (FAO, 2022). A superexploração dos recursos naturais e o crescimento populacional não causa só problemas na produção de alimentos, mas também reduzem a capacidade do solo em manter seus serviços ecossistêmicos essenciais (NASCIMENTO et al., 2019).

Na região semiárida brasileira, os agricultores praticam um modelo de agricultura que não utiliza de práticas conservacionistas de manejo e, consequentemente, a perda da capacidade produtiva dos solos no âmbito do bioma Caatinga é exponencial (SILVA et al., 2021). Ou seja, a agricultura semiárida pode

se caracterizar como uma produção agrícola itinerante com desmatamento e queima desordenadas, modificando os estratos herbáceos e arbustivo-arbóreo (ARAÚJO-FILHO; CARVALHO, 1996). Com o passar do tempo, não existe muitas mudanças, Silva et al. (2018) mencionam que o desmatamento e a queima continuam sendo práticas no semiárido visando a produção agrícola.

Sabendo da dificuldade que é a reversão dos problemas gerados pela degradação dos solos devido os processos de formação que são lentos e necessitam de fatores externos como clima e recursos hídricos para que ocorra (ARAÚJO et al., 2013) o uso de sistemas conservacionistas que visam a sinergia e, logo, o equilíbrio entre a produtividade agrícola com a conservação do meio ambiente tem sido uma saída nas últimas décadas proporcionando a conservação do solo, ciclagem de nutrientes e diversificação de culturas (SILVA et al., 2011). Um dos sistemas conservacionistas que surge como alternativa para a recuperação de pastagens degradadas, por exemplo, é o Sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), combinando espécies florestais, culturas agrícolas e animais em um tempo e arranjo espacial pré-estabelecido buscando benefícios mútuos para todas as atividades desempenhadas (PULROLNIK et al., 2019).

Por sua vez, esse sistema possibilita diversificação da renda, estabilidade econômica, recuperação de áreas degradadas, redução dos gases de efeito estufa, redução do êxodo rural e fixação da população rural em suas áreas (RODRIGUES et al., 2019) ou seja, as práticas conservacionistas fazem a manutenção social, econômica e ambiental a partir da sua adoção. Nesse contexto, dentre os novos estudos e conceitos de produção, além do sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), outros sistemas como o de integração lavoura-pecuária (ILP), sistema de plantio direto (PD) e agroflorestais (SAFS) podem ser adotados em substituição aos sistemas convencionais de produção, elevando a produção de alimentos e reduzindo os impactos negativos ao solo e ao meio ambiente como um todo (NICODEMO et al., 2018).

O objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos físicos de um Planossolo Háplico sob condições de iLPF no intuito de observar e explicar possíveis alterações existentes proporcionadas pelo sistema de integração.

## **2. Material e Métodos**

O experimento foi conduzido na estação experimental da Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária - EMPAER, localizado no município de Alagoinha, mesorregião Agreste do Estado da Paraíba (06°57'00" S e 35°32'42" W), com 317 m de altitude (Figura 1). Segundo a classificação Köppen, o clima da região é caracterizado como As', quente e úmido, com chuvas de outono-inverno. A precipitação média anual é de 995 mm, com o período chuvoso compreendendo os meses de março a agosto. A temperatura média anual varia entre 22 e 26 °C. O solo da área experimental foi classificado como Planossolo Háplico eutrófico méxico solódico com horizonte A moderado e de classificação textural franco arenoso (SANTOS et al., 2018).

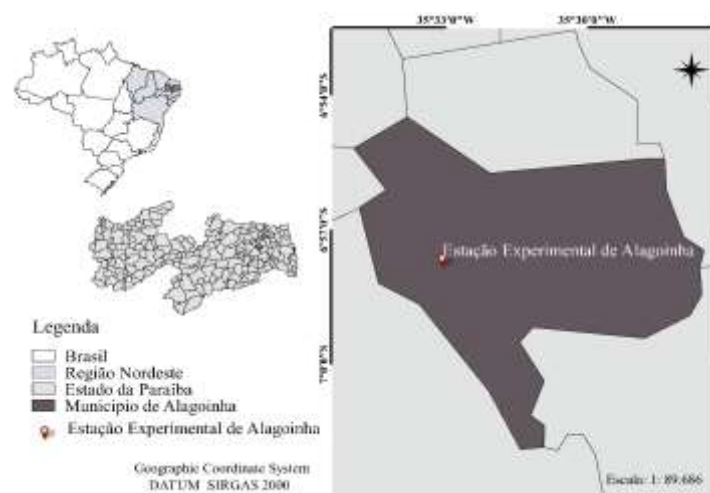


Figura 1. Mapa de localização do município de Alagoinha, PB, com destaque para a estação experimental, local de condução do experimento.

O experimento foi instalado no mês de julho de 2015, adotando-se um delineamento experimental em blocos casualizados (DBC) com cinco tratamentos e quatro repetições (5 x 4). Os tratamentos foram constituídos por: 1) Gliricídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud) + *Brachiaria decumbens* (GC+BD); 2) Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth) + *Brachiaria decumbens* (SB+BD); 3) Ipê roxo (*Handroanthus avellanadae* (Lorentz ex Griseb.) Mattos) + *Brachiaria decumbens* (IP+BD); 4) Milho (*Zea mays* L.) + *Brachiaria decumbens* (ML+BD); 5) *Brachiaria decumbens* (BD). As espécies florestais foram plantadas em linhas triplas, com espaçamento de 3 x 2 m nas extremidades de cada parcela, totalizando seis fileiras por parcela, enquanto o milho foi plantado em sistema de plantio direto. As parcelas experimentais apresentavam dimensão 38 x 20 m, perfazendo uma área total de 760 m<sup>2</sup>. As amostras de solo, deformadas e indeformadas foram coletadas no ano de 2022 em duas camadas: 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m de profundidade, totalizando 80 amostras, sendo 40 com estrutura indeformada e 40 com estrutura deformada.

### 2.1. Determinação dos atributos físicos do solo

As amostras deformadas, após secagem ao ar, foram destorroadas e peneiradas em malha de 2,0 mm de diâmetro para determinação da granulometria e o grau de floculação do solo (GF) conforme descrito por Teixeira et al. (2017). A densidade do solo ( $D_s$ ; Mg m<sup>-3</sup>) foi determinada em amostras de solo com estrutura indeformada ( $v = 98,17$  cm<sup>3</sup>) após secagem em estufa de ar forçado conforme descrito por Blake e Hartge (1986). A densidade de referência do solo ( $D_{sref}$ ; Mg m<sup>-3</sup>) foi estimada utilizando uma função de pedotransferência proposta por Marcolin e Klein (2011) que toma como base os teores de argila e matéria orgânica do solo. A obtenção da densidade relativa do solo ( $D_{srelat}$ ) foi realizada através da relação entre a  $D_s/D_{sref}$ . Multiplicando-se os valores de  $D_{srelat} \times 100$ , obteve-se o grau de compactação do solo (GC%).

A porosidade total foi estimada nas amostras de solo com estrutura indeformada tomando-se como base a massa de água retida na saturação (Teixeira et al., 2017). Para a determinação da microporosidade do solo ( $M_i$ ; m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) utilizou-se uma mesa de tensão para equilibrar a massa de água das amostras no potencial de 6 kPa. A macroporosidade ( $M_a$ ; m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) foi estimada por diferença, subtraindo-se a  $M_i$  da PT. A condutividade hidráulica saturada foi determinada nas amostras de solo com estrutura ( $K\theta$ ) indeformada utilizando um pemeâmetro de carga constante, conforme descrito por Teixeira et al. (2017). A classificação da faixa de valores de  $K\theta$  foi realizada conforme proposto pela *Soil Survey Staff* (1993), sendo:  $K\theta > 25,4$  cm h<sup>-1</sup>; = muito rápida;  $25,4 \geq K\theta < 12,7$  = moderada a rápida;  $12,7 \geq K\theta < 6,35$  = moderada;  $6,35 \geq K\theta < 2,0$  = lenta a moderada;  $2,0 \geq K\theta < 0,5$  = lenta;  $K\theta < 0,5$  = muito lenta.

## 2.2. Procedimento estatístico

As médias dos tratamentos foram analisadas por meio da Análise de Variância e quando houve diferença estatística aplicou-se o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Os dados foram analisados por meio da estatística multivariada utilizando a análise de componentes principais (PCA) com o uso do software estatístico R versão 4.3.2 (R CORE TEAM, 2013).

## 3. Resultados e Discussão

Na Tabela 1, encontra-se apresentados os dados de granulometria e grau de floculação do solo (GF) para as camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m de profundidade. Os dados de granulometria do solo demonstram que o mesmo apresenta classificação textural franco arenosa, com os valores médios de de areia variando de 703 g kg<sup>-1</sup> na camada de 0-0,1 m a 650 g kg<sup>-1</sup> na camada 0,1-0,2 m. Destaca-se o predomínio da fração areia nas duas camadas de solo avaliadas.

Tabela 1. Granulometria e grau de floculação em um Planossolo Háplico sob sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Agreste da Paraíba.

Tratamento	Granulometria			Grau de Floculação
	Areia	Silte	Argila	
----- g kg <sup>-1</sup> -----				
<u>0 – 0,10 m</u>				
GC+BD	703	139	158	904 ab
SB+BD	686	152	162	919 ab
IP+BD	694	143	163	972 a
MI+BD	683	156	162	884 ab
BD	681	152	167	819 b
-----				
<u>0,10 – 0,20 m</u>				
GC+BD	696	144	160	816 a
SB+BD	692	142	166	842 a
IP+BD	676	147	177	813 a
MI+BD	695	136	169	862 a
BD	650	160	190	861 a

GC+BD: *Gliricídia (Gliricidia sepium) + Brachiaria decumbens* Stapf; SB+BD: *Sabiá (Mimosa caesalpiniiifolia) + Brachiaria decumbens* Stapf.; IP+BD: *Ipê (Tabebuia alba (Chamisso) Sandwith) + Brachiaria decumbens* Stapf.; MI+BD: *Milho + Brachiaria decumbens* Stapf. e BD: *Brachiaria decumbens* Stapf. Médias seguidas das mesmas letras na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Esses resultados são característicos da classe dos Planossolos, que tem aumento de argila em profundidade, por apresentam desargilização, ou seja, perda de argila da parte superficial, com acumulação ou concentração intensa no horizonte subsuperficial (SANTOS et al., 2018). É possível perceber também, leve incremento no teor de argila em profundidade, independente do tratamento avaliado. Neste caso, pode ser justificado devido ao solo da área experimental ser um Planossolo Háplico, caracterizado por possuir o horizonte superficial com textura mais arenosa, com fraca estrutura (FAO, 2020).

O GF apresentou diferença estatística significativa ( $p < 0,05$ ) na camada superficial do solo (0-0,1 m), o tratamento IP+BD apresentou maior GF 972 g kg<sup>-1</sup> e o BD menor GF 819 g kg<sup>-1</sup>. É possível dizer que o solo em estudo possui uma baixa tendência a desagregação de microagregados, isso porque todos os valores de GF nos tratamentos aproximaram-se a 1000 g kg<sup>-1</sup>. Essa informação corrobora com Barreto (2019), que estudando sobre o GF em Latossolo encontrou valores para GF aproximando-se de 100% ou 1000 g Kg<sup>-1</sup> e, conseqüentemente, baixa capacidade de desagregação. O GF é um bom indicador de qualidade física do solo, pois, quanto maior o GF, menor a tendência do solo em desagregar e, conseqüentemente, maior estabilidade estrutural (DANTSOVA et al., 2009). Vários são os fatores

envolvidos na elevação do GF entre os tratamentos avaliados, primeiro, a alta concentração de elementos flocculantes como  $Al^{+3}$  e  $H^+$  (SOUZA et al., 2006) e segundo, a deposição de resíduos de forma constante através da associação entre as gramíneas e espécies florestais, que em conjunto promovem a cimentação de partículas, reduzem o teor de argila dispersa em água e elevam o GF.

O sistema de integração não propiciou diferenças significativas entre os tratamentos para os atributos porosidade total (PT), microporosidade (Mi), macroporosidade (Ma) e condutividade hidráulica saturada ( $K\theta$ ) nas duas camadas de solo avaliadas (Tabela 2). Isso pode ser justificado a partir do tempo de implantação do sistema de integração que possui sete anos, não permitindo ainda uma grande mudança entre os tratamentos (NÓBREGA, 2020).

Tabela II. Densidade do solo (Ds), Porosidade total (PT), Microporosidade (Mi), Macroporosidade (Ma) e Condutividade hidráulica ( $K\theta$ ) entre diferentes tratamentos em um Planossolo sob sistema de integração lavoura-pecuária-floresta no Agreste paraibano.

Tratamento	Ds	PT	Mi	Ma	$K\theta$
	Mg m <sup>-3</sup>		m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup>		cm h <sup>-1</sup>
GC+BD	1,42 ab	0,41 a	0,32 a	0,09 a	3,54 a
SB+BD	1,44 ab	0,44 a	0,35 a	0,10 a	3,19 a
IP+BD	1,50 a	0,40 a	0,31 a	0,08 a	2,07 a
MI+BD	1,49 a	0,40 a	0,33 a	0,07 a	2,61 a
BD	1,33 b	0,43 a	0,34 a	0,11 a	3,41 a

GC+BD: *Gliricídia (Gliricidia sepium) + Brachiaria decumbens* Stapf; SB+BD: *Sabiá (Mimosa caesalpiniiifolia) + Brachiaria decumbens* Stapf.; IP+BD: *Ipê (Tabebuia alba)* Chamisso + *Brachiaria decumbens* Stapf.; MI+BD: *Milho + Brachiaria decumbens* Stapf. e BD: *Brachiaria decumbens* Stapf. Médias seguidas das mesmas letras na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Bortolini et al. (2016) mencionam uma informação coincidente estudando propriedades físicas de solo, eles notaram que não houve diferença significativa entre os tratamentos para os atributos porosidade, macro e microporosidade. Para os autores isso ocorreu devido o sistema de integração ter menos de dez anos, tempo considerado razoável para conseguir visualizar efeitos maiores no solo. Para a Ds, nota-se que houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos, encontrando no IP+BD e MI+BD os maiores médios 1,50 g Mg m<sup>-3</sup> e 1,49 Mg m<sup>-3</sup>, respectivamente. Corroborando com estes resultados, Campos (2021) nota que a maior Ds pode ser decorrente do efeito do pisoteio do gado, igualmente ocorre na área deste estudo, uma vez que, nos últimos anos os animais são liberados na área para pastar e utilizar do sombreamento das espécies florestais.

Apesar de serem valores maiores, Reichert, Reinert e Braida (2003) mostram que os valores críticos para Ds em solos de textura franco-arenosa varia de 1,70 a 1,80 Mg m<sup>-3</sup>, ou seja, o solo estudado está dentro da faixa, não podendo ser considerado compactado. A  $K\theta$  variou de lenta a moderada conforme o proposto por *Soil Survey Staff* (1993)  $> 25,4 \text{ cm h}^{-1} =$  muito rápida;  $25,4 \geq K\theta > 12,7 =$  moderada a rápida;  $12,7 \geq K\theta > 6,35 =$  moderada;  $6,35 \geq K\theta > 2,0 =$  lenta a moderada;  $2,0 \geq K\theta > 0,5 =$  lenta;  $K\theta < 0,5 =$  muito lenta. A condutividade hidráulica ( $K\theta$ ) é um parâmetro utilizado geralmente para o estudo da dinâmica de água no solo, essa variável pode ser determinada a campo ou em laboratório. Segundo Brady (1983) este é um atributo dinâmico que consegue se correlacionar com vários outros atributos do solo, são eles, estrutura, Ds, PT, Ma e Mi. De acordo com o apresentado na Tabela 2, não houve diferença significativa para a  $K\theta$ , contudo maior valor médio foi verificado no tratamento GC+BD com 3,54 cm h<sup>-1</sup> e o menor no tratamento IP+BD com 2,07 cm h<sup>-1</sup>. A redução da condutividade no tratamento IP+BD foi proporcional ao aumento da Ds, corroborando com o encontrado por Silva (2019) e Nóbrega (2020) na mesma área experimental.

O aumento de Ds tende a reduzir a condutividade hidráulica saturada. Segundo Gubiani et al. (2015) o aumento da densidade ocorre pelas práticas agrícolas com uso de maquinários e o próprio

pisoteio animal, induzindo a diminuição da condutividade em virtude das modificações dos agregados do solo, portanto, planejar o manejo do solo e verificar a densidade do solo é importante. A Mi não foi diferente entre os tratamentos avaliados ( $p > 0,05$ ), contudo é possível notar que seus valores são inversamente proporcionais aos de macroporosidade, corroborando com o que Ribeiro et al. (2015). É importante salientar que os valores médios dos atributos analisados na Tabela 2, apresentaram-se acima do limite crítico mínimo requerido para o desenvolvimento satisfatório das plantas (REICHERT et al., 2008).

Dentro das camadas estudadas nenhuma das variáveis demonstraram diferença significativa (Tabela 3). Porém, é notável que o maior valor de Ds encontra-se na camada de 0,1-0,2 m de profundidade como foi constatado por Nóbrega (2020). O aumento de Ds em profundidade pode ocasionar uma série de limitações no solo, como a penetração de raízes devido o adensamento e até mesmo a dificuldade no preparo do solo (ALMEIDA; ZARONI; SANTOS, 2019).

Tabela III. Densidade do solo (Ds), Porosidade total (PT), Microporosidade (Mi), Macroporosidade (Ma) e Condutividade hidráulica saturada (K<sub>0</sub>) entre diferentes camadas de solo de um Planossolo sob sistema de integração lavoura-pecuária-floresta no Agreste paraibano.

Profundidade	Ds	PT	Mi	Ma	K <sub>0</sub>
m	Mg m <sup>-3</sup>		m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>		cm h <sup>-1</sup>
0 – 0,1	1,40 a	0,43 a	0,33 a	0,09 a	2,96 a
0,1– 0,2	1,47 a	0,41 a	0,30 a	0,07 a	2,93 a

GC+BD: Gliricídia (*Gliricidia sepium*) + *Brachiaria decumbens* Stapf; SB+BD: Sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia*) + *Brachiaria decumbens* Stapf.; IP+BD: Ipê (*Tabebuia alba* (Chamisso) Sandwith) + *Brachiaria decumbens* Stapf.; MI+BD: Milho + *Brachiaria decumbens* Stapf. e BD: *Brachiaria decumbens* Stapf. Médias seguidas das mesmas letras na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Embora a PT não tenha diferido, considerando propostos por Vomocil e Flocker (1961) em que mencionam que um solo ideal para produção agrícola deve apresentar PT próxima a 0,50 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, ambas as médias das duas camadas estudadas podem ser consideradas adequadas. Contudo, nota-se redução da Ma em profundidade. O sistema poroso do solo é importante para a adequação da produção de culturas, no entanto, valores inferiores a 10%, ou seja, 0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> de espaços vazios preenchidos com ar (macroporos) podem ocasionar a limitação no desenvolvimento das plantas (VOMOCIL; FLOCKER, 1996).

Valores inferiores a 0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> foram constatados neste trabalho, os valores para macroporosidade foram inferiores em todos os tratamentos (Tabela 2) e camadas (Tabela 3), isso implica no mau desenvolvimento das espécies vegetais implantadas, a exemplo do IP+BD e MI+BD, que apresentaram os menores valores médios de macroporos. Ribeiro et al. (2015) verificaram que o baixo valor de macroporos também contribui para condições de má drenagem no solo, essencialmente na camada superficial e estes autores supracitados também detectaram valores limitantes para macroporosidade estudando um Planossolo Háplico independente do manejo adotado. Com relação a condutividade hidráulica, a mesma não apresentou diferença significativa ( $p < 0,05$ ) nas camadas avaliadas (Tabela 3). Porém, é notável que a mesma foi maior na profundidade de 0-0,1 m e maior na profundidade de 0,1-0,2 m, isso pode ser justificado a partir da diminuição da densidade do solo, igualmente foi encontrado por Silva (2019) e Nóbrega (2020) estudando este atributo em um Planossolo Háplico.

Na Tabela 4, encontram-se os valores médios para densidade referência do solo (D<sub>sref</sub>), densidade relativa (D<sub>srelat</sub>) e grau de compactação do solo (GC). Não houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ) para nenhum dos atributos avaliados entre tratamentos na camada de 0-0,1 m de profundidade, porém, para a camada de 0,1-0,2 m houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ).

Tabela IV. Densidade do solo (Ds), densidade referência (Dsref), densidade relativa (Dsrelat) e grau de compactação (GC) em um planossolo Háptico sob sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Agreste da Paraíba.

Tratamento	Ds	Dsref	Dsrelat	GC
	----- g cm <sup>-3</sup> -----		---	--- % ---
0,00 – 0,10 m				
GC+BD	1,42 a	1,84 a	0,77 a	77,8 a
SB+BD	1,37 a	1,83 a	0,74 a	74,8 a
IP+BD	1,46 a	1,81 a	0,80 a	80,9 a
ML+BD	1,44 a	1,81 a	0,79 a	79,9 a
BD	1,31 a	1,83 a	0,71 a	71,7 a
0,10 – 0,20 m				
GC+BD	1,41 a	1,86 b	0,76 ab	76,0 ab
SB+BD	1,50 a	1,82 ab	0,82 ab	82,6 ab
IP+BD	1,53 a	1,80 a	0,85 b	85,0 b
ML+BD	1,53 a	1,82 ab	0,84 ab	84,3 ab
BD	1,35 a	1,83 ab	0,73 a	73,7 a

GC+BD: *Gliricídia (Gliricidia sepium) + Brachiaria decumbens* Stapf; SB+BD: *Sabiá (Mimosa caesalpiniiifolia) + Brachiaria decumbens* Stapf.; IP+BD: *Ipê (Tabebuia alba (Chamisso) Sandwith) + Brachiaria decumbens* Stapf.; MI+BD: *Milho + Brachiaria decumbens* Stapf. e BD: *Brachiaria decumbens* Stapf. Médias seguidas das mesmas letras na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Como o GC é calculado usando a relação da densidade relativa observa-se um valor médio de 80,9% no tratamento IP+BD que se considerada como restritivo, uma vez que, segundo Beutler et al. (2005) é de 80,0%. Com relação a Dsref que se conceitua como sendo o valor máximo de Ds não variou na camada superficial do solo para nenhum dos tratamentos, corroborando com o que foi encontrado por Silva (2019), o menor valor foi de 1,81 Mg m<sup>-3</sup>. As mudanças de Ds, Dsref e Dsrelat demandam tempo e sistemas de manejo eficientes, como é o caso da adoção do plantio direto, implicando no baixo revolvimento do solo, o sistema de manejo é importante porque de acordo com Pauletto et al. (2005) não foi possível observar mudanças significativas para as variáveis de densidade em um Gleissolo manejado após três anos em sistema de plantio direto. Diferente disso, Pedrotti (1996) verificou que houve mudanças das mesmas variáveis após 10 anos em um solo revolvido continuamente.

A Análise de Componentes Principais (ACP) (Figura 2), foi responsável por explicar 78,90% da variação original dos dados em seus dois primeiros eixos (CP1 e CP2). Para o eixo 1, que reteve 50,9% da explicação, observou-se associação significativa de porosidade total (PT) (p<0.01), condutividade hidráulica (KO) (p<0.01) e microporosidade (MICROP) (p<0,05). É notável a formação de dois grupos, o G1 associado a maiores valores de condutividade hidráulica e microporosidade e o G4 a maiores valores de macroporosidade.



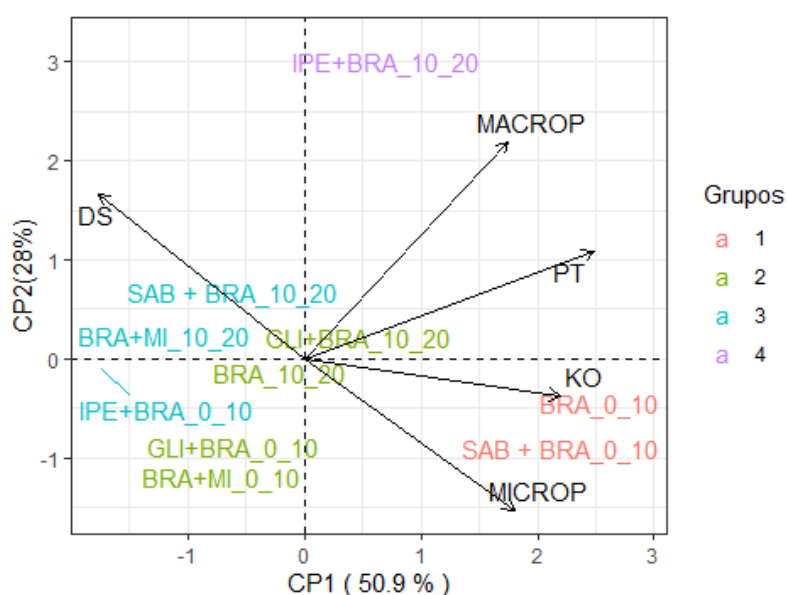


Figura III. Análise de componentes principais dos atributos físicos em um Planossolo Háplico sob sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Agreste da Paraíba.

Grupo 1 = BRA e SAB+BRA na camada de 0,0-0,10m; Grupo 2 = BRA+MI e GLI+BRA na camada de 0,0-0,10 e GLI+BRA e BRA na camada de 0,10-0,20 m; Grupo 3 = SAB+BRA e BRA+MI na camada de 0,10-0,20 m e IPE+BRA na camada de 0,0-0,10 m; Grupo 4 = IPE+BRA na camada de 0,10-0,20 m. Variáveis: macroporosidade – Macrop (Ma), Porosidade total – PT ( $\alpha$ ), microporosidade – Microp (Mi), condutividade hidráulica saturada ( $K\theta$ ) e densidade do solo – DS ( $\rho$ ).

Já para o eixo 2, que explicou 28% da variância dos dados, não se observou associação significativa de nenhuma variável. Embora haja a formação de um grupo (G3) com maiores valores de densidade. Os tratamentos BRA e SAB+BRA na camada superficial do solo mostraram altos índices de correlação com o primeiro componente principal (Figura 3), do contrário os tratamentos SAB+BRA, BRA+MI e IPE+BRA nas profundidades de 0,10-0,20 m e 0,0-0,10 respectivamente propiciaram altos índices de correlação com o segundo componente principal. Segundo Nóbrega (2020) esse comportamento diferenciado pode ser associado com as espécies vegetais utilizadas nos tratamentos.

No caso do agrupamento formado no eixo 1 da figura, ocorre porque determinados tratamentos possuem tendência de se agruparem devido a influência por alguma ou mais propriedade específica do solo. Ou seja, os tratamentos BRA 0,0-0,10 m e SAB+BRA 0,0-0,10 m apresentaram similaridade para com os atributos microporosidade e condutividade hidráulica. Isso pode ser justificado devido a presença da *Brachiaria* que condiciona um maior volume de raízes, acumula matéria orgânica e cria condições positivas quanto a distribuição de poros. Já o tratamento IPE+BRA 0,10-0,20 m mostraram similaridade com a macroporosidade. Nascimento et al. (2018) explicam que fatores como tamanho, arranjo e forma dos poros são essenciais para que se tenha um melhor entendimento da influência dos componentes da planta na estrutura do solo em sistemas de integração.

#### 4. Conclusões

Há uma forte correlação da porosidade total com os demais atributos relacionados, deste modo, o mesmo é considerado como essencial para avaliar as condições físicas do solo, principalmente relacionados à volume de raízes e condução da água. O aumento da densidade do solo nos tratamentos compostos por IP (Ipê) e SB (Sabiá) surgem em decorrência do pisoteio animal por serem espécies que produzem sombra e proporcionem o bem-estar animal. É imprescindível um tempo maior ainda de

avaliação para que se perceba mudanças mais expressivas no solo, uma vez que os melhores resultados em condições de sistema de integração aparecem após seus 10 anos de implantação.

### Referências

ALMEIDA, E. P. C.; ZARONI, M. J.; SANTOS, H. G. **Solos tropicais: planossolos háplicos**. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. 2019.

ARAUJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. 10 Ed. 322 p. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013.

ARAÚJO-FILHO, J. A.; CARVALHO, F. C. Desenvolvimento sustentado da caatinga. In: ALVAREZ V.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. (ed.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p. 125-133.

BARRETO, A. B.; TAVARES, D. D.; SILVA, P. L. F.; OLIVEIRA, F. P.; MARTINS, A. F.; PEREIRA, W. E. Argila dispersa em água e grau de floculação de um Latossolo sob gramíneas no Brejo da Paraíba (Brasil). *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v. 7, n. 3, p. 10-19, 2019.

BARROS, L. R.; RIBON, A. A.; FERNANDES, K. L.; SOUZA, J. L. O.; CARRECHEL, V.; BACKES, C.; SANTOS, A. J. M.; ALVES, A. R. Integrated managements systems for te improvement of the physical quality of a Cerrado Oxisol. *Australian Journal of Crop Science*, Camberra, v. 12, n. 5, p. 711-716, 2018.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G.; FERRAZ, M. V. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 843-849, 2005.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods**, 5.1. 2<sup>nd</sup>. Ed. Madison: Soil Science Society of America, 1986. p. 363-375.

BORTOLINI, D.; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; FILHO, R. H. Propriedades físicas do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em Cambissolo Húmico. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 15, n. 1, 2016.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. Elementos da natureza e propriedades dos solos. 3.ed. PortoAlegre: Bookman, 2013. 704p.

CAMPOS, B. H. **Estudo de caso de atributos físicos de solo no bioma Cerrado em diferentes sistemas de uso e manejo**. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.

DANTSOVA, K. M.; HAYES, C.; PENNINGTON, J. C.; PORTER, B. Sorption of high explosives to water-dispersible clay: influence of organic carbon, aluminosilicate clay, and extractable iron. *Journal of environmental quality*, v. 38, n. 4, p. 1458-1465.

FAO – Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. **Solos saudáveis para as pessoas e para o planeta: FAO pede reversão da degradação do solo**. 2022. Disponível em: <https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/fr/c/1472352/>. Acesso em: 08 fev. 2023.

- GUBIANI, P. I.; VAN LIER, Q. J.; DRESCHER, M. S.; MEZZAMI, C.; VEIGA, C. M. C. Relação entre densidade do solo e conteúdo de água em repetidos ciclos de contração e expansão em um Latossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, p. 100-108, 2015.
- MARCOLIN, C. D.; KLEIN, V. A. Determinação da densidade relativa do solo por uma função de pedotransferência para densidade do solo máxima. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.33, n. 2, p. 349-354, 2011.
- NASCIMENTO, D. M.; CAVALIERI POLIZEIJ, K. M. V.; SILVA, A. H.; FAVARETTO, N.; PARRON, L. M. Soil physical quality under long-term integrated agricultural production systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 186, n. 1, p. 292-299, 2019.
- NICODEMO, M. L. F.; BORGES, W. L. B.; SOUZA, I. M. D. Atributos físicos do solo em quatro sistemas de uso da terra em São Carlos, SP. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 2, e5524, 2018.
- NÓBREGA, C. C. **Atributos físicos de um planossolo háplico sob sistema de integração lavoura-pecuária-floresta para agricultura familiar no agreste paraibano**. 164f. Tese de Doutorado (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal da Paraíba, CCA, Areia, 2020.
- PAULETTO, E. A.; BORGES, J. R.; SOUSA, R. O.; PINTO, J. F. S.; SILVA, J. B.; LEITSEKE, V. W. Avaliação da densidade e da porosidade de um Gleissolo submetido a diferentes sistemas de cultivo e diferentes culturas. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 11, n. 2, p. 207-210, 2005
- PEDROTTI, A. **Avaliação da compactação de um planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo**. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1996.
- PULROLNIK, K.; MARCHÃO, R. L.; VILELA, L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; SOUZA, K. W.; MORAES NETO, S. P. Recomendações para inserção do componente arbóreo em sistemas integrados lavoura-pecuária-floresta. In: **EMBRAPA**, Planaltina, p. 1-12, 2019. (182, Comunicado Técnico).
- R CORE TEAM. (2013). **The R Project for Statistical Computing version 4.2.2**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.
- REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; SUZUKI, L. E. A. S.; HORN, R. Mecânica do Solo. 2008. In: LIER, Q. J. V(Ed.) **Física do Solo**. Ed. 1. Viçosa: SBCS, 2010, cap. 2, p. 29-102, 2008.
- RIBEIRO, M. R.; OLIVEIRA, L. B.; ARAÚJO FILHO, J. C. Caracterização morfológica do solo. In: KER, J. C.; CURTI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. (ed.). **Pedologia: Fundamentos**. Ed. 1. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2015. Cap. 3, p. 47-80.
- RODRIGUES, L. M.; TEODORO, A. G.; SANTOS, A. J. M.; BACKES, C.; ROCHA, J. H. T.; GIONGO, P. R.; SANTOS, Y. L. A. Integração lavoura-pecuária-floresta: interação entre componentes e sustentabilidade do sistema. **Archivos de Zootecnia**, v. 68, n. 263, p. 448-455, 2019.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. Á.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018. 286p.

SILVA, E. F.; LOURENTI, E. P. R.; MARCHETTI, M. E.; MERCANTE, F. M.; FERREIRA, A. K. T.; FUJII, G. C. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1321-1331, 2011.

SILVA, J. C. L.; VIDAL, C. A. S.; BARROS, L. M.; FREITA, F. R. V. Aspectos da degradação ambiental no nordeste do Brasil. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 180-191, 2018.

SILVA, P. L. F. **Atributos físicos e químicos de um planossolo sob sistema de integração lavoura-pecuária-floresta no agreste da paraíba**. 143f. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, CCA, Areia, PB, 2019.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos físicos de um Neossolo de acordo com o revolvimento do solo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 163-170, 2006.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017. 230p.

VOMOCIL, J. A.; FLOCKER, W. J.; Effect of Compaction on Storage and Movement of Soil air and water. **Transactions of the ASAE**, v. 4, p. 242-246, 1961.

Recebido em: 10/02/2023

Aceito em: 10/05/2023

Endereço para correspondência:

Nome: Bruna Thalia Silveira Sabino

E-mail: bruna.thalia18@hotmail.com



Esta obra está licenciada sob uma [Licença Creative Commons Attribution 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)