

INDICADORES DE QUALIDADE FÍSICA E QUÍMICA DO SOLO SOB MANEJOS DO SOLO E SUCESSÃO DE CULTURA NA AMAZÔNIA OCIDENTAL

INDICATORS OF SOIL PHYSICAL AND CHEMICAL QUALITY UNDER SOIL
MANAGEMENT AND CROP SUCCESSION IN WESTERN AMAZONIA

Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias • 01/06/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/780278007](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/780278007)

Caio Bastos Machado¹

Fábio Régis de Souza²

Elaine Cosma Fiorelli³

Jairo André Schlindwein⁴

Bruna de Lima Santos⁵

RESUMO

O solo representa um importante componente do ecossistema, influenciando a qualidade do ar e da água. É crescente o interesse em recuperar a qualidade física e química do solo para promover aumento da fertilidade do solo e recuperar áreas degradadas. O objetivo do presente trabalho foi avaliar em um experimento de longa duração os indicadores químicos e físicos do solo e em função de sistemas de manejo do solo e sucessões de culturas. O estudo foi conduzido em Rolim de Moura/RO, sob um Latossolo Vermelho-Amarelo. O delineamento experimental adotado inteiramente casualizado com arranjo de parcelas subdivididas. Nas parcelas foram alocados os manejos do solo plantio direto alternativo (PDA), plantio direto (PD) e plantio convencional (PC) e nas subparcelas as sucessões de culturas: milho x milho + braquiária (M/B) milho x caupi (M/CA), soja x milho + braquiária (S/B) e soja x caupi (S/CA) com três repetições. O experimento foi implantado no ano de 2007. O atributo físico do solo avaliado foi a densidade. Os atributos biológicos foram Carbono da biomassa microbiana do solo (CBM), carbono orgânico do solo (COS) e estoque de carbono (ESTC). Para cada análise foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-0,5; 0,5-0,10; 0,10-0,15; 0,15-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m. O PD não sofre alteração nos atributos físicos macroporosidade, microporosidade e porosidade total até a camada de 0,40 m do solo após 16 anos de cultivo. As maiores alterações nos atributos químicos Ca^{2+} , Mg^{2+} , P e soma de bases do solo ocorrem na camada superficial do solo de 0 a 0,05 m no PD. O PD e PDA proporcionaram maior CTC até a camada de 0,10 m. Após 16 anos de implantação o PDA proporcionou a correção do pH até a camada de 0,40 m. As sucessões com S/B e M/B proporcionaram aumento da CTC na camada superficial de 0,05 a 0,10 m. A ausência de revolvimento do solo no sul da Amazônia Ocidental não provoca alterações na qualidade física do solo até a

camada de 0,40 m do solo após 16 anos de cultivo. O PD, incrementou os teores de P mais expressivamente na camada superficial e ainda em camadas mais profundas do solo. A partir de 0,05 m o PD ao longo do tempo se mostra capaz de corrigir o pH do solo até camadas mais profundas, não se diferenciando do sistema de plantio convencional.

Palavras-chave: plantio direto; atributos do solo; conservação do solo.

ABSTRACT

Soil represents an important component of the ecosystem, influencing air and water quality. There is a growing interest in recovering the physical and chemical quality of the soil to promote increased soil fertility and recover degraded areas. The objective of the present work was to evaluate chemical and physical indicators of the soil and in function of soil management systems and succession of long-term crops. The study was carried out in Rolim de Moura/RO, under a Red-Yellow Latosol. The experimental design adopted was in a split-plot arrangement. In the plots, the soil managements were allocated alternative no-tillage (PDA), no-tillage (PD) and conventional planting (PC) and in the subplots the succession of cultures: corn x corn + brachiaria (M/B) corn x cowpea (M/ CA), soybean x corn + brachiaria (S/B) and soybean x cowpea (S/CA) with three replicates. The experiment was implemented in 2007. The physical attribute of the evaluated soil was density. The biological attributes were Soil Microbial Biomass Carbon (CBM), Soil Organic Carbon (SOC) and Carbon Stock (ESTC). For each analysis, soil samples were collected in layers 0-0.5; 0.5-0.10; 0.10-0.15; 0.15-0.20; 0.20-0.30 and 0.30-0.40 m. The PD does not change the physical attributes macroporosity, microporosity and total porosity up to the 0.40 m soil layer after 16 years of cultivation. The greatest changes in

chemical attributes Ca^{2+} , Mg^{2+} , P and soil base sum occur in the soil surface layer from 0 to 0.05 m in the PD. PD and PDA provided higher CEC up to the 0.10 m layer. After 16 years of implementation, the PDA provided pH correction up to the 0.40 m layer. Successions with S/B and M/B increased the CEC in the surface layer from 0.05 to 0.10 m. The PD increased the P contents more expressively in the superficial layer and even in deeper layers of the soil. From 0.05 m, the PD over time is capable of correcting the soil pH to deeper layers, not differing from the conventional planting system.

Keywords: no-tillage; soil attributes; soil conservation.

1. INTRODUÇÃO

A conversão de florestas em áreas de agropecuária foi incentivada pelo governo federal a partir da década de 80 para o desenvolvimento e ocupação da região norte do Brasil. O desmatamento da Amazônia e o manejo inadequado dos solos causaram desde então redução de matéria orgânica e um desequilíbrio da estabilidade existente nos agroecossistemas. Neste processo, houve uma evolução acelerada da degradação do solo, provocando a redução da qualidade do solo (Schlindwein et al., 2012).

A qualidade do solo pode ser estimada por seus indicadores biológicos, químicos e físicos. Esses Indicadores expressam a capacidade de um solo para manter suas funções e serviços ecossistêmicos entre os limiares de inflexão do agroecossistemas; portanto, são determinantes nas decisões de manejo e uso da terra. A qualidade do solo é definida como a capacidade que o solo possui para desempenhar as funções agrícolas e a capacidade de preservação dessas funções para o uso futuro (CIAS et al., 2016).

O manejo errôneo do solo contribui e promove alterações nos atributos químicos gerando solos com pH baixo, aumento da concentração de alumínio e manganês, baixa disponibilidade de macro e micronutrientes, alta capacidade de troca de ânions e baixa capacidade de troca de cátions (Durigan, 2013). Os indicadores de qualidade química do solo estão correlacionados com a capacidade do solo de fornecer nutrientes para as plantas e reter elementos químicos ou diminuir aqueles que são tóxicos ao crescimento e desenvolvimento das plantas, dentre eles podem se avaliar o pH do solo, a capacidade de troca catiônica (CTC), a matéria orgânica e os níveis de macro e micronutrientes.

De acordo com Barbosa e Oliveira (2022), os atributos químicos mais utilizados como indicadores são: pH do solo, condutividade elétrica (CE), capacidade de troca catiônica (CTC), disponibilidade de cátions trocáveis (Ca, Mg, Na e K), soma de bases e saturação por bases (V%). Manejo do solo pode promover alteração nos atributos físicos do solo, modificando principalmente a estrutura, a porosidade, a resistência mecânica à penetração e a capacidade de infiltração de água (Cavalcante et al., 2021)

Desse modo o sistema de manejo do solo empregado promove alterações nos atributos do solo melhorando ou diminuindo sua qualidade. O manejo do solo é a combinação de todas as operações de preparo do solo, práticas culturais, calagem, adubação e outros tratamentos conduzidos ou aplicados ao solo visando à produção de culturas (Souza et al., 2019). Entre os sistemas de manejo mais utilizados estão presentes o preparo convencional sendo o mais difundido entre os produtores rurais e o sistema de plantio direto, em expansão no Brasil (Souza et al., 2021).

Além do preparo do solo, as culturas também possuem capacidade de influenciar na qualidade do solo por meio do incremento de resíduos vegetais e pela ação de diferentes sistemas radiculares de espécies de vegetais em sucessão e rotação de cultura. Portanto, diversificar as espécies de uma propriedade seguindo um programa sequencial devidamente planejado e ordenado é fundamental para o sucesso da implantação desse manejo (Silva, 2007).

Como forma de mensurar as alterações dos processos referentes a perdas e ganhos de qualidade do solo, são existentes os indicadores de qualidade do solo. Estes indicadores quando monitorados ao longo do tempo permitem detectar alterações da qualidade do solo em função do manejo. Os indicadores podem ser físicos e químicos e devem ser sensíveis às variações de manejo, clima, condições de campo e de fácil mensuração. A qualidade física do solo pode ser avaliada pela densidade, porosidade, conteúdo de água e resistência do solo à penetração (Doran e Parkin, 1994).

Os estudos de longa duração avaliando os indicadores químicos e físicos nos sistemas de manejo do solo em Agroecossistemas Amazônicos são incipientes, carecendo de mais atenção para maiores e melhores detalhamentos sobre as respostas nestes ambientes.

Diante disso, esse trabalho propôs avaliar em um experimento de longa duração os indicadores de qualidade físicos e químicos do solo em função de sistemas de manejo do solo e sucessões de culturas.

2. METODOLOGIA

2.1. Características da Área Experimental

O experimento teve início em dezembro de 2007 e foi implantado na fazenda experimental da Fundação Universidade Federal de Rondônia *Campus* de Rolim de Moura (latitude 11° 48' 13" W e longitude 61° 48' 12", altitude de 290 m).

O clima da região é do tipo Am, com temperatura média mensal em torno de 26 °C, precipitação média anual de 2.300 mm e umidade relativa média em torno de 85% (Alvares et al., 2013). O solo predominante na área experimental é o Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico de textura média (Tabela 1), conforme os critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solo-SIBCS (Santos, 2018).

Tabela 1 – Atributos químicos e físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo nas áreas de experimentação agrícola, coletado na profundidade de 0-20 cm, Rolim de Moura, Rondônia, Brasil, 2007.

pH	MOS	P	K	Ca	Mg
(H ₂ O)	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹			cmol _c l
5,6	26	0,9	0,18	1,2	0,4

△ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em:

<https://revistatopicos.com.br/artigos/indicadores-de-qualidade-fisica-e-quimica-do-solo-sob-manejos-do-solo-e-sucessao-de-cultura-na-amazonia-ocidental?noblockage>

MOS= matéria orgânica do solo; V= saturação por bases.

2.2. Design Experimental

Nas parcelas principais estão dispostos os tratamentos referentes ao sistema de preparo do solo, sendo esses classificados em Plantio

convencional (PC), Plantio Direto (PD) e Plantio Direto Alternativo (PDA), a diferenciação entre os tratamentos está relacionada pela intensidade de mobilização do solo (Tabela 2).

Tabela 2 - Descrição dos sistemas de manejo do solo utilizados na área de experimentação agrícola, Rolim de Moura, Rondônia, Brasil, 2023.

Manejo do solo	Símbolo	Descrição
Plantio convencional	PC	Teve início no ano de 2007 com operações anuais de três gradagens utilizando uma grade média, sendo as realizadas antes da safra.
Plantio Direto	PD	Não é realizado preparo do solo, sendo o único revolvimento na linha de semeadura.
Plantio Direto Alternativo	PDA	Foi realizado operações de subsolagem antes da implantação da safra nos anos de 2007, 2011, 2015, 2020 e 2021.

O delineamento amostral utilizado foi o inteiramente casualizados, com os tratamentos arranjados em esquema parcelas subdivididas 3 x 4, com 3 repetições. As parcelas foram representadas pelos manejos (PC, PDA e PD). Nas sub parcelas, estavam alocadas as sucessões de culturas (M/B, M/CA, S/B, S/CA).

Nas subparcelas estão alocadas as sucessões de culturas apresentando diferentes quantidades de produção de resíduos vegetais e onde as plantas foram cultivadas de dezembro a abril (primeira safra) e de abril a junho (segunda safra). As sucessões corresponderam a quatro combinações de culturas (milho x milho +

braquiária; milho x Feijão-caupi, soja x milho + braquiária, soja x Feijão-caupi) (Tabela 3).

Tabela 3 - Histórico das sucessões de culturas nos diferentes manejos do solo, Rolim de Moura, Rondônia, Brasil, 2023.

Sucessões de culturas	Símbolo	Histórico
Milho x milho + braquiária	M/B	De 2007 até 2014 foi semeado milho na safra e milho na safrinha. De 2015 a 2021 foi semeado milho na safra e milho na safrinha em consórcio com a Braquiária ruzizensis, a qual era semeada quando o milho apresentava no estágio V4.
Milho x feijão/caupi	M/CA	De 2007 até 2014 foi semeado milho na safra e feijão comum na safrinha. De 2015 a 2021 foi semeado milho na safra e caupi na safrinha.
Soja x milho + braquiária	S/B	De 2007 até 2014 foi semeada soja na safra e milho na safrinha. De 2015 a 2021 foi semeada soja na safra e milho na safrinha em consórcio com a Braquiária ruzizensis, a qual era semeada quando o milho apresentava no estágio V4.
Soja x feijão/caupi	S/CA	De 2007 até 2014 foi semeada soja na safra e feijão comum na safrinha. De 2015 a 2021 foi semeada soja na safra e caupi na safrinha.

2.3. Implantação e Condução do Experimento

A calagem foi realizada para elevar a saturação de bases para 60% conforme recomendação das culturas implantadas, este procedimento foi realizado em outubro de 2021. As doses foram de acordo com recomendado para cada manejo do solo, sendo

essas de 2564 kg de calcário por ha⁻¹ no PDA; 2520 kg de calcário por ha⁻¹ no PC e 3030 kg de calcário por ha⁻¹ no PD procurando elevar a saturação de bases para 60%.

As operações de preparo do solo foram realizadas em outubro do ano de 2021, de acordo com o estabelecido para cada manejo (Tabela 2). Os implementos utilizados foram uma grade aradora dupla ação de discos, com discos de 28" e um arado subsolador com cinco hastes espaçadas 0,50 m cada uma, trabalhando na camada de 0,40 m.

No PD o preparo para a semeadura foi através de dissecação das plantas de cobertura aplicando o herbicida N-(fosfometil) glicina (Glifosato) a 960 g i.a. ha⁻¹ e Ácido diclorofenoxiacético (2,4-D) 720 g i.a. ha⁻¹ e flumioxazina a 60 mL p.c. ha⁻¹ como pré-emergente, sendo os herbicidas aplicados com pulverizador costal com capacidade de 20L.

A semeadura para implantação das culturas na safra foi realizada na segunda quinzena de dezembro de 2021, onde utilizou-se uma semeadora adubadora dotada de 5 (cinco) linhas.

A cultivar de soja utilizada na safra 2021 foi RK6719IPRO e de Milho GNZ7720VIP3. Para a cultura da soja a semeadura foi realizada visando atingir uma população de 250.000 plantas ha⁻¹. Para a cultura do milho a implantação foi realizada visando atingir uma população de 70.000 plantas ha⁻¹. A fonte de adubo utilizada foi uma mistura do formulado 4-30-16 (NPK), em uma dose de 200 Kg ha⁻¹ com adicional de 50 Kg de supersimples aplicado no sulco de plantio, em todos os tratamentos. A adubação de cobertura com

cloreto de potássio foi a lanço 20 dias após a semeadura, sendo aplicado 100 Kg ha⁻¹.

As sementes de soja foram inoculadas com bactérias do gênero *Bradyrhizobium japonicum*, com objetivo de atender a demanda de nitrogênio da cultura, a dose utilizada foi 100 ml para 50 Kg de semente. Em março de 2022, foi implantada a safrinha, utilizando-se o milho a braquiária e o feijão caupi (variedade BRS Tumucumaque).

O controle fitossanitário foi realizado por meio do uso de herbicidas seletivos para cada cultura, sendo que para o milho foi utilizado o Glifosato e 2,4 D e para a soja a Flumioxazina e o Glifosato. Para o controle dos percevejos, lagartas e mosca-branca foram utilizados Imidacloprido + beta-ciflutrina. Para combater a ferrugem foi utilizado Estrobilurina + Triazol, tanto na soja como no milho.

O controle de plantas daninhas em pós emergência foi realizado por meio do uso de herbicidas seletivos para cada cultura, sendo que para o milho foi utilizado o Glifosato e 2,4 D e para a soja a Flumioxazina e o N-(fosfometil) glicina (Glifosato), conforme recomendações técnicas estabelecidas na bula. Para controle de doenças fitopatogênicas foi utilizado o fungicida com princípio ativo Epoxiconazol + Piraclostrobina para controlar Ferrugem da Soja (*Phakopsora pachyrhizie*) e Cercosporiose (*Cercospora zea-maydis*), na dose de 95 g i.a ha⁻¹.

Para controle de pragas utilizou-se o inseticida com ingrediente ativo Clorpirifós, para controlar lagarta-do-cartucho do milho (*Spodoptera frugiperda*,) na dose de 0,6 L ha⁻¹ e também foi empregado inseticida com ingrediente ativo (Imidacloprid + Beta-ciflutrina) na dose de 750 mL do princípio ativo ha⁻¹, para controlar

percevejo e mosca branca. As aplicações foram realizadas seguindo todas as recomendações da bula.

2.4. Amostragem do Solo

De fevereiro a março de 2022 foram feitas as coletas de amostras de solo nos diferentes manejos do solo (PC, PD e PDA). Foram abertas trincheiras na entrelinha da cultura da soja em cada subparcela, totalizando 36 trincheiras.

As camadas amostradas foram 0-0,5; 0,5-0,10; 0,10-0,15; 0,15-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m. Para análise dos atributos físicos macroporosidade, microporosidade, porosidade total foram coletadas amostras indeformadas de solo com a utilização de anéis volumétricos de metal. Para as análises dos atributos químicos, foi realizado coleta de amostras deformadas nas diferentes camadas e condicionado o solo em sacos plásticos.

2.5. Determinação dos Parâmetros Físicos e Químicos do Solo

Os atributos físicos do solo porosidade total, macroporosidade, microporosidade, densidade do solo e os atributos químicos do solo pH em água, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , K^+ , P, acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$), soma de bases (S) e CTC potencial (T), foram avaliados de acordo com metodologias descritas por Teixeira (2017).

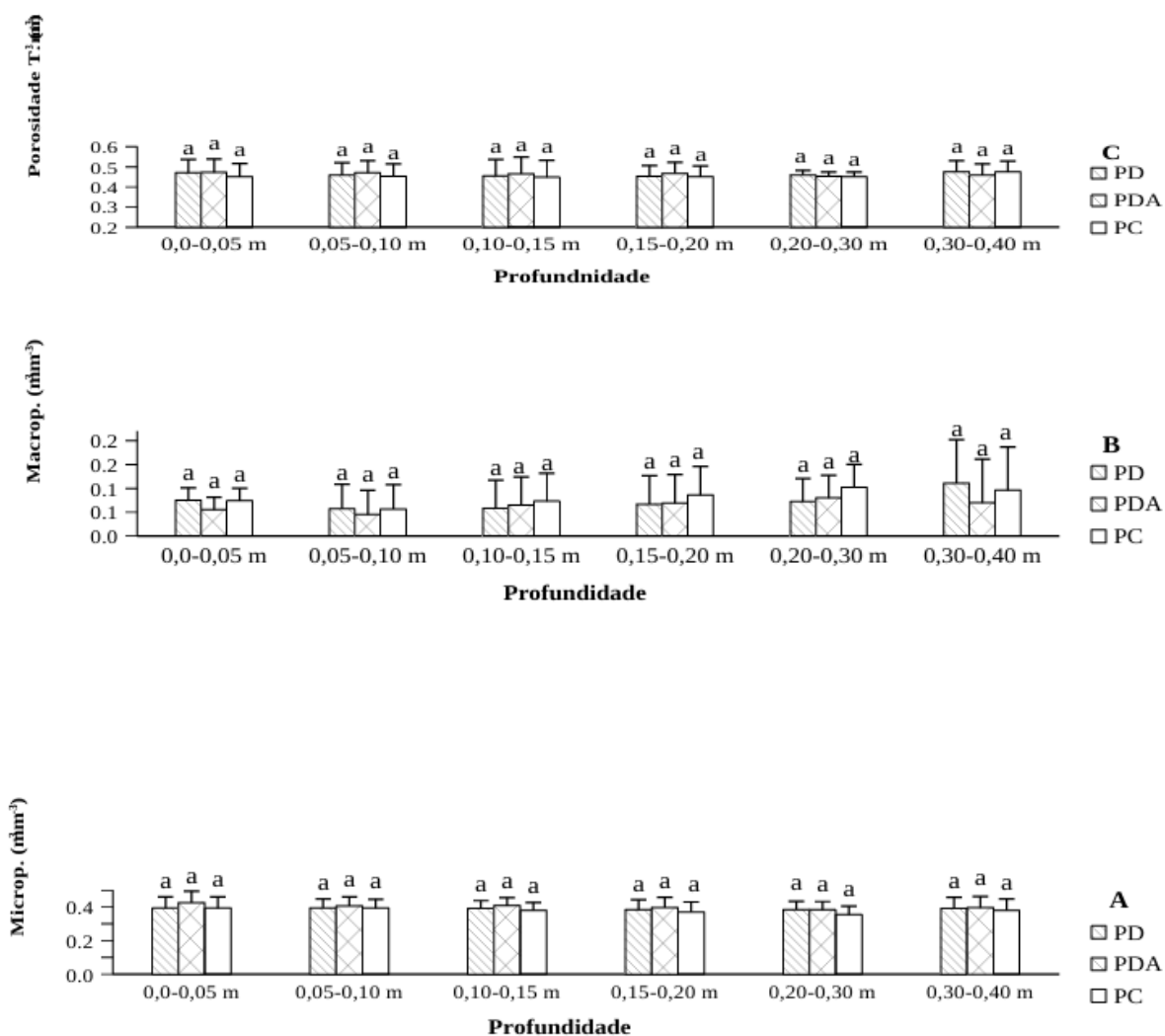
2.6. Análise Estatística

Os resultados obtidos foram submetidos à teste de normalidade Shapiro Wilk e análise de variância, sendo os tratamentos comparados pelo teste Tukey a 5% de significância, com auxílio do programa estatístico computacional Agroestat.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após 16 anos da implantação dos manejos do solo, nota-se que os manejos do solo podem ao longo do tempo afetar os atributos físicos do solo. Verifica-se nas Figuras 1A, 1B e 1C que o PD em estudo não alterou a micro, macro porosidade do solo até a camada de 0,40 m.

Figura 1 - Porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes sistemas de manejo do solo nas camadas de 0 a 0,05; 0,05 a 0,10; 0,10 a 0,15; 0,15 a 0,20; 0,20- a 0,30 e 0,30 a 0,40 m, DMS (5%). PD: plantio direto; PDA: plantio direto alternativo; PC: plantio convencional. Rolim de Moura, Rondônia, Brasil, 2023.



Esse tipo de sistema por não promover nenhum revolvimento do solo tende a aumentar a compactação do solo e diminuir a macroporosidade e porosidade total e aumentar a microporosidade do solo, principalmente na camada superficial, resultados esses que não foram encontrados nessa pesquisa, ao ser analisado os atributos físicos, macroporosidade, microporosidade e porosidade total não houve diferenças significativas entre os sistemas de manejo do solo (Figura 1).

Inúmeras pesquisas mostram problemas com compactação do solo em superfície e subsuperfície em sistemas de manejo com contínuo tráfego de máquinas agrícolas e revolvimento do solo limitado à linha de semeadura (Silva et al., 2004; Silva et al., 2006; Bergamin et al., 2010; Valadão et al., 2015).

Esses resultados podem estar relacionados à melhoria nos atributos físicos do solo que o sistema conservacionista proporcionou ao longo do tempo. Essa melhoria ocorre principalmente por meio do incremento de diversos resíduos vegetais e pela ação dos sistemas radiculares promovidos pelas sucessões de culturas associado a capacidade de conservação da estrutura do solo pelo não revolvimento, esse processo promove o aumento da matéria orgânica do solo que age melhorando as condições físicas do solo.

Bertollo e Levien (2019) concluíram em sua pesquisa que o plantio direto promove a reestruturação de solos degradados e compactados pela ação de plantas de cobertura e da matéria orgânica em decomposição que possui a capacidade de agregação das partículas do solo. Os sistemas radiculares de diferentes espécies também desempenham função fundamental na melhoria das condições físicas do solo. As raízes das plantas afetam a estrutura do

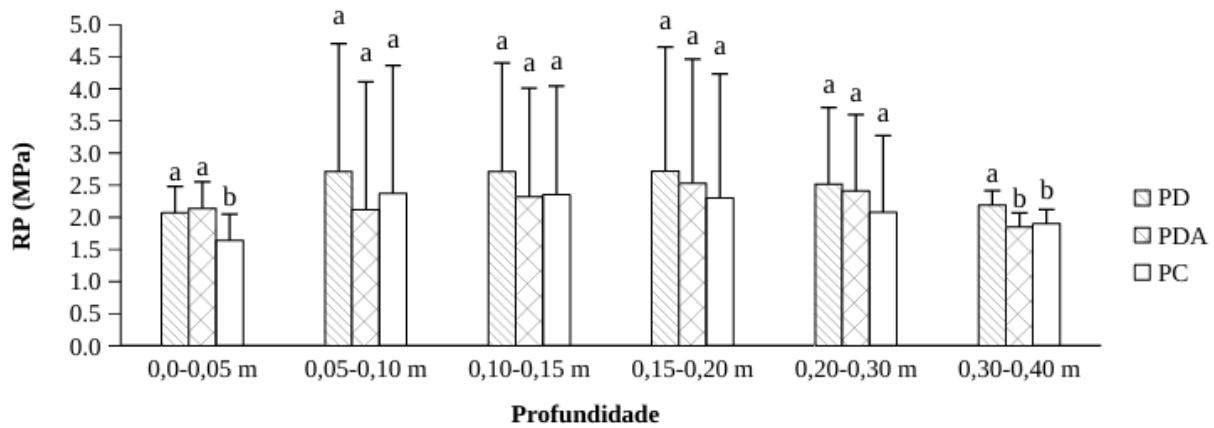
solo por meio de uma variedade de mecanismos, incluindo penetração direta, ancoragem, extração de água e exsudação de compostos na rizosfera (Bengough; Loades e McKenzie, 2016).

Blanco-Caqui e Ruis (2018) afirmam que a adoção do sistema PD, aumenta a concentração de carbono orgânico do solo e age melhorando qualidade física do solo a longo prazo. Esta afirmação corrobora com os resultados deste trabalho, os quais apontam que após 16 anos de implantação do PD não foi observada diminuição na qualidade física do solo quando comparado ao PC.

Os valores de porosidade total apresentaram-se dentro do considerado para a maioria das culturas. De acordo com Kiehl (1979), o solo ideal para a produção agrícola deve possuir uma porosidade total próximo a $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Os sistemas de manejo do solo influenciaram na resistência à penetração (RP) nas camadas de 0 a 0,05 e 0,30 a 0,40 m (Figura 2). Quando analisado o efeito das sucessões de culturas, essas não proporcionaram diferenças significativas. Na camada superficial de até 0,05 m no perfil do solo o PC proporcionou a menor resistência a penetração quando comparado ao PD e PDA que não se diferenciaram.

Figura 2 - Resistência a penetração do solo (RP) do solo em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes sistemas de manejo do solo nas camadas de 0 a 0,05; 0,05 a 0,10; 0,10 a 0,15; 0,15 a 0,20; 0,20- a 0,30 e 0,30 a 0,40 m PD: plantio direto; PDA: plantio direto alternativo; PC: plantio convencional. Rolim de Moura, Rondônia, Brasil, 2023.



Este resultado era esperado, devido a ação das práticas de preparo do solo realizada ao longo dos anos e pela realização da gradagem 120 dias antes da avaliação proporcionando um efeito de pulverização do solo nesta camada onde foi promovida o revolvimento do solo. Corroborando com esses resultados, Torres, Fabian e Pereira (2011) avaliaram um Latossolo Vermelho de textura franco-argilo-arenosa e verificaram menores valores de RP sob PC, os autores associaram esses resultados ao revolvimento da camada superficial frequentemente preparada pelo uso de implementos agrícolas.

Em contrapartida os sistemas de manejos conservacionistas por não proporcionarem revolvimento do solo e pela ação do tráfego de máquinas e implementos agrícolas tendem a apresentar maior compactação nas camadas superficiais do solo. Com isso, ocorre o aumento da RP nessa camada. Blanco-Caqui e Ruis (2018) expuseram que o PD pode aumentar a compactação do solo e que esse aumento, provavelmente, se deve à consolidação do solo e à falta de revolvimento do solo.

Girardello et al. (2017) propuseram o valor crítico para RP de 3,0 MPa para a cultura da soja, pois, constataram redução na produtividade em 10% da cultura em Latossolo vermelho de textura argilosa sob plantio direto. Secco (2003), em um Latossolo Vermelho distrófico de

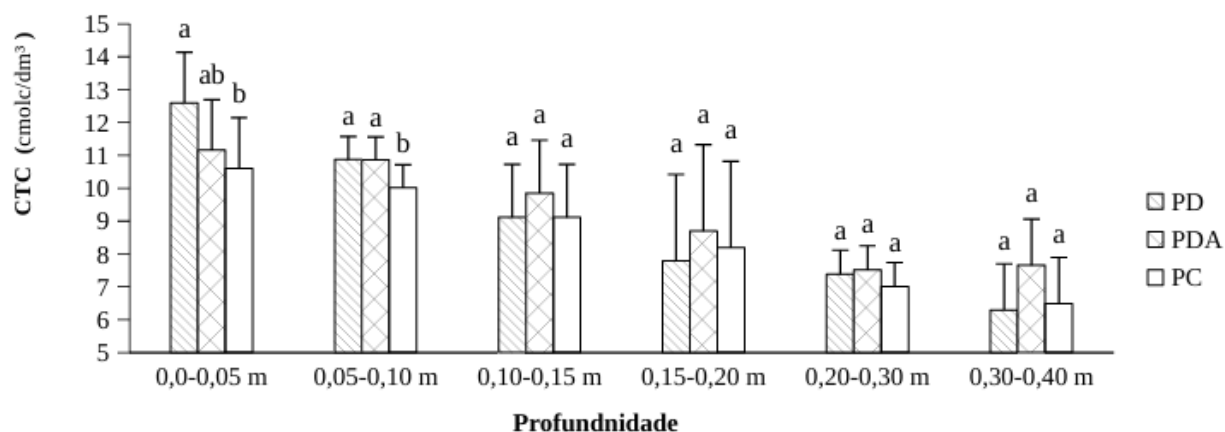
textura argilosa, determinou que a RP na faixa de 2,65 a 3,26 MPa proporcionou decréscimos na produtividade de trigo, milho e soja de 18,3; 34,0; e 24,3 %, respectivamente. Tormena et al. (2007) relataram que a RP em PD pode chegar em valores próximos de 3,5 MPa.

Baseado nessas pesquisas, os valores de RP encontrados nos diferentes sistemas de manejos avaliados mostraram-se adequados para o desenvolvimento radicular das culturas. O sistema de PD apresentou na camada superficial de 0,0 a 0,05 m valor de 2 MPa e o sistema de PC apresentou 1,64 MPa. Esses resultados revelam que a longo prazo o PD na Amazônia ocidental não provoca a compactação do solo principalmente nas camadas superficiais, esse efeito ocorre devido a maior ação do sistema radicular nessas camadas, pela melhoria dos atributos físicos promovido pela matéria orgânica do solo. O acúmulo de matéria orgânica no solo, proporcionado pelo uso de plantas de cobertura, influencia na RP aumentando a umidade crítica para compactação (Braida et al.,2006)

Para o PD, após 16 anos de implantação, foi observado aumento CTC do solo na camada de 0,0-0,05 e 0,05-0,10 m (Figura 3). Nas camadas mais profundas não há diferença entre os manejos do solo para CTC. Quando analisado o efeito das sucessões de culturas, essas não proporcionaram diferenças significativas.

Figura 3 - Capacidade de troca de cátions (CTC) do solo em um Latossolo vermelho-amarelo sob diferentes sistemas de manejo do solo nas camadas de 0 a 0,05; 0,05 a 0,10; 0,10 a 0,15; 0,15 a 0,20; 0,20- a 0,30 e 0,30 a 0,40 m em PD: plantio direto; PDA: plantio direto

alternativo; PC: plantio convencional. Rolim de Moura, Rondônia, Brasil, 2023.

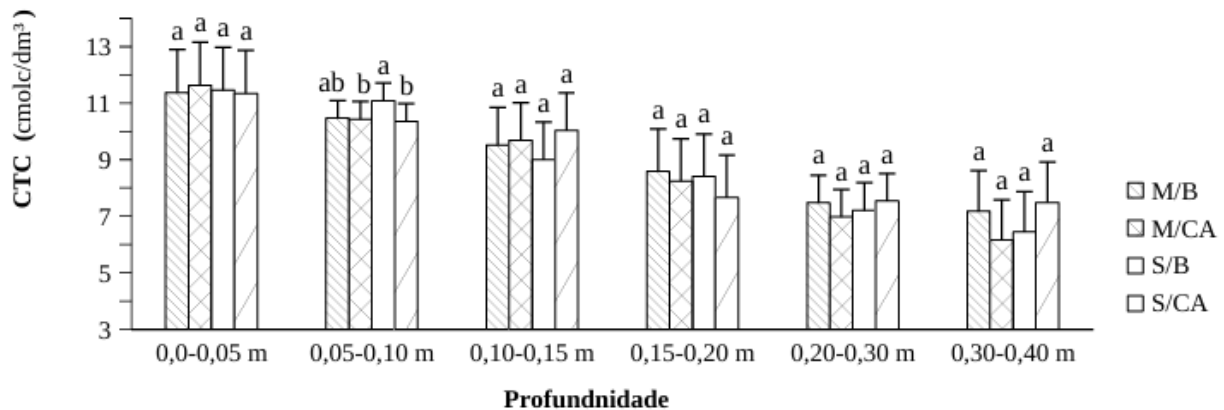


A CTC está diretamente relacionada à quantidade e à qualidade dos coloides orgânicos do solo, desse modo a matéria orgânica apresenta um papel fundamental na CTC, uma vez que ela é capaz de formar complexos orgânicos com os cátions, esses são formados quando as moléculas de matéria orgânica do solo, como ácidos húmicos e fúlvicos, ligam-se aos cátions presentes na solução do solo.

De acordo com Carvalho et al. (2014), a matéria orgânica acumulada na camada superficial do solo pode levar ao aumento da CTC, devido ao aumento das cargas negativas. Esse efeito é ainda mais importante em solos tropicais, por apresentarem solos mais intemperizados com predominância de argilas 1:1 e oxídicas de baixa atividade, conforme indicado por Delarmelinda et al. (2010). Estes autores destacaram ainda que cerca de 70 a 90% da CTC total em solos tropicais é proveniente de matéria orgânica.

A sucessão S/B promoveu incremento na CTC do solo na camada 0,05-0,10 m e não se diferenciou da sucessão M/B, ambas possuem como característica a presença de gramíneas do gênero braquiária nos sistemas produção (Figura 4).

Figura 4 - Capacidade de troca de cátions (CTC) do solo em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes sistemas de sucessão de culturas nas camadas de 0 a 0,05; 0,05 a 0,10; 0,10 a 0,15; 0,15 a 0,20; 0,20- a 0,30 e 0,30 a 0,40 m em PD: plantio direto; PDA: plantio direto alternativo; PC: plantio convencional. Rolim de Moura, Rondônia, Brasil, 2023.



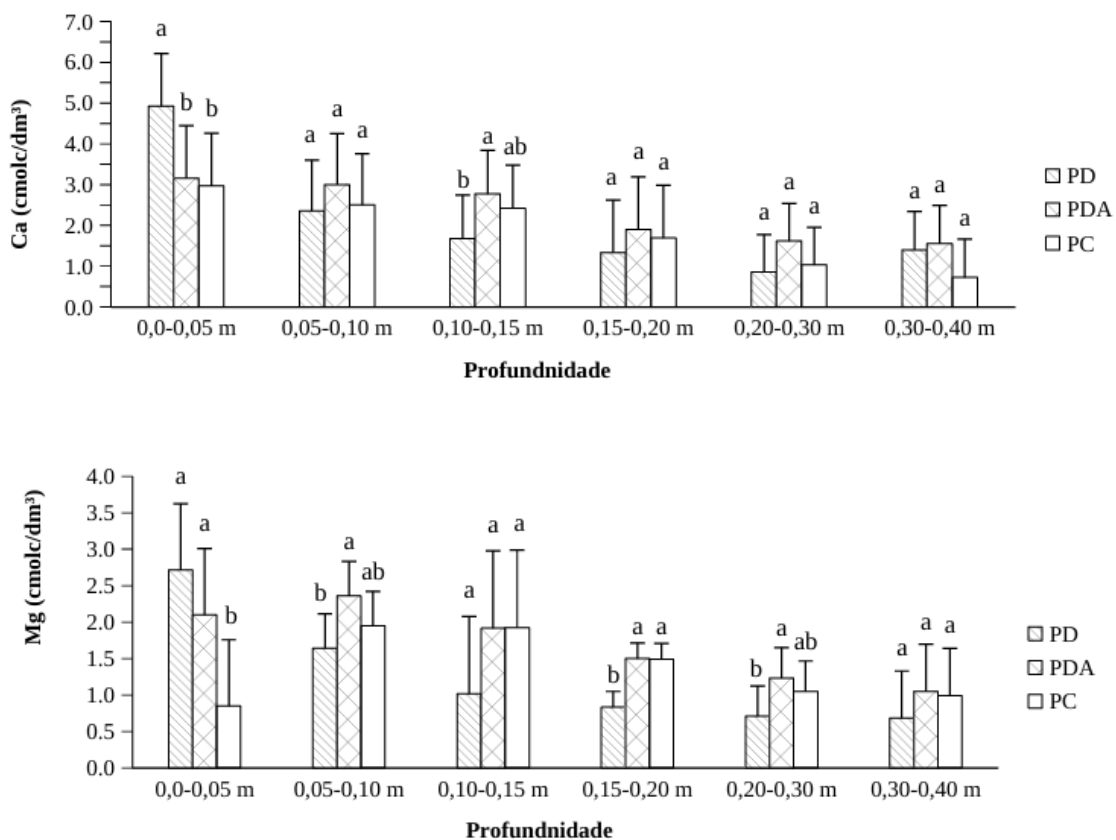
Esses resultados podem ter relação com a utilização das gramíneas em especial do gênero braquiária por serem mais eficientes em gerar fitomassa e manter a cobertura do solo por maior período, esses fatores geram um aumento da matéria orgânica do solo, principalmente nas camadas superficiais, essa adição de matéria orgânica ao solo aumenta a CTC, uma vez que a matéria orgânica é a principal fonte de cargas negativas no solo.

Corroborando com esses resultados, Chaves (2019) reportaram que ao utilizarem capins BRS Paiaguás e BRS Piatã como cobertura em sistema de interação lavoura e pecuária foi verificado aumento significativo da CTC do solo. O autor atribuiu este aumento ao potencial desses capins como produtores de palhada, resultando consequentemente no incremento da matéria orgânica.

Os maiores teores no solo de Ca^{2+} foram obtidos na camada superficial de 0,0 a 0,05 m no PD. nessa camada o PD apresentou

um aumento no teor de de Ca^{2+} de 35,9% quando comparado com PDA e 39,7% ao PC. Para o Mg, no PD foi observado um acúmulo 68,7% maior quando comparado ao PC, e não apresentou diferenças significativas do PDA (Figura 5). As diferentes sucessões de culturas não influenciaram de forma significativa os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo.

Figura 5 - Teores de Cálcio (Ca^{2+}) e Magnésio (Mg^{2+}) em um Latossolo vermelho-amarelo sob diferentes sistemas de manejo do solo nas camadas de 0 a 0,05; 0,05 a 0,10; 0,10 a 0,15; 0,15 a 0,20; 0,20- a 0,30 e 0,30 a 0,40 m, DMS (5%) PD: plantio direto; PDA: plantio direto alternativo; PC: plantio convencional. Rolim de Moura, Rondônia, Brasil, 2023.



Os maiores teores de Ca^{2+} na camada superficial do plantio direto está relacionado à ausência do revolvimento do solo, o que reduz a incorporação do calcário que é a principal fonte de Ca^{2+} e Mg^{2+} no

solo. No sistema PD, o calcário foi aplicado em superfície e desse modo a liberação do Ca^{2+} e Mg^{2+} ocorre na camada superficial do solo, nessa camada no manejo PD apresenta maior CTC pelo maior teor de material orgânico fazendo com que grande parte dos cátions fiquem adsorvidos nos colóides minerais e orgânicos presentes nessa camada superficial do solo.

Resultados semelhantes foram encontrados por Lv et al. (2023), onde os autores mostram em sua pesquisa que o PD aumentou significativamente as concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} do solo em 10% e 7% em comparação com o PC, respectivamente. De acordo com os autores o sistema conservacionista aumenta a concentração de matéria orgânica do solo, desse modo o Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis tendem a formar complexos com compostos orgânicos, ficando adsorvidos nos colóides orgânicos.

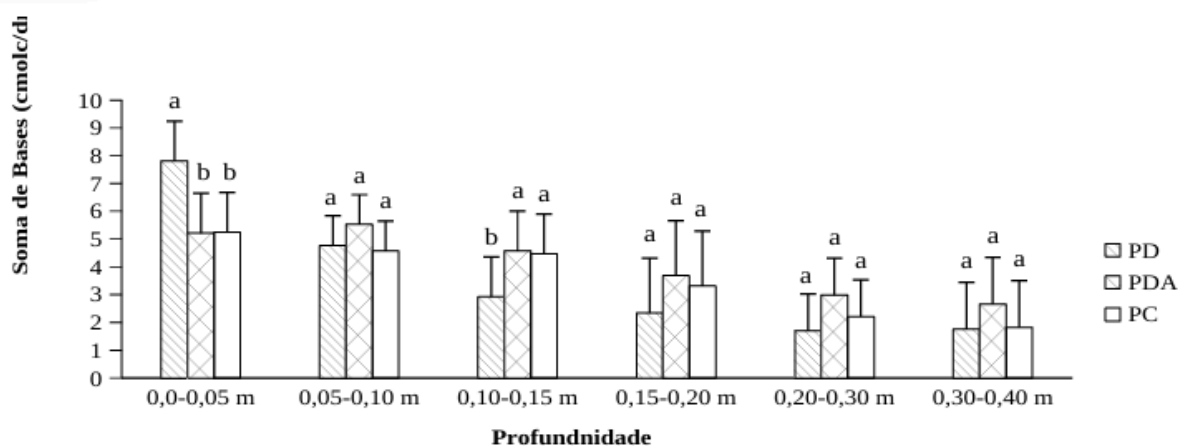
Vale salientar que mesmo não havendo incorporação com a operação de gradagem, este não se diferenciou significativamente do PC em camadas mais profundas. Em sistemas com revolvimento como o PC o calcário é incorporado e pode melhorar sua distribuição ao longo do perfil do solo.

Hanke et al. (2022) verificaram que os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} foram, superiores no PD quando comparado ao PC, evidenciando que a retirada das operações de revolvimento do solo é capaz, mesmo em curtos período gerar manutenção de maiores teores desses macronutrientes no solo. Os autores destacam que esses resultados são devido a fatores como maior manutenção dos íons pela menor perda de solo e maior taxa potencial de infiltração e retenção de água, ocasionando maior interação dos elementos com

os sítios de carga elétrica da superfície dos argilominerais e da matéria orgânica do solo

O PD proporcionou maior soma de bases (SB) no solo na camada mais superficial do solo de 0,0 a 0,05 m, nessa camada o PD incrementou em 32,9% os teores da SB quando comparado ao PC e 33,2% quando comparado ao PDA. Em camadas subjacentes houve um decréscimo nos teores desse macronutriente, na camada de 0,10 a 0,15 m o PDA e PC foram superiores ao PD e não se diferenciaram (Figura 6).

Figura 6 - Soma de bases do solo em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes sistemas de manejo do solo nas camadas de 0 a 0,05; 0,05 a 0,10; 0,10 a 0,15; 0,15 a 0,20; 0,20- a 0,30 e 0,30 a 0,40 m, DMS (5%). PD: plantio direto; PDA: plantio direto alternativo; PC: plantio convencional. Rolim de Moura, Rondônia, Brasil, 2023.



Possivelmente, no sistema PD houve facilitação da adsorção de Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis por meio de trocas com o H^+ de grupos funcionais orgânicos, aumentando a saturação de bases no complexo coloidal (Thomas et al., 2007).

Analisando os efeitos da interação entre sistemas de manejo do solo com as sucessões de culturas na SB do solo, houve efeitos

significativos nas camadas de 0,0 a 0,05 m a 0,05 a 0,10 m do solo (Tabela 3). Na camada 0,0 - 0,05 m o PD aumentou a SB quando cultivado com as sucessões de culturas M/CA, S/B e S/CA. Na camada de 0,05 a 0,10 m o PDA proporcionou maior SB sob o cultivo de sucessões M/B e S/B. A sucessão S/CA no PD e PDA foram superiores ao PC para camada 0,05-0,10 m.

Quando avaliada a interação entre as sucessões de culturas nos sistemas de manejo do solo na SB, houve diferenças no PD para camada de 0 a 0,05 e 0,05 a 0,10 m. Na camada superficial de 0,0 a 0,05 m as sucessões que proporcionaram maior SB foram S/B e S/CA e não apresentaram diferenças significativas da M/CA. Na camada de 0,05 a 0,10 no PD a maior SB foi proporcionada quando implantado a sucessão S/CA que não se diferenciou da sucessão S/B (Tabela 4).

Tabela 4 - Soma de bases do solo em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes sistemas de sucessão de culturas na camada de 0,0-0,05 e 0,05 - 0,10 m em Rolim de Moura, Rondônia, Brasil, 2023.

	Sucessão de culturas			
Manejo do solo	M/B	M/CA	S/B	S/CA
Soma de bases (mg kg ⁻¹ solo) <i>Camada 0,0-0,05 m</i>				
PD	6,67aB	7,56aAB	8,50aA	9,10aA
PDA	4,60aA	5,13bA	6,40bA	4,73bA
PC	5,53aA	5,33bA	5,53bA	4,56bA
<i>Camada 0,05-0,10 m</i>				

PD	3,96bB	5,26aB	3,60bAB	6,23aA
PDA	6,16aA	4,86aA	5,93aA	5,13abA
PC	4,30bA	5,56aA	4,33abA	4,10bA

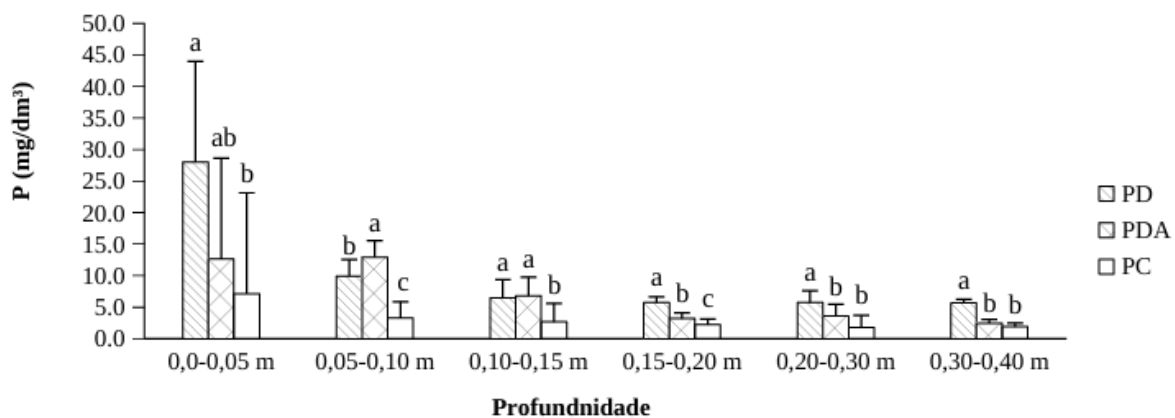
Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, DMS (5%). M: milho; CA: feijão-caupi; S: soja; B: Braquiária. PD: plantio direto; PDA: plantio direto alternativo; PC: plantio convencional.

Os vegetais podem influenciar a SB do solo por meio da ciclagem de nutrientes, que envolve a absorção de nutrientes pelas plantas e a posterior devolução desses nutrientes ao solo por meio da decomposição de resíduos vegetais. A adição de matéria orgânica ao solo aumenta a atividade microbiana, o que pode ajudar a liberar nutrientes essenciais para as plantas. Desse modo sistemas de manejo que reduzam a velocidade de decomposição da matéria orgânica do solo possuem maior capacidade em aproveitar os benefícios que os vegetais desempenham na qualidade do solo, por promoverem maior cobertura vegetal e consequente aumento de material orgânico no solo.

O PD aos longos dos 16 anos de cultivo aumentou o teor de P em todas as camadas avaliadas. Na camada superficial de 0,0 a 0,05 o resultado foi mais expressivo onde o PD promoveu um acúmulo de P na ordem de 74,5% a mais quando comparado ao PC. Conforme avançou em camada mais profundas do solo, ocorreu um decréscimo nos teores de P no solo, comparando a camada superficial de até 0,05 m com a camada subsuperficial de 0,30 a 0,40 m a redução dos teores de P no PD, PDA e PC foram de 79,75%, 80,58% e 73,49%, respectivamente (Figura 7). As sucessões de

culturas não influenciaram de forma significativa nos teores de P no solo.

Figura 7 - Teores de Fósforo (P) em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes sistemas de manejo do solo nas camadas de 0 a 0,05; 0,05 a 0,10; 0,10 a 0,15; 0,15 a 0,20; 0,20- a 0,30 e 0,30 a 0,40 m, DMS (5%). PD: plantio direto; PDA: plantio direto alternativo; PC: plantio convencional. Rolim de Moura, Rondônia, Brasil, 2023.



Esses resultados estão relacionados aos efeitos dos sistemas de manejo e também a dinâmica desse nutriente no solo. Sabe-se que a mobilidade do P nos solos é governada pelas características do solo e do fertilizante, como formulações de grânulos de fertilizantes, teor de matéria orgânica do solo, teor e tipo de argila, capacidade de troca catiônica do solo, pH do solo, estado inicial de P, resistência à sorção do solo, Ca, Fe e Al trocáveis do solo e teor de umidade do solo (Schmitt; Pagliari e Nascimento, 2017; Meyer et al., 2023).

De acordo com Santos (2009) avaliando o modo de aplicação do P a lanço e em sulco de semeadura mostra que quando aplicados a lanço em superfície, o P tem distribuição mais homogênea na camada mais superficial, quando aplicado no sulco de semeadura, o P fica concentrado próximo ao sulco concentrando-se mais entre 3 e 10 cm de profundidade.

Salienta-se que mesmo com ausência de revolvimento do solo no PD, com redução ao longo das camadas mais profundas e baixa taxa de migração do P no perfil do solo este incrementou os teores de P em camadas mais profundas do solo, esse fator é ainda mais expressivo na camada superficial no PD, pelo não revolvimento do solo o P nesse sistema não é incorporado, desse modo ocorre os maiores acúmulos provocados pela adição de fertilizantes e ciclagem de nutrientes.

O oposto ocorre no PC, a prática de preparo do solo com uso de grades distribui o fertilizante e resíduos vegetais em camada no perfil do solo. Analisando o incremento do P nos primeiros 0,20 m de profundidade ao longo de 16 nos de implantação do experimento, verificou-se que houve um aumento de 55, 39 e 16 vezes do PD, PDA e PC, respectivamente, nesse período destaca-se o PD que comparado ao PC incrementou 39 vezes mais os teores de P no solo entre o período de 2007 a 2023.

Corroborando com esses resultados Shiwakoti et al. (2019), avaliando um experimento de 20 anos de duração mostrou que a concentração de P sob plantio direto aumentou ao longo do tempo nos 10 cm superiores do solo 2,7 vezes entre o período de 1995 a 2015. Esse acúmulo no sistema de plantio direto na camada superficial é esperado pelo fato da ausência de mistura do solo, sendo o P menos móvel no solo em comparação com os outros nutrientes.

Provavelmente o PD por promover maior deposição de resíduos vegetais em cobertura e maior produção de matéria orgânica do solo na camada superficial tende a acumular nessa camada maior quantidade de P. Corroborando com esses resultados Lv et al. (2023) pesquisando em diferentes sistemas de manejo do solo encontrou

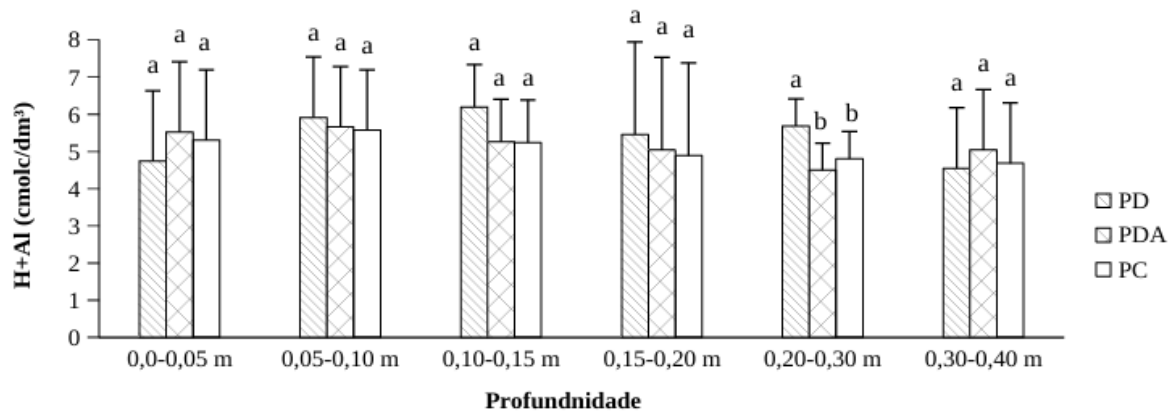
na camada superficial do solo os maiores teores de P no sistema de PD em comparação com o PC.

Os autores destacam que em particular, o P move-se lentamente no solo e é facilmente fixado, geralmente enriquecido na camada superficial do solo. Pereira et al. (2017) avaliando o mesmo experimento da atual pesquisa também encontrou na camada superficial de até 0,10 m os maiores teores de fósforo. De acordo com os autores esse resultado foi esperado pois o fósforo é muito reativo e pouco móvel no solo e não se perde facilmente com a lixiviação no perfil do solo, sendo a concentração superficial favorecida pela adubação em superfície e ciclagem de nutrientes.

Considerando que já são 16 anos de implantação deste experimento, nota-se que houve uma redução expressiva nos teores de P da camada superficial em comparação a camada subsuperficial do solo, porém foi possível constatar que o PD continuou acumulando mais P em relação ao PC até a camada de 0,40 m. Jesus Diniz et al. (2021) verificaram maiores teores de P em maiores camadas no sistema de PD num experimento com 4 anos de duração.

Para acidez potencial houve diferença significativa somente na camada 0,20-0,30 m, onde o PD promoveu maior concentração de $H^+ + Al^{3+}$. (Figura 8). As sucessões de culturas não influenciaram de forma significativa na acidez potencial do solo.

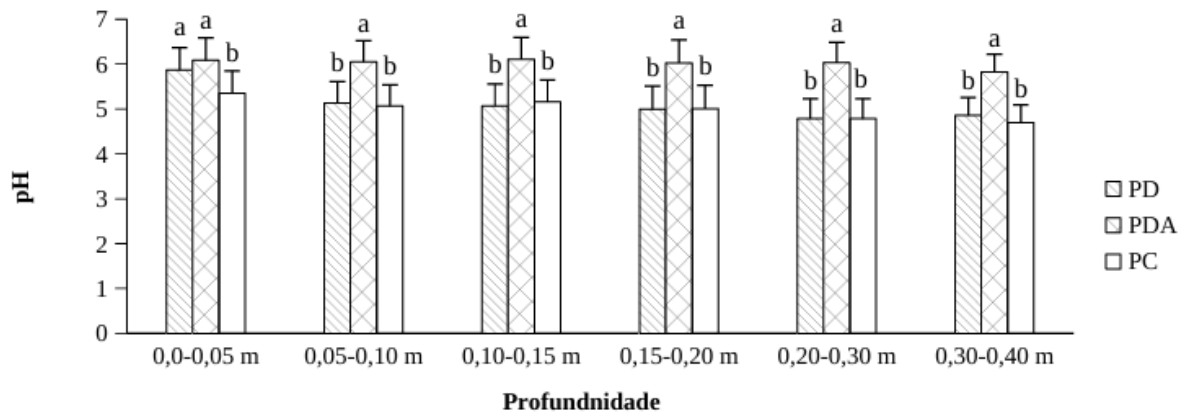
Figura 8 - Acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes sistemas de manejo do solo nas camadas de 0 a 0,05; 0,05 a 0,10; 0,10 a 0,15; 0,15 a 0,20; 0,20- a 0,30 e 0,30 a 0,40 m, DMS (5%) PD: plantio direto; PDA: plantio direto alternativo; PC: plantio convencional. Rolim de Moura, Rondônia, Brasil, 2023.



O PD pode aumentar a acidez potencial do solo em camada devido a não incorporação do calcário, que é frequentemente utilizado para corrigir a acidez do solo, desse modo a aplicação do corretivo em cobertura acaba não atingindo de forma mais eficiente camadas mais profundas pela baixa mobilidade do calcário, esse fator contribui para o aumento da acidez potencial em camadas mais profundas quando comparado a camadas superficiais.

Os valores de pH do solo variaram de forma significativa em todas as camadas no perfil do solo, na camada superficial de 0,0 a 0,05 m o pH foi mais elevado no sistema de PD e PDA quando comparado ao PC e não obtiveram diferenças entre si. Conforme o aprofundou-se no solo o PDA manteve os valores de pH próximos aos encontrados na camada superficial ficando superior ao PD e PC, no PD houve uma acidificação do solo a partir da camada de 0,05 a 0,10 m e não se diferenciou do PC (Figura 9). Quando avaliado as diferentes sucessões de culturas não houve diferenças significativas nos valores de pH do solo.

Figura 9 - Valores de pH em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes sistemas de manejo do solo nas camadas de 0 a 0,05; 0,05 a 0,10; 0,10 a 0,15; 0,15 a 0,20; 0,20- a 0,30 e 0,30 a 0,40 m PD: plantio direto; PDA: plantio direto alternativo; PC: plantio convencional. Rolim de Moura, Rondônia, Brasil, 2023.



O maior teor do pH em água encontrado na camada superficial de 0,0 a 0,05 m do PD em comparação ao PC pode estar relacionado a ação de correção do calcário que foi aplicado 8 meses antes da avaliação, nesse sistema por não haver incorporação do corretivo a ação de correção fica mais restrita aos primeiros 0,05 m de camada do solo, outro fator que contribui para o aumento do pH na camada superficial do solo no PD é a matéria orgânica do solo que pode aumentar o pH do solo, por meio da liberação bases por meio da decomposição da matéria orgânica, que neutralizam os ácidos no solo, foi o que ocorreu na pesquisa, nessa camada o PD obteve o maior acúmulo de soma de bases.

Silva et al. (2015) auxiliam na compreensão deste raciocínio ao mencionarem que os maiores valores de pH em solos sob manejos conservacionistas podem estar relacionados a adição de cátions básicos ao solo em função do aporte contínuo de material orgânico nesses sistemas de cultivo, desse modo a adição do composto orgânicos influenciam anulando as cargas positivas da matriz mineral do solo pela adsorção específica de ânions orgânicos, resultando na diminuição da acidificação do solo.

Corroborando com esses resultados, De Freitas et al., (2020) encontraram teores de pH próximos a neutralidade em áreas sob

manejo conservacionista, mostrando que a condição ideal desse atributo está associada aos melhores níveis de conservação do solo.

Nas demais camadas do perfil do solo avaliada a partir de 0,05 m foi possível constatar que o PD mesmo recebendo aplicação em superfície de calcário, ao longo do tempo se mostra capaz de corrigir o pH do solo até camadas mais profundas, não se diferenciando do sistema de PC que promove a incorporação do corretivo através da utilização de implementos agrícolas.

De acordo com De Vargas et al. (2019) verificaram que após doze anos da aplicação do calcário, seja em superfície ou incorporado, notaram significativa migração da correção da acidez ao longo do perfil do solo. Esses resultados indicam que a aplicação da dose correta de calcário possibilita a correção da acidez do solo e o aumento de Ca e Mg abaixo da camada onde o corretivo de acidez do solo é incorporado (Fageria et al., 1991).

O comportamento do pH no sistema de PDA pode estar relacionado à prática de subsolagem realizada cinco dias após a calagem e quatro meses antes da coleta do solo, esse procedimento atingiu até a camada de 0,40 m no perfil do solo, a subsolagem por promover rompimento do solo em profundidade, cria poros que pode facilitar a solubilização do corretivo e bases para camadas mais profundas, auxiliando na correção do solo, esses processos são ainda mais intensificados na Amazônia Ocidental onde ocorre alto índice pluviométrico atingindo cerca de 2.300 mm.

Resultados semelhantes foram encontrados por Silva e Giuliatti (2010) onde constatou que a calagem combinada com a subsolagem contribuiu para a redução da acidez ativa e da acidez

trocável do solo. O autor associa esse resultado a movimentação do cálcio ao longo do perfil do solo, que foi facilitada pelo aumento da permeabilidade provocado pela subsolagem e conseqüentemente de seu efeito corretivo na acidez do solo.

Santos et al. (2018) aplicando a dose recomendada em superfície, constatou após 18 anos uma mudança positiva dos atributos associados à acidez do solo até a camada de 0,60 m. O autor explica que esses resultados podem ter ocorrido pelo alto regime pluviométrico da região avaliada (até 1800 mm ano⁻¹) que favorece a percolação de partículas finas de calcário e os produtos de sua solubilização através dos macroporos ou rachaduras radiculares para as camadas mais profundas do solo.

Desse modo através dos resultados encontrados na realização do estudo foi possível constatar que em os diferentes sistemas de manejo do solo têm impactos distintos nas propriedades químicas e físicas do solo. Esses indicadores oferecem uma base sólida para avaliar a qualidade física e química do solo em diferentes sistemas de manejo permitindo ajustes precisos nas práticas de manejo.

No entanto, é essencial destacar que os resultados deste estudo são específicos para as condições e sistemas de manejo avaliados. A complexidade dos Agroecossistemas Amazônicos e a variabilidade geográfica exigem uma abordagem adaptativa e uma compreensão das interações solo-planta em diferentes ambientes de manejo.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para as condições de estudo, a ausência de revolvimento do solo no sul da Amazônia Ocidental não provoca alterações na qualidade

física do solo até a camada de 0,40 m do solo após 16 anos de cultivo.

O PD melhora os indicadores químicos Ca^{2+} , Mg^{2+} , P e SB do solo na camada superficial do solo. O PD aumenta a CTC até a camada de 0,10 m.

Após 16 anos de implantação o plantio direto alternativo proporcionou a correção do pH até a camada de 0,40 m.

As sucessões com presença de gramíneas do gênero braquiária S/B e M/B proporcionaram aumento da CTC na camada superficial de 0,05 a 0,10 m.

O PD, incrementou os teores de P mais expressivamente na camada superficial e ainda em camadas mais profundas do solo.

A partir de 0,05 m o PD ao longo do tempo se mostra capaz de corrigir o pH do solo até camadas mais profundas, não se diferenciando do PC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711 – 728, 2013.

BARBOSA, T. DA C. S.; DE OLIVEIRA, V. P. V. Indicadores químicos e biológicos de qualidade do solo utilizados no monitoramento da degradação em ambientes semiáridos: análise do estado da arte. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 3, p. 17403-17423, 2022.

Bengough, A. G., Loades, K., e McKenzie, B. M. (2016). Root hairs aid soil penetration by anchoring the root surface to pore walls. **Journal of Experimental Botany**, 67(4), 1071-1078.

BERGAMIN, A. C., VITORINO, A. C. T., FRANCHINI, J. C., SOUZA, C. M. A. D., & SOUZA, F. R. D. Compactação em um Latossolo Vermelho distroférico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 681-691, 2010.

BERTOLLO, A.M.; LEVIEN, R. Compactação do solo em Sistema de Plantio Direto na palha. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 25, n. 3, p. 208-218, 2019.

Blanco-Canqui, H., e Ruis, S. J. (2018). No-tillage and soil physical environment. **Geoderma**, 326, 164-200.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; REINERT, D. J. Resíduos Vegetais na Superfície e Carbono Orgânico do Solo e suas Relações com a Densidade Máxima Obtida no Ensaio Proctor. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, 30:605-614, 2006.

CIAIS; P.; C. SABINE; G. BALA; L. BOPP; V. BROVKIN; J. CANADELL; A. CHHABRA; R. DEFRIES; J. GALLOWAY; M. HEIMANN; C.JONES; C. LE QUÉRÉ; R.B. MYNENI; S. PIAO; P. THORNTON. CARBON AND OTHER BIOGEOCHEMICAL CYCLES. IN: STOCKER, T.F., D. QIN, G.-K. PLATTNER, M. TIGNOR, S.K. ALLEN, J. BOSCHUNG, A. NAUELS, Y. XIA, V. BEX; P.M. MIDGLEY (EDS.). CLIMATE CHANGE 2013: THE PHYSICAL SCIENCE BASIS. **Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013.

CARVALHO, A. M., MARCHÃO, R. L., SOUZA, K. W. & BUSTAMANTE, M. M. C. Soil fertility status, carbon and nitrogen stocks under cover crops and tillage regimes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45(5), p. 914–921, 2014.

CAVALCANTE, D. M., E SILVA, A. P. F., DE ALMEIDA, B. G., FREIRE, F. J., DOS SANTOS SILVA, T. H., & CAVALCANTE, F. M. S. Physical soil quality indicators for environmental assessment and agricultural potential of Oxisols under different land uses in the Araripe Plateau, Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 209, p. 104951, 2021.

CHAVES, F. de F. A. **Atributos físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo sob diferentes espécies de gramíneas**. 2019. 44f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - PPGCA) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2019.

DE FREITAS I. B., COSTA, M. C. G., LEITE, L. F. C., NASCIMENTO, B. L. M., DE SOUSA ALMEIDA, K., DOS SANTOS BARBOSA, D. L., ... & BRANDÃO, M. L. S. M. Manejo de resíduos em argissolo sob agrofloresta no semiárido cearense/Waste management in argisol under agroforestry in the cearense semiarid. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 4, p. 20702-20716, 2020.

DE VARGAS, J. P., DOS SANTOS, D. R., BASTOS, M. C., SCHAEFER, G., & PARISI, P. B. Application forms and types of soil acidity corrective: Changes in depth chemical attributes in long term period experiment. **Soil and Tillage Research**, v. 185, p. 47-60, 2019.

DELARMELINDA, E. A., SAMPAIO, F. A. R., DIAS, J. R. M., TAVELLA, L. B. & SILVA, J. S. Green manure and changes on chemical characteristics of a soil in the Ji-Paraná-RO region. **Acta Amazonica**, v. 40(3), p. 625–628, 2010.

DORAN, J. W. e PARKIN, T. B. **Defining and assessing soil quality.** In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Org.) Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: SSSA, 1994. p. 3-21.

DOS SANTOS, D. R., TIECHER, T., GONZATTO, R., SANTANNA, M. A., BRUNETTO, G., & DA SILVA, L. S. Long-term effect of surface and incorporated liming in the conversion of natural grassland to no-till system for grain production in a highly acidic sandy-loam Ultisol from South Brazilian Campos. **Soil and Tillage Research**, v. 180, p. 222-231, 2018.

DURIGAN, M. R. **Mudança no estoque de carbono e nitrogênio do solo em função da conversão do uso da terra no Pará.** 2013. 101 f. Dissertação. (Mestre em Agronomia, Área de Concentração Solos e Nutrição de Plantas) Escola Superior de Agronomia "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

FAGERIA, N. K.; WRIGHT, R. J.; BALIGAR, V. C.; CARVALHO, J. R. P. Response of upland rice and common bean to liming on an Oxisol. In: WRIGHT, R. J.; BALIGAR, V. C.; MURRMAN, R. P. (Ed.). **Plant-soil interactions at low pH.** Dordrecht: Kluwer Academic, 1991. p. 519-525.

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L.; LANZANOVA, M. E.; TASCA, A. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento radicular da soja sob sistema plantio direto com tráfego controlado de máquinas agrícolas. **Revista Scientia Agraria**, Curitiba, v. 18, n. 2, p. 86-96, abr./jun., 2017.

HANKE, D., MACHADO, M. S., DA SILVA NASCIMENTO, S. G., DE ÁVILA, M. R., & PILLON, C. N. Produção de soja sob plantio direto e

convencional: análise de atributos químicos e físicos do solo. **Revista Cultura Agronômica**, v. 31, n. 2, p. 64-76, 2022.

JESUS DINIZ, A. P. M. de; ARAGÃO, M. da C.; EL-HUSNY, J. C.; PEREIRA, G. M.; DA HUNGRIA, L. C.; DA SILVA, B. S. N. Atributos químicos do solo sob sistema plantio direto como indicador de sustentabilidade ambiental / Soil chemical attributes under direct planting as an environmental sustainability indicator. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 3130–3152, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n1-213.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: Relações solo-planta**. 1.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 264p.

LV, L., GAO, Z., LIAO, K., ZHU, Q., & ZHU, J. Impact of conservation tillage on the distribution of soil nutrients with depth. **Soil and Tillage Research**, v. 225, p. 105527, 2023.

MEYER, G., BELL, M. J., KOPITKE, P. M., LOMBI, E., DOOLETTE, C. L., BRUNETTI, G., ... & JANKE, C. K. Mobility and lability of phosphorus from highly concentrated fertiliser bands. **Geoderma**, v. 429, p. 116248, 2023.

PEREIRA, E. C. F. **Indicadores de qualidade em um latossolo sob diferentes usos e manejos em Rondônia**. 2017. 133 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente (PGDRA), na Fundação Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Porto Velho, 2017.

SCHMITT, D.; PAGLIARI, P. H.; DO NASCIMENTO, C. A. Chemical distribution of phosphorus in soils used during the development of

sorption isotherms. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2017, *81*, 84– 93, DOI: 10.2136/sssaj2016.07.0220.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; DOS ANJOS, L.H.C.; DE OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A. DE; ARRUDA FILHO, J.C. DE; OLIVEIRA, J.B. DE & CUNHA, T.J.F. (2018) – **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. Ed. rev. e ampl. Brasília DF: Embrapa, 356 p.

SANTOS, D. B. M. **Distribuição do fósforo no perfil do solo sob sistema plantio direto**. 2009. 81 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

SCHLINDWEIN, J. A. et al. Solos de Rondônia: Usos e Perspectivas. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia**, v. 1, n.1, p. 213-231, 2012.

SECCO, D.; ROS, C. O.; SECCO, J. K.; FIORIN, J. E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.3, p.407-414, 2005.

SILVA, M. A. de A. E. **Desenvolvimento radicular das culturas de feijão, soja e milho, sob diferentes manejos de solo, irrigadas por pivô central**. 2007. 140 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2007.

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

SILVA, R.; GIULIETTI, M. **Fosfogesso: Geração, Destino e Desafios**. Em: LIVEIRA, J.; FERNANDEZ, F.; CASTILHOS, S. (eds). Agrominerais para o Brasil. Rio de Janeiro: CETEM; MCT, 2010. p 125 - 144.

SILVA, G. J.; MAIA, J. C. S.; BIANCHINI, A. Crescimento da parte aérea de plantas cultivadas em vaso, submetidas à irrigação subsuperficial e a diferentes graus de compactação de um Latossolo Vermelho - escuro distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 31- 40, 2006.

SILVA, V. R. da; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 399 - 406, 2004.

SOUZA, F. R., BERGAMIN, A. C., FIORELLI, E. C., SCHLINDWEIN, J. A., VENTUROSO, L. A. C., DOS REIS VENTUROSO, L., & DE ALMEIDA, W. S. Sistema plantio direto no sudoeste da Amazônia Ocidental. **Solos da Amazônia Ocidental**, p. 45.2021.

SOUZA, L. S.; BERTOL, I.; DE MARIA, I. C.; MELO FILHO, J. F.; LEPSCH, I. F.; RAMALHO FILHO, A. Terminologia básica utilizada em manejo e conservação do solo e da água. In: BERTOL, I.; DE MARIA, I. C.; SOUZA, L. da S. (ed.). Manejo e conservação do solo e da água. 1. ed. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2019. p. 1-17.

TEIXEIRA, P. C.; CAMPOS, D. V. B.; SALDANHA, M. F. C.; PÉREZ, D. V. Complexo sortivo do solo. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 240-244. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1085209>.

THOMAS, G. A.; DALAL, R. C.; STANDLEY, J. No-till effects on organic matter, pH, cation exchange capacity and nutrient distribution in a Luvisol in the semi-arid subtropics. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, n. 2, p. 295-304, 2007.

TORMENA, C. A. Atributos físicos e qualidade física do solo que afetam a produtividade da cultura do milho safrinha. **Paleta... X Seminário Nacional de Milho Safrinha. Rio Verde**, p. 75-88, 2009.

TORRES, J. L. R., FABIAN, A. J., e PEREIRA, M. G. (2011). Alterações dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Ciência e agrotecnologia**, 35(3), 437-445.

VALADÃO, F. C. D. A., WEBER, O. L. D. S., VALADÃO JÚNIOR, D. D., SCAPINELLI, A., DEINA, F. R., & BIANCHINI, A. Adubação fosfatada e compactação do solo: sistema radicular da soja e do milho e atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 243-255, 2015.

¹ Discente do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente da Universidade Federal de Rondônia Campus Porto Velho. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#).

² Docentes da Universidade Federal de Rondônia Campus Rolim de Moura. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#).

³ Docentes da Universidade Federal de Rondônia Campus Rolim de Moura. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#).

⁴ Docente da Universidade Federal de Rondônia Campus Porto Velho. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#).

⁵ Discente do curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Rondônia Campus Rolim de Moura. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#).