

**UFRRJ**

**INSTITUTO DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO**

**DISSERTAÇÃO**

**Influência de Sistemas de Cultivos e Preparo do Solo  
com Plantio Direto na Produtividade da Soja, no  
Campo Experimental da Embrapa Rondônia, Porto  
Velho (RO)**

**Karina Thaís Lima Burity**

**2021**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA –  
CIÊNCIA DO SOLO**

**INFLUÊNCIA DE SISTEMAS DE CULTIVOS E PREPARO DO SOLO  
COM PLANTIO DIRETO NA PRODUTIVIDADE DA SOJA, NO  
CAMPO EXPERIMENTAL DA EMBRAPA RONDÔNIA, PORTO  
VELHO (RO)**

**KARINA THAÍS LIMA BURITY**

*Sob a Orientação da Professora*

**Lúcia Helena Cunha dos Anjos**

*e Coorientação da Professora*

**Elaine Almeida Delarmelinda**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestra**, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, Área de Concentração em Manejo do Solo e Qualidade Ambiental.

Seropédica, RJ  
Dezembro de 2021

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
Com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

B945i	<p>Burity, Karina Thaís Lima, 1997- Influência de sistemas de cultivos e preparo do solo com plantio direto na produtividade da soja, no campo experimental da Embrapa Rondônia, Porto Velho (RO) / Karina Thaís Lima Burity. - Seropédica, 2021. 41 f. : il.</p> <p>Orientadora: Lúcia Helena Cunha dos Anjos. Dissertação (Mestrado). – – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo, 2021.</p> <p>1. Atributos físicos. 2. Manejo do Solo. 3. Matéria orgânica do solo. 4. Solos amazônicos. I. Anjos, Lúcia Helena Cunha dos, 1957-, orient. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo. III. Título.</p>
-------	---

É permitida a cópia parcial ou total desta Dissertação, desde que seja citada a fonte.

**O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**  
**(CIÊNCIAS DO SOLO)**



**HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 93 / 2021 - CPGACS**

**Nº do Protocolo: 23083.087463/2021-33**

**Seropédica-RJ, 03 de dezembro de 2021.**

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA-CIÊNCIA DO SOLO**

**KARINA THAIS LIMA BURITY**

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestra**, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo, Área de Concentração em Pedologia e Física do Solo.

TESE APROVADA EM 03/12/2021.

**Conforme deliberação 001/2020 da PROPPG, de 30/06/2020**, tendo em vista a implementação de trabalho remoto e durante a vigência do período de suspensão das atividades acadêmicas presenciais, em virtude das medidas adotadas para reduzir a propagação da pandemia de Covid-19, nas versões finais das teses e dissertações as assinaturas originais dos membros da banca examinadora poderão ser substituídas por documento(s) com assinaturas eletrônicas. Estas devem ser feitas na própria folha de assinaturas, através do SIPAC, ou do Sistema Eletrônico de Informações (SEI) e neste caso folha com a assinatura deve constar como anexo no final da tese / dissertação.

*(Assinado digitalmente em 17/12/2021 17:17)*  
LUCIA HELENA CUNHA DOS ANJOS  
PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR  
DeptS (12.28.01.00.00.00.33)  
Matrícula: 387335

*(Assinado digitalmente em 03/12/2021 19:01)*  
MARCOS GERVASIO PEREIRA  
PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR  
DeptS (12.28.01.00.00.00.33)  
Matrícula: 1060711

*(Assinado digitalmente em 05/12/2021 16:26)*  
PAULO GUILHERME SALVADOR WADT  
ASSINANTE EXTERNO  
CPF: 060.454.498-78

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **93**, ano: **2021**, tipo: **HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**, data de emissão: **03/12/2021** e o código de verificação: **7e05a1317f**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por permitir que eu chegasse até aqui, a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) e a Embrapa Rondônia pelas oportunidades e incentivos à realização deste trabalho e profissionais.

Aos meus pais, quero agradecer o apoio incondicional prestado, a sua compreensão e paciência demonstradas, que sempre e em qualquer momento me ofereceram.

À minha orientadora Lúcia Helena Cunha dos Anjos, por aceitar a proposta de trabalho e as contribuições feitas ao trabalho. Obrigada também pela paciência e os conselhos.

A professora Elaine Almeida Delarmelinda-Honoré pela coorientação pelo auxílio e pela sua sublime disponibilidade em ajudar nesse trabalho e em outros trabalhos.

Ao pesquisador Paulo Guilherme Salvador Wadt por todas as sugestões quanto a elaboração desta dissertação e acompanhamento desde minha graduação e pelo incentivo e dedicação em transmitir seus conhecimentos.

Ao professor Marcos Gervasio Pereira pelo auxílio no período em que estive na Rural e mesmo a distância por conta da Pandemia durante a dissertação.

Agradeço também a todo o corpo técnico do Campo Experimental da Embrapa Rondônia, pelo auxílio na condução do experimento.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo pelo ensino de qualidade.

As agências de fomento, Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq) pelo apoio financeiro ao projeto. A Capes pela concessão da bolsa de mestrado.

Enfim, a todos aqueles que fizeram parte dessa caminhada, contribuindo direta e indiretamente para a realização deste trabalho.

## RESUMO

BURITY, Karina Thaís Lima. **Influência de sistemas de cultivos e preparo do solo com plantio direto na produtividade da soja, no campo experimental da Embrapa Rondônia, Porto Velho (RO)**. 2021. 41 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, RJ, 2021.

Um dos principais problemas relacionados à perda da qualidade física do solo, em áreas consolidadas de plantio direto (PD), está relacionado a compactação subsuperficial do solo. Esse processo confere maior resistência à penetração das raízes em profundidade, limitando a busca por água e nutrientes e, a longo prazo, levando a redução da produtividade. Dessa forma, o objetivo do estudo foi caracterizar os atributos físicos do solo e avaliar a influência de diferentes preparos mínimos de solo e sistemas de cultivo no rendimento de grãos de soja, em uma área de plantio direto no Campo Experimental da Embrapa Rondônia, em Porto Velho, Rondônia. O experimento foi implantado no ano agrícola 2013/14, com delineamento de blocos casualizados em faixas com oito repetições. Os tratamentos foram constituídos por monocultura de Soja e Pousio (SP); sucessão de Soja, Milho e Pousio (SMP) e sucessão de soja em consórcio de gramíneas de Milho e Braquiária (SMB), sendo esses combinados com quatro sistemas de preparo do solo: Plantio Direto (PD), Plantio Direto com Escarificação (PD-E), Plantio Direto com Aplicação de Gesso (PD-G) e Plantio Direto com Escarificação e Aplicação de Gesso (PD-E-G). Foram avaliadas a granulometria, a estabilidade de agregados (EA), diâmetro médio ponderado (DMP) e geométrico (DMG) dos agregados, resistência mecânica à penetração (RP), densidade do solo (Ds), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro), porosidade total (PT) e o teor de carbono orgânico total do solo (COT), em amostras de solo coletadas nas profundidades de 0,0-0,05, 0,05-0,10, e 0,10- 0,20 m. A granulometria do solo indica predomínio da fração silte, o que reflete o material de origem dos solos formados nos terraços holocênicos do rio Madeira. Os parâmetros físicos de macroporosidade e porosidade total não diferiram no sistema de cultivo Soja Pousio (SP) e na forma de preparo do solo com escarificação (PD-E). Na profundidade de 0,10-0,20 m foi observado efeito da interação dos tratamentos, com maiores valores de macroporosidade e porosidade total para a combinação do sistema de cultivo SMB/ preparo PD-E, o que mostra o efeito do revolvimento através da escarificação favorecendo o crescimento radicular das gramíneas. O teor de carbono orgânico total foi superior no tratamento de preparo do solo com PD. Porém, nas três camadas de solo avaliadas, não foram observados efeitos significativos para os sistemas de cultivos. Apesar da densidade de plantas de soja ser variável entre os tratamentos, não foi identificada influência dos sistemas de cultivo ou preparo do solo na produtividade da cultura da soja.

**Palavras-chave:** Atributos físicos. Manejo do solo. Matéria orgânica do solo. Solos Amazônicos

## ABSTRACT

BURITY, Karina Thaís Lima, **Influence of cropping systems and soil cultivation with no-till in the productivity of soybean, in the experimental field of Embrapa Rondônia, Porto Velho (RO)**. 2021. 41 p. Dissertation (Master in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, RJ, 2021.

One of the main problems related to the loss of physical soil quality in consolidated no-tillage (PD) areas is the subsurface compaction of the soil. This process results in greater resistance to the root penetration, limiting the extraction of water and nutrients and, in the long term, reducing the crop productivity. Thus, the objective of the study was to characterize the physical attributes of the soil and to evaluate the influence of different minimum tillage and cropping systems on soybean grain yield in a no-tillage area, located in the Experimental Research Field of Embrapa Rondônia, in Porto Velho, Rondônia. The experiment was implemented in the 2013/14 agricultural year, and the design used was randomized blocks in strips with eight replications. The treatments consisted of soybean and fallow monoculture (SP); succession of Soybean, Corn and Fallow (SMP) and succession of soybeans in a consortium of Maize and Braquiária grasses (SMB), which are combined with four soil tillage systems: No-tillage (PD), No-tillage with Scarification (PD- E), no-tillage with plaster application (PD-G) and no-tillage with scarification and plaster application (PD-E-G). Soil granulometry, aggregate stability (EA) weighted average diameter (DMP) and geometric (DMG) of aggregates, mechanical resistance to penetration (RP), bulk density (Bd), macroporosity (Macro), microporosity (Micro), total porosity (PT), and total soil organic carbon (TOC) content were determined in samples taken at the depths of 0.0-0.05, 0.05-0.10, and 0.10-0.20 m. Soil granulometry indicates a predominance of the silt fraction, which reflects the parent material from the Holocene terraces of the Madeira River. The physical parameters macroporosity and total porosity did not differ in the SP cropping system and in the soil cultivation with scarification. At a depth of 0.10-0.20 m, an effect of interaction of treatments was observed, with higher values of macroporosity and total porosity for the combination of the SMB cropping system / PD-E soil cultivation, which shows the effect of the turning of soil through scarification favoring the growth of grass roots. The total organic carbon content was higher in the tillage treatment with PD. However, in the three soil layers evaluated, no significant effects were observed for the cropping systems. Although the density of soybean plants was variable between treatments, no influence of cropping systems or soil cultivation was identified in the soybean yield.

**Keywords:** Physical attributes. Soil management. Soil organic matter. Amazon soils.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Transepto da ação de hastes e o alcance da perturbação ao solo na profundidade de 0-0,3 m (a) e 0-0,5 m (b) (SPOOR & GODWIN, 1978). .....	9
<b>Figura 2.</b> Localização geográfica do estado de Rondônia no Brasil, e da área do estudo no estado de Rondônia (Adaptado de IBGE, 2014). .....	12
<b>Figura 3.</b> Precipitação e temperaturas médias mensais no período de outubro de 2016 a setembro de 2017, obtidas na estação meteorológica do campo experimental da Embrapa Rondônia em Porto Velho (RO). .....	13
<b>Figura 4.</b> Disposição dos blocos e tratamentos de preparo do solo na área experimental. PD (Plantio Direto), PD-E (Plantio Direto com Escarificação), PD-G (Plantio Direto com Gesso), PD-E-G (Plantio Direto com Escarificação e Gesso). .....	14
<b>Figura 5.</b> Disposição dos tratamentos de cultivo na área experimental da Embrapa Rondônia em Porto Velho. Legenda: SP (Soja Pousio), SMP (Soja, Milho e Pousio), SPB (Soja, Pousio e Braquiária). .....	15
<b>Figura 6.</b> Sequência de manejo das lavouras na área experimental na Embrapa Rondônia, em Porto Velho. ....	16
<b>Figura 7.</b> Distribuição das frações granulométricas areia, silte e argila, das amostras de solo coletadas nas profundidades de 0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m (n=96). ....	18
<b>Figura 8.</b> Representação da média ponderada das amostras de solo na área experimental no triângulo de classes de textura (SANTOS et al., 2018). ....	18

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Sequência de ocupação e uso agrícola da área de estudo na Embrapa Rondônia em Porto Velho. ....	13
<b>Tabela 2.</b> Atributos químicos do solo no período de instalação dos experimentos de plantio direto, Porto Velho – RO .....	14
<b>Tabela 3.</b> Valores médios de resistência do solo à penetração, densidade do solo e umidade gravimétrica do solo em função do efeito das formas de preparo do solo e sistemas de cultivo, nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m. ....	19
<b>Tabela 4.</b> Desdobramento da interação entre formas de preparo do solo e sistemas de cultivo. ....	21
<b>Tabela 5.</b> Distribuição das classes de tamanho dos agregados em função das formas de preparo do solo e sistemas de cultivo, nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m.....	22
<b>Tabela 6.</b> Efeito das formas de preparo do solo e sistemas de cultivo no diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico e carbono orgânico do solo, nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m.....	23
<b>Tabela 7.</b> Valores médios da produtividade da soja, número de plantas por hectare, altura da planta e altura de inserção em função do efeito dos preparos do solo e sistemas de sucessão de culturas. ....	24

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1 Diversidade de Solos da Região Sul Ocidental da Amazônia.....	3
2.2 Visão Geral da Agricultura em Rondônia.....	4
2.3 Preparo do Solo Usando Técnicas de Plantio Direto .....	5
2.4 Manejo da Acidez do Solo em Plantio Direto.....	6
2.5 Compactação do Solo sob Plantio Direto e Práticas para Mitigação .....	7
2.5.1 Utilização de escarificação mecânica.....	8
2.5.2 Utilização de gesso agrícola .....	10
2.5.3 Utilização de plantas descompactadoras .....	10
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>12</b>
3.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo.....	12
3.2 Histórico da Área Experimental .....	13
3.3 Delineamento Experimental e Tratamentos .....	14
3.4 Variáveis Mensuradas .....	16
3.4.1 Propriedades físicas dos solos .....	16
3.4.2 Carbono orgânico do solo.....	17
3.4.3 Produtividade da soja .....	17
3.5 Análise Estatística .....	17
<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>18</b>
4.1 Frações Granulométricas do Solo na Área Experimental .....	18
4.2 Propriedades Físicas do Solo em Função do Preparo do Solo e Sistemas de Cultivo .....	19
4.3 Agregação do Solo e Carbono Orgânico Total em Função do Preparo do Solo e Sistemas de Cultivo .....	21
4.4 Produtividade e Densidade de Plantas na Lavoura de Soja .....	23
<b>5 DISCUSSÃO .....</b>	<b>25</b>
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>29</b>
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>30</b>
<b>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>31</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No Estado de Rondônia a cadeia de produção de grãos constitui-se em uma das principais atividades responsável pela expansão das áreas cultivadas. Para essa expansão, os produtores priorizam solos profundos e bem drenados, que, em geral, possuem baixa fertilidade química, são intemperizados e com mineralogia de argilas de baixa atividade e têm baixos teores de matéria orgânica do solo (MOS).

Em função do material de origem, os solos no Estado de Rondônia variam de excessivamente ácidos e distróficos a eutróficos pouco ácidos. São comumente pobres em fósforo disponível, com teores de Ca e Mg baixos e elevados teores de Al trocável (LUMBRERAS et al., 2019). No entanto, a conjunção de fatores como a boa distribuição e volume de precipitação pluviométrica, o clima quente e alta luminosidade, o relevo plano a suave ondulado, associados a boa qualidade física dos solos, os tornam aptos para o cultivo de grãos em sistemas intensivos, condicionado ao manejo da fertilidade adequado, ou seja, com a correção da acidez e adubação de manutenção.

A expansão da agricultura no estado de Rondônia iniciou-se na década de 90, principalmente nas áreas fronteiriças com o bioma do Cerrado no Centro-Oeste, aproveitando-se de terras antes exploradas pela pecuária extensiva (LATHUILLIÈRE et al., 2017). Terras estas já em processos de perda da capacidade produtiva devido a degradação do solo pela forma de manejo das pastagens (DIAS FILHO, 2005). Nessas áreas, a agricultura pode ser uma alternativa econômica e até mesmo promover a recuperação da capacidade produtiva das terras (LATHUILLIÈRE et al., 2017). Para tal, o manejo da fertilidade dos solos deve se dar de forma a recuperar ou melhorar a sua qualidade química. Por outro lado, a agricultura intensiva tem demonstrado reduzir a qualidade física, quando utilizadas práticas de preparo convencional do solo, com excessiva mecanização, monocultivos e baixa manutenção da cobertura do solo, com reflexo também na redução do estoque de carbono do solo.

Nas regiões de clima quente e úmido da Amazônia, o sistema de plantio direto (SPD) não proporciona os mesmos benefícios de regiões de clima mais frio, como no Sul do Brasil, especialmente na manutenção da palhada entre as safras sucessivas. Ainda assim, a adoção de sistemas conservacionistas é essencial para a melhoria das propriedades físicas e químicas dos solos em todos os ambientes (BUSARI et al., 2015). O que, segundo LAL (2015), é alcançado através da redução do revolvimento do solo, pela manutenção da cobertura mínima do solo com a palhada e pela diversidade de espécies cultivadas. Nos sistemas conservacionistas há redução da perda de solo por processos erosivos e manutenção ou mesmo aumento do estoque de carbono, refletindo na melhoria da qualidade dos solos tropicais e subtropicais (BAUMGARTNER et al., 2021).

Em várias regiões brasileiras, tem-se observado que a implementação incorreta do SPD tem resultado em perdas de qualidade física do solo, notadamente no aumento da compactação de camadas subsuperficiais do solo (KOCHHANN et al., 2000). A intensidade do impacto negativo do manejo inadequado depende de algumas características intrínsecas do solo, como a granulometria e mesmo sua mineralogia, com reflexos na estrutura do solo, que pode ser mais ou menos afetada, de acordo com a combinação dessas características e o uso de práticas de manejo incorretas.

A degradação da estrutura do solo limita o desenvolvimento das plantas e, desta forma, conduz a redução no potencial produtivo (RICHART et al., 2005). Por esse motivo, a estrutura do solo tem sido reconhecida como um indicador de qualidade na avaliação dos efeitos do SPD, possibilitando o monitoramento de ganhos ou perdas na qualidade física do solo em função das práticas de manejo empregadas (SOARES et al., 2016).

Entre as práticas de manejo que podem afetar a qualidade física do solo são citadas o uso de escarificadores (BEULTER & CENTURION, 2004; REICHERT et al., 2007) e o uso de calagem e gessagem (CAIRES et al., 2003, 2011a, 2011b). A avaliação dos diferentes arranjos e combinações de manejo do solo permite identificar o conjunto de práticas mais adequado para mitigação da compactação do solo e a melhoria da produtividade de grãos em longo prazo.

Nesse estudo, no estado de Rondônia, torna-se especialmente importante compreender como as variações nas técnicas de preparo do solo e rotação de culturas podem afetar as propriedades físicas e a produtividade da cultura da soja. Particularmente, devido a expansão atual dessa lavoura no estado, que ocorre sobre sedimentos terciários caracterizados por solos de baixa fertilidade natural, elevada acidez e alta relação silte/argila, com drenagem por vezes imperfeita ou moderadamente drenados e em áreas planas.

Essa pesquisa teve como hipótese que a adoção de uma combinação de práticas conservacionistas poderia melhorar a qualidade física do solo e aumentar a produtividade da soja. Para testar essa hipótese, foram avaliadas, em distintos tratamentos, as seguintes práticas: preparo reduzido do solo, uso de escarificador, aplicação de gesso agrícola a lanço, e rotação de culturas com sistemas radiculares diferentes

Os objetivos gerais do estudo foram caracterizar os atributos físicos do solo e avaliar a influência de diferentes preparos do solo e sistemas de cultivos no rendimento de grãos de soja, em uma área experimental da Embrapa Rondônia, em Porto Velho (RO), na região Amazônia Sul-Occidental.

Como objetivos específicos:

- a) Avaliar as modificações nos atributos físicos do solo decorrentes dos tratamentos de forma de cultivo, aplicação de gesso agrícola e rotação de culturas; e
- b) Avaliar os efeitos dos tratamentos e dos atributos físicos do solo na produtividade da cultura da soja.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Diversidade de Solos da Região Sul Ocidental da Amazônia

A diversidade de solos da Amazônia, bioma de grande uniformidade de clima atual equatorial úmido e quente, pode ser considerado como um reflexo da evolução geológica da região e de sua geomorfologia atual e pretérita, informações essas documentadas desde a década de 1970 pelo projeto RADAM e RADAMBRASIL (OLIVEIRA, 1999).

O bioma Amazônia apresenta a menor quantidade de áreas estudadas em levantamentos de solos do Brasil (MENDONÇA-SANTOS & DOS SANTOS, 2006), o que é atribuído a dificuldades de acesso, sua dimensão territorial, presença de grandes “vazios demográficos<sup>1</sup>” e ao baixo número de pesquisadores atuantes na região, principalmente na área de pedologia. Em contraponto, as regiões sul e sudeste apresentam maior quantidade de trabalhos, em termos de número de mapeamentos e as escalas de detalhamento, situação atribuída também ao expressivo desenvolvimento agrícola e econômico dessas regiões (CARVALHO et al., 2013; MENDONÇA-SANTOS & DOS SANTOS, 2006).

Aliado as pesquisas e levantamentos conduzidos por várias instituições e grupos de pesquisa no Brasil, iniciativas recentes têm permitido o melhor entendimento da diversidade de solos nesse bioma. Dentre essas iniciativas, destacam-se as Reuniões de Classificação e Correlação de Solos (RCCs), patrocinadas pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo e com apoio da Embrapa Solos e várias instituições, nas regiões onde ocorrem. Esses eventos tem como uma das finalidades promover o aprimoramento e validação de técnicas e conceitos pedológicos para o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), porém, em adição, as RCCs agregam muitas informações relevantes para a compreensão da dinâmica do solo e suas formas de uso nos diversos biomas brasileiros.

Das cinco RCCs que ocorreram no período de 2010 a 2019, três delas foram em territórios compreendidos pelo bioma amazônico: RCC do Acre (ANJOS et al., 2013), RCC de Roraima (BATISTA et al., 2018) e a RCC de Rondônia (LUMBRERAS et al., 2019).

Na RCC do Acre, foram inúmeras as constatações da ocorrência de materiais de solos pouco intemperizados, associados a relevos variados, e abrangendo uma grande parte do território daquele estado (ANJOS et al., 2013). Na RCC de Roraima, também se confirmou as particularidades e dissimilaridades dos ambientes pedológicos de Roraima, em relação as demais regiões da Amazônia, inclusive com a ocorrência de solos com caráter nátrico, conforme já havia sido documentado por Schaefer & Dalrymple (1995).

Quanto a RCC de Rondônia, Coelho et al. (2019) identificaram atributos incomuns para o ambiente amazônico, em algumas ordens de solos da região. Entre elas, o caráter eutrófico e discrepâncias nas relações silte e argila, o que os autores sugerem devem-se à evolução e diferenciação dos solos, afetadas, principalmente, pelo material de origem, o relevo e as condições de drenagem da paisagem. De forma semelhante, Calderano et.al. (2019), apontam o predomínio da caulina como mineral secundário, com baixos conteúdos de óxidos-hidróxidos, em quase todos os solos examinados na RCC, porém, destacam a ocorrência de minerais secundários, como esmectitas e vermiculitas. A presença desses minerais secundários, identificados como argilas de atividade alta, mesmo que em menores quantidades, são relevantes para funções do solo, principalmente quanto a dinâmica da acidez, estoque de nutrientes e disponibilidade de água e oxigênio.

As três RCCs, embora englobando apenas parte do imenso território do bioma amazônico, foram suficientes para consolidar o entendimento de que há uma grande diversidade

---

<sup>1</sup> Vazio demográfico deve ser entendido como regiões com baixa densidade populacional, e não necessariamente, ausência de populações residentes, sejam atuais, sejam passadas.

de solos, imposta notadamente pela interação entre as diferentes formações geológicas e as variações do relevo regional.

Nesse sentido, Schaefer et al. (2017), propuseram dividir o bioma amazônico em onze setores pedológicos, cada qual caracterizado por geologia, geomorfologia e ecossistemas florestais distintos. Apesar dessa setorização, dentro de cada setor pedológico há relevante variação de solos e paisagens, como foi observado no setor identificado como a Bacia do Acre (ANJOS et al., 2013) ou no dos Solos dos Planaltos Rondonienses (SCHAEFER et al., 2017).

Conhecer o potencial agrícola dos solos em suas diferentes variações de paisagem e ambientes, principalmente quanto às consequências da expansão da agricultura sobre esses solos e ecossistemas, é essencial. Diferentes manejos podem gerar subutilização ou sobreutilização desses recursos, assim como os sistemas de uso e manejo requerem aprimoramentos e adaptações técnicas direcionadas a atender as condições particularidades desses ambientes (HOMMA, 2013, 2017). Apenas para dar um exemplo, a adaptação de práticas para manejo da fertilidade, no que refere a correção da acidez e dos altos teores de Al em solos do Estado do Acre (WADT, 2002).

## **2.2 Visão Geral da Agricultura em Rondônia**

Localizado na Amazônia Ocidental, o estado de Rondônia possui extensão de 238,5 mil km<sup>2</sup>, representando 6,79 % da Região Norte e 2,16 % do território nacional. Faz fronteiras ao norte, nordeste e noroeste com o estado do Amazonas, ao sul com a Bolívia, a Leste e sudeste com o estado do Mato Grosso e a oeste e sudoeste com o estado do Acre e a Bolívia (IBGE, 2021).

O clima do estado é caracterizado por médias térmicas anuais elevadas e uniformes de 23,2 a 26°C, apresentando as maiores temperatura nas regiões ao norte e oeste do estado e as menores ao sul e sudeste. A precipitação pluviométrica média do estado varia de 1340 mm a 2340 mm tendo uma distribuição gradual ascendente das regiões sudoeste em direção ao nordeste do estado (RODRIGUES DA FRANCA, 2011).

O estado de Rondônia nas últimas décadas, tem passado por diversas transformações socioeconômicas, impulsionadas pela ampliação das infraestruturas viárias, de logística e energética. Sua posição geográfica favorece a formação de um sistema intermodal composto pelas rodovias BR-364, BR-319 e a BR-230, com a hidrovia do Rio Madeira, e em uma escala macrorregional, com a BR-317, com ligação para os portos peruanos e chilenos, permitindo que mesmo na ausência de portos marítimos o estado possua rotas de exportação viáveis (RODRIGUES et al., 2014).

No setor primário, além do extrativismo mineral e vegetal, a agropecuária se destaca como atividade econômica, principalmente nas exportações de carne bovina, soja, produtos lácteos e café (ROSA NETO et al., 2018). Parte da expansão do setor agropecuário ocorreu já a partir da década de 70, com o desmatamento da floresta amazônica para implantação de lavouras temporárias e permanentes e da pecuária. No entanto, com o esgotamento da fertilidade do solo pelo manejo inadequado, associado a dificuldades de acessos ao mercado e as baixas produtividades, fizeram com que quase todas as áreas de lavouras fossem convertidas em pastagens, logo após as primeiras décadas de conversão das áreas florestais (SEDAM, 2009). O sistema de agricultura itinerante praticado, de derrubada e queima da floresta amazônica e do cerrado, onde a cada ano eram abertas novas áreas enquanto outras eram abandonadas para pousio ou transformadas em pastagens, com baixa capacidade de suporte animal, resultou em grande pressão sobre as áreas nativas, ocasionando a perda de fração importante da vegetação natural e degradação do ambiente como um todo.

Porém, diante de ações e políticas governamentais para controle do desmatamento o modelo anterior passou a ser substituído e novas tecnologias passaram a ser adotadas, como a

maior adoção de uso de corretivos do solo, adubações de reposição e introdução da irrigação complementar, bem como o confinamento animal. Esse processo vem resultando na devolução de áreas destinadas às pastagens para a agricultura, agora, de melhor nível tecnológico e, em muitas regiões, com excelentes produtividades. Esse quadro levou o estado de Rondônia a uma condição de crescimento da produção do setor agropecuário, com uma taxa muito superior àquela observada quando da expansão de novas áreas de produção (ROSA NETO et al., 2020).

No entanto, em 2017, verificou-se que dos 5,5 milhões de hectares de pastagens em Rondônia (CENSO AGRO, 2017), até 70% apresentam algum grau de degradação. Dada a importância da recuperação desses solos, com baixa capacidade produtiva decorrente do esgotamento das reservas nutricionais, perda da qualidade física e redução da biodiversidade, vários estudos foram realizados em áreas de pastagens degradadas no estado de Rondônia (SILVA FILHO 2009).

A ampliação das áreas destinadas a lavouras temporárias e, principalmente, para a cadeia de produção de grãos, explica-se pela menor rentabilidade bruta da pecuária extensiva, o que estimula o arrendamento das áreas de pastagens para outras atividades de melhor rentabilidade (BROWN et al., 2005; BROWN; JEPSON; PRICE, 2004).

### **2.3 Preparo do Solo Usando Técnicas de Plantio Direto**

Os sistemas de produção agrícola com monoculturas, identificados como convencionais, caracterizam-se por adotarem práticas de preparo do solo de alta perturbação, com operações como aração, gradagem e escarificação a cada etapa de plantio (ARRIAGA et al., 2017), com efeitos em geral negativos sobre as propriedades químicas, biológicas e físicas do solo e, principalmente, para a dinâmica de entrada e estoque do carbono no solo (WEST & POST, 2002).

O intenso revolvimento do solo pode aumentar a atividade microbiana e, desta forma, acelerar as taxas de decomposição e mineralização da matéria orgânica (ALVAREZ et al., 1995), além de alterar o tamanho, o arranjo e estabilidade dos agregados, com implicações sobre a estrutura do solo. Especificamente, a pulverização dos agregados e o rearranjo das partículas de menor dimensão pode resultar em maior compactação do solo, com aumento da densidade do solo e redução da porosidade e infiltração da água (NASCIMENTO et al., 2019; LARSEN et al., 2014).

De forma diversa, sistemas de produção conservacionistas (SPC) são apontados como aprimoramentos das práticas convencionais de cultivo, que aliam o uso racional e dinâmico do solo e da água com as demandas da produção agrícola (LAL, 2015; AL-KAISI & LAL, 2017).

Entre os SPC, o Plantio Direto (PD) destaca-se como técnica de preparo do solo fundamentada na redução dos processos de perturbação do solo, minimizando o revolvimento do solo, e tendo como benefícios a diminuição das taxas de decomposição da matéria orgânica e minimizando alterações na agregação do solo, com impactos positivos na manutenção do carbono orgânico e na infiltração da água no solo (JORDAHL & KARLEN, 1993; NASCIMENTO et al., 2019). O menor revolvimento do solo, associado à manutenção da cobertura, leva ainda a redução dos processos erosivos. Outros benefícios do PD estão associados a redução do transporte de poluentes (CARKOVIC et al., 2015) e manutenção de maior porosidade, maior disponibilidade de nitrogênio e de carbono orgânico, e na estabilização da atividade microbiana (BUSARI et al., 2015).

O plantio direto, em suas diversas variações, também implica na redução das operações de tráfego de máquinas agrícolas, na possibilidade de plantio em maior amplitude de condições de umidade do solo e na redução do tempo de sucessão de culturas, possibilitando a redução dos custos variáveis e fixos nos sistemas de produção (JUNIOR et al., 2021). Essas condições têm favorecido a adoção de PD em diversas regiões do mundo, notadamente na América Latina

que já responde por cerca de 60% dos 180 milhões de hectares no mundo atualmente. Destaca-se o Brasil, que no período de 11 anos (2006 a 2017) aumentou as áreas sob PD em 84% (passando de 17,9 a 32,9 milhões de hectares) (Censo Agro, 2017).

Sob o ponto de vista da evolução tecnológica no manejo do solo, o plantio direto pode ser considerado uma das principais inovações introduzidas ao final do século XX, estando sua adoção em crescimento em grande parte das áreas agrícolas do mundo. Porém, apesar deste sucesso, alguns impactos negativos são apontados por vários autores na adoção do PD, entre eles: Jucksch (1987); Albuquerque et al. (2000); Caires et al. (2001); Caires et al. (2011); Denardin et al. (2012); Nunes et al. (2015); Nunes et al. (2017); em destaque os efeitos no manejo da acidez do solo (NUNES, 2018; DENARDIN et al., 2012).

## **2.4 Manejo da Acidez do Solo em Plantio Direto**

A acidez do solo é um dos principais fatores que atuam de forma negativa no rendimento das lavouras comerciais de grãos e no crescimento das raízes dessas plantas. Os solos podem ser ácidos em função da natureza do material de origem e seu conteúdo de bases (cálcio, potássio, magnésio e sódio); ou devido a fatores naturais que levam a acidificação do solo, como a lixiviação e remoção das bases, acúmulo de cátions ácidos ( $H^+$  e  $Al^{3+}$ ), respiração microbiana e das raízes, exsudações radiculares e a oxidação e mineralização de compostos orgânicos (HAVLIN, 2013); ou ainda por ação antrópica, em destaque o uso de agricultura sem adoção práticas conservacionistas.

No Brasil, estima-se que em mais de 54% do território predominam solos naturalmente ácidos, com alta saturação por alumínio e baixa fertilidade química natural (FAGERIA & NASCENTE, 2014). Embora as propriedades químicas desses solos sejam apontadas como desfavoráveis para as lavouras comerciais, em especial para a produção de grãos, esses ocorrem muitas vezes associados a paisagens com relevo favorável à mecanização agrícola, com boa qualidade física e em locais com regimes de temperatura e hídrico adequadas para uma ou mais safras anuais, como ocorre em muitas regiões dos biomas Cerrado e Amazônia.

Na maioria dos sistemas de produção brasileiros, a correção do solo e o fornecimento dos nutrientes necessários à boa nutrição das culturas resulta em produtividades comparáveis às mais elevadas em termos globais (MIRANSARI, 2016; BÜNEMANN et al., 2018). Associado a estas técnicas, o preparo do solo em plantio direto tem se expandido no cultivo de grãos, em diversas combinações de rotação de culturas. Entretanto, em sistemas de manejo do solo associados ao plantio direto, a correção da acidez após a implantação desse sistema é dificultada pela impossibilidade da incorporação do corretivo em profundidade, levando a aplicação do corretivo à lâmina, ou seja, apenas na superfície do solo (RAIJ, et al., 1983; CARVALHO & RAIJ, 1997).

Em áreas com sistemas de plantio direto, a calagem é geralmente feita em superfície, com a estimativa de reação do corretivo até a profundidade de cerca de 0,10 m. Porém, apesar de não ser incorporado o calcário, para evitar o revolvimento do solo, é comum a aplicação de quantidades de corretivos suficientes para reação em camada de até 0,20 m de profundidade, o que tem sido reportado como uma supercalagem dos primeiros centímetros do solo a partir da superfície (CAIRES et al., 2000; ALLEONI et al., 2005; DENARDIN et al., 2012).

Em geral, os trabalhos avaliando os efeitos da calagem em áreas com preparo do solo em plantio direto, em longo prazo, destacam limitações na correção da acidez do solo. Em um Latossolo Vermelho Distrófico do noroeste do Paraná, Nolla et al. (2020) verificaram, em estudo de avaliação de eficiência de doses e formas de aplicação de calcário, que a calagem superficial ocasionou a alcalinização da camada de 0,0-0,05 m em todas as doses utilizadas, tendo ainda reduzido a disponibilidade P e K, quando a dose de calagem foi calculada para

e elevar a saturação por bases a 70%. Em trabalho similar em Latossolo Amarelo, no Mato Grosso, Alleoni et al. (2005) identificaram que a neutralização da acidez do solo foi restrita a camada de 0,0-0,10m, enquanto a incorporação do corretivo resultou em neutralização da acidez até os 0,20 m de profundidade. Os mesmos autores relataram que a aplicação superficial não proporcionou aumento na saturação por bases em qualquer das camadas avaliadas.

Outro efeito que pode decorrer do uso de sucessivas aplicações superficiais de calagem, é o aumento excessivo do pH do solo, nas camadas mais superficiais, o que pode levar a dispersão das partículas de argila pelas alterações nas cargas superficiais dos minerais de argila (NGUETNKAM & DULTZ, 2014; NGUYEN et al., 2020).

## **2.5 Compactação do Solo sob Plantio Direto e Práticas para Mitigação**

Embora o plantio direto seja uma prática de preparo de solo em ascensão e, em geral, sejam mostrados amplos benefícios ambientais e na qualidade dos solos, nos últimos anos, algumas pesquisas apontam efeitos negativos da sua adoção na qualidade física do solo.

Em Latossolos manejados sob plantio direto nas regiões Sul e Centro-Oeste alguns pesquisadores observaram a ocorrência de compactação subsuperficial (SPERA et al., 2008; NUNES et al., 2014; NUNES et al., 2015). Como possíveis causas, os autores relatam: a movimentação de máquinas em áreas concentradas, a baixa qualidade de resíduos na superfície do solo, os baixos teores de matéria orgânica, e a ausência de diversificação de culturas nos sistemas de cultivo. Embora, nesse caso, podem ser evidências de que o sistema de plantio direto não é adotado na sua integridade.

Os mesmos autores citados acima (SPERA et al., 2008; NUNES et al., 2014; NUNES et al., 2015) concordam, que, a aplicação de corretivo em superfície, sem a incorporação, pode resultar na dispersão de argilas, contribuindo para a degradação física do solo pelo preenchimento de poros, nesta camada ou logo abaixo. A elevação de pH nos solos intemperizados causaria a dispersão de argilas, reduzindo a porosidade do solo, através da redução da estabilidade os agregados e aumentando a resistência do solo à penetração (JUCKSCH, 1987). Spera et al. (2008) encontraram que metade da dose recomendada de calagem já seria suficiente para promover o máximo de dispersão das argilas, sendo que esse processo pode ocorrer em um curto período (JUCKSCH, 1987).

O poder flocculante dos cátions aumenta de acordo com a concentração na sequência:  $\text{mo} < \text{di} < \text{trivalente}$ , dessa forma, as concentrações de cátions guardam uma relação em que, há necessidade de maiores quantidade de cátions divalentes para suprir o efeito flocculante de uma menor concentração de cátions trivalentes. O Fe e Al são cátions de grande poder flocculante, a inatividade desses via calagem retira os dos sítios de adsorção, cedendo lugar ao cálcio, cujo poder flocculante menor. Em Latossolo Vermelho Distrófico, foi observado por vários autores (JUCKSCH, 1987; SPERA et al., 2008; CAIRES et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2021) que o efeito concentrado da calagem em superfície foi determinante na dispersão de argila, enquanto a redução do alumínio no complexo de troca favoreceu a desestabilização dos agregados do solo. Albuquerque et al. (2000), avaliando a dispersão de argila em amostras de Latossolo Bruno Álico, incubadas com doses crescentes de calcário, sugeriu que a dispersão das argilas ocorreu em consequência da maior repulsão entre partículas do solo pelo aumento das cargas líquida negativas e da espessura da dupla camada elétrica difusa, em relação a substituição de  $\text{Al}^{+3}$  pelos cátions ( $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ).

A dispersão de partículas da fração argila pela adição de calcário foi constatada na literatura por vários autores (ALBUQUERQUE et al., 2000; SOUZA COSTA, DE et al., 2004; NGUETNKAM & DULTZ, 2014; NUNES, 2018). Esse processo é mais notável em solos com domínio de minerais de argila caoliníticos (AZEVEDO & BONUMÁ, 2004), tendo em vista

que o ponto de carga zero (PCZ) desses minerais encontra-se entre valores de pH de 3,5 a 4 (PARKS & BRUYN, 1962), logo com a calagem o valor do pH torna-se superior ao PCZ.

De forma semelhante, Nunes (2018) relata o processo de dispersão em solos oxídicos, que apresentam PCZ superiores aos valores de pH após correção por calagem. Este autor, analisando a micromorfologia de Latossolos com predomínio de argilas caulínicas e Latossolos oxídicos, manejados em plantio direto e com aplicação de calagem superficial sem incorporação mecânica, observou dispersão da fração argila nos dois tipos de mineralogia. Já, em estudo avaliando atributos físicos de Nitossolo, no Rio de Grande Sul, Nunes et al. (2015) destacam que o processo de dispersão de argila na camada superficial do solo foi o principal responsável pelo entupimento dos poros e o aumento da densidade, observado na profundidade de 0,07 a 0,15m.

Assim, o aumento dos valores de pH nas camadas superficiais do solo pode favorecer a dispersão das argilas, levando a um processo similar ao descrito na formação de solos coesos, no qual as partículas de argila translocadas da parte superior vão preencher os poros do solo nas camadas subsuperficiais, elevando assim a densidade do solo. Esse processo é comumente observado nos Latossolos Amarelos da região dos Tabuleiros Costeiros (MOREAU, 2001; NETO et al., 2009) e em alguns Latossolos Amarelos da Amazônia (SENA, 2016; SCHAEFER et al., 2017). O mesmo para a característica identificada como “*hardsetting*”, em Oxisols e Ultisols predominantemente caulínicos nos continentes africano e australiano (GIAROLA et al., 2001). Em ambos os casos, é um processo natural, identificado como adensamento, em oposição ao processo decorrente de ações antrópicas que leva a compactação do solo.

Dado que a correção da acidez do solo é uma prática essencial para melhorar o ambiente químico no solo para produção de lavouras comerciais de grãos, a alternativa tem sido avaliar algumas práticas que possam mitigar os problemas de compactação em áreas com manejo do solo usando plantio direto. Dentre essas práticas, destacam-se a escarificação, a gessagem e a rotação de culturas, consideradas como práticas mecânicas, químicas e biológicas, respectivamente.

### **2.5.1 Utilização de escarificação mecânica**

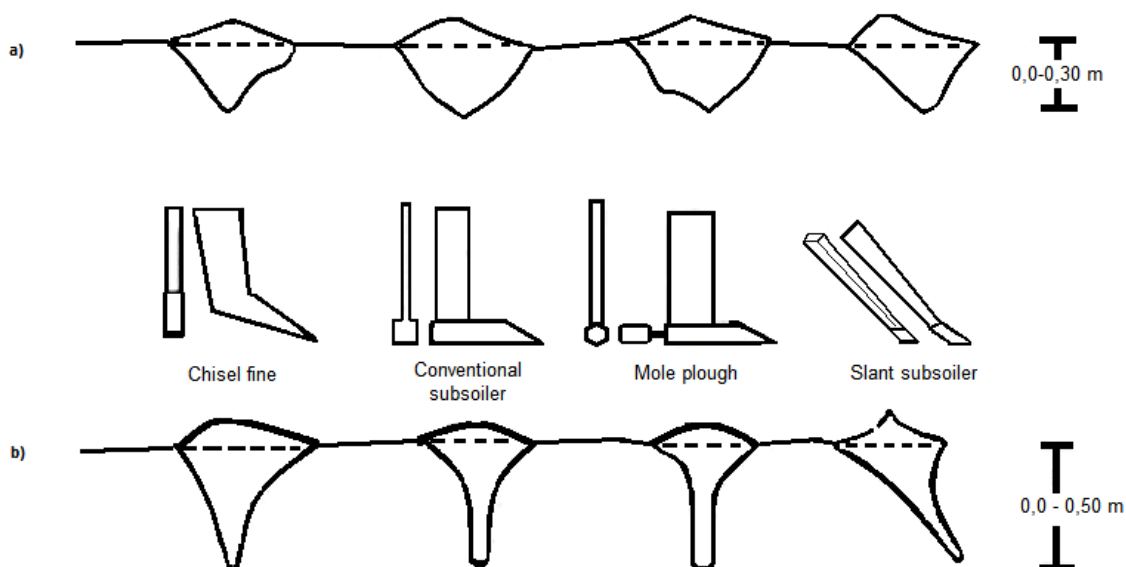
A escarificação tem por objetivo descompactar o solo, por meio de operações para soltar, fissurar e romper camadas compactadas e/ou adensadas, podendo aumentar a porosidade e reduzir a sua densidade (SPOOR & GODWIN, 1978). A eficiência da operação de escarificação tem sido avaliada quanto ao grau de perturbação ao solo e ao alcance de corte em profundidade (TROUSSE & HUMBERT, 1959; SMITH, 1973).

Essa eficiência é dependente da natureza dos equipamentos empregados e de suas especificações. Os equipamentos se classificam quanto à natureza em escarificadores e subsoladores (referência). São escarificadores os equipamentos cuja ação de trabalho alcança a profundidade de 0,35 m. Os subsoladores são equipamentos com ação de trabalho superior a esse limite (ASAE, 1991), embora ocorra o limite de trabalho a partir de 0,30 m. Ambos os equipamentos variam suas especificações quanto às formas, espessuras e aos ângulos de corte das pontas das hastes (TROUSSE & HUMBERT, 1959; SMITH, 1973) (Figura 1).

Essas especificações afetam o processo de escarificação. Por exemplo, hastes espessas possuem maior área de ação e por isso, rompem melhor as camadas adensadas ou compactadas (SPOOR & GODWIN, 1978).

A utilização desses equipamentos tornou-se uma alternativa de preparo do solo em sistemas convencionais e de plantio direto (KOCHHANN et al., 2000; SPERA et al., 2018). Embora ambos os equipamentos desempenhem o mesmo efeito na descompactação do solo, os escarificadores se destacam, dado a profundidade de trabalho ser a mesma da maioria das

camadas compactadas dos solos agrícolas (BEULTER & CENTURION, 2004; REICHERT et al., 2007). Além disso apresentam menor consumo energético (JUNIOR et al., 2021).



**Figura 1.** Transepto da ação de hastes e o alcance da perturbação ao solo na profundidade de 0-0,3 m (a) e 0-0,5 m (b) (SPOOR & GODWIN, 1978).

Entretanto, os benefícios da escarificação e subsolagem foram relatados por vários autores, como sendo de curta duração (ABREU et al., 2004; PRADO et al., 2014; CALONEGO et al., 2017). Em solo de textura arenosa, sob sistema de plantio direto, esses benefícios perduraram por até quatro meses, para o aumento da porosidade e redução da densidade do solo, e de até um ano na redução da resistência à penetração (ABREU et al., 2004). Em solo de textura argilosa, os benefícios da escarificação avaliados, nos mesmos atributos, perduraram por até um ano; porém, somente foram observados na camada superficial e independente da profundidade da escarificação (PRADO et al., 2014).

Em estudo de subsolagem (na profundidade de 0,60 m) com duração de 10 anos, realizado em Argissolo Vermelho (CALONEGO et al., 2017), os autores verificaram que os benefícios do preparo do solo na densidade, porosidade e resistência a penetração não perduraram além de dois anos. Outros autores relatam que parte dos resultados conflitantes dos efeitos de escarificação podem ser devidos às diferenças granulométricas do solo (ABREU et al., 2004; PRADO et al., 2014). Já Nogueira et al. (2020) discorrem que seria a mineralogia da fração argila a característica de maior influência sobre os efeitos da escarificação nas propriedades físicas do solo, sendo observados menores valores de densidade do solo e de resistência a penetração em solos com mineralogia mais oxídica (óxidos de ferro), enquanto os valores dos mesmos atributos sofreram aumento linear com o teor de caulinita.

Da mesma forma, Drescher et al. (2016) sugerem que a maioria dos indicadores comumente utilizados (densidade do solo, porosidade, resistência a penetração) não seriam adequados para avaliar os benefícios da escarificação. Esses autores indicam a condutividade hidráulica e infiltração da água no solo como parâmetros mais adequados, em longo prazo, pois as pequenas mudanças no diâmetro dos poros após a escarificação mudariam pouco a densidade do solo e a distribuição das classes de poros, entretanto influenciam de forma sensível a movimentação de água no solo em resposta às alterações promovidas pelo manejo do solo.

Embora sejam necessários mais estudos, em vários ambientes e classes de solos, a escarificação mecânica do solo tem sido sugerida como prática para minimizar problemas de compactação também em áreas com adoção do plantio direto.

### 2.5.2 Utilização de gesso agrícola

Em áreas manejadas com PD, uma estratégia adotada para reduzir a dispersão das argilas tem sido o uso do gesso agrícola (BORKERT et al., 1990; CAIRES et al., 2003; CAIRES et al., 2011b; SOUZA, et al., 2012). A dispersão é um processo de repulsão de partículas coloidais unitárias, tanto naquelas partículas minerais como nas orgânicas, e pode ser causada pela elevação do pH do solo, resultante da calagem, em solos intemperizados e de mineralogia de argilas de carga variável (caulinita e óxidos). A floculação é o processo inverso, em que as partículas se atraem e se organizam. O uso do gesso tem como princípio promover a floculação, contrapondo-se ao efeito dispersivo da calagem em elevar a concentração de cátions e reduzir a espessura da camada difusa (SHAINBERG et al., 1989).

A elevação do pH do solo promove a desprotonação das superfícies dos coloides de carga variável, resultando na repulsão das partículas do solo (SHAINBERG & LEVY, 2004). Esse processo químico resulta na redução da qualidade física do solo, através da diminuição da porosidade do solo, destruição dos agregados e o aumento de resistência física do solo. O uso do gesso poderia reduzir essa repulsão das partículas do solo. Rosa Junior et al. (2007) mostraram que a aplicação de gesso em quantidades a partir de 2 Mg ha<sup>-1</sup> reduziu o teor de argila dispersa em água. Shainberg et al. (1989) e Shainberg & Levy (2004) também relatam que o uso do gesso apresentou efeitos benéficos na agregação do solo.

Com base nesses conceitos e alguns resultados, pode se presumir que a aplicação de gesso agrícola é uma prática promissora também para a melhoria da condição física do solo em áreas agrícolas com manejo em sistemas de plantio direto.

### 2.5.3 Utilização de plantas descompactadoras

O manejo do sistema radicular das culturas tem sido proposto como prática para a redução da compactação subsuperficial (MATERECHERA et al., 1992; DEXTER, 1997), pela capacidade de alguns sistemas radiculares em se desenvolver mesmo em solos de elevada densidade. Esse manejo tem sido denominado como aração biológica (KOCHHANN et al., 2000) ou *biodrilling* (ENDERSON, 1989; MATERECHERA et al., 1992).

A aração biológica refere-se ao trabalho exercido por plantas com tipos de sistemas radiculares suficientemente vigorosos e capazes de romper camadas compactadas (GONÇALVES et al., 2006), deixando, após a morte das raízes e sua decomposição, significativo volume de novos macroporos no solo (WILLIAMS & WEIL, 2004). Esse processo também contribui diretamente na agregação do solo (TISTALL & OADESA, 1979; CHAN & HEENAN, 1996). Esses poros são denominados de bioporos e, da mesma forma que os poros formados pelos processos de expansão e contração ou pela fauna do solo, favorecem a movimentação de água e ar no solo, além de criar espaços vazios para o desenvolvimento das raízes de lavouras posteriores (DEXTER, 1997; CHEN & WEIL, 2010; CHEN & WEIL, 2011), beneficiando até mesmo as culturas que não possuem sistemas radiculares mais ativos (WILLIAMS & WEIL, 2004).

As espécies diferem quanto a capacidade de romper as camadas compactadas (MULLINS, 1990; CLARK et al., 2003); logo, a combinação de culturas com sistemas radiculares diversos podem ter efeito sinérgico. Tanto os bioporos como as fendas criadas pela escarificação mecânica podem facilitar a colonização do solo por outras plantas, com sistema radicular de menor capacidade de penetração nas camadas compactadas, e preencher as fendas geradas no solo (BENGOUGH et al., 2011), estabelecendo inclusive melhores condições de agregação do solo (GARCIA & ROSOLEM, 2010; FACHIN & THOMAZ, 2020; MORAES et al., 2020).

Ainda, as raízes podem alterar sua morfologia em resposta ao ambiente. Clark et al.

(2003) constataram variações na morfologia das raízes em função de variações na resistência das diferentes camadas à penetração radicular. Essas adaptações incluem modificar a resistência à curvatura e aumentar o diâmetro do pelo radicular (MATERECHERA et al., 1992) ou alterar a pressão axial (MISRA et al., 1986). Clark & Barraclough, (1999), na avaliação de diferentes espécies de dicotiledônea e monocotiledôneas, não observaram diferenças significativas entre as espécies. Entretanto, outros autores apontam que os efeitos das raízes na estrutura do solo podem variar quanto às espécies e cultivares (CHAN & HEENAN, 1996; CLARK et al., 2003; ROSA et al., 2019) e por diferenças na granulometria do solo (HAMZA & ANDERSON, 2005).

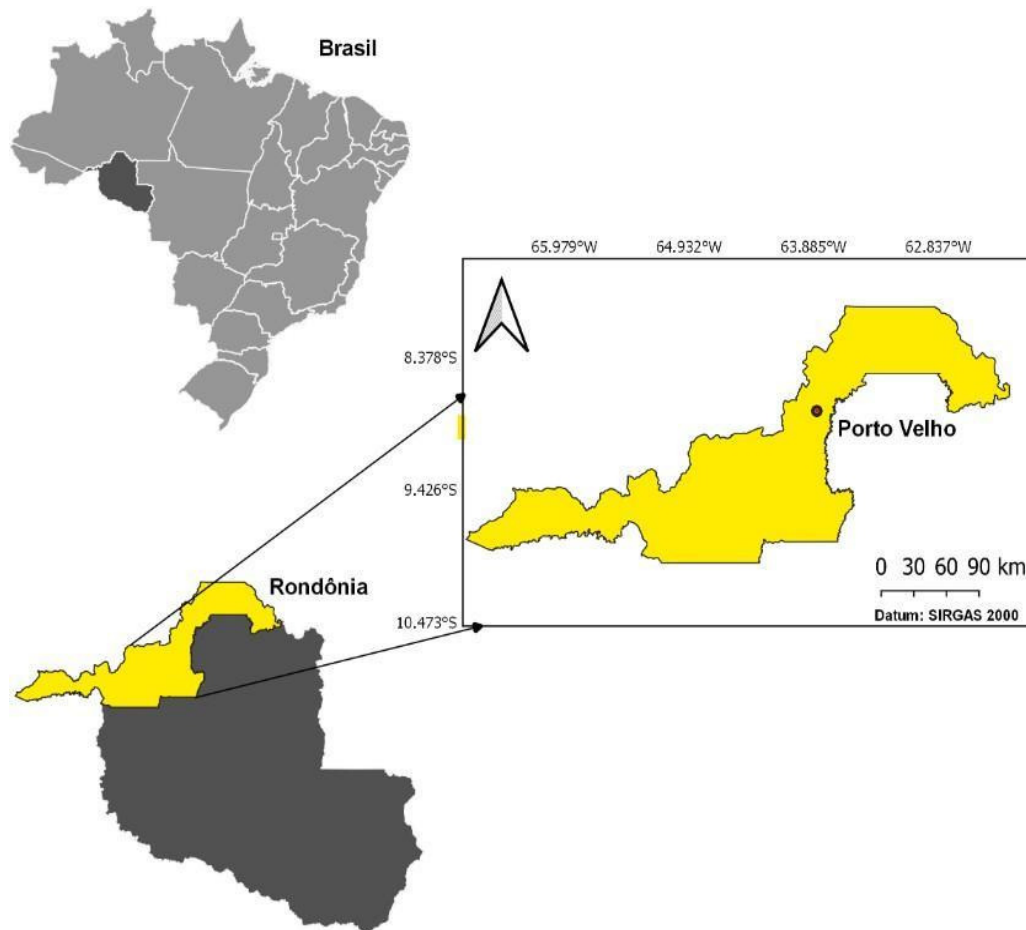
Em geral, as dicotiledôneas são mais eficientes em produzir raízes principais que alcançam camadas profundas do solo, estando este fenômeno relacionado à maior rigidez e diâmetro das raízes. Tippkötter (1983), estudando o efeito das raízes da alfafa em solos siltosos, relatou redes interconectadas de poros tubulares de 0,1–0,6 mm de diâmetro, com morfologia semelhante à dos sistemas radiculares vivos, a mais de 1 m de profundidade. Chan & Heenan (1996), avaliando a influência da rotação de culturas na estrutura e física do solo, observou que a introdução das culturas de tremoço e canola resultou em maior formação de poros, menor resistência do solo ao cisalhamento e maior estabilidade dos agregados em comparação a cultura da cevada a 0,18 m de profundidade.

Trabalhos clássicos apontam maior eficiência das monocotiledôneas na agregação do solo, pela emissão de raízes mais finas e fibrosas em relação às dicotiledôneas (CRESSWELL, 1995). Tistall & Oades, (1979) mostraram melhor desempenho do azevém (*Lolium multiflorum*) quanto ao aumento da estabilidade de agregados, relacionando à presença de simbiose e interação das raízes com fungos micorrízicos, sendo esses os principais responsáveis pela estabilidade de agregados. Iijima et al. (2004) destacam que a capacidade das monocotiledôneas em promover a estabilidade de agregados deve-se ao mecanismo de emissão de exsudatos da planta e ao favorecimento da flora microbiana em sua rizosfera, facilitando inclusive o aprofundamento das raízes pela redução do atrito com as partículas do solo.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo

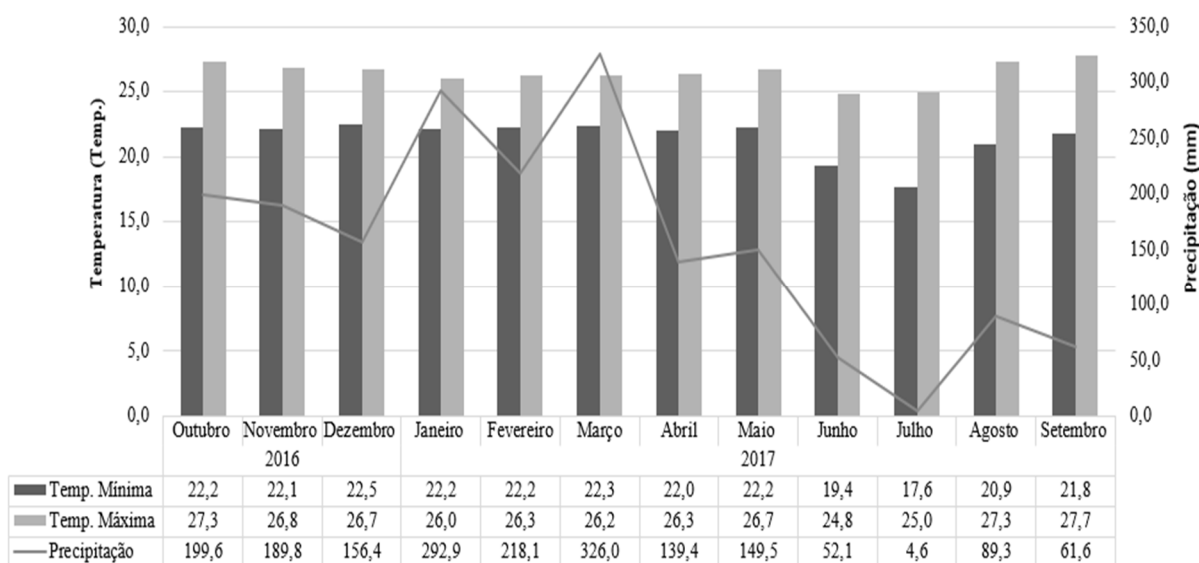
O estudo foi realizado em área do Campo Experimental da Embrapa Rondônia, localizado no município de Porto Velho (Figura 2), no noroeste do estado de Rondônia. A região está inserida no bioma Amazônico, na sua parte Sul Ocidental.



**Figura 2.** Localização geográfica do estado de Rondônia no Brasil, e da área do estudo no estado de Rondônia (Adaptado de IBGE, 2014).

A classe de solo em que se encontra a área do estudo é classificada como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico Plintossólico, de textura muito argilosa, relevo plano e com drenagem moderada (VALENTE et al., 1998).

O clima da região é tropical, tipo Am (classificação de Köppen), com médias anuais de precipitação entre 1.400 a 2.600 mm, temperatura 24,9 °C (Figura 3) e umidade relativa do ar entre 75% a 90% (ALVARES et al., 2014).



**Figura 3.** Precipitação e temperaturas médias mensais no período de outubro de 2016 a setembro de 2017, obtidas na estação meteorológica do campo experimental da Embrapa Rondônia em Porto Velho (RO).

### 3.2 Histórico da Área Experimental

A área experimental da unidade da Embrapa Rondônia em Porto Velho foi implantada na década 70. Na primeira etapa foi removida a vegetação nativa (floresta equatorial subperenifólia) com a conversão para pastagens, uso que foi mantido até o ano de 2004. Após esse período, a área permaneceu em pousio por quatro anos e, posteriormente, em 2008, foi introduzido o cultivo de lavouras (Tabela 1).

**Tabela 1.** Sequência de ocupação e uso agrícola da área de estudo na Embrapa Rondônia em Porto Velho.

Ano	Descrição
1970-1971	Desmatamento da área.
1971-1981	Criação de gado Nelore em pastagem de <i>Andropogon gayanus</i> cv. Planaltina.
1981-1990	Criação de ovinos em pastagem de <i>Andropogon gayanus</i> cv. Planaltina.
1990-2004	Criação de búfalos em pastagem <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu.
2004-2008	Permanência em pousio com <i>U. brizantha</i> cv. Marandu.
2008-2013	Cultivo rotacionado em plantio direto de soja ( <i>Glycine max</i> ), milho ( <i>Zea mays</i> ), arroz ( <i>Oryza sativa</i> ), milheto ( <i>Pennisetum glaucum</i> ) e sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> ).
2013-2019	Plantio direto em sucessão e consorciação de soja, milho, <i>U. brizantha</i> cv. Marandu e pousio.

O experimento com plantio direto e rotação de culturas, instalado em 2008 e que prosseguiu até 2013, é composto por cinco tratamentos com diferentes lavouras, quais sejam: T1- arroz/milheto/milho, T2-arroz/sorgo /milho, T3- soja/sorgo/milho, T4- arroz/sorgo/soja e T5- soja/sorgo/soja (RIBEIRO, 2010). Como forma de preparo inicial da área, foi feita a roçagem da pastagem e aplicados 2,8 Mg ha<sup>-1</sup> (PRNT 100%) de calcário dolomítico para correção de acidez, com base em resultados da análise de solo de amostras coletadas em 2008 (Tabela 2), o qual foi incorporado por meio de aração e duas gradagens (RIBEIRO, 2010).

**Tabela 2.** Atributos químicos do solo no período de instalação dos experimentos de plantio direto, Porto Velho – RO

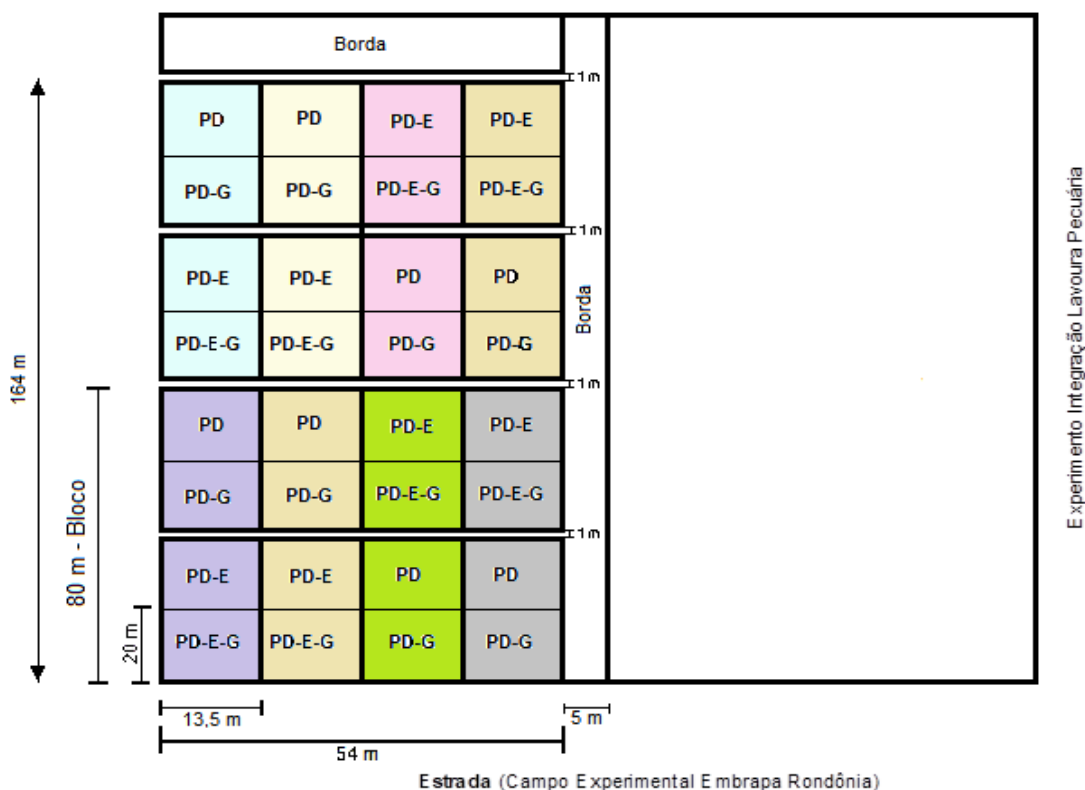
Ano	Prof. <sup>(1)</sup> m	pH H <sub>2</sub> O	M.O <sup>(2)</sup> g kg <sup>-1</sup>	P <sup>(3)</sup> mg d <sup>-3</sup>	K	Ca+Mg	H+Al	Al	T <sup>(4)</sup>	V <sup>(5)</sup> %	m <sup>(6)</sup>
2008	0-0,02	5,0	32	1,4	0,04	1,7	5,9	2,2	9,8	23	3,5
2013	0-0,02	5,2	53	12,2	0,27	5,9	10,5	0,5	17,1	37	0,5
2017	0-0,02	5,3	55	17,2	0,22	6,0	9,8	0,6	16,0	39	0,1

(1) **Prof.** = Profundidade; (2) **M.O** = Matéria Orgânica do Solo; (3) **P** = Fósforo pelo método Mehlich; (4) **T** = Capacidade de troca de cátions; (5) **V** = Saturação por bases; (6) **m** = Saturação de alumínio.

Em julho de 2013, foi instalado novo experimento de plantio direto em sucessão e consorciação de soja, milho, *U. brizantha* cv. Marandu e pousio, com aplicação em superfície de 2,0 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico em área total, conforme a análise de solos de amostras coletadas em 2013 (Tabela 2). Em setembro do mesmo ano, foram adicionados os tratamentos de forma de preparo do solo com a adição de 2 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola e a escarificação do solo na profundidade de 0,45 m, a qual foi feita na implantação do experimento.

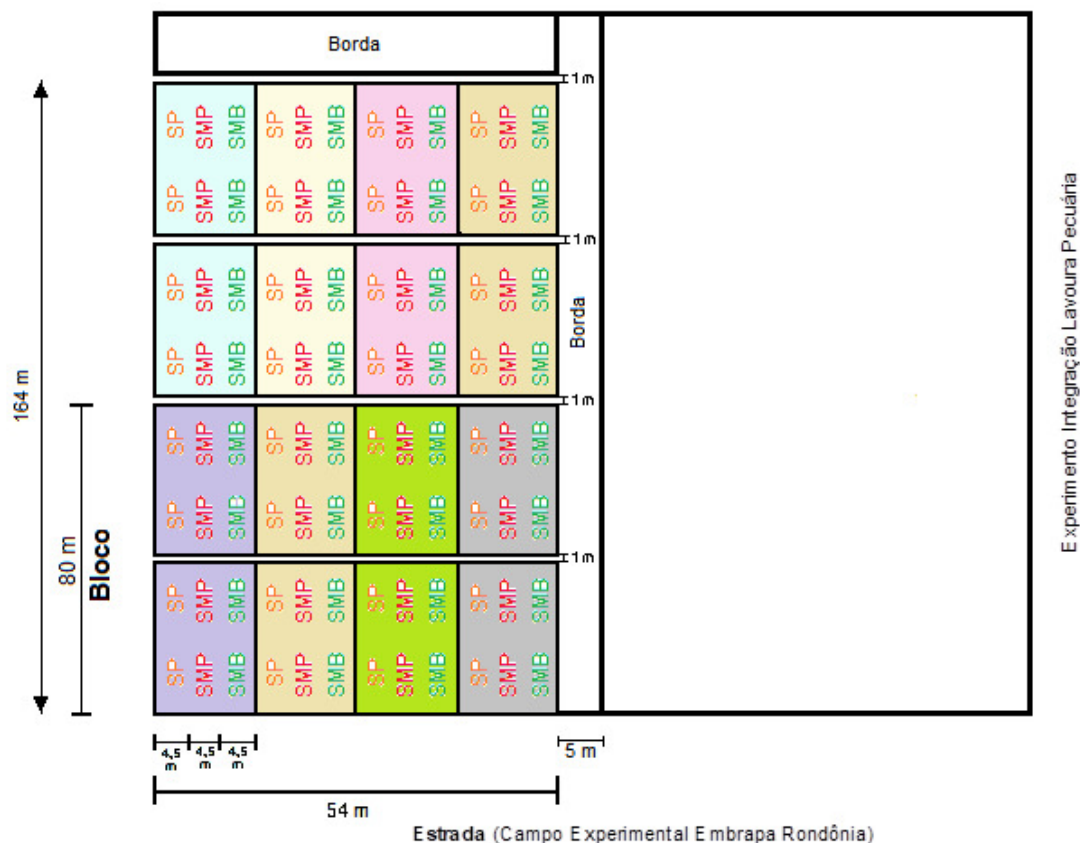
### 3.3 Delineamento Experimental e Tratamentos

O delineamento experimental foi de blocos casualizados em faixas com oito repetições, com dimensão de 80 m x 13,5 m. Os tratamentos foram constituídos por quatro formas de preparo do solo: Plantio Direto; Plantio Direto com Escarificação; Plantio Direto com Aplicação de Gesso; e Plantio Direto com Escarificação e aplicação de Gesso, os quais estão dispostos em parcelas verticais de 20 m x 13,5 m (Figura 4).



**Figura 4.** Disposição dos blocos e tratamentos de preparo do solo na área experimental. PD (Plantio Direto), PD-E (Plantio Direto com Escarificação), PD-G (Plantio Direto com Gesso), PD-E-G (Plantio Direto com Escarificação e Gesso).

Os tratamentos com os sistemas de cultivo foram organizados em faixas verticais e foram os seguintes: Monocultura (Soja/Pousio); Sucessão Leguminosa /Gramínea (Soja /Milho /Pousio); e Sucessão Leguminosa /Gramíneas em Consórcio (Soja /Milho + *U. brizantha* cv. Marandu /Pousio), conforme a Figura 5.

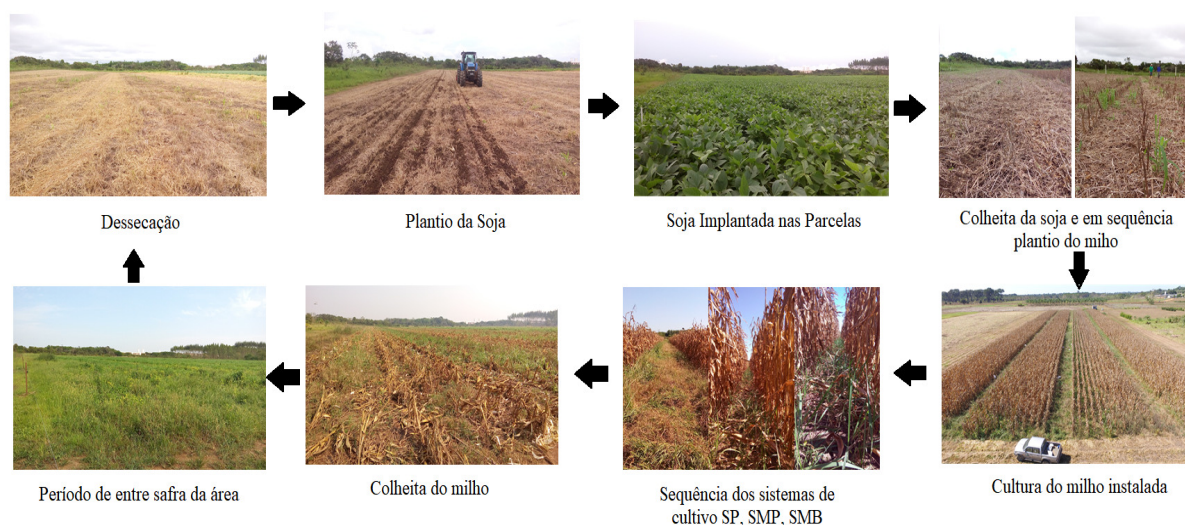


**Figura 5.** Disposição dos tratamentos de cultivo na área experimental da Embrapa Rondônia em Porto Velho. Legenda: SP (Soja Pousio), SMP (Soja, Milho e Pousio), SMB (Soja, Milho e Braquiária).

A partir da safra de 2013/2014, em pré-plantio, toda a área experimental foi dessecada com herbicidas pré e pós-emergentes dos grupos químicos ciclohexenodicarboximida (Sumisoya e Flumyzin), cloransulam-metílico (Pacto), glifosato (Roundup) e ácido diclorofenoxiacético (2,4-D), com variações nas combinações de herbicidas por safra de acordo com o tipo de planta alvo. Os herbicidas foram aplicados nas doses recomendadas em conformidade com as bulas dos produtos comerciais.

Após a dessecação, o manejo e os tratos culturais na área do experimento foram conduzidos sempre com o cultivo da soja em área total. O espaçamento entre linhas foi de 0,45 m, com população de 266.666 planta. As datas de semeadura da soja ocorreram sempre, quando possível, entre a 2ª quinzena do mês novembro e a 1ª quinzena de dezembro, em cada ano agrícola. Os materiais genéticos foram os indicados para a região do cone Sul de Rondônia.

Após a colheita da soja, seguiu-se a divisão da área em três sistemas de cultivo, quais sejam: pousio entre safras (tratamento Leguminosa/Pousio); cultivo de milho; e cultivo de milho + braquiária (Figura 6). A densidade de plantio do milho esteve sempre por volta de 60 mil plantas ha<sup>-1</sup> e a braquiária, no tratamento Leguminosa/Gramínea em Consórcio, foi semeada nas entrelinhas da linha de plantio, na proporção de 3 kg ha<sup>-1</sup> de *U. brizantha* cv. Marandu.



**Figura 6.** Sequência de manejo das lavouras na área experimental na Embrapa Rondônia, em Porto Velho.

Em cada ano agrícola, no plantio da soja foi feita adubação em linha de  $300 \text{ kg ha}^{-1}$  do fertilizante NPK 4-30-40 (equivalente à adubação de 12 kg de N, 90 kg de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e 120 kg de  $\text{K}_2\text{O}$ ) e inoculação das sementes de soja com inoculante a base de *Bradyrhizobium* sp. Nas faixas com cultivo de milho safrinha (com ou sem e consorciação com braquiária) foram utilizados  $250 \text{ kg ha}^{-1}$  do fertilizante NPK 04-30-16 (equivalente a aplicação de 10 kg de N, 75 kg de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e 40 kg de  $\text{K}_2\text{O}$ ). No milho, em cobertura, foi sempre aplicado  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de ureia (equivalente a 45 kg de N).

O controle de pragas nas culturas foi estabelecido conforme o Manejo Integrado de Pragas (MIP) de acordo com orientações para a cultura da soja e milho, com aplicação de inseticidas somente quando constatado nível de dano.

### 3.4 Variáveis Mensuradas

Para a avaliação dos efeitos da interação dos tratamentos foram executadas as seguintes análises e métodos para determinação dos atributos físicos do solo e da produtividade da cultura da soja.

#### 3.4.1 Propriedades físicas dos solos

Para a determinação das propriedades físicas foram coletadas amostras de solo, com estrutura preservada em anel volumétrico e amostras com estrutura não preservada, todas nas mesmas camadas de solo: 0,0-0,05 m; 0,05-0,10 m; 0,10- 0,20 m.

**a) Frações granulométricas:** determinadas pelo método da pipeta utilizando-se solução de hidróxido de sódio como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de alta rotação tipo Waggner, por 15 minutos, seguindo método proposto por Teixeira et al. (2017).

**b) Densidade do solo:** determinada pelo método do anel volumétrico (TEIXEIRA et al., 2017).

**c) Análises de resistência à penetração:** determinadas nas amostras coletadas em anéis volumétricos, com umidade equilibrada na tensão correspondente a 10 kPa, e medição com penetrômetro de bancada Marconi®, modelo MA 933, com cone de 4 mm de espessura, ângulo de ataque de  $45^\circ$  e velocidade de penetração de  $1 \text{ mm s}^{-1}$ .

**d) Porosidade total:** determinada a partir da variação de massa de água entre amostras de solo secas e saturadas pelo volume total do anel volumétrico em  $\text{m}^3$  (TEIXEIRA et al., 2017).

e) **Microporosidade:** determinada através do método da mesa de tensão, no qual as amostras de solo com estrutura preservada são saturadas e submetidas a tensão de 6 kPa até a sua estabilidade, calculando-se a diferença da massa de solo nos anéis, antes e após a mesa de tensão (TEIXEIRA et al., 2017).

f) **Macroporosidade:** calculada pela diferença entre os resultados de porosidade total e os de microporosidade (TEIXEIRA et al., 2017).

g) **Umidade gravimétrica:** foi usado o método gravimétrico-padrão, com base no peso de solo seco em estufa na temperatura de 105-110°C (TEIXEIRA et al., 2017).

h) **Estabilidade de agregados:** determinada em amostras de estrutura preservada, seguindo o método de Salton & Tomazi (2014). Para determinar a distribuição das classes de agregados, utilizou-se a tamisação via úmida pelo método de Yoder (1936), nas seguintes classes de diâmetro: >2,0; 2,0-1,0; 1,0-0,25; 0,25-0,125; 0,125-0,063 mm. As classes de agregados menores que 0,063 mm foram calculadas por diferença, levando em conta o peso inicial menos a umidade residual e o peso das demais classes como base.

Os resultados foram expressos como porcentagem dos agregados retidos em cada classe de peneira e a estabilidade dos agregados avaliada pelo Diâmetro Médio Ponderado (DMP).

### 3.4.2 Carbono orgânico do solo

Quantificado nas amostras deformadas por oxidação por via úmida de acordo com o método de Yeomans e Bremner (1988).

### 3.4.3 Produtividade da soja

As avaliações de rendimento de produtividade decorreram de informações coletadas na safra de 2016 e 2017, que corresponderam ao ano em que foram obtidos os dados das demais variáveis dependentes dos tratamentos aplicados. Os rendimentos foram obtidos através da amostragem de cada parcela experimental, sendo coletadas ao acaso em uma área de 4,05 m<sup>2</sup>, correspondente a três linhas do plantio de soja por três metros de comprimento, nos quais foi feita a contagem das plantas e a quantificação da massa de grãos, e, posteriormente, a correção da umidade da amostra para 13%.

A produtividade da soja foi estimada em termos de kg/ha e produção por planta, conforme a relação do valor da massa de grãos a 13% de umidade pelo número de plantas colhidos na área amostral da parcela e a estimativa de plantas por hectare, sendo a relação de plantas amostradas para a área de um hectare.

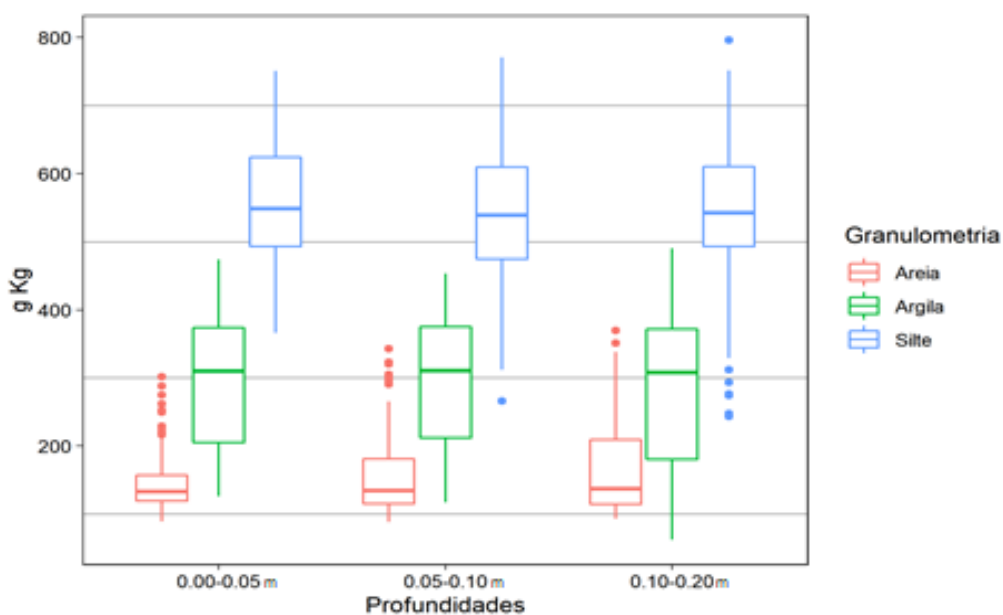
## 3.5 Análise Estatística

Na avaliação estatística dos tratamentos foram realizadas análises descritivas, com teste de normalidade dos dados segundo Shapiro-Wilk, e na ausência de normalidade transformados usando Box Cox e então submetidos à análise de variância (ANOVA). Quando constatada significância, por intermédio do teste F, as médias foram comparadas pelo Teste Tukey. As análises de Variância (ANOVA) e os testes de médias foram realizadas no ambiente do programa R v. 3.2.2 (R Core Team, 2021).

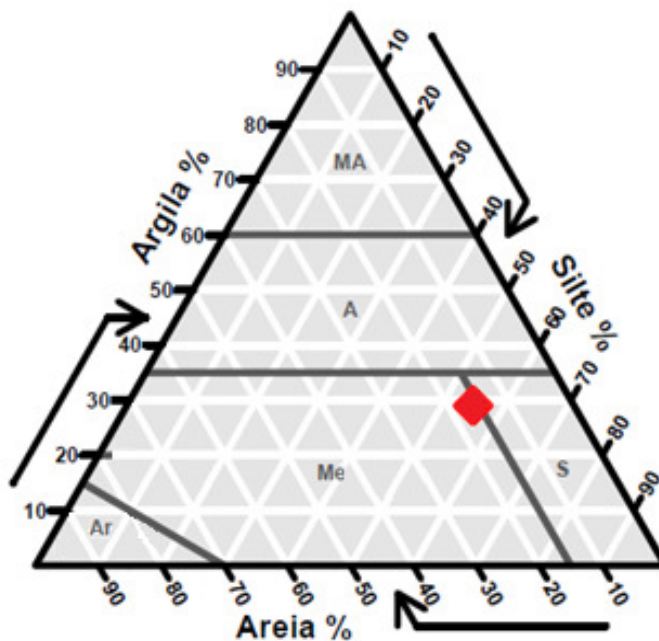
## 4 RESULTADOS

### 4.1 Frações Granulométricas do Solo na Área Experimental

A distribuição das frações granulométricas do solo indica valores médios de 300 g kg de argila nas camadas observadas, sendo a fração silte a de maior proporção (Figura 7). Com base nos resultados mensurados, a classe textural das amostras de solo na área experimental (Figura 8) foi identificada como média (SANTOS et al., 2018).



**Figura 7.** Distribuição das frações granulométricas areia, silte e argila, das amostras de solo coletadas nas profundidades de 0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m (n=96).



**Figura 8.** Representação da média ponderada das amostras de solo na área experimental no triângulo de classes de textura (SANTOS et al., 2018).

## 4.2 Propriedades Físicas do Solo em Função do Preparo do Solo e Sistemas de Cultivo

A densidade do solo (Ds), nas camadas de 0-0,05 e 0,10-0,20 m, não diferiu quanto as formas de preparo do solo e sistemas de cultivo. Na profundidade de 0,05-0,10 m, notam-se variações de até 7,5% da Ds para o preparo do solo com PD-E, com valores de 0,98 a 1,06 Mg m<sup>-3</sup> na camada (Tabela 3).

Os valores de resistência do solo à penetração (RP) variaram de 0,74 a 1,4 Mpa, quando comparadas as formas de preparo do solo, e de 0,84 a 1,33 Mpa nos sistemas de cultivo, sem efeito significativo em qualquer uma das três camadas avaliadas (Tabela 3). Vários estudos apontam elevado coeficiente de variação para o atributo RP, em diversas condições e ambientes, o que é atribuído ao método analítico, ao estado de umidade do solo, ao efeito de tratamentos, equipamentos para medição e número de repetições, homogeneidade da área experimental, entre outros fatores.

**Tabela 3.** Valores médios de resistência do solo à penetração, densidade do solo e umidade gravimétrica do solo em função do efeito das formas de preparo do solo e sistemas de cultivo, nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m.

Atributo <sup>(1)</sup>	Sistemas de cultivos <sup>(2)</sup>					Preparo do solo <sup>(3)</sup>						Inter <sup>(4)</sup>
	F	SP	SMB	SMP	CV%	F	PD	PD-G	PD-E	PD-E-G	CV%	F
<b>RP 1</b> (Mpa)	ns	0,92	0,84	0,86	37,7	ns	0,85	0,88	1,02	0,74	38,9	ns
<b>RP 2</b> (Mpa)	ns	1,15	1,33	1,22	26	ns	1,4	1,22	1,06	1,26	42,4	ns
<b>RP 3</b> (Mpa)	ns	1,25	1,3	1,2	32,6	ns	1,13	1,2	1,27	1,4	31,6	ns
<b>Ds 1</b> (g m <sup>-3</sup> )	ns	0,89	0,9	0,89	13,8	ns	0,9	0,9	0,88	0,91	14,3	ns
<b>Ds 2</b> (g m <sup>-3</sup> )	ns	1,03	1,04	1,01	6,9	*	1,06 a	1,03 a	0,98 b	1,04 a	7,5	ns
<b>Ds 3</b> (g m <sup>-3</sup> )	ns	1,06	1,06	1,05	7,8	ns	1,05	1,06	1,08	1,03	14,9	ns
<b>UG 1</b> (kg kg <sup>-1</sup> )	ns	48,4	47	47,6	13,1	ns	46,94	47,3	50,41	45,98	16,8	ns
<b>UG 2</b> (kg kg <sup>-1</sup> )	ns	42	42,3	42,21	12	*	39,6 b	42,7 ab	43,5 a	42,8 ab	10	ns
<b>UG 3</b> (kg kg <sup>-1</sup> )	ns	41	41,3	39,4	10,1	ns	41	39,5	40,5	41,4	8,8	ns
<b>MaP 1</b> (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	**	0,15 a	0,14 b	0,13 c	7,6	ns	0,14	0,14	0,14	0,14	10,7	ns
<b>MaP 2</b> (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	**	0,14 a	0,13 b	0,13b	13,5	**	0,11 c	0,13b	0,14 a	0,15 a	24,3	ns
<b>MaP 3</b> (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	*	0,14 a	0,12 b	0,12 b	17,2	*	0,12 c	0,12 c	0,13b	0,14 a	20,4	*
<b>MiP 1</b> (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	ns	0,42	0,42	0,42	6,1	ns	0,42	0,42	0,43	0,40	8,4	ns
<b>MiP 2</b> (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	ns	0,41	0,42	0,42	4,3	ns	0,42	0,41	0,42	0,41	7,8	ns
<b>MiP 3</b> (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	ns	0,43	0,43	0,43	6	ns	0,43	0,43	0,43	0,43	6,3	ns
<b>Pt 1</b> (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	ns	0,57	0,57	0,56	4,3	ns	0,56	0,57	0,58	0,55	6,2	ns
<b>Pt 2</b> (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	ns	0,57	0,55	0,55	5,5	*	0,53 c	0,55 b	0,56a	0,57 a	6,4	ns
<b>Pt 3</b> (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	*	0,57 a	0,56b	0,55 b	4,5	*	0,55 c	0,56 c	0,57 b	0,57 a	5,7	*

<sup>(1)</sup> RP = Resistência a penetração; Ds = Densidade do solo, UG = Umidade gravimétrica do solo; MaP = Macroporosidade, MiP = Microporosidade; Pt = Porosidade total do solo; 1= 0,0-0,05 m; 2= 0,05-0,10; 3= 0,10-0,20. <sup>(2)</sup> SP = Soja, Pousio; SMP = Soja, Milho e Pousio, SPB = Soja, Pousio e Braquiária. <sup>(3)</sup> PD = Plantio Direto; PD-E = Plantio Direto com Escarificação; PD-G = Plantio Direto com Gesso; PD-E-G = Plantio Direto com Escarificação e Gesso. <sup>(4)</sup> Inter. = Interação dos tratamentos. F = Teste T de Tukey. Valores médios seguidos por letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos sendo, “\*\*” significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01); “\*” significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 < p < .05); ns não significativo (p >= .01).

Não houve interação entre os sistemas de cultivo e as formas de preparo do solo para os atributos Ds e RP, porém, foram observados valores menores na camada de 0,0- 0,05 m.

Os valores de microporosidade variaram de 0,41 a 0,43m m<sup>-3</sup>, não havendo diferença entres os sistemas de cultivo e formas de preparo do solo nas camadas avaliadas. Um ponto importante a ser destacado foi a baixa variação nos valores (CV <8,5%), indicando uniformidade da área para esse atributo (Tabela 3), o que é compatível com a menor influência sobre a microporosidade de outros atributos como a Ds.

A porosidade do solo (Pt) para MaP (Tabela 3) indica que os sistemas de cultivo SMB e SMP não promoveram aumento quando comparados com o SP. Isso está em conformidade com a ocorrência de maior trânsito de maquinário na área pelas operações de plantio e colheita nesses tratamentos. A maior movimentação de máquinas pode reduzir a porosidade total e alterar a distribuição do tamanho dos poros, tendo como consequência a redução da Pt, como foi observado na profundidade de 0,10 -0,20 m.

O sistema de pousio após o cultivo da safra principal não mostrou impacto negativo na MaP e Pt, já que nenhum dos sistemas de cultivo apresentou efeito diferenciado sobre a microporosidade.

A utilização do escarificador, mesmo com a baixa intensidade de mobilização do solo nos tratamentos com PD-E-G e PD-E, resultou em maiores valores de MaP e Pt nas camadas de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, em comparação aos tratamentos sem revolvimento que incluem de plantio direto isoladamente ou combinado com a aplicação de gesso (PD e o PD-G). Isso pode estar associado à persistência dos efeitos da escarificação no aumento da porosidade do solo após a prática de revolvimento (Tabela 3).

A interação entre Formas de Preparo do Solo x Sistemas de Cultivo foi significativa para as variáveis MaP e Pt na camada de 0,10-0,20 m. Dentro dos sistemas de cultivo SMB e SMP houve diferença estatística para as formas de preparo, com os maiores valores de MaP no plantio direto com escarificação e em combinação à gessagem, e os menores valores no PD e em combinação com gesso. Não foi observada diferença significativa nas formas de preparo do solo para o cultivo SP, enquanto a Pt apenas diferiu no SMP, com menor valor no PD (Tabela 3).

As formas de preparo do solo apresentaram interação com os sistemas de cultivo, em que PD e PD-G apresentam maiores valores para MaP, entre PD e SP e PD-G e SMP, em relação às outras sucessões de cultivo. Os demais tratamentos não diferiram entre si, quanto a Pt apenas o PD mostrou diferenças entres os sistemas de cultivo, com maiores valores para SP.

A interação na profundidade de 0,10-0,20 m (Tabela 4) para a MaP indicou que os sistemas com maior volume de raízes, SMB e SMP, foram aqueles com maiores valores para a macroporosidade associada ao efeito da escarificação do solo. Isso sugere que a técnica de escarificação contribuiu para a redução de camadas impeditivas ao desenvolvimento radicular, assim favorecendo a formação de poros de maior diâmetro.

Em geral, as variáveis Pt e MaP foram mais sensíveis aos efeitos dos tratamentos que Ds, MiP e RP, notadamente em profundidade, com efeitos pronunciados para Pt e MaP; embora não tenha sido suficiente para refletir em alterações na RP e na MiP.

**Tabela 4.** Desdobramento da interação entre formas de preparo do solo e sistemas de cultivo.

<b>Interação</b>	<b>Sistemas de cultivo <sup>(2)</sup></b>		
<b>Formas de Preparo do Solo <sup>(1)</sup></b>	<b>SP</b>	<b>SMB</b>	<b>SMP</b>
	Macroporosidade 0,10 -0,20m		
<b>PD</b>	0,14 a A	0,11 b B	0,10 b B
<b>Gesso</b>	0,12 b A	0,10 b B	0,13 a B
<b>Esc</b>	0,14 a A	0,12 a A	0,14 a A
<b>Esc. - Gesso</b>	0,15 a A	0,14 a A	0,14 a A
	Porosidade total 0,10 -0,20m		
<b>PD</b>	0,58 a A	0,55 b A	0,53 b B
<b>Gesso</b>	0,56 a A	0,54 a A	0,56 a A
<b>Esc</b>	0,57 a A	0,56 a A	0,57 a A
<b>Esc. - Gesso</b>	0,58 a A	0,57 a A	0,57 a A

<sup>(1)</sup> **PD** = Plantio Direto; **PD-E** = Plantio Direto com Escarificação; **PD-G** = Plantio Direto com Gesso; **PD-E-G** = Plantio Direto com Escarificação e Gesso. <sup>(2)</sup> **SP** = Soja, Pousio; **SMP** = Soja, Milho e Pousio, **SPB** = Soja, Pousio e Braquiária. Letras maiúsculas comparam médias da coluna e letras minúsculas correspondem as médias na linha

A umidade gravimétrica (Ug) do solo somente apresentou variação significativa nas profundidades de 0,05-0,10m (Tabela 3). Porém, aparentemente, a Ug não influenciou diretamente na avaliação da resistência à penetração, quando comparadas as formas de preparo do solo, uma vez que não foi observada diferença na RP.

#### **4.3 Agregação do Solo e Carbono Orgânico Total em Função do Preparo do Solo e Sistemas de Cultivo**

A distribuição das classes de agregados do solo estáveis em água indicou predominância de macroagregados (Macro) (> 95%) para as três camadas estudadas e nos tratamentos (Tabela 5). Nos sistemas de cultivos SMB a quantidade de macroagregados foi maior na camada de 0-0,05m, o que correspondeu também aos maiores valores de DMP e DMG (Tabela 5).

Comparando os sistemas de cultivo nas três profundidades, observa-se diferenças significativas para os atributos DMP no tratamento SMB na camada de 0–0,05 m (Tabela 5). Esse fato evidencia o efeito favorável das pastagens na agregação do solo, por meio do crescimento das raízes fasciculares, adicionando matéria orgânica ao solo, e através da atividade microbiana, pelo aumento da quantidade de exsudatos, além de forças mecânicas que estabilizam agregados com maior intensidade em comparação a lavouras como soja e milho (DENEFF & SIX, 2005; SALTON et al., 2008).

Apenas na camada superficial do solo (0-5 cm) a quantidade de macroagregados > 2mm foi maior e nas formas de preparo do solo: PD, PD-E e PD-G-E, quando comparadas ao tratamento com o PD-G. Nessa camada, os valores de DMP e DMG em PD e PD-E foram superiores aos das demais formas de preparo do solo (Tabela 6). Assim, pode-se inferir que os agregados de maior tamanho não foram alterados pela destruição mecânica, quando do uso do escarificador, ou, o solo foi resiliente à perturbação mecânica. A maior agregação do solo sob PD também pode ser explicada pela manutenção dos resíduos vegetais na superfície, principalmente na camada de 0-0,05 m de solo.

**Tabela 5.** Distribuição das classes de tamanho dos agregados em função das formas de preparo do solo e sistemas de cultivo, nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m.

mm	Sistemas de cultivos <sup>(1)</sup>				Preparo do solo <sup>(2)</sup>					Inter. <sup>(3)</sup>
	F	SP	SMB	SMP	F	PD	Gesso	Esc.	Esc. - Gesso	F
Camada de 0,00 a 0,05 m										
> 2	**	91,9 b	94,3 a	92,8 b	***	94,4 a	90,6 b	94,7 a	92,2 a	ns
2 a 1	*	2,0 a	1,4 b	2,0 a	**	1,4 b	2,5 a	1,3 b	2,0 a	ns
1 a 0,5	***	1,8 a	1,0 c	1,3 b	**	1,3 a	1,4 a	0,9 b	1,9 a	ns
0,5 a 0,25	**	1,1 a	0,7 b	1,1 a	*	0,8 b	1,1 a	0,7 b	1,2 a	ns
0,25 a 0,1	**	0,7 a	0,4 b	0,4 b	*	0,4 b	0,5 b	0,4 b	0,9 a	**
0,1 a 0,06	*	0,3 a	0,2 b	0,3 a	ns	0,2	0,4	0,2	0,3	ns
< 0,063	ns	2,1	2,1	2,1	**	1,5 b	3,5 a	1,8 b	1,5 b	ns
Macro (2 – 0,250)	-	96,7	97,3	97,2	-	97,9	95,5	97,6	97,3	
Micro (0,250 - 0,063)	-	3,3	2,7	2,8	-	2,1	4,5	2,4	2,7	
Camada de 0,05 a 0,10 m										
> 2	ns	94,3	94,1	93,0	ns	94,6	93,8	94,2	92,6	ns
2 a 1	ns	2,0	1,9	1,8	ns	1,7	2,0	1,8	2,2	ns
1 a 0,5	ns	1,2	1,2	1,2	ns	1,0	1,4	1,1	1,3	ns
0,5 a 0,25	ns	0,7	0,7	0,7	ns	0,6	0,8	0,7	0,7	ns
0,25 a 0,1	ns	0,5	0,4	0,4	ns	0,5	0,5	0,3	0,5	ns
0,1 a 0,06	ns	0,1	0,3	0,3	ns	0,3	0,1	0,4	0,1	ns
< 0,063	*	1,3 b	1,3 b	2,3 a	*	1,3 b	1,3 b	1,5 ab	2,5 a	ns
Macro (2 – 0,250)	-	98,0	98,0	96,9	-	97,9	98,1	97,8	96,8	
Micro (250 - 0,063)	-	2,0	2,0	3,1	-	2,1	1,9	2,2	3,2	
Camada de 0,10 a 0,20 m										
> 2	ns	92,7	92,5	92,3	ns	93 a	91,7 b	94,3 a	91 b	*
2 a 1	ns	2,4	2,9	2,5	**	2,1 b	3,3 a	2,0 b	3,0 a	*
1 a 0,5	ns	1,5	1,7	1,6	*	1,2 b	2,1 a	1,2 b	2,1 a	*
0,5 a 0,25	ns	0,9	1,0	1,0	ns	0,8	1,2	0,8	1,0	*
0,25 a 0,1	ns	0,4	0,4	0,4	ns	0,4	0,4	0,4	0,4	ns
0,1 a 0,06	ns	0,2	0,2	0,2	ns	0,2	0,2	0,2	0,2	ns
< 0,063	ns	2,0	2,0	2,0	ns	2,3	1,2	1,1	2,6	ns
Macro (2 – 0,250)	-	97,5	98,0	97,5	-	97,1	98,2	98,3	96,9	
Micro (250 - 0,063)	-	2,5	2,0	2,5	-	2,9	1,8	1,7	3,1	

<sup>(1)</sup> SP = Soja, Pousio; SMP = Soja, Milho e Pousio, SPB = Soja, Pousio e Braquiária. <sup>(2)</sup> PD = Plantio Direto; PD-E = Plantio Direto com Escarificação; PD-G = Plantio Direto com Gesso; PD-E-G = Plantio Direto com Escarificação e Gesso. <sup>(3)</sup> Inter. = Interação dos tratamentos. F = Teste T de Tukey. Valores médios seguidos por letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos sendo, “\*\*\*” significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01); “\*” significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05); ns não significativo (p >= .01).

O preparo do solo com escarificação, nas três camadas avaliadas, resultou em maiores valores de carbono orgânico total (COT) (Tabela 6). Possivelmente, a ação mecânica das hastes do escarificador ao romper a estrutura do solo, pode ter contribuído para o melhor crescimento e funcionamento das raízes. Este fato estimulou a incorporação de carbono orgânico ao solo,

nos consecutivos ciclos de plantio e colheita (crescimento e decomposição de resíduos das culturas), e ainda, o efeito direto na formação de macroagregados, como já observado na DMP (Tabela 6).

**Tabela 6.** Efeito das formas de preparo do solo e sistemas de cultivo no diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico e carbono orgânico do solo, nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m.

Atributo <sup>(1)</sup>	Sistemas de cultivos <sup>(2)</sup>				Preparo do solo <sup>(3)</sup>					Inter <sup>(4)</sup>
	SP	SMB	SMP	CV %	PD	PD-G	PD-E	PD-E-G	CV %	F
Camada de 0,00 a 0,05 m										
<b>DMG</b> (mm)	2,80	2,90	2,80	7,2	2,93 a	2,92 b	2,81 a	2,62 a	9,2	ns
<b>DMP</b> (mm)	3,12 b	3,19 a	3,15b	2,0	3,19 a	3,08 c	3,20 a	3,13 b	3,0	ns
<b>COT</b> (g kg <sup>-1</sup> )	7,59	7,28	7,61	14,0	7,4 b	7,25 b	8,29 a	7,03 b	21,0	ns
Camada de 0,05 a 0,10 m										
<b>DMG</b> (mm)	2,95	2,95	2,82	8,2	2,96	2,94	2,93	2,80	8,9	ns
<b>DMP</b> (mm)	3,20	3,20	3,15	2,9	3,20	3,18	3,19	3,14	3,6	ns
<b>COT</b> (g kg <sup>-1</sup> )	6,85	6,72	6,34	21,7	6,59 b	6,43 b	7,24 a	6,3 b	13,6	ns
Camada de 0,10 a 0,20 m										
<b>DMG</b> (mm)	2,85	2,9	2,80	9,1	2,83	2,88	2,98	2,75	12,0	ns
<b>DMP</b> (mm)	2,85	2,9	2,80	3,1	3,16	3,13	3,20	3,11	4,1	ns
<b>COT</b> (g kg <sup>-1</sup> )	5,21	4,95	5,15	29,4	4,81 c	4,65 c	5,85 a	5,07 b	25,8	ns

<sup>(1)</sup> **DMP** = Diâmetro médio ponderado; **DMG** = Diâmetro médio geométrico, **UG** = Umidade gravimétrica do solo; <sup>(2)</sup> **SP** = Soja, Pousio; **SMP** = Soja, Milho e Pousio, **SPB** = Soja, Pousio e Braquiária. <sup>(3)</sup> **PD** = Plantio Direto; **PD-E** = Plantio Direto com Escarificação; **PD-G** = Plantio Direto com Gesso; **PD-E-G** = Plantio Direto em Escarificação e Gesso. <sup>(4)</sup> **Inter.** = Interação dos tratamentos. **F** = Teste T de tukey.

#### 4.4 Produtividade e Densidade de Plantas na Lavoura de Soja

No período experimental, a precipitação pluvial acumulada durante o ciclo da cultura da soja foi de 840 mm (Figura 3), resultando em precipitação média de 6 mm dia em um período de 140 dias, quantidade suficiente para atender a demanda de evapotranspiração, na maioria dos estádios fenológicos da cultura. Apesar da média dia, a região apresenta picos concentrados com mais de 80 mm/dia de pluviosidade, com observações em campo de períodos de encharcamento pela localização topográfica da área e drenagem moderada do solo.

A produtividade da soja nas parcelas experimentais com os sistemas de cultivo variou de 1.916 a 2.060 kg ha<sup>-1</sup>, entretanto não foram significativas entre os tratamentos (Tabela 7). A densidade de plantas variou de 255.092 a 275.385 plantas ha<sup>-1</sup>, e foi menor no sistema de sucessão soja-milho-gramínea (Tabela 7).

Em relação as formas de preparo do solo, os valores de produtividade da soja variam de 1.801 a 2.288 kg ha<sup>-1</sup>. Embora a densidade de plantas tenha variado de 257.304 a 276.337 plantas ha<sup>-1</sup>, com diferença de 18.081 plantas por hectare, nenhum dos sistemas de preparo do solo influenciou de forma significativa o número de plantas (Tabela 7).

Não houve interação entre os sistemas de cultivo e os sistemas de manejo do solo para a produtividade e a densidade das plantas de soja (Tabela 7).

**Tabela 7.** Valores médios da produtividade da soja, número de plantas por hectare, altura da planta e altura de inserção em função do efeito dos preparos do solo e sistemas de sucessão de culturas.

Atributo (1)	Sistemas de cultivos (2)				Preparo do solo (3)					Inter. (4)	
	SP	SMB	SMP	CV%	PD	PD-G	PD-E	PD-E-G	CV%	F	
<b>PGO</b> (kg ha <sup>-1</sup> )	1.989	2.060	1.916	22,3	1.801	2.288	1.928	1.938	31,1	ns	
<b>NP</b>	275.385 a	255.092 b	273.302a	12,5	267.283	276.337	257.304	270.781	11,5	ns	

(1) **PGO** = produtividade de grãos; **NP** = número de planta. (2) **SP** = Soja, Pousio; **SMP** = Soja, Milho e Pousio, **SPB** = Soja, Pousio e Braquiária. (3) **PD** = Plantio Direto; **PD-E** = Plantio Direto com Escarificação; **PD-G** = Plantio Direto com Gesso; **PD-E-G** = Plantio Direto com Escarificação e Gesso. (4) **Inter.** = Interação dos tratamentos, **F** = Não Significativo ao teste Tukey. Valores médios seguidos por letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas (Tukey) entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ).

Comparada à média de produção da soja no estado de Rondônia de 3.143 kg ha<sup>-1</sup> (ROSA NETO et al., 2018), nota-se que na área experimental foi alcançado valor inferior, de cerca de 37% da média estadual.

## 5 DISCUSSÃO

A análise química das amostras de solo da área experimental indicou, pelos valores observados em 2008 (Tabela 2), a baixa disponibilidade de nutrientes e elevados teores de  $\text{Al}^{3+}$  trocável em condições naturais, o que ocorre com frequência nos solos da região (CAMPOS et al., 2012; SANTOS et al., 2012; COELHO et al., 2019). Já nas amostras coletadas em 2017, observa-se a influência das práticas de manejo na fertilidade, com elevação dos níveis de alguns nutrientes (P, K, Ca e Mg) e redução do teor  $\text{Al}^{3+}$ , quando se comparam os anos de 2008 e 2017. O histórico de nove anos de plantio direto, com efeito residual das adubações e da correção do solo, levou a alterações, principalmente na camada de 0-0,20m. A melhoria da fertilidade do solo é particularmente importante em solos ácidos e de baixa capacidade de troca de cátions (MORTLAND, 1970; FAGERIA & NASCENTE, 2014).

No período de avaliação do experimento, o teor de carbono orgânico aumentou 71% em média, com incremento líquido de  $22 \text{ g kg}^{-1}$ . Uma das premissas para adoção do plantio direto é o aumento e maior proteção da matéria orgânica do solo. O que pode ser alcançado pelo aporte da biomassa, de raízes e da parte aérea, e a menor destruição dos agregados. Todos esses processos concorrem para favorecer a interação física entre os colóides minerais e orgânicos, reduzindo a taxa de mineralização da matéria orgânica do solo (VELOSO et al., 2019).

Embora o solo na área experimental tenha sido classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico plintossólico por Valente et al. (1998), as análises granulométricas mostram predomínio de partículas de tamanho silte nas camadas até 20 cm. Essa característica é recorrente em solos formados a partir de depósitos superficiais de sedimentos aluviais arenosos e siltico-argilosos, comuns nos antigos terraços holocênicos do rio Madeira e seus afluentes (ADAMY, 2010; ADAMY, ROMANINI, 1990). Ou seja, a adição de materiais mais recentes na superfície, na área experimental, pode justificar a variação no local de classe de textura. Ainda, teores de silte na ordem de até  $600 \text{ g kg}^{-1}$  nas camadas superficiais em perfis de solos são relatados com frequência nos municípios de Porto Velho - RO e Humaitá - AM, juntamente com aumento do teor de argila em profundidade (CAMPOS et al., 2012; SANTOS et al., 2012; COELHO et al., 2019).

Essas propriedades granulométricas das camadas superficiais podem ter afetado a densidade do solo. A amplitude da densidade do solo foi de  $0,85$  a  $1,08 \text{ Mg m}^{-3}$ , coerente com Aragón et al. (2000) e Broch & Klein (2017), que associam a elevada proporção de silte com a redução da densidade do solo. Embora, Reichert et al. (2003) consideram que solos siltosos apresentam densidades normalmente próximos a  $1,59 \text{ g cm}^{-3}$ .

O uso de escarificação como tratamento no experimento se deu, independentemente do estado físico do solo, uma vez que se pretendia avaliar possíveis efeitos do plantio direto sobre atributos físicos do solo. Os valores de densidade do solo nas parcelas experimentais, em que não se verificaram valores superiores a  $1,08 \text{ Mg m}^{-3}$  nas três camadas, podem explicar a ausência de expressão dos diferentes sistemas de cultivo sobre este atributo. No entanto, ainda assim, a escarificação do solo reduziu a densidade do solo na camada de  $0,05 - 0,10 \text{ m}$ , o que pode ser devido ao fato que nessa camada ocorria maior expressão da força mecânica exercida pelos implementos agrícolas. Associado a essa redução, foi observada, na mesma camada de  $0,05-0,10 \text{ m}$ , o aumento da macroporosidade e porosidade total, possível pela ação mecânica de revolvimento. A melhoria desses atributos pode ter favorecido o desenvolvimento radicular e levado ao incremento do carbono orgânico ao solo, principalmente no caso das plantas cultivadas que são gramíneas.

Os mesmos atributos citados apresentaram interação dos tratamentos na profundidade de  $0,10 - 0,20\text{m}$ , com destaque aos valores superiores na combinação do sistema SMB e PD-E-

G, o que reafirma que a prática de preparo do solo possibilitou a melhoria no desenvolvimento do sistema radicular e que o volume expressivo de raízes das gramíneas permite explorar maior volume de solo, favorecendo assim a absorção de água e nutrientes (Taylor & Brar, 1991).

Estudos sobre a distribuição de raízes e o seu volume podem ser relevantes para comprovar essa hipótese de melhoria da qualidade do solo. Santos et al. (2020) mostraram que houve maior densidade e comprimento radicular da soja após aplicação da escarificação na profundidade de 0,0-0,20m em áreas de plantio direto. Pivetta et al. (2011), avaliando a distribuição do sistema radicular da soja sob tratamentos físico e culturais, identificaram que o crescimento radicular da soja foi favorecido pelo cultivo sucessivo de gramíneas após aplicação da escarificação na profundidade de 0,00-0,40 m. Os autores são condizentes ao concluir que mesmo após melhorias físicas e na distribuição das raízes, esse benefício seria somente expressivo na produtividade da cultura em cenários de restrição hídrica.

A densidade do solo apresentou valores ( $0,85$  a  $1,08 \text{ Mg m}^{-3}$ ) inferiores aos limites estabelecidos por Adams & Wulfsohn (1997) como limitantes para a produtividade do trigo e do milho, que foram, em média, de  $1,07$  e  $1,19 \text{ Mg m}^{-3}$ , para solos franco siltosos e franco argilosos. Outros autores (HOAD et al., 2001; LIPIEC & HATANO, 2003; ARVIDSSON & HÅKANSSON, 2014) relatam que níveis de compactação do solo, tanto acima como abaixo dos valores ideais, podem reduzir o crescimento das plantas. No entanto, a baixa densidade do solo pode comprometer o crescimento radicular quando ocorre redução do volume de microporos para armazenamento de água no solo.

A ausência de efeito sobre a resistência à penetração pode também ser atribuída aos ciclos de umedecimento e secagem do solo, que conferem certa resiliência às alterações nesta propriedade (SANTOS et al., 2012), ou mesmo por serem efêmeras suas alterações, não persistem a médio a longo prazo, e, tornando-se indetectável, ao longo do tempo de implementação dos tratamentos (OLIVEIRA et al., 2017).

Acompanhando o que foi observado para a densidade do solo, nenhum tratamento apresentou valores restritivos para a macroporosidade, ou seja, valores inferiores ao limite estabelecido de  $0,01 \text{ m}^{-3}\text{m}^{-3}$  (REYNOLDS et al., 2002), ou para a porosidade total do solo, já que não foram observados valores inferiores ao limite de 30% (REICHERT et al., 2007). Os resultados sugerem que houve aeração adequada para o desenvolvimento radicular da soja.

Isso pode explicar a razão pela qual, mesmo os tratamentos com introdução das gramíneas na rotação (milho ou milho/gramínea) tenham promovido ligeira redução da macroporosidade comparativamente ao tratamento soja/pousio, esse efeito não foi suficiente para limitar o desenvolvimento radicular.

No estudo, a frequência de cultivo da soja foi a mesma em todos os tratamentos. Mas ainda assim, não deve ser atribuído unicamente ao cultivo da gramínea a redução da macroporosidade e porosidade total. A contínua presença de vegetação espontânea no sistema soja/pousio, pela própria diversidade de sistemas radiculares, volume e capacidades de romper camadas mais adensadas do solo, permitiu à cultura explorar maior volume de solo. Outro fator que pode ter influenciado foi a menor movimentação de máquinas no tratamento soja/pousio em relação aos demais sistemas de cultivo, já que anualmente a área tem menor movimentação de maquinário em relação aos demais tratamentos.

Williams & Weil (2004), trabalhando em dois solos siltosos com soja em sucessão a plantas de cobertura, observaram que as raízes crescem preferencialmente nos canais deixados pelas dicotiledôneas. Os autores sugerem que pela maior agressividade dos sistemas radiculares destas espécies, ocorreria a criando canais de maior diâmetro em relação às raízes mais finas das monocotiledôneas. Esse efeito pode ser comparável ao das plantas espontâneas que foram

deixadas a crescer nas parcelas durante o período de pousio.

Quanto à microporosidade, nenhum tratamento foi efetivo em alterar esse componente da porosidade do solo. Essa propriedade é pouco sensível às práticas de manejo do solo, pois depender basicamente da organização estrutural interna das partículas minerais do solo (BONINI et al., 2015), ou sejam de sua mineralogia e da granulometria.

A boa qualidade física do solo na área experimental, indicada pela macroporosidade e a porosidade total, foi corroborada pela estabilidade dos agregados. O sistema de cultivo de milho com braquiária foi aquele que resultou em agregados de maior estabilidade (Tabela 6). Resultados semelhantes foram obtidos por outros autores (TISTALL & OADESA, 1979; COUTINHO et al., 2010), os quais atribuem esses efeitos ao rearranjo das partículas favorecido pela floclulação das argilas, a cimentação por matéria orgânica, processos de compressão do solo e a liberação de exsudados das raízes e microrganismos na rizosfera.

Todos os tratamentos apresentaram valores superiores a 3,1 mm para o diâmetro médio ponderados (DMP), o que é considerado como indicativo de elevada estabilidade dos agregados (LE BISSONNAIS 1996) (Tabela 5). Porém, destaca-se que, no tratamento com utilização de gesso, em qualquer combinação, houve aumento da frequência de classes de agregados de menor tamanho (Tabela 6). A ação do gesso pode estar associada à substituição do alumínio pelo cálcio no complexo de troca, com a redução da atividade de íons alumínio (ROSA JUNIOR et al., 1994; PAVAN et al., 1984), em que, provavelmente, a adição de cálcio através da calagem ao sistema não foi suficiente para compensar o efeito floclante do alumínio.

Apesar do efeito dos sistemas de cultivo em aumentar o DMP dos agregados, o que é associado na literatura ao aporte de matéria orgânica no solo, nenhum tratamento afetou o teor de carbono total no solo. Somente o tratamento com preparo do solo (escarificação) resultou em maiores teores de carbono orgânico, sendo o efeito da escarificação independente da profundidade de avaliação (Tabela 5). O benefício da escarificação no aumento da matéria orgânica do solo pode estar associado à redução de impedimentos físicos ao desenvolvimento de raízes (BENGOUGH et al., 2011), e incorporação de carbono ao solo pelo crescimento e decomposição das raízes.

A ausência de efeito da escarificação no DMP dos agregados, mesmo com o aumento da matéria orgânica, pode ser explicada pela qualidade da matéria orgânica depositada no solo por plantas mono e dicotiledôneas. Por exemplo, Kätterer et al. (2011) encontraram que o carbono orgânico originado da parte radicular das plantas apresenta maior estabilidade no solo, quando comparado as mesmas quantidades de material vegetal adicionado pela parte aérea.

Apesar da produtividade da soja ser variável entre os tratamentos, nenhum alcançou significância estatística (Tabela 7). A produtividade das lavouras é afetada por dezenas de fatores que interagem entre si, em que o mais limitante é o determinante da produtividade. Os resultados apontam que alguns dos fatores de fertilidade química (Tabela 2) do solo foram corrigidos e, desta forma, não limitaram a produtividade.

As propriedades físicas também não se mostraram limitantes: os solos apresentaram baixa densidade, elevada macroporosidade, boa porosidade total, adequada estabilidade dos agregados e pouca diferença nos valores de diâmetro médio ponderado dos agregados nas camadas avaliadas. Entretanto, observações em campo, quanto a quantidade de chuvas, mostram picos pluviométricos superiores a 80mm/dia, o que associado a condição do solo, como o caráter plintico, pode ter influenciado na drenagem do solo e ocasionalmente, limitar a aeração do solo em toda a área, assim afetando a produtividade da lavoura de soja de maneira uniforme.

Para a soja, os estádios fenológicos mais críticos quanto ao excesso hídrico, são: da

germinação à emergência de plântulas; floração; ao início da floração; e, enchimento de grãos (SCHÖFFEL et al., 2001). Os períodos de floração e enchimento de grãos da lavoura ocorreram dentro do mês de janeiro, no qual houve média de 300 mm de pluviosidade.

De fato, tanto os sistemas de cultivo, como as formas de preparo do solo, não diferiram estatisticamente entre si, quanto a produtividade da soja (Tabela 7). Houve efeito do sistema de cultivo sobre o estande de plantio, porém a soja apresentou comportamento compensatório no crescimento de cada planta diante dessas variações, contrabalançando assim, a produtividade final, se não houver um outro fator limitante preponderante. Assim, mesmo quando se observou diferenças no estande, menores nos tratamentos com sucessão de gramíneas, a produtividade não diferiu.

Resultados de Santos et al. (2019), avaliando os efeitos da aplicação combinada e separada da gessagem, escarificação e plantio direto, mostram que a aplicação de gesso favoreceu o desenvolvimento do sistema radicular da soja, em profundidade superior a 20 cm, mas não alterou a sua produtividade. De forma semelhante, Ribeiro et al. (2020), avaliando diferentes sucessões de culturas sob plantio direto em Rondônia, relatam ausência de efeito dos tratamentos sobre a produtividade da soja. Calonego e Rosolem (2010) e Garcia et al. (2010) relatam que, após quatro anos de implantação do plantio direto, foi possível observar efeitos na produtividade da soja, devido às melhorias ocorridas no sistema. Os autores atribuíram o fato a lenta mineralização da matéria orgânica e, conseqüentemente, melhoria das condições físicas, químicas e biológicas no solo (CARMEIS FILHO et al., 2017). De forma semelhante, Zandoná et al. (2015) relatam aumento da produtividade da soja em até 11,4%, o que foi associada à melhoria das propriedades químicas (aumento da disponibilidade de cálcio e redução na atividade de alumínio trocável) pela aplicação de 2 Mg gesso ha<sup>-1</sup>.

Nas condições experimentais avaliadas, pode-se deduzir que a cultura da soja apresentou boa flexibilidade diante das pequenas variações nas propriedades físicas do solo, na medida em que estas não comprometeram os valores de produtividade.

## 6 CONCLUSÕES

Os parâmetros físicos de macroporosidade (MaP) e porosidade total (Pt) não diferiram no sistema de cultivo Soja Pousio (SP) e na forma de preparo do solo com escarificação (PD-E). Na profundidade de 0,10-0,20 m foi observado efeito da interação dos tratamentos, com maiores valores de MaP e Pt para a combinação do sistema de cultivo SMB/ preparo PD-E, o que mostra o efeito do revolvimento através da escarificação favorecendo o crescimento radicular das gramíneas.

Independente dos tratamentos de sistemas de cultivo e formas de preparo do solo, foi observada uniformidade na distribuição das classes de tamanho de agregados do solo: macroagregação com predomínio da classe de tamanho 2 – 0,250 mm. Além disso, os valores de estabilidade de agregados do solo (DMP, DMG), com agregados > 2,00 mm, contribuem para menor suscetibilidade à erosão.

O teor de carbono orgânico total foi superior no tratamento de preparo do solo com PD. Porém, nas três camadas de solo avaliadas, não foram observados efeitos significativos para os sistemas de cultivos.

Apesar de indicações na melhoria da qualidade física do solo, os tratamentos de preparo do solo e sistemas de cultivo não resultaram em incremento na produtividade da soja. No entanto, a baixa produtividade da lavoura observada na área experimental sugere que devem ser avaliados possíveis efeitos de excesso hídrico, por restrição de drenagem, decorrente da elevada precipitação local da região, em conjunto à localização na paisagem e a ocorrência de caráter plintico do solo.

## **7 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

De uma maneira geral, as propriedades físicas do experimento não foram restritivas para o cultivo da soja; entretanto, o desempenho produtivo médio da área foi de 33 sacas por hectare, mantendo-se abaixo da média do estado de Rondônia, que foi de 63 sacas na mesma safra.

Embora as condições físicas do solo na área experimental e os parâmetros avaliados não tenham indicado limitações à qualidade física do solo, no que se refere aos efeitos das práticas de preparo do solo e sistemas de cultivo, abre-se a oportunidade de futuros estudos. Com destaque para a avaliação da drenagem subsuperficial do solo e possíveis efeitos sobre a produtividade da soja, que podem apontar para a necessidade de práticas específicas para solos com maior restrição de drenagem, diante das condições climáticas, características do solo e da área do estudo.

Os resultados desse estudo, embora sem diferenças significativas nos tratamentos avaliados, podem direcionar futuras pesquisas com outras variáveis para avaliar a viabilidade do cultivo de soja em sistema de plantio direto, na região norte do estado de Rondônia, nas condições de solos similares, nas planícies dos terraços holocênicos do rio Madeira e seus afluentes.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, S.L.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.519 -- 531, 2004.
- ADAMS, B.A.; WULFSOHN, D. Variation of the critical-state boundaries of an agricultural soil. **European Journal of Soil Science**, v.48, p.739–748, 1997. Doi: 10.1111/j.1365-2389.1997.tb00573.x.
- ADAMY, A. Geodiversidade do estado de Rondônia. **CPRM**. [s.l: s.n.]. 337p. 2010. DOI: 551.098175.
- ADAMY, A.; ROMANINI, J. S. Geologia da Região de Porto Velho - Abunã. **CPRM** ed. Brasília: 1990, p. 1–273.
- ALBUQUERQUE, J. A., BAYER, C., ERNANI, P. R., & FONTANA, E. C. Propriedades físicas e eletroquímicas de um Latossolo Bruno afetadas pela calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 2, p. 295–300, jun. 2000.
- AL-KAISI, M.M. & LAL, R. Conservation Agriculture Systems to Mitigate Climate Variability Effects on Soil Health. **Soil Health and Intensification of Agroecosystems**, p. 79–107, 1 jan. 2017.
- ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A.; CAIRES, E.F. Atributos químicos de um Latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 6, p. 293–934, jun. 2005. DOI: 10.1590/s0100-06832005000600010.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; MORAES GONÇALVES, J.L. DE; SPAROVEK, G. Köppen 's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, p.711 -- 728, 2014. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.
- ALVAREZ, R.; DÍAZ, R.A.; BARBERO, N.; SANTANATOGLIA, O.J.; BLOTTA, L. Soil organic carbon, microbial biomass and CO<sub>2</sub>-C production from three tillage systems. **Soil and Tillage Research**, v.33, p.17–28, 1995. DOI: 10.1016/0167-1987(94)00432-E.
- ANJOS, L. H. C. dos; SILVA, L. M. da; WADT, P. G. S.; LUMBRERAS, J. F.; PEREIRA, M. G. Guia de campo da IX Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos. Brasília, DF: **Embrapa**, 2013. ISBN 978-85-7035-173-9
- ARAGÓN, A.; GARCIA, M. G.; FILGUEIRA, R. R.; PACHEPSKY, Y. A. Maximum compactibility of Argentine soils from the Proctor test: the relationship with organic carbon and water content. **Soil and Tillage Research**, v. 56, n. 3, p. 197-204, 2000.
- ARRIAGA, F.J.; GUZMAN, J.; LOWERY, B. Conventional Agricultural Production Systems and Soil Functions. In: **Soil Health and Intensification of Agroecosystems**. Elsevier Inc., 2017. p.109–125. DOI: 10.1016/B978-0-12-805317-1.00005-1.
- ARVIDSSON, J.; HÅKANSSON, I. Response of different crops to soil compaction—Short-term effects in Swedish field experiments. **Soil and Tillage Research**, v.138, p.56–63, 2014. DOI: 10.1016/J.STILL.2013.12.006.
- ASAE. Terminology and definitions for tillage and soil-tool relationships. **American Society of Agricultural Engineers** - Standard, 1991.
- AZEVEDO, A.C. DE; BONUMÁ, A.S. Partículas coloidais, dispersão e agregação em latossolos. **Ciência Rural**, v.34, p.609 -- 617, 2004.

- BATISTA, K. D.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, V. A. de; VALE JÚNIOR, J. F. do. Guia de campo da XI reunião brasileira de classificação e correlação de solos: RCC de Roraima. Rio de Janeiro- RJ: Embrapa-Solos, 2018.
- BAUMGARTNER, L. C.; CORDEIRO, R. C.; RODRIGUES, R. de A. R.; MAGALHÃES, C. A. de S.; MATOS, E. da S. Estoque e mecanismo de proteção física do carbono no solo em manejos agrícolas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 6, p. 3341-3354, 2021.
- BENGOUGH, A. G., MCKENZIE, B. M., HALLETT, P. D., & VALENTINE, T. A. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits. **Journal of Experimental Botany**, 62(1), 59–68, 2011. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq350>
- BEULTER, A.N.; CENTURION, J.F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.39, n.6, p.581-588, jun. 2004.
- BONINI, C. DOS S.B.; ALVES, M.C.; MONTANARI, R. Recuperação da estrutura de um Latossolo vermelho degradado utilizando lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.10, p.34 -- 42, 2015. Doi: 10.5039/agraria.v10i1a4513.
- BORKERT, C.M.; PAVAN, M.A.; LANTMANN, Á.F. Considerações sobre o uso de gesso na agricultura. Londrina, **EMBRAPA-CNPSO** - Comunicado Técnico, 40, p. 26–1917, 1990.
- BROCH, D.T.; KLEIN, V.A. Maximum soil density of Entisols as a function of silt content. **Ciência Rural**, v.47, p.12, 2017. DOI: 10.1590/0103-8478cr20160762.
- BROWN, J. C.; KOEPPE, M.; COLES, B.; and PRICE, K. P. Soybean Production and Conversion of Tropical Forest in the Brazilian Amazon: The Case of Vilhena, Rondônia, **AMBIO: A Journal of the Human Environment**, 34(6), 462-469, 2005. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-34.6.462>
- BROWN, J.C.; JEPSON, W.; PRICE, K. P. Expansion of mechanized agriculture and land-cover change in southern Rondônia, Brazil. **Journal of Latin American Geography**, 3, (1), 2004
- BÜNEMANN, E.K.; BONGIORNO, G.; BAI, Z.; CREAMER, R.E.; DEYN, G. DE; GOEDE, R. DE; FLESKENS, L.; GEISSEN, V.; KUYPER, T.W.; MÄDER, P.; PULLEMAN, M.; SUKKEL, W.; GROENIGEN, J.W. VAN; BRUSSAARD, L. Soil quality – A critical review. **Soil Biology and Biochemistry**, 120, pp. 105-125, 2018.
- BUSARI, M.A.; KUKAL, S.S.; KAUR, A.; BHATT, R.; DULAZI, A.A. Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. **International Soil and Water Conservation Research**, v.3, p.119–129, 2015. DOI: 10.1016/j.iswcr.2015.05.002.
- CAIRES, E. F., BANZATTO, D.A., & FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24, 161-169, 2000. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832000000100018>
- CAIRES, E.F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J.; KUSMAN, M.T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 27 (2), abril 2003. DOI: 10.1590/s0100-06832003000200008.
- CAIRES, E.F.; FELDHAUS, I.C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. **Bragantia**, Campinas, 60(3), 213-223, 2001
- CAIRES, E.F.; JORIS, H.A.W.; CHURKA, S. Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil. **Soil Use and**

**Management**, v.27, p.45–53, 2011a. DOI: 10.1111/j.1475-2743.2010.00310.x.

CAIRES, E.F.; MASCHIETTO, E.H.G.; GARBUIO, F.J.; CHURKA, S.; JORIS, H.A.W. Gypsum in low acidic Oxisol surface application of gypsum in low acidic Oxisol under no-till cropping system. **Soils and Plant Nutrition, Sci. Agric.**, Piracicaba, Brasil, 68 (2), 2011b, <https://doi.org/10.1590/S0103-90162011000200011>.

CALDERANO, S. B.; DE OLIVEIRA, A. P.; GREGORIS, G. Mineralogia da fração argila dos solos da XII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos - Estado de Rondônia. In: Guia de campo da XII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC de Rondônia (Capítulo 7). Rio de Janeiro- RJ: **Embrapa-Solos**, 2019.

CALONEGO, J.C.; RAPHAEL, J.P.A.; RIGON, J.P.G.; OLIVEIRA NETO, L. DE; ROSOLEM, C.A. Soil compaction management and soybean yields with cover crops under no-till and occasional chiseling. **European Journal of Agronomy**, v.85, p.31–37, 2017. DOI: 10.1016/j.eja.2017.02.001.

CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Soybean root growth and yield in rotation with cover crops under chiseling and no-till. **European Journal of Agronomy**, v. 33, n. 3, p. 242–249, 1 out. 2010.

CAMPOS, M.C.C.; RIBEIRO, M.R.; SOUZA JÚNIOR, V.S. DE; RIBEIRO FILHO, M.R.; ALMEIDA, M.C. Topossequência de solos na transição de campos naturais-floresta na região de Humaitá, **Amazonas. Acta Amazonica**, v.42, p.387 -- 398, 2012. DOI: 10.1590/S0044-59672012000300011.

CARVALHO, C. C. N.; NUNES, F. C.; ANTUNES, M. A. H. Histórico do levantamento de solos no brasil: Da industrialização brasileira à era da informação. **Revista Brasileira de Cartografia** Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto. N° 65/5:997-1013, 2013. ISSN: 1808-0936

CARVALHO, M.C.S.; RAIJ, B. VAN. Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth. **Plant and Soil**, v.192, p.37–48, 1997. DOI: 10.1023/A:1004285113189.

CENSO AGROPECUÁRIO. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 2017.

Disponível: [https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo\\_agro/resultadosagro/index.html](https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/index.html)

CHAN, K.Y.; HEENAN, D.P. The influence of crop rotation on soil structure and soil physical properties under conventional tillage. **Soil and Tillage Research**, v 37, 1996, Pag. 113-125.

CHEN, G.; WEIL, R.R. Penetration of cover crop roots through compacted soils. **Plant and Soil**, v.331, p.31–43, 2010. DOI: 10.1007/s11104-009-0223-7.

CHEN, G.; WEIL, R.R. Root growth and yield of maize as affected by soil compaction and cover crops. **Soil and Tillage Research**, v.117, p.17–27, 2011. DOI: 10.1016/j.still.2011.08.001.

CLARK, L.; WHALLEY, W.; BARRACLOUGH, P. How do roots penetrate strong soil? **Plant and Soil**, v 255, 93–104 (2003). <https://doi.org/10.1023/A:1026140122848>

CLARK, L.J.; BARRACLOUGH, P.B. Do dicotyledons generate greater maximum axial root growth pressures than monocotyledons?, **Journal of Experimental Botany**, Volume 50, Issue 336, July 1999, Pag 1263–1266, <https://doi.org/10.1093/jxb/50.336.1263>

COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; VASQUES, G. M. Atributos químicos e granulometria

dos solos da XI Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (RCC de Roraima), In: Guia de campo da XI Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC de Roraima (Capítulo 4). Rio de Janeiro- RJ: **Embrapa Solos**, 2018.

COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; VASQUES, G. M.; OLIVEIRA, A. V. Atributos químicos e granulometria dos solos da XII Reunião Brasileira de Classificação de Solos (RCC de Rondônia): um enfoque pedológico. In: LUMBRERAS et al. Guia de campo da XII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC de Rondônia (Capítulo 10). Rio de Janeiro- RJ: **Embrapa Solos**, 2019.

COUTINHO, F.S.; LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; RODRIGUES, D.J.; TORRES, J.L.R. Estabilidade de agregados e distribuição do carbono em Latossolo sob sistema plantio direto em Uberaba, Minas Gerais. **Comunicata Scientiae**, v.1, p.100–105, 2010.

CRESSWELL, H.P.; KIRKEGAARD, J.A.; Subsoil amelioration by plant-roots - the process and the evidence. **Soil Research**, 33, 221-239. 1995. Doi: <https://doi.org/10.1071/SR9950221>

DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A.; FAGANELLO, A.; SANTI, A.; DENARDIN, N.D.; WIETHÖLTER, S. Diretrizes do Sistema Plantio Direto no contexto da agricultura conservacionista. **Documentos On-Line: Embrapa Trigo**, p.15, 2012.

DEXTER, A.R. Amelioration of soil by natural processes. **Soil & Tillage Research**, v.20, p.87–100, 1997.

DIAS-FILHO, M.B. Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação. Belém: **Embrapa Amazônia Oriental**, 2 Ed., 2005, 173p.

DOS SANTOS, E. L., MARONEZE, L. F., TONSIC, D. H., ARMACOLO, N. M., GUIMARÃES, M. DE F., DEBIASI, H., FRANCHINI, J., & BALBINO JR., A. A. Distribuição de raízes de soja, resistência tênsil e friabilidade de agregados do solo em diferentes sistemas de manejo. **Colloquium Agrariae**. ISSN: 1809-8215, 16(1), 19–28. 2020. Recuperado de <https://revistas.unoeste.br/index.php/ca/article/view/2861>

DRESCHER, M.S.; REINERT, D.J.; ELOIR DENARDIN, J.; IVONIR GUBIANI, P.; FAGANELLO, A.; LAERSON DRESCHER, G. Duração das alterações em propriedades físico-hídricas de Latossolo argiloso decorrentes da escarificação mecânica. **Pesq. agropec. bras**, v.51, p.159 -- 168, 2016. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000200008.

FACHIN, P.A.; THOMAZ, E.L. A escarificação do solo em sistema de plantio direto afeta a estabilidade de agregados e o teor de matéria orgânica em latossolo vermelho. **Caminhos de Geografia**, v.21, p.18 -- 28, 2020. DOI: 10.14393/rcg217748579.

FAGERIA, N.K.; NASCENTE, A.S. Management of soil acidity of South American soils for sustainable crop production. In: **Advances in Agronomy**. Academic Press Inc., 2014. v.128p.221–275. DOI: 10.1016/B978-0-12-802139-2.00006-8.

GARCIA, R. A., & ROSOLEM, C. A. Agregados em um latossolo sob sistema plantio direto e rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 45(12), 1489–1498. 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010001200021>

GARCIA, R.A.; ROSOLEM, C.A. Agregados em um Latossolo sob sistema plantio direto e rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.1489 -- 1498, 2010. DOI: 10.1590/S0100-204X2010001200021.

GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P. da.; TORMENA, C.; SOUZA, L. da S.; RIBEIRO, L. da P. Similaridades entre o caráter coeso dos solos e o comportamento hardsetting: estudo de caso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.239-247, 2001.

- GONÇALVES, W. G., JIMENEZ, R. L., DE ARAÚJO FILHO, J. V., DE ASSIS, R. L., SILVA, G. P., & PIRES, F. R. Root system of cover crops under soil compaction. **Engenharia Agrícola**, 26(1), 67–75. 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162006000100008>
- H.M. TAYLOR, G.S. BRAR, Effect of soil compaction on root development. **Soil and Tillage Research**, v.19, 2–3, p. 111-119. 1991. ISSN 0167-1987, [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(91\)90080-H](https://doi.org/10.1016/0167-1987(91)90080-H).
- HAMZA, M.A.; ANDERSON, W.K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research**, v. 82 (2), Pag. 121-145. 2005.
- HAVLIN, J.L. Fertility. In: Reference Module in **Earth Systems and Environmental Sciences**. Elsevier, 2013. DOI: 10.1016/B978-0-12-409548-9.05162-9.
- HENDERSON, C. Lupin as a biological plough: evidence for, and effects on wheat growth and yield. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.29, p.99, 1989. DOI: 10.1071/ea9890099.
- HOAD, S.P.; RUSSELL, G.; LUCAS, M.E.; BINGHAM, I.J. The management of wheat, barley, and oat root systems. **Advances in Agronomy**, v.74, p.193–246, 2001. DOI: 10.1016/S0065-2113(01)74034-5.
- HOMMA, A. K. O. Amazônia: os avanços e os desafios da pesquisa agrícola. **Parcerias Estratégicas**, Brasília, DF, v. 18, n. 36, p. 33-54, jan./jun. 2013.
- HOMMA, A. K. O. Terceira Natureza da Amazônia. **Revista Paranaense De Desenvolvimento**, Curitiba, v.38, n.132, p.27-42, jan./jun. 2017
- HUNKE, P., MUELLER, E. N., SCHRÖDER, B., AND ZEILHOFER, P. The Brazilian Cerrado: assessment of water and soil degradation. In: **Catchments Under Intensive Agricultural Use**. Ecohydrol., 8: 1154– 1180. 2015. doi: 10.1002/eco.1573.
- IJIMA, M.; HIGUCHI, T.; BARLOW, P.W. Contribution of root cap mucilage and presence of an intact root cap in maize (*Zea mays*) to the reduction of soil mechanical impedance. **Annals of Botany**, v.94, p.473–477, 2004. DOI: 10.1093/aob/mch166.
- JORDAHL, J.L.; KARLEN, D.L. Comparison of alternative farming systems. III. Soil aggregate stability. **American Journal of Alternative Agriculture**, v.8, p.27–33, 1993. DOI: 10.1017/S0889189300004884.
- JUCKSCH, I. Calagem e dispersão de argila em amostra de um Latossolo Vermelho-Escuro. Viçosa, MG. Universidade Federal de Viçosa, 37p. 1987. (Tese de Mestrado)
- JUNIOR, W.D.A.O.; FERNANDES, H.C.; FORASTIERE, P.R.; GUAZZELLI, T.M.; ARAUJO, G.D.M. Energy demand of a mechanized unit for the implementation of common bean crops. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.25, p.65–72, 2021.
- KÄTTERER, T.; BOLINDER, M.A.; ANDRÉN, O.; KIRCHMANN, H.; MENICHETTI, L. Roots contribute more to refractory soil organic matter than above-ground crop residues, as revealed by a long-term field experiment. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.141, p.184–192, 2011. DOI: 10.1016/j.agee.2011.02.029.
- KOCHHANN, R.A.; DENARDIN, J.E.; BERTON, A.L. Compactação e descompactação de solos. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 20p. (Embrapa Trigo. Documentos, 19).
- LAL, R. A system approach to conservation agriculture. **Journal of Soil and Water Conservation**, Jul 2015, 70 (4) 82A-88A; DOI: 10.2489/jswc.70.4.82A
- LARSEN, E.; GROSSMAN, J.; EDGELL, J.; HOYT, G.; OSMOND, D.; HU, S. Soil biological

properties, soil losses and corn yield in long-term organic and conventional farming systems. **Soil and Tillage Research**, v.139, p.37–45, 2014. DOI: 10.1016/j.still.2014.02.002.

LATHUILLIÈRE, M. J.; Miranda, E. J.; Bulle, C.; Couto, E. G.; Johnson, M. S. Land occupation and transformation impacts of soybean production in Southern Amazonia, Brazil. *Journal of Cleaner Production*, v. 149, p. 680–689, abr. 2017.

LE BISSONNAIS, Y. Aggregate stability and assessment of crustability and erodibility: 1. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science*, 47, 425–437. **European Journal of Soil Science**, 67(1), 2–4. 1996. [https://doi.org/10.1111/EJSS.2\\_12311](https://doi.org/10.1111/EJSS.2_12311)

LIPIEC, J.; HATANO, R. Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. **Geoderma**, v.116, p.107–136, 2003. DOI: 10.1016/S0016-7061(03)00097-1.

LOBÃO, M. S. P., CÔRREA, A. S., WENNINGKAMP, K. R., SHIKIDA, P. F. A., & ALENCAR, J. J. Modernização agrícola na Amazônia brasileira. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, 58(2), 2020. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2020.182276>

LUMBRERAS, J.F.; SILVA, L.M. DA; ANJOS, L.H.C. DOS; OLIVEIRA, V.A. DE; WADT, P.G.S.; PEREIRA, M. G.; DELARME LINDA-HONORÉ, E.A.; BURITY, K.T.L. Guia de campo da XII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC de Rondônia. Rio de Janeiro, RJ: **Embrapa Solos**, 2019.

MATERECHERA, S.A.; ALSTON, A.M.; KIRBY, J.M.; DEXTER, A.R. Influence of root diameter on the penetration of seminal roots into a compacted subsoil. **Plant and Soil**. [s.l: s.n.]. 297–303, p. 144, 1997.

MENDONÇA-SANTOS, M. L. & DOS SANTOS, H. G. The State of the Art of Brazilian Soil Mapping and Prospects for Digital Soil Mapping. Editor(s): P. LAGACHERIE, A.B. MCBRATNEY, M. VOLTZ. **Developments in Soil Science**, Elsevier, v.31, 2006, Chapter 3, p. 39-601, [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(06\)31003-3](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(06)31003-3).

MIRANSARI, M. Soybean Tillage Stress. In: **Environmental Stresses in Soybean Production: Soybean Production**. [s.l.] Elsevier Inc., 2016. v.2p.41–60. DOI: 10.1016/B978-0-12-801535-3.00003-6.

MISRA, R.K., DEXTER, A.R., & ALSTON, A.M. Maximum axial and radial growth pressures of plant roots. **Plant and Soil**, 95, 315-326, 2006.

MORAES, M.T. DE; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C.; MASTROBERTI, A.A.; LEVIEN, R.; LEITNER, D.; SCHNEPF, A. Soil compaction impacts soybean root growth in an Oxisol from subtropical Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.200, 2020. DOI: 10.1016/j.still.2020.104611.

MOREAU, A.M.S. DOS S. Gênese, mineralogia e micromorfologia de horizontes coeso, fragipã e duripã em solos do tabuleiro costeiro do Sul da Bahia. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2001.

MORTLAND, M.M. Clay-organic complexes and interactions. **Advances in Agronomy**, v.22, p.75–117, 1970. DOI: 10.1016/S0065-2113(08)60266-7.

MULLINS, C.E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. **Journal of Soil Science**. [s.l: s.n.]. 341–358p. 41.

NASCIMENTO, D.M. DO; CAVALIERI-POLIZELI, K.M.V.; SILVA, A.H. DA; FAVARETTO, N.; PARRON, L.M. Soil physical quality under long-term integrated agricultural production systems. **Soil and Tillage Research**, v.186, p.292–299, 2019. DOI: 10.1016/j.still.2018.08.016.

NETO, J. A. L.; RIBEIRO, M.R; CORRÊA, M. M.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; LIMA, J. F. W.F.;

LIMA FERREIRA, R. F. A. Caracterização e gênese do caráter coeso em Latossolos Amarelos e Argissolos dos tabuleiros costeiros do estado de alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33 (4), p.1001 -- 1011, 2009.

NGUETNKAM, J.; DULTZ, S. Clay dispersion in typical soils of north Cameroon as a function of pH and electrolyte concentration. **Land Degradation and Development**, v.25, p.153–162, 2014. DOI: 10.1002/ldr.1155.

NGUYEN, Q.C.; DINH, V.C.; TRUONG, M.N. Surface charge characteristics of a variable charge soil (Rhodic Ferralsols) in the Central Highlands. **Vietnam Journal of Science, Technology and Engineering**, v.62, p.65–70, 2020. DOI: [https://doi.org/10.31276/VJSTE.62\(2\).65-70](https://doi.org/10.31276/VJSTE.62(2).65-70).

NOGUEIRA, D.C.S.; FERNANDES, C.; SOUZA, L.C. DE; CAMARGO, L.A.; FERRAUDO, A.S. Effects of clay fraction mineralogy on physical attributes of a yellow ultisol treated with chiseling. **Engenharia Agrícola**, v.40, p.433–442, 2020. DOI: 10.1590/1809-4430

NOLLA, A.; ALVES, E.O. DA S.; SILVA, T.G. DA; BORDIN, A.V. Correção da acidez e disponibilização de fósforo e potássio em latossolo vermelho distrófico típico submetido à calagem incorporada e superficial. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v.3, p.2478–2487, 2020. DOI: 10.34188/bjaerv3n3-156.

NUNES, M. RENATO.; DENARDIN, J. ELOIR.; PAULETTO, E. ANTONIO.; FAGANELLO, ANTONIO.; PINTO, L.F. SPINELLI. Mitigation of clayey soil compaction managed under no-tillage. **Soil and Tillage Research**, v.148, p.119 -- 126, 2015. DOI: 10.1016/j.still.2014.12.007.

NUNES, M.R. Estrutura de solos altamente intemperizados cultivados sob sistema de plantio direto. 121p. Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba 2018.

NUNES, M.R.; PAULETTO, E.A.; DENARDIN, J.E.; FAGANELLO, A.; PINTO, L.F.S.; SCHEUNEMANN, T. Persistência dos efeitos da escarificação sobre a compactação de Nitossolo sob plantio direto em região subtropical úmida. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, p.531 -- 539, 2014. DOI: 10.1590/S0100-204X2014000700005.

NUNES, M.R.; SILVA, A.P. DA; DENARDIN, J.E.; GIAROLA, N.F.B.; VAZ, C.M.P.; ES, H.M. VAN; SILVA, A.R. DA. Soil chemical management drives structural degradation of Oxisols under a no-till cropping system. **Soil Research**, v.55, p.819–831, 2017. DOI: 10.1071/SR17063.

OLIVEIRA, A. A. B. de. Histórico do Projeto Radam Brasil. 1999. Disponível em: <<http://www.projeto.radam.nom.br/historico.html>>.

OLIVEIRA, M. P.; ROQUE, C. G.; BORGES, M. C. R. Z.; OLIVEIRA, R. P.; NOGUEIRA, K. B. Efeito residual da gessagem e calagem na resistência à penetração obtida com dois penetrômetros. **Revista de agricultura neotropical**, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 58–64, 2017. DOI: 10.32404/rean.v4i1.1208.

OLIVEIRA, M.P.; ROQUE, C.G.; PIATI, G.L.; ALVAREZ, R. DE C.F.; CARVALHO, M.A.C. DE; CAMPOS, C.N.S.; TEODORO, P.E. Cover crops, lime and gypsum influence on soil physical attributes. **Bioscience Journal**, v.37, p.e37010, 2021. DOI: 10.14393/bj-v37n0a2021-48248.

PARKS, G.A. & BRUYN, P.L. de. The zero point of charge of oxides. **Journal of Physical Chemistry**, Ithaca, 66:1967-1972, 1962.

PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T.; PRATT, P.F. Redistribution of exchangeable calcium,

magnesium, and aluminum following lime or gypsum applications to a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, v.48, p.33–38, 1984.

PIERRET A., MORAN C.J. Plant Roots and Soil Structure. In: GLIŃSKI J., HORABIK J., LIPIEC J. (eds) Encyclopedia of Agrophysics. **Encyclopedia of Earth Sciences Series**. Springer, Dordrecht. 2011. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-3585-1\\_121](https://doi.org/10.1007/978-90-481-3585-1_121)

PIVETTA, L. A., CASTOLDI, G., dos SANTOS, G. P., & ROSOLEM, C. A. Crescimento e atividade de raízes de soja em função do sistema de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46(11), 1547–1554. 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001100017>

PRADO A. F. EBER; GARBIATE V. MARCOS; VITORINO C. T. ANTONIO; BERGAMIN C. ANDERSON; ENSINAS C. SIMONE. Efeito da escarificação de um latossolo vermelho em pós-colheita de cana-de-açúcar. **Revista de Ciências Agrárias**, v.37, p.414 -- 421, 2014.

R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RAIJ, B. VAN; CAMARGO, A.P. DE; CANTARELLA, H.; SILVA, N.M. DA. Alumínio trocável e saturação em bases como critérios para recomendação de calagem. **Bragantia**, v.42, p.149 -- 156, 1983. DOI: 10.1590/s0006-87051983000100013.

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

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E. & REINERT, D.J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C.A.; SILVA, A.P. & KAY, B.D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 61:877-883, 1997.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: **Tópicos Ciência Solo**. [s.l.: s.n.]. 49–134.

REYNOLDS, W.D.; BOWMAN, B.T.; DRURY, C.F.; TAN, C.S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v.110, p.131–146, 2002. DOI: 10.1016/S0016-7061(02)00228-8.

RIBEIRO, R. DA S.; PASSOS, A.M.A. DOS; AKER, A.M. Agronomic performance of soybean crops under integrated production systems in the Southwestern Brazilian Amazon biome. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.24, p.793 -- 799, 2020. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v24n12p793-799.

RIBEIRO, R. Produtividade da cultura do arroz e soja em área de sucessão de pastagem degradada para sistema plantio direto. 2010. 1–50p. Porto Velho.

RICHART A.; TAVARES FILHO J.; BRITO O.R.; LLANILLO R.F.; FERREIRA R. Compactação do solo: Causas e efeitos. **Semina**, 26:321-344. 2005.

RODRIGUES DA FRANCA, R. Climatologia das chuvas em Rondônia – período 1981-2011. **Revista Geografias**, [S. l.], p. 44–58, 2011. DOI: 10.35699/2237-549X.13392. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/13392>.

RODRIGUES, J.C.; RODRIGUES, J. C.; CASTRO, E. M. R.; Transporte hidroviário, portos e terminais interiores na Amazônia brasileira: uma análise sobre seus papéis na política pública territorial. **Geo UERJ**. Rio de Janeiro - Ano 16, nº. 25, v. 1, 1º semestre de 2014, pp.115-137, ISSN: 1415-7543 E-ISSN: 1981-9021 <http://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/geouerj>

ROSA JUNIOR, E. J.; MARTINS, R. M. G.; ROSA, Y. B. C. J.; CREMON, C. Calcário e

gesso como condicionantes físico e químico de um solo de cerrado sob três sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [S. l.], v. 36, n. 1, p. 37–44, 2007. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/pat/article/view/2170>

ROSA JUNIOR, E.J.; VITORINO, A.C.T.; VITORINO, P.F.P.G. Efeito da calagem, gessagem e adubação fosfatada sobre algumas características físicas de um Latossolo Roxo distrófico de Dourados-MS. **Ciências Agrárias**, v.1, p.5 -- 12, 1994.

ROSA NETO, C.; SILVA, F. de C.; ARAÚJO, L. V. de. Boletim Agropecuário de Rondônia: Evolução da Produção Agropecuária: fevereiro / 2018. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1087917/boletim-agropecuário-de-rondonia-evolucao-da-producao-agropecuaria-fevereiro--2018>

ROSA, D.M.; NÓBREGA, L.H.P.; MAULI, M.M.; LIMA, G.P. DE; SPIASSI, A.; MENEGUETTI, A.M. Physical and chemical properties of an oxisol after maize cropping on rotation with leguminous plants. **Bioscience Journal**, v.35, p.1120–1130, 2019. DOI: 10.14393/bj-v35n4a2019-42186.

SALTON, J.C.; TOMAZI, M. Sistema Radicular de Plantas e Qualidade do Solo. Embrapa Agropecuária Oeste-Comunicado Técnico (INFOTECA-E), p.1 -- 6, 2014

SANTOS, D. DOS, DE SOUZA, E. G., NÓBREGA, L. H. P., BAZZI, C. L., & GONÇALVES JÚNIOR, A. C. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho após cultivo de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 16(8), 843–848. 2012. <http://www.agriambi.com.br>

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAÚJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. rev. ampl. Brasília, DF: **Embrapa**, 2018. 356p

SANTOS, L.; SANTOS, L.A.C. DOS; CAMPOS, M.C.C.; COSTA, H.S.; PEREIRA, A.R. Caracterização de solos em uma topossequência sob terraços aluviais na região do médio rio Madeira (AM). **Ambiência**, v.8, p.319 -- 331, 2012. DOI: 10.5777.

SCHAEFER, C. E. G. R.; DALRYMPLE, J. Landscape evolution in Roraima, North Amazonia-Plantation, paleosols and paleoclimates. **Zeitschrift fur Geomorphologie**, v.39, p.1-28, 1995.

SCHAEFER, C.E.G.R.; LIMA, H.N. DE; TEIXEIRA, W.G. III - Solos da Região Amazônica. In: CURTI, N; KER, J.C.; NOVAIS, F.R.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER, C.E.G.R.B(Ed.). Pedologia - Solos dos Biomas Brasileiros. 1º ed. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2017. p.112 -- 167.

SECCO, D.; DA 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, p.407-414, 2005.

SENA, N.C. Solos coesos desenvolvidos sobre sedimentos da formação barreiras no estado do amapá. Viçosa, MG. Universidade Federal de Viçosa, 101p. 2016. (Tese de Mestrado)

SHAINBERG I., SUMNER M.E., MILLER W.P., FARINA M.P.W., PAVAN M.A., FEY M.V. Use of Gypsum on Soils: A Review. In: Stewart B.A. (eds) **Advances in Soil Science**. **Advances in Soil Science**, vol 9. Springer, New York, NY, (1989). [https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3532-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3532-3_1)

SHAINBERG, I.; LEVY, G.J. Flocculation and Dispersion. **Encyclopedia of Soils in the Environment**, v.4, p.27–34, 2004. DOI: 10.1016/B0-12-348530-4/00363-5.

SILVA FILHO, E. P. Estudo da degradação de solos em áreas de pastagens no município de Porto Velho (RO). Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, SP, Rio Claro, 2009.

SMITH, J. Deanston subsoil plough. In: M. PARTRIDGE (Ed.). **In Farm Tools Through the Ag.** [s.l.] Osprey Publications, 1973.

SOARES, M. D. R.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; CUNHA, J. M.; SANTOS, L. A. C.; FONSECA, J. S.; SOUZA, Z. M. Atributos físicos do solo em áreas sob diferentes sistemas de usos na região de Manicoré, AM. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 59, n. 1, p. 9-15, 2016. Disponível em: Doi: <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2020>

SOUZA COSTA, F. DE; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J.A.; MARA, S.; FONTOURA, V. Calagem e as propriedades eletroquímicas e físicas de um latossolo em plantio direto. *Ciência Rural*, v.34, p.281 -- 284, 2004.

SOUZA, F.R. DE; JUNIOR, E.J.R.; FIETZ, C.R.; BERGAMIN, A.C.; ROSA, Y.B.C.J.; ZEVIANI, W.M. Efeito do gesso nas propriedades químicas do solo sob dois sistemas de manejo. **Semina**, v.33, p.1717–1732, 2012. DOI: 10.5433/1679-0359.2012v33n5p1717.

SPERA S. T.; MAGALHÃES C. A. S.; CHITARRA L. G.; GALBIERI R.; ZOLIN C. A. Escarificação em áreas de lavouras e pastagens em Mato Grosso: quando e como efetuar. **Embrapa Agrossilvipastoril**, 2018.

SPERA, S.T.; DENARDIN, J.E.; ESCOSTEGUY, P.A.V.; SANTOS, H.P. DOS; FIGUEROA, E.A. Dispersão de argila em microagregados de solo incubado com calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2613 -- 2620, 2008. DOI: 10.1590/S0100-06832008000700002.

SPOOR, G.; GODWIN, R.J. An Experimental Investigation into the Deep Loosening of Soil. **Rigid Tines J. agrics. Eng Res.** [s.l: s.n.]. 243–258p. 23).

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. manual de métodos de análise de solo. 3.ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2017. v.3 574p.

TIPPKÖTTER, R. Morphology, spatial arrangement and origin of macropores in some hapludalfs, West Germany. **Geoderma**, v.29, p.355–371, 1983. DOI: 10.1016/0016-7061(83)90021-6.

TISTALL, J.M.; OADESA, J.M. Stabilization of Soil Aggregates by the Root Systems of Ryegrass Aust. J. **Soil Res.** 1979, [s.l: s.n.]. 429–470p. 17).

TROUSSE, A.C.; HUMBERT, R.P. Deep tillage in Hawaii: 1. Subsoiling. **Soil Sci**, p.88–150, 1959.

VALENTE, M.A.; OLIVEIRA JUNIOR, R.C. DE; RODRIGUES, T.E.; SILVA, J.M.L. DA; SANTOS, P.L. DA. Levantamento semi detalhado dos solos do campo experimental de Porto Velho, RO. Belém - PA: Embrapa-CPATU, 1998. v.136 23p.

VELOSO, M.G.; CECAGNO, D.; BAYER, C. Legume cover crops under no-tillage favor organomineral association in microaggregates and soil C accumulation. **Soil and Tillage Research**, v.190, p.139–146, 2019. DOI: 10.1016/J.STILL.2019.03.003.

WADT, P. G. S. Manejo de solos ácidos do estado do Acre. Rio Branco: Embrapa Acre, 2002, 28p (Embrapa Acre, Documento, 79).

WEST, T.O.; POST, W.M. Soil Organic Carbon Sequestration Rates by Tillage and Crop Rotation. **Soil Science Society of America Journal**, v.66, p.1930–1946, 2002. DOI:

10.2136/sssaj2002.1930.

WILLIAMS, S.M.; WEIL, R.R. CROP COVER ROOT CHANNELS MAY. **Soil Science Society of America**, v.68, p.1403–1409, 2004.

YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 19:1467-1476, 1988.

YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. **J. Am. Soc. Agron.**, vol. 28, p. 337- 351, 1936.

ZANDONÁ, R.R.; BEUTLER, A.N.; BURG, G.M.; BARRETO, C.F.; SCHMIDT, M.R. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.45, p.128 -- 137, 2015. DOI: 10.1590/1983-40632015v4530301.