

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de 03/08/2025

At the author's request, the full text of this thesis/dissertation will not be available online until Aug. 03, 2025

CRISTIANO ALVES DA SILVA

**INTERVENÇÃO MECÂNICA E CONSÓRCIO DE BRAQUIÁRIA COM
CROTALÁRIA EM ÁREA DE PLANTIO DIRETO CONSOLIDADO**

Botucatu

2023

CRISTIANO ALVES DA SILVA

**INTERVENÇÃO MECÂNICA E CONSÓRCIO DE BRAQUIÁRIA COM
CROTALÁRIA EM ÁREA DE PLANTIO DIRETO CONSOLIDADO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Agricultura).

Orientador(a): Dirceu Maximino Fernandes

Coorientador(a): Rodrigo Arroyo Garcia

Botucatu

2023

S586i

Silva, Cristiano Alves da

Intervenção mecânica e consórcio de braquiária com crotalária em
área de plantio direto consolidado / Cristiano Alves da Silva. --

Botucatu, 2023

100 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientador: Dirceu Maximino Fernandes

Coorientador: Rodrigo Arroyo Garcia

1. Plantio direto. 2. Gramíneas forrageiras. 3. Soja. 4. Ciência do
solo. 5. Agricultura sustentável. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de
Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

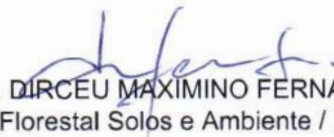
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: INTERVENÇÃO MECÂNICA E CONSÓRCIO DE BRAQUIÁRIA E CROTALÁRIA EM ÁREA DE PLANTIO DIRETO CONSOLIDADO

AUTOR: CRISTIANO ALVES DA SILVA

ORIENTADOR: DIRCEU MAXIMINO FERNANDES

COORIENTADOR: RODRIGO ARROYO GARCIA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Agronomia (Agricultura),
pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES (Participação Virtual)
Ciência Florestal Solos e Ambiente / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu UNESP

pesquisadora MICHELY TOMAZI (Participação Virtual)
Ciência do Solo / Embrapa


Prof. Dr. JULIANO CARLOS CALONEGO (Participação Virtual)
Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP

Botucatu, 03 de agosto de 2023

*Aos meus amados pais,
Iraci e Nelson,*

dedico

AGRADECIMENTOS

Aos meus amados pais que sempre estiveram ao meu lado, incentivando-me a perseguir os meus sonhos e dedicação ao longo de toda a minha vida.

Ao Prof. Dr. Dirceu Maximino Fernandes pela orientação, paciência e todas as colaborações.

A Unesp por todos os consentimentos e flexibilizações realizadas durante e após o período de pandemia.

Ao pesquisador e coorientador Dr. Rodrigo Arroyo Garcia, por me acompanhar desde a iniciação científica, por aceitar a coorientação e ceder o experimento, por todos os ensinamentos, pela paciência e parceria de sempre.

A pesquisadora da Embrapa Agropecuária Oeste, Dra. Michely Tomazi, por possibilitar a condução do experimento, pelos ensinamentos e auxílio prestado durante a pesquisa, pelas ferramentas, reagentes e equipamentos.

A Prof. Dra. Elaine Reis Pinheiro Lourente e a Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) por conceder o laboratório de Microbiologia do Solo, equipamentos e reagentes para a avaliação das micorrizas.

Aos técnicos de laboratório e, em especial, aos técnicos de campo da Embrapa, Cleberson Flauzino e Júlio Leal, por acompanhar o experimento, auxiliar nas avaliações, pelo empréstimo de ferramentas e pela amizade.

A Embrapa Agropecuária Oeste por conceder as instalações para avaliação do experimento.

Ao produtor rural e proprietário da Faz. São José, Sr. Luciano Manfio por conceder parte de sua propriedade para a condução do experimento.

Ao Dr. Gustavo Ferreira da Silva pela valiosa contribuição na confecção da análise estatística multivariada e interpretação dos resultados.

Aos demais funcionários da Embrapa que auxiliaram nas avaliações de campo e de laboratório, bem como nos processos legais de validação e documentação.

A Prof. Dra. Mariana Zampar, pela simpatia de sempre e valiosa oportunidade de iniciação científica oferecida nos primórdios da graduação, abrindo as portas do mundo da pesquisa e da pós-graduação.

A minha amiga e parceira de Embrapa, Me. Thainá Casavechia, pela amizade e pelo apoio concedido.

A minha colega Mayara Chaves por ajudar nos procedimentos de avaliação de micorrizas.

Aos meus amigos, Tiago Fanhani, Luis Fernando Rissato e Mayara Oliveira, que sempre estiveram mandando boas energias, concedendo apoio nos momentos difíceis e celebrando as minhas conquistas.

À Fundação Agrisus pelo apoio financeiro concedido ao projeto (Processo N° 3005/20), sendo de grande valia para a condução do experimento.

O presente trabalho foi realizado com apoio parcial da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil – CAPES – Código de financiamento 001.

Ao CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa de estudos concedida posteriormente.

“Thinking is the hardest work there is, which is the probable reason why so few engage in it”. – Henry Ford

FORD, H. My Philosophy of Industry. New York: Coward-McCann, 1929. p. 25.

RESUMO

A prática do consórcio de espécies caracterizadas por sistemas radiculares robustos e alta produção de biomassa com plantas leguminosas apresenta-se como uma alternativa viável para melhorar o ambiente radicular, evitando a necessidade de intervenção mecânica. Objetivou-se estudar o uso de intervenção mecânica por meio de subsolagem (SUB) e o consórcio de Capim-Xaraés (*Brachiaria brizantha* cv. Xaraés) (XS) com *Crotalaria ochroleuca* (CO) substituindo o cultivo de milho (MI) consorciado com *Brachiaria ruziziensis* (RU) sob plantio direto (PD) em um Latossolo Vermelho Distroférrico de textura muito argilosa. O experimento foi conduzido na Faz. São José, município de Rio Brilhante, MS. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições e sete tratamentos, constituídos por: SUB22/XS; SUB22/XS+CO; SUB22/MI+RU; PD/XS; PD/XS+CO; PD/MI+RU (testemunha); e SUB21/XS+CO (SUB em fevereiro/21 e semeadura do consórcio em outubro/21). A intervenção mecânica foi realizada em fevereiro/22, com profundidade de trabalho de 25 cm e, em seguida, semeou-se as culturas. Avaliou-se a resistência do solo à penetração (RP) entre os meses de maio e setembro/22, aferindo-se também a umidade gravimétrica. Determinou-se a matéria seca dos cultivos em diferentes épocas durante o cultivo das forrageiras. Em agosto/22, amostras de solo (0-10 cm) foram coletadas para determinação da atividade enzimática e dos teores totais de C e N. Por ocasião da semeadura da soja em outubro/22, foi determinada a quantidade palha na superfície do solo. Em V3 e R1, foram coletadas raízes (0-10 cm) para observação de fungos micorrízicos arbusculares (FMA). Em R5, coletou-se blocos de solo para a determinação do índice de qualidade estrutural do solo (IQE). Com a colheita, determinou-se a produtividade da soja. A SUB só foi eficiente em reduzir a RP até agosto/22. A intervenção mecânica proporcionou maior atividade enzimática. O consórcio de outubro/21 resultou em maior produção de fitomassa e quantidade de palha, mas isso não se refletiu nos teores de carbono (C) e nitrogênio (N) do solo. Em contrapartida, a taxa de colonização inicial por FMA foi reduzida sob SUB22, não se diferenciando do PD em R1. Os maiores IQE foram observadas nos tratamentos PD/XS e SUB21/XS+CO. Com base no teste de comparação de médias, a produtividade da soja não apresentou diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos. No entanto, correlações positivas foram encontradas com o plantio direto e com a introdução de *Crotalaria ochroleuca* no sistema de produção. A diversificação de

culturas no sistema de produção é uma estratégia importante para melhorar a qualidade do solo em sistemas de produção baseados na sucessão de culturas. A intervenção mecânica possui eficiência de curta duração em Latossolos Vermelhos de textura muito argilosa, não sendo indicado para as condições do presente estudo.

Palavras-chave: resistência à penetração; soja; forrageiras; leguminosas; gramíneas.

ABSTRACT

The practice of intercropping species characterized by robust root systems and high biomass production with legumes presents itself as a viable alternative for enhancing root environment, thereby obviating the need for mechanical intervention. The objective of this study was to investigate the use of mechanical intervention use through subsoiling (SUB) and Xaraés grass (*Brachiaria brizantha* cv. Xaraés) (XS) intercropped with *Crotalaria ochroleuca* (CO) as a substitute for the cultivation of maize (MI) intercropped with *Brachiaria ruziziensis* (RU) under no-tillage (PD) in a Dystrophic Red Latosol (Oxisol) with very clayey texture. The experiment was carried out at São José farm, located in Rio Brilhante, MS. The experimental design was randomized blocks with four replications and seven treatments: SUB22/XS; SUB22/XS+CO; SUB22/MI+RU; PD/XS; PD/XS+CO; PD/MI+RU (control); e SUB21/XS+CO (SUB in February/21 and intercropping sowing in October/21). The mechanical intervention was executed in February/22 with depth of 25 cm, followed by the sowing of the crops. The soil penetration resistance (RP) was assessed from May to September/22, concurrently measuring the gravimetric moisture content. The dry matter biomass of the cultivated forage species was determined at various time intervals during their growth period. Soil samples (0-10 cm) were collected in August/22 for the purpose of determining enzymatic activity, as well as the total concentrations of carbon (C) and nitrogen (N). During the soybean development in October/22, the amount of straw on the soil surface was measured. At growth stages V3 and R1, root samples (0-10 cm depth) were collected to observe arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). At R5 stage, soil blocks were collected to determine the soil structural quality index (IQE). During the harvest, the soybean yield was measured. Subsoiling (SUB) was only effective in reducing soil penetration resistance (RP) until August/22. The mechanical intervention resulted in higher enzymatic activity. The October/21 intercropping resulted in higher biomass production and straw quantity, but this did not reflect in the soil carbon (C) and nitrogen (N) contents. On the other hand, the initial colonization rate by arbuscular mycorrhizal fungi (FMA) was reduced under SUB22, showing no significant difference compared to no-till (PD) at reproductive stage R1. The highest IQE values were observed in the PD/XS and SUB21/XS+CO treatments. The soybean yield did not display statistically significant differences among the treatments based on the mean comparison test. However, positive correlations were found with no-tillage and the

introduction of *Crotalaria ochroleuca* in the production system. Diversifying crops in the production system is an important strategy to enhance soil quality in crop succession-based production systems. The mechanical intervention has a short-lived efficiency in very clayey Dystrophic Red Latosol (Oxisol) and is not recommended for the conditions of the present study.

Keywords: penetration resistance; soybean; forage crops; legumes; grass.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Temperaturas médias e precipitações pluviométricas mensais durante a condução do experimento. Rio Brilhante, MS.....	42
Figura 2 – Raízes de plantas de soja (estágio reprodutivo R6) coletadas anteriormente a instalação do experimento.....	43
Figura 3 - Mistura de sementes de braquiária com crotalária (A) e semeadura do consórcio de verão (B). Rio Brilhante, MS.....	46
Figura 4 – Coleta de solo para o Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES): abertura de trincheiras com mini retroescavadeira (A), desbaste da parede da trincheira (B), coleta do bloco de solo com pá de corte (C) e, armazenamento da amostra em vasilha plástica (D).....	54
Figura 5 – Resistência do solo à penetração (RP) em diferentes sistemas de produção sob subsolagem (SUB) e plantio direto (PD) obtida entre os meses de maio e setembro. Rio Brilhante, MS.....	58
Figura 6 – Matéria seca total da parte aérea das forrageiras sob subsolagem (SUB) e plantio direto (PD) por ocasião do manejo de corte dos tratamentos.....	60
Figura 7 – Estatura de plantas nos consórcios: capim-xaraés com crotalária ochroleuca (A) e milho com braquiária ruziziensis (B).....	61
Figura 8 – Matéria seca de restos culturais sobre a superfície do solo por ocasião da emergência (VE) da cultura da soja. Rio Brilhante, MS.....	62
Figura 9 – Índice de qualidade estrutural do solo (IQE) com base no Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES) para a camada de 0-40 cm nos diferentes sistemas de produção empregados. Rio Brilhante, MS	69
Figura 10 – Aspecto visual da estrutura do solo na camada de 0-20 cm, 24 meses (A) e 12 meses (B) após a subsolagem (SUB). Rio Brilhante, MS	70
Figura 11 – Evidência de crescimento radicular em agregados grumosos por meio de bioporos (A) e em agregados com faces lisas (B)	70
Figura 12 – Produtividade de grãos da cultura da soja na safra 2022/23 nos tratamentos sob plantio direto ou intervenção mecânica. Rio Brilhante, MS	73
Figura 13 – Análise de componentes principais em função de subsolagem e plantio direto para as variáveis IQE: Índice de Qualidade Estrutural, FTM: Fitomassa, PSL: Palha no Solo, RP: Resistência do Solo à Penetração (maio e junho), FMA: Colonização Radicular por Fungos Micorrízicos Arbusculares (V3) e PROD: Produtividade de Grãos de Soja	75

Figura 14 - Dispersão dos tratamentos na primeira componente principal das variáveis sobre a produtividade da soja na safra 2022/2023	77
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização química antes da instalação do experimento em fevereiro 2021. Rio Brilhante, MS.....	44
Tabela 2 – Caracterização granulométrica do solo por ocasião da instalação do experimento (fevereiro 2021), Rio Brilhante, MS	44
Tabela 3 – Sequência de culturas utilizadas no experimento	45
Tabela 4 – Atividade de β -Glicosidase (BETA), Arilsulfatase (SULFA), Carbono (C) e Nitrogênio (N) total na camada de 0-10 cm em diferentes cultivos sob plantio direto (PD) e subsolagem (SUB). Rio Brilhante, MS	63
Tabela 5 – Colonização radicular (%) por micorrizas arbusculares no período vegetativo (V3) e reprodutivo (R1) da cultura da soja, safra 2022/2023. Rio Brilhante, MS.....	66
Tabela 6 - Cargas das componentes principais com as percentagens de explicação da variação nas variáveis RP: Resistência do Solo à Penetração, FTM: Fitomassa, PSL: Palha no Solo, FMA: Colonização Radicular por Fungos Micorrízicos Arbusculares IQE: Índice de Qualidade Estrutural e PROD: Produtividade de Grãos de Soja.....	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA	Análise de variância
BETA	β -Glicosidase
CO	Crotalária ochroleuca (<i>Crotalaria ochroleuca</i>)
DRES	Diagnóstico rápido da estrutura do solo
EC	Espessura da camada
ET	Espessura total da amostra
DMS	Diferença mínima significativa
FMA	Fungos micorrízicos arbusculares
FTM	Fitomassa
IQE	Índice de qualidade estrutural
MI	Milho
MOS	Matéria orgânica do solo
MSU	Massa de solo úmida
MSS	Massa de solo seca
MUB	Tampão Universal Modificado
PD	Plantio direto
PLS	Palha no solo
PNG	<i>p</i> -nitrofenil- β -D-glicosídeo
PNS	<i>p</i> -nitrofenil sulfato
PROD	Produtividade de grãos de soja
QEC	Qualidade estrutural da camada
RP	Resistência do solo à penetração
RU	Braquiária ruziziensis (<i>Brachiaria ruziziensis</i>)
SPD	Sistema de plantio direto
SUB	Subsolagem
SULFA	Arilsulfatase
THAM	tris-hidroximetil-aminometano
UG	Umidade gravimétrica
XS	Capim-xaraés (<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Xaraés)

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
μm	Micro
°C	Graus Celsius
C	Carbono
CaCl ₂	Cloreto de cálcio
cm	Centímetros
g	Gramas
ha	Hectares
HCl	Ácido clorídrico
KOH	Hidróxido de potássio
kg	Quilogramas
L	Litros
M	Molaridade
MPa	Mega Pascal
mm	Milímetros
mL	Mililitros
N	Nitrogênio
NaOH	Hidróxido de sódio
nm	Nanômetro
P	Fósforo
pH	Potencial hidrogeniônico
PD	Plantio direto
t	Toneladas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	27
2.1	Plantio direto (PD)	27
2.2	Monitoramento da qualidade do solo	28
2.3	Compactação e resistência do solo à penetração (RP)	29
2.4	Intervenção mecânica no manejo da compactação	32
2.5	Uso de gramíneas e leguminosas na melhoria da qualidade do solo	33
2.6	Relação entre matéria orgânica e qualidade do solo	35
2.7	Avaliação visual da estrutura do solo	37
2.8	Enzimas relacionadas com a qualidade do solo	38
2.8.1	β -Glicosidase (BETA).....	39
2.8.2	Arilsulfatase (SULFA).....	39
2.9	Fungos micorrízicos arbusculares (FMA)	40
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	42
3.1	Descrição do local e das características climáticas da região.....	42
3.2	Caracterização do solo e histórico do local.....	43
3.3	Tratamentos e delineamento experimental	44
3.4	Cultivo de verão (21/22)	46
3.5	Cultivo de outono-inverno 2022	47
3.6	Soja 22/23.....	48
3.7	Resistência do solo à penetração (RP) e umidade gravimétrica (UG)....	49
3.8	Coleta de solo	50
3.8.1	Atividade de arilsulfatase (SULFA)	50
3.8.2	Atividade de β -Glicosidase (BETA).....	51
3.8.3	Carbono orgânico (C) e nitrogênio (N) total.....	52
3.9	Colonização por fungos micorrízicos arbusculares (FMA)	52
3.10	Qualidade da estrutura do solo.....	53
3.11	Análise Estatística.....	55
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
4.1	Resistência do solo à penetração.....	57
4.2	Produção de fitomassa acumulada	59

4.3	Palha no solo.....	61
4.4	Atividade enzimática, carbono (C) e nitrogênio (N) total.....	63
4.5	Taxa de colonização radicular por micorrizas arbusculares	65
4.6	Índice de qualidade da estrutural do solo	68
4.7	Produtividade de grãos de soja.....	72
4.8	Análise multivariada dos dados	74
5	CONCLUSÕES.....	79
	REFERÊNCIAS	81

1 INTRODUÇÃO

O plantio direto é uma prática agrícola que tem como objetivo primordial a conservação da palhada das culturas em superfície, por meio da eliminação do revolvimento do solo. O emprego dessa prática tem sido associado ao sistema soja/milho, sendo amplamente utilizado nas regiões do Centro-Oeste e Sudeste do Brasil e representa o modelo de produção mais proeminente no país.

A ampla adesão à sucessão soja/milho baseia-se no fato de que o sistema agrega duas culturas de valor econômico: a soja, como cultura de verão, e o milho durante o outono-inverno. Embora o sistema soja/milho seja bastante lucrativo e tenha se mostrado eficiente em termos de produção, esse modelo de produção é característico de uma sucessão de culturas, o que contrapõe as premissas básicas da rotação de culturas, preconizada no sistema de plantio direto. O baixo aporte de palha e a desuniformidade de distribuição na cobertura do solo, aliados a fatores como o aumento da circulação de implementos cada vez maiores nas operações agrícolas, podem criar camadas compactadas, resultando na degradação da qualidade física do solo representada pela limitação de produtividade.

A intervenção mecânica tem sido adotada por agricultores com a finalidade de romper camadas de impedimento físico, a fim de reduzir a resistência do solo à penetração das raízes. Nesse sentido, equipamentos como subsoladores têm sido amplamente empregados devido ao menor nível de perturbação causado ao solo em comparação com os arados convencionais, podendo ser uma técnica para melhorar as condições do solo em casos específicos. Entretanto, é comum que o uso desses equipamentos seja realizado sem uma avaliação criteriosa das condições do solo, para verificar a real necessidade da operação, o que eleva os custos e pode resultar em compactações mais profundas no solo.

A semeadura de plantas que visam melhorar o ambiente radicular pode ser uma alternativa para reconstrução do perfil do solo. Essas plantas são escolhidas por sua capacidade de desenvolver um sistema radicular profundo e denso, o que promove o rompimento de camadas compactadas do solo e ajuda a melhorar sua aeração e drenagem. O uso de gramíneas forrageiras no sistema de produção tem ganhado força ao longo do tempo. Na maioria dos casos, realiza-se o consórcio de milho com a forrageira, visando obter rendimento com a cultura de grãos e aproveitar as características agrônômicas da forrageira. Por outro lado, a alta produção de

fitomassa dessas espécies promovem o acúmulo de resíduos em superfície, de forma a manter o equilíbrio entre a transformação e a degradação da matéria orgânica, contribuindo para a manutenção dos estoques de carbono do solo.

No entanto, o acúmulo de matéria orgânica não depende apenas da quantidade de resíduos aportados, mas também da qualidade do material incorporado. Para máxima eficiência de transformação dos resíduos vegetais em matéria orgânica, o sistema de produção precisa ser composto de culturas com alta produção de matéria seca e que incorporam nitrogênio (N) no sistema. Nesse sentido, a inclusão de leguminosas em consórcio com gramíneas emerge como uma alternativa viável para equilibrar a relação C/N do sistema e, simultaneamente, promover a produção de fitomassa. Espécies pertencentes ao gênero *Crotalaria* são consideradas como boas opções a serem utilizadas nesse contexto de consórcio, devido à sua capacidade de se associar a bactérias que fixam o N atmosférico. Essa habilidade permite a incorporação desse elemento no solo, tornando-o disponível para as gramíneas que estão em consórcio, resultando no aumento da produção de matéria seca. O objetivo do trabalho foi analisar a real necessidade de implementar intervenções mecânicas em área de plantio direto consolidado, a sua eficiência e o comportamento dos atributos do solo. Além disso, objetivou-se estudar os impactos da diversificação do sistema de produção com a introdução de gramíneas forrageiras em consórcio crotalária em comparação ao cultivo padrão de milho com braquiária em um Latossolo Vermelho Distroférico.

5 CONCLUSÕES

O cultivo de braquiária solteira ou consorciada com crotalária no período de entressafra da soja é uma estratégia para melhorar a qualidade estrutural do solo, podendo ser utilizado com o propósito de diversificar o modelo atual de produção (padrão da propriedade), que envolve uma sucessão de culturas.

Parâmetros físicos e biológicos são altamente sensíveis a alterações de manejo e devem ser empregados de forma conjunta para fornecer uma avaliação mais precisa dos impactos das práticas agrícolas na qualidade do solo.

O crotalária de braquiária cultivado no período de um ano contribui para a melhoria da qualidade estrutural do solo, mas gera quantidades elevadas de palha, dificultando o estabelecimento de plântulas de soja e podendo interferir negativamente na produtividade. Esse modelo de produção pode ser adequadamente aplicado em sistemas de ILP, nos quais a introdução de animais permite mitigar a quantidade excessiva de palha depositada no solo, facilitando a semeadura da soja em sucessão.

O cultivo de soja em anos com índices pluviométricos bem distribuídos não permite identificar diferenças marcantes de produtividade entre a subsolagem e plantio direto. Esse comportamento pode não ser replicado em situações de menor disponibilidade de água.

O consórcio de braquiária com crotalária influencia positivamente na produtividade da soja em função da melhoria da qualidade da palhada.

A análise integrada das variáveis possibilita a identificação dos principais fatores que afetam o rendimento de grãos de soja, em contraste com os testes univariados, os quais podem não detectar essas influências de forma abrangente.

As alterações ocasionadas pela subsolagem são poucos persistentes, com duração média de seis meses, em Latossolos Vermelhos Distroférricos de textura muito argilosa. O uso da subsolagem não é justificado para esse tipo de solo, por alterar a estrutura do solo e não pronunciar maior produtividade de soja, o que irá resultar num aumento do custo de produção.

REFERÊNCIAS

- AGNIHOTRI, R.; SHARMA, M. P.; PRAKASH, A.; RAMESH, A.; BHATTACHARJYA, S.; PATRA, A. K.; MANNA, M. C.; KURGANOVA, I.; KUZYAKOV, Y. Glycoproteins of arbuscular mycorrhiza for soil carbon sequestration: Review of mechanisms and controls. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 806, p. 1-13, 2022. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.150571.
- AHMADI, I.; GHOUR, H. Effects of soil moisture content and tractor wheeling intensity on traffic-induced soil compaction. **Journal of Central European Agriculture**, Zagreb, v. 16, n. 4, p. 489–502, 2015.
- AKANMU, A. O.; BABALOLA, O.O.; VENTURI, V.; AYILARA, M. S.; ADELEKE, B.S.; AMOO, A. E.; SOBOWALE, A. A.; FADIJI, A. E.; GLICK, B. R. Plant disease management leveraging on the plant-microbe-soil interface in the biorational use of organic amendments. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 12, n. 700507, p. 1-13, 2021. DOI: 10.3389/fpls.2021.700507.
- ALAOUI, A.; ROGGER, M.; PETH, S.; BLÖSCHL, G. Does soil compaction increase floods? A review. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 557, p. 631-642, 2018. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2017.12.052
- ANDRUSCHKEWITSCH, R.; KOCH, H. J.; LUDWIG, B. Effect of long-term tillage treatments on the temporal dynamics of water-stable aggregates and on macro-aggregate turnover at three German sites. **Geoderma**, Amsterdam, v. 217–218, p. 57–64, 2014. DOI:10.1016/j.geoderma.2013.10.022.
- AISLABIE, J.; DESLIPPE, J. R. Soil microbes and their contribution to soil services. In: DYMOND, J. R. (ed.). **Ecosystem services in New Zealand: conditions and trends**. Lincoln: Manaaki Whenua Press, 2013. p. 143-161.
- ALMEIDA, R. F. de; NAVES, E. R.; MOTA, R. P. da. Soil quality: Enzymatic activity of β -glucosidase. **Global Journal of Agricultural Research and Reviews**, v. 3, n. 2, p. 146-150, 2015.
- ATKINSON, J. A.; HAWKESFORD, M. J.; WHALLEY, W. R.; ZHOU, H.; MOONEY, S. J. Soil strength influences wheat root interactions with soil macropores. **Plant Cell and Environment**, Chichester, v. 43, n. 1, p. 235–245, 2020.
- ARVIDSSON, J.; HÅKANSSON, I. A model for estimating crop yield losses caused by soil compaction. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 20, n. 4, p. 319–332, 1991.
- BADALÍKOVÁ, B. Influence of Soil Tillage on Soil Compaction. In: DEDOUSIS, A.P.; BARTZANAS, T. (eds.). **Soil Engineering**. Springer: Berlin, 2010. p. 19-30.

BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil & Tillage Research**, v. 53, p. 215-230, 2000.

BALKCOM, K. S.; REEVES, D. W. Sunn-hemp utilized as a legume cover crop for corn production. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, n. 1, p. 26–31, 2005.

BALOTA, E. L.; KANASHIRO, M.; COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; DICK, R. P. Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical agro-ecosystems. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v. 35, n. 1, p. 300-306, 2004.

BALOTA, E. L.; NOGUEIRA, M. A.; MENDES, I. C.; HUNGRIA, M.; FAGOTTI, D. S. L.; MELO, G. M. P.; SOUZA, R. C.; MELO, W. J. de. Enzimas e seu papel na qualidade do solo. In: ARAÚJO, A.P.; ALVES, B.J.R. (ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013. p. 189-249..

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. AgroEstat: **Sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos**. Jaboticabal: FCAV/Funep, 2015. 396 p.

BASAL, O.; SZABÓ, A.; VERES, S. Physiology of soybean as affected by PEG-induced drought stress. **Current Plant Biology**, Amsterdam, v. 22, n. 100135, p. 1-8, 2020. DOI: 10.1016/j.cpb.2020.100135.

BATEY, T. Soil compaction and soil management - A review. **Soil Use and Management**, Chichester, v. 25, n. 4, p. 335–345, 2009.

BATIONO, A.; KIHARA, J.; VANLAUWE, B.; WASWA, B.; KIMETU, J. Soil organic carbon dynamics, functions and management in West African agro-ecosystems. **Agricultural Systems**, Amsterdam, v. 94, n. 1, p. 13–25, 2007. DOI: 10.1016/j.agsy.2005.08.011.

BATISTA, E. R. B.; ZANCHI, C. S.; FERREIRA, D. A.; SANTIAGO, F. L. de A.; PINTO, F. A.; SANTOS, J. V. dos; PAULINO, H. B.; CARNEIRO, M. A. C. Atributos biológicos do solo em sistema integrado de produção agropecuária. In: SOUZA, E. D.; SILVA, F. D. da; ASSMAN, T. S.; CARNEIRO, M. A. C.; CARVALHO, P. C. de F.; PAULINO, H. B. (eds.). **Sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil**. Tubarão: Copiart, 2018. p. 71-90.

BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). 1996. 240p. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BEGAM, A.; MONDAL, R.; DUTTA, S.; BANERJEE, H. Impact of Cereal+legume Intercropping Systems on Productivity and Soil Health -A Review. **International**

Journal of Bio-resource and Stress Management, Kolkata, v. 11, n. 3, p. 274–286, 2020.

BERDENI, D.; TURNER, A.; GRAYSON, R. P.; LLANOS, J.; HOLDEN, J.; FIRBANK, L. G.; LAPPAGE, M. G.; HUNT, S. P. F.; CHAPMAN, P. J.; HODSON, M. E.; HELGASON, T.; WATT, P. J.; LEAKE, J. R. Soil quality regeneration by grass-clover leys in arable rotations compared to permanent grassland: Effects on wheat yield and resilience to drought and flooding. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 212, p. 1-14, 2021. DOI: 10.1016/j.still.2021.105037.

BERTOLLO, A. M.; MORAES, M. T. de; FRANCHINI, J. C.; SOLTANGHEISI, A.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; LEVIEN, R.; DEBIASI, H. Precrops alleviate soil physical limitations for soybean root growth in an Oxisol from southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 206, n. 104820, p. 1-11, 2021. DOI: 10.1016/j.still.2020.104820.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. da C.; SILVA, A. P. da. Efeito da compactação na produtividade de cultivares de soja em Latossolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 787-794, 2006.

BEYLICH, A.; OBERHOLZER, H.; SCHRADER, S.; HÖPER, H.; WILKE, B. Evaluation of soil compaction effects on soil biota and soil biological processes in soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 109, p. 133-143, 2010. DOI: 10.1016/j.still.2010.05.010

BLANCO-CANQUI, H.; MIKHA, M. M.; PRESLEY, D. R.; CLAASSEN, M. M. Addition of Cover Crops Enhances No-Till Potential for Improving Soil Physical Properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 75, n. 4, p. 1471–1482, 2011.

BLANCO-CANQUI, H.; WORTMANN, C. S. Does occasional tillage undo the ecosystem services gained with no-till? A review. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 198, p. 1-14, 2020. DOI: 10.1016/j.still.2019.104534.

BONETTI, J. de A.; ANGHINONI, I.; MORAIS, M.T. de; FINK, J.R. Resilience of soils with different texture, mineralogy and organic matter under long-term conservation systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, n.174, p. 104-112, 2017.

BONFANTE, P.; GENRE, A. Plants and arbuscular mycorrhizal fungi: an evolutionary-developmental perspective. **Trends in Plant Science**, Cambridge, v. 13, n. 9, p. 492-498, 2008. DOI: 10.1016/j.tplants.2008.07.001.

BONONI, L. **Impacto da umidade do solo sobre a estrutura das comunidades bacterianas e sobre as atividades enzimáticas em solo da Caatinga e da Mata Atlântica**. Dissertação (Mestrado em Ciências: Microbiologia Agrícola). 2016. 83 p.

Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, Piracicaba.

BOT, A.; BENITES, J. **The importance of soil organic matter:** Key to drought-resistant soil and sustained food production. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2005. 78 p.

BOUWMEESTER, H. J.; ROUX, C.; LOPEZ-RAEZ, J. A.; BÉCARD, G. Rhizosphere communication of plants, parasitic plants and AM fungi. **Trends in Plant Science**, Cambridge, v. 12, n. 5, p. 224-230, 2007. DOI: 10.1016/j.tplants.2007.03.009.

BRAIDA, J. A.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M. Matéria orgânica e seu efeito na física do solo. In: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S. da; REICHERT, J. M. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 221-267.

BRANDAN, C. P.; CHAVARRÍA, D.; HUIDOBRO, J.; MERILES, J. M.; BRANDAN, C. P.; VARGAS GIL, S. Influence of a tropical grass (*Brachiaria brizantha* cv. Mulato) as cover crop on soil biochemical properties in a degraded agricultural soil. **European Journal of Soil Biology**, Paris, v. 83, p. 84–90, 2017. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2017.10.009.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: A review. **Geoderma**, Amsterdam, v. 124, n. 1–2, p. 3–22, 2005. DOI: 10.1016/j.geoderma.2004.03.005.

BRUNDRETT, M.; BOUGHER, N.; DELL, B.; GROVE, T.; MALAJCZUK, N. **Working with Mycorrhizas in Forest and Agriculture**. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 1996. 374 p.

BUADE, R.; CHOURASIYA, D.; PRAKASH, A.; SHARMA, M. P. Changes in Arbuscular Mycorrhizal Fungal Community Structure in Soybean Rhizosphere Soil Assessed at Different Growth Stages of Soybean. **Agricultural Research**, Heidelberg, v. 10, n. 1, p. 32–43, 2021. DOI: 10.1007/s40003-020-00481-4.

BÜNEMANN, E. K.; BONGIORNO, G.; BAI, Z.; CREAMER, R. E.; DE DEYN, G.; DE GOEDE, R.; FLESKENS, L.; GEISSEN, V.; KUYPER, T. W.; MÄDER, P.; PULLEMAN, M.; SUKKEL, W.; VAN GROENIGEN, J. W.; BRUSSAARD, L. Soil quality – A critical review. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 120, p. 105–125, 2018. DOI: 10.1016/j.soilbio.2018.01.030.

CALVET, C.; PINOCHET, J.; CAMPRUBÍ, A.; ESTAÚN, V.; RODRÍGUEZ-KÁBANA, R. Evaluation of natural chemical compounds against root-lesion and root-knot nematodes and side-effects on the infectivity of arbuscular mycorrhizal fungi. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 107, p. 601-605, 2001.

CANILLAS, E. C.; SALOKHE, V. M. Regression analysis of some factors influencing

soil compaction. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 61, n. 3–4, p. 167–178, 2001.

CASSOL, E. A.; DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A. Sistema de plantio direto: Evolução e implicações sobre a conservação do solo e da água. *In*: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S. da; REICHERT, J. M. Tópicos em ciência do solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 5, p. 333-370, 2007.

CASTRO, A. M. de; PEREIRA-JUNIOR, N. Produção, propriedades e aplicação de celulases na hidrólise de resíduos agroindustriais. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n. 1, p. 181-188, 2010. DOI: 10.1590/s0100-40422010000100031.

ÇELİK, İ.; GÜNAL, H.; ACAR, M.; ACIR, N.; BEREKET BARUT, Z.; BUDAK, M. Evaluating the long-term effects of tillage systems on soil structural quality using visual assessment and classical methods. **Soil Use and Management**, Chichester, v. 36, n. 2, p. 223–239, 2020. DOI: 10.1111/sum.12554.

CHEN, Y.; TSAI, C.; REKHA, P. D.; GHATE, S. D.; HUANG, H.; HSU, H.; LIAW, L.; YOUNG, C. Agricultural management practices influence the soil enzyme activity and bacterial community structure in tea plantations. **Botanical Studies**, Taipei, v. 62, n. 8, p. 1-13, 2021. DOI: 10.1186/s40529-021-00314-9.

CORREIA, M. E. F.; OLIVEIRA, L. C. M. de. Fauna de solo: aspectos gerais e metodológicos. **Embrapa Agrobiologia**, Seropédica, n. 112, 2000. 46 p.

COSTA, E. M. da; SILVA, H. F.; RIBEIRO, P. R. de A. Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. **Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 1842-1860, 2013.

CUNHA, T. J. F.; MENDES, A. M. S.; GIONGO, V. Matéria orgânica do solo. *In*: NUNES, R. R.; REZENDE, M. O. O. (Org.). **Recurso solo: propriedades e usos**. São Carlos: Cubo, 2015. p. 273-293.

DEBIASI, J. C. F.; FRANCHINI, J. C.; CONTE, O.; BALBINOT-JUNIOR, A. A.; TORRES, E.; SARAIVA, O. F.; OLIVEIRA, M. C. N. de. Sistemas de preparo do solo: trinta anos de pesquisas na Embrapa Soja. **Embrapa Soja**, Londrina, n. 342, p. 1-72, 2013. ISSN 2176-2937.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; SILVA JUNIOR, J. P. da; WIETHÖLTER, S.; FAGANELLO, A.; SATTLER, A.; SANTI, A. *In*: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. da (Ed.). **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. p.185-216.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FANANELLO, A.; SANTI, A.; DENARDIN, N. D.; WIETHÖLTER, S. Diretrizes do sistema plantio direto no contexto da agricultura conservacionista. **Embrapa Trigo**, Passo Fundo, n. 141, p. 1-15, 2012.

DERPSCH, R. Historical review of no-tillage cultivation of crops. *In: THE 1st JIRCAS SEMINAR ON SOYBEAN RESEARCH*, 1., 1998, Foz do Iguassu. **Anais...** Foz do Iguassu: JIRCAS Working Report, 1998.

DERPSCH, R.; FRIEDRICH, T. Development and current status of no-till adoption in the world. *In: 18th TRIENNIAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL SOIL TILLAGE RESEARCH ORGANIZATION*, 18., 2009, Izmir. **Anais...** Izmir: Soil Tillage Research Organization, 2009.

DIAS-JUNIOR, M. de S.; Compactação do solo. *In: NOVAIS, R.F. de; ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. (eds.). Tópicos em ciência do solo*. Vol. 1. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 54-94.

DICK, R. P.; BREACKWELL, D. P.; TURCO, R. F. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. *In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (eds.). Methods for assessing soil quality*. Madision: SSSA, 1996. p. 247-271.

DICK, D. P.; NOVOTNY, E. H.; DIECKOW, J.; BAYER, C. Química da matéria orgânica. *In: MELO, V. de F.; ALLEONI, R. F. (ed.). Química e mineralogia do solo. Conceitos básicos e aplicações*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. p. 697-763.

DOU, F.; WRIGHT, A. L.; MYLAVARAPU, R. S.; JIANG, X.; MATOCHA, J. E. Soil Enzyme Activities and Organic Matter Composition Affected by 26 Years of Continuous Cropping. **Pedosphere**, Beijing, v. 26, n. 5, p. 618–625, 2016. DOI: 10.1016/S1002-0160(15)60070-4.

DU, Y.; ZHAO, Q.; CHEN, L.; YAO, X.; XIE, F. Effect of drought stress at reproductive stages on growth and nitrogen metabolism in soybean. **Agronomy**, Basel, v. 10, n. 2, p. 1-21, 2020.

DUCHENE, O.; VIAN, J. F.; CELETTE, F. Intercropping with legume for agroecological cropping systems: Complementarity and facilitation processes and the importance of soil microorganisms. A review. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 240, p. 148–161, 2017. DOI: 10.1016/j.agee.2017.02.019.

EIVAZI, F.; TABATABAI, M. A. Glucosidases and galactosidases in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 20, n. 5, p. 601-606, 1988.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; BAILEY, B. A. Role of cover crops in improving soil and row crop productivity. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 36, n. 20, p. 2733–2757, 2005.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. Stages of Soybean Development. **Special Report**, Ames, n. 80, p. 1-12, 1977.

FRANCHINI, J. C.; BALBINOT-JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; CONTE, O. Desempenho da soja em consequência de manejo de pastagem, época de dessecação e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 12, p.1131-1138, 2015. DOI: 10.1590/S0100-204X2015001200002.

FRANZLUEBBERS, A. J. Grass roots of soil carbon sequestration. **Carbon Management**, Abingdon, v. 3, n. 1, p. 9–11, 2012.

FURLANI, C. E. A.; ZERBATO, C. **Operações e manutenção de escarificadores e subsoladores**. Curitiba: SENAR AR-PR, 2020. 67 p.

GALDOS, M. V.; BROWN, E.; ROSOLEM, C. A.; PIRES, L. F.; HALLETT, P. D.; MOONEY, S. J. Brachiaria species influence nitrate transport in soil by modifying soil structure with their root system. **Scientific Reports**, London, v. 10, n. 1, p. 1–11, 2020.

GAO, W.; REN, T.; BENGOUGH, A. G.; AUNEAU, L.; WATTS, C. W.; WHALLEY, W. R. Predicting Penetrometer Resistance from the Compression Characteristic of Soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 76, n. 2, p. 361–369, 2012.

GAO, W.; WANG, P.; WU, Q. Functions and Application of Glomalin-Related Soil Proteins: A Review. **Sains Malaysiana**, Bangi, v. 48, n. 1, p. 111-119, 2019.

GARDNER, T. G.; SENWO, Z. N. Enzymatic hydrolysis of an organic sulfur compound. **Advances in Enzyme Research**, Irvine, v. 7, n. 1, p. 1-13, 2019. DOI: 10.4236/aer.2019.71001.

GIAROLA, N. F. B.; DA SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; BALL, B.; ROSA, J. A. Avaliação visual da qualidade da estrutura do solo em Latossolos sob sistema plantio direto. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 4, p. 479–482, 2010.

GIAROLA, N. F. B.; DA SILVA, Álvaro P.; TORMENA, C. A.; GUIMARÃES, R. M. L.; BALL, B. C. On the Visual Evaluation of Soil Structure: The Brazilian experience in Oxisols under no-tillage. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 127, p. 60–64, 2013. DOI: 10.1016/j.still.2012.03.004.

GICHANGI, E. M.; NJARUI, D. M. G.; GHIMIRE, S. R.; GATHERU, M.; MAGIROI, K. W. N. Effects of cultivated Brachiaria grasses on soil aggregation and stability in the semi-arid tropics of Kenya. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, Merida, v. 19, n. 2, p. 205–217, 2016.

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, Oxford, v. 84, n. 3, p. 489-500, 1980.

GLAZE-CORCORAN, S.; HASHEMI, M.; SADEGHPOUR, A.; JAHANZAD, E.; KESHAVARZ AFSHAR, R.; LIU, X.; HERBERT, S. J. Understanding intercropping to improve agricultural resiliency and environmental sustainability. **Advances in Agronomy**, Maryland Heights, v. 162, p. 200-256, 2020. DOI: 10.1016/bs.agron.2020.02.004.

GMACH, M. R.; CHERUBIN, M. R.; KAISER, K.; CERRI, C. E. P. Processes that influence dissolved organic matter in the soil: a review. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 77, n. 3, 2020. DOI: 10.1590/1678-992X-2018-0164.

GRANDY, A. S.; ROBERTSON, G. P. Aggregation and Organic Matter Protection Following Tillage of a Previously Uncultivated Soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 70, n. 4, p. 1398–1406, 2006. DOI: 10.2136/sssaj2005.0313.

GRZESIAK, S.; GRZESIAK, M.T.; HURA, T.; MARCINSKA, I.; RZEPKA, A. Changes in root system structure, leaf water potential and gas exchange of maize and triticale seedlings affected by soil compaction. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 88, p. 2-10, 2013. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2012.01.010.

GU, S.; WU, S.; GUAN, Y.; ZHAI, C.; ZHANG, Z.; BELLO, A.; GUO, X.; YANG, W. Arbuscular mycorrhizal fungal community was affected by tillage practices rather than residue management in black soil of northeast China. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 198, n. 104552, p. 1-9, 2020. DOI: 10.1016/j.still.2019.104552

GUIMARÃES, R. M. L.; BALL, B. C.; TORMENA, C. A. Improvements in the visual evaluation of soil structure. **Soil Use and Management**, Chichester, v. 27, n. 3, p. 395–403, 2011.

GUIMARÃES, R. M. L.; NEVES JUNIOR, A. F.; SILVA, W. G.; ROGERS, C. D.; BALL, B. C.; MONTES, C. R.; PEREIRA, B. F. F. The merits of the Visual Evaluation of Soil Structure method (VESS) for assessing soil physical quality in the remote, undeveloped regions of the Amazon basin. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 173, p. 75–82, 2017. DOI: 10.1016/j.still.2016.10.014.

GUO, Y.; FAN, R.; ZHANG, X.; ZHANG, Y.; WU, D.; MCLAUGHLIN, N.; ZHANG, S.; CHEN, X.; JIA, S.; LIANG, A. Tillage-induced effects on SOC through changes in aggregate stability and soil pore structure. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 703, n. 4888, p. 1-9, 2020. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.134617.

HAIR JR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688 p.

HAKANSSON, I.; VOORHEES, W.B. Soil Compaction. *In*: LAL, R.; BLUM, W.E.H.; VALENTIN, C.; STEWART, B.A. **Methods for Assessment of Soil Degradation**. CRC Press: Boca Raton, 1997. p. 167-179.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 82, n. 2, p. 121–145, 2005.

HEATON, E.; VOIGT, T.; LONG, S. P. A quantitative review comparing the yields of two candidate C4 perennial biomass crops in relation to nitrogen, temperature and water. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 27, n. 1, p. 21–30, 2004. DOI: 10.1016/j.biombioe.2003.10.005.

HEIJDEN, M. G. A. van der; MARTIN, F. M.; SELOSSE, M. A.; SANDERS, I. R. Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. **New Phytologist**, Chichester, v. 205, p. 1406-1423, 2015. DOI: 10.1111/nph.13288.

HERNANI, L. C. Perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão: dez anos de pesquisa. **Embrapa Agropecuária Oeste**, Dourados, n. 2, 1999. 14 p.

HILLEL, D. **Introduction to Environmental Soil Physics**. San Diego: Academic Press, 2003. 493 p.

HODGE, A.; BERTA, G.; DOUSSAN, C.; MERCHAN, F.; CRESPI, M. Plant root growth, architecture, and function. **Plant Soil**, Dordrecht, n. 321, p. 153-187, 2009.

HODGE, A.; STORER, K. Arbuscular mycorrhiza and nitrogen: implications for individual plants through to ecosystems. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 386, p. 1-19, 2015. DOI: 10.1007/s11104-014-2162-1.

HOLÁTKO, J.; BRTNICKÝ, M.; KUCERÍK, J.; KATIONAVÁ, M.; ELBL, J.; KINTL, A.; KYNICKÝ, J.; BENADA, O.; DATTA, R.; JANSÁ, J. Glomalin – Truths, myths, and the future of this elusive soil glycoprotein. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 153, p. 1-11, 2021. DOI: 10.1016/j.soilbio.2020.108116.

HOSSAIN, M. B. Glomalin and contribution of glomalin to carbon sequestration in soil: a review. **Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology**, v. 9, n. 1, p. 191-196, 2021. DOI: 10.24925/turjaf.v9i1.191-196.3803.

HYDBOM, S.; OLSSON, P. A. Biochemical signatures reveal positive effects of conservation tillage on arbuscular mycorrhizal fungi but not on saprotrophic fungi and bacteria. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 157, p. 1-8, 2021. DOI: 10.1016/j.apsoil.2020.103765.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P. DA; TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1493–1500, 2000.

JANSÁ, J.; SMITH, F.A.; SMITH, S.E. Are there benefits of simultaneous root colonization by different arbuscular mycorrhizal fungi? **New Phytologist**, Chichester, v. 177, p. 779-789, 2008.

JIN, K.; SLEUTEL, S.; BUCHAN, D.; DE NEVE, S.; CAI, D. X.; GABRIELS, D.; JIN, J. Y. Changes of soil enzyme activities under different tillage practices in the Chinese Loess Plateau. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 104, n. 1, p. 115–120, 2009. DOI: 10.1016/j.still.2009.02.004.

JIN, K.; SHEN, J.; ASHTON, R. W.; DODD, I. C.; PARRY, M. A.; WHALLEY, R. How do roots elongate in a structured soil? **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 64, n. 15, p. 4761-4777, 2013. DOI: 10.1093/jxb/ert286.

KABIR, Z. Tillage or no-tillage: Impact on mycorrhizae. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 85, n. 1, p. 23-29, 2005. DOI: 10.4141/P03-160.

KARLEN, D. L.; DITZLER, C. A.; ANDREWS, S. S. Soil quality: Why and how?. **Geoderma**, Amsterdam, v. 114, n. 4, p. 145–156, 2003.

KARLEN, D. L.; EASH, N. S.; UNGER, P. W. Soil and crop management effects on soil quality indicators. **American Journal of Alternative Agriculture**, Cambridge, v. 7, n. 1–2, p. 48–55, 1992.

KHATOON B, H. G.; KHATOON, H.; SOLANKI, P.; NARAYAN, M.; TEWARI, L.; RAI, J.; HINA KHATOON, C. Role of microbes in organic carbon decomposition and maintenance of soil ecosystem. **International Journal of Chemical Studies**, New Delh, v. 5, n. 6, p. 1648–1656, 2017.

KOIDE, R. T.; MOSSE, B. A history of research on arbuscular mycorrhiza. **Mycorrhiza**, Heidelberg, v. 14, p. 145-163, 2004. DOI: 10.1007/s00572-004-0307-4.

KORNECKI, T. S.; BALKCOM, K. S. Organic kale and cereal rye grain production following a sunn hemp cover crop. **Agronomy**, Basel, v. 10, n. 12, p. 1-16, 2020.

KUANG, B.; MAHMOOD, H. S.; QURASHI, M. Z.; HOOGMOED, W. B.; MOUAZEN, A. M.; VAN HENTEN, E. J. Sensing soil properties in the laboratory, in situ, and on-line. A review. **Advances in Agronomy**, Maryland Heights, v. 114, p. 155-223, 2012. DOI: 10.1016/B978-0-12-394275-3.00003-1.

LAL, R. Degradation and resilience of soils. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, London, v. 352, n. 1356, p. 997–1010, 1997.

LEITE, L. F. C. **Matéria Orgânica do solo**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2004. 31p.

LI, Y.; ZHANG, Q.; CAI, Y.; YANG, Q.; CHANG, S. X. Minimum tillage and residue retention increase soil microbial population size and diversity: Implications for conservation tillage. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 716, p. 1-9, 2020. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.137164.

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O. da; MARTINS, A. F.; SELBACH, P. A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo.

Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 45-55, 2012. DOI: 10.1590/s0100-06832012000100004.

LOPES, A. A. de C. **Interpretação de indicadores microbiológicos em função da matéria orgânica do solos e dos rendimentos de soja e milho**. Dissertação (Mestrado em Agronomia). 2012. 96 p. Universidade de Brasília, Faculdade e Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília.

LOPES, A. A. de C.; SOUSA, D. M. G. de; CHAER, G. M.; REIS JUNIOR, F. B. dos; GOEDERT, W. J.; MENDES, I. de C. Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 77, n. 2, p. 461-472, 2013. DOI: 10.2136/sssaj2012.0191.

LÓPEZ-GARRIDO, R.; MADEJÓN, E.; LEÓN-CAMACHO, M.; GIRÓN, I.; MORENO, F.; MURILLO, J. M. Reduced tillage as an alternative to no-tillage under Mediterranean conditions: A case study. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 140, p. 40–47, 2014. DOI: 10.1016/j.still.2014.02.008.

MAHL, D.; DA SILVA, R. B.; GAMERO, C. A.; SILVA, P. R. A. Resistência do solo à penetração, cobertura vegetal e produtividade do milho em plantio direto escarificado. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 5, p. 741–747, 2008. DOI: 10.4025/actasciagron.v30i5.5976.

MAKOL, J. H. J. R.; NDAKIDEMI, P. A. Selected soil enzymes: examples of their potential roles in the ecosystem. **African Journal of Biotechnology**, Sapele, v. 7, n. 3, p. 181-191, 2008.

MANGALASSERY, S.; MOONEY, S. J.; SPARKES, D. L.; FRASER, W. T.; SJÖGERSTEN, S. Impacts of zero tillage on soil enzyme activities, microbial characteristics and organic matter functional chemistry in temperate soils. **European Journal of Soil Biology**, Paris, v. 68, p. 9–17, 2015. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2015.03.001.

MARTINO, D. L.; SHAYKEWICH, C. F. Root penetration profiles of wheat and barley as affected by soil penetration resistance in field conditions. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 74, n. 2, p. 193–200, 1994.

MARTUCCI, F.C. Escarificador no preparo do solo. **A Granja**, Porto Alegre, v.16, n. 6, p. 44-46, 1985.

MATUSSO, J. M. M.; MUGWE, J. N.; MUCHERU-MUNA, M. Potential role of cereal-legume intercropping systems in integrated soil fertility management in smallholder farming systems of Sub-Saharan Africa. **Research Journal of Agriculture and Environmental Management**, Abuja, v. 3, n. 3, p. 162–174, 2014.

MENDES, I. de C.; REIS JUNIOR, F. B. dos. Uso de parâmetro microbiológicos como indicadores para avaliar a qualidade do solo e a sustentabilidade dos agroecossistemas. **Embrapa Cerrados**, Planaltina, n. 112, p. 1-34, 2004.

MENDES, I. de C.; SOUSA, D. M. de; REIS JUNIOR, F. B. dos; LOPES, A. A. de C. Bioanálise de solo: como acessar e interpretar a saúde do solo. **Embrapa Cerrados**, Planaltina, n. 38, p 1-23, 2018.

MENDES, I de C.; CHAER, G. M.; REIS JUNIOR, F. B. dos; SOUSA, D.M. de S.; DANTAS, O.D.; MALAQUIAS, J.V. Tecnologia BioAS: uma maneira simples e eficiente de avaliar a saúde do solo. **Embrapa Cerrados**, Planaltina, n. 369, p. 1-50, 2021.

MENEZES, L. A. S.; LEANDRO, W. M.; DE OLIVEIRA, J. P.; DE FERREIRA, A. C. B.; DAS SANTANA, J. G.; BARROS, R. G. Produção de fitomassa de diferentes espécies, isoladas e consorciadas, com potencial de utilização para cobertura do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, n. 1, p. 7–12, 2009.

MEROTTO-JUNIOR., A.; MUNDSTOCK, C. M. Crescimento de raízes de trigo afetado pela resistência mecânica do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 197–202, 1999.

MEZA, K.; VANEK, S. J.; SUELDO, Y.; OLIVERA, E.; SCURRAH, M.; FONTE, S. J. Grass – Legume Mixtures Show Potential to Increase Above- and Belowground Biomass Production for Andean Forage-Based Fallows. **Agronomy**, Basel, v. 12, n. 142, p.1-20, 2022. DOI: 10.3390/agronomy12010142.

MHLANGA, B.; PELLEGRINO, E.; THIERFELDER, C.; ERCOLI, L. Conservation agriculture practices drive maize yield by regulating soil nutrient availability, arbuscular mycorrhizas, and plant nutrient uptake. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 277, p. 1-14, 2022. DOI: 10.1016/j.fcr.2021.108403

MOITINHO, M. R.; FERNANDES, C.; TRUBER, P. V.; MARCELO, A. V.; BICALHO, S. Arbuscular mycorrhizal fungi and soil aggregation in a no-tillage system with crop rotation. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 189, p. 482–491, 2020. DOI: 10.1002/jpln.201900456.

MONCADA, M. A. P. **Integrated assessment of soil structural quality**. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas Aplicadas). 2014. 214 p. Universidade de Ghent, Bélgica.

MORAES, M. T. de; SILVA, V. da; ZWIRTES, A. L.; CARLESSO, R. Use of penetrometers in agriculture: a review. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 1, p. 179-193, 2014.

MOSJIDIS, J. A.; WEHTJE, G. Weed control in sunn hemp and its ability to suppress weed growth. **Crop Protection**, Amsterdam, v. 30, n. 1, p. 70–73, 2011. DOI: 10.1016/j.cropro.2010.08.021.

MUJDECI, M.; ALI ISILDAR, A.; UYGUR, V.; ALABOZ, P.; UNLU, H.; SENOL, H. Cooperative effects of field traffic and organic matter treatments on some compaction-related soil properties. **Solid Earth**, Goettingen, v. 8, n. 1, p. 189–198, 2017.

NAWAZ, M. F.; BOURRIÉ, G.; TROLARD, F. Soil compaction impact and modelling. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 33, n. 2, p. 291–309, 2013.

NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Indicadores microbiológicos da qualidade do solo. In: REUNIÃO PARANAENSE DE CIÊNCIA DO SOLO, 3., 2013, Londrina. Sistemas conservacionistas de produção e sua interação com a Ciência do Solo. **Resumos...** Londrina: IAPAR, 2013. p.539-544.

NUNES, M. R.; KARLEN, D. L.; MOORMAN, T. B. Tillage intensity effects on soil structure indicators – A US meta-analysis. **Sustainability**, Basel, v. 12, n. 2071, p. 1-17, 2020. DOI: 10.3390/su12052071.

OGUIKE, P. C.; MBAGWU, J. S. C. Variations in Some Physical Properties and Organic Matter Content of Soils of Coastal Plain Sand under Different Land Use Types. **World Journal of Agricultural Sciences**, Dubai, v. 5, n. 1, p. 63–69, 2009.

OHTOMO, R.; MORIMOTO, S.; NAGAOKA, K.; KARASAWA, T.; NAKAMURA, T.; OKA, N. Predicting arbuscular mycorrhizal fungal colonization of soybean in farmers' fields by using infection unit density. **Soil Science and Plant Nutrition**, Singapore, v. 69, n. 1, p. 10–18, 2023. DOI: 10.1080/00380768.2022.2153345.

OLANDINI, É.; NASCIMENTO, M. M. B.; MACEDO, R. S.; SOUZA, R. F. S.; SOUZA, S. L.; SOUSA, C. S.; LAMBAIS, G. R.; BAKKER, A. P. Atividade microbiana e carbono orgânico do solo em agroecossistemas sob diferentes manejos no semiárido paraibano. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, Aquidaba, v. 12, n. 8, p. 412-427, 2021. DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.008.0035.

OLIVEIRA, F. C. C.; FERREIRA, G. W. D.; SOUZA, J. L. S.; VIEIRA, M. E. O.; PEDROTTI, A. Soil physical properties and soil organic carbon content in northeast Brazil: long-term tillage systems effects. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 77, n. 4, p. 1-6, 2020.

OLUBANJO, O. O.; YESSOUFOU, M. A. Effect of Soil Compaction on the Growth and Nutrient Uptake of Zea Mays L. **Sustainable Agriculture Research**, Beaver Creek, v. 8, n. 2, p. 46, 2019.

OSMAN, K. T. Physical Deterioration of Soil. Soil. In: OSMAN, K.T. **Degradation, Conservation and Remediation**. Dordrecht: Springer, 2014. p. 45-67.

OTTO, R.; SILVA, A. P.; FRANCO, H. C. J.; OLIVEIRA, E. C. A.; TRIVELIN, P. C. O. High soil penetration resistance reduces sugarcane root system development. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 117, p. 201–210, 2011. DOI: 10.1016/j.still.2011.10.005.

PAGLIAI, M.; VIGNOZZI, N.; PELLEGRINI, S. Soil structure and the effect of management practices. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 79, n. 2, p. 131–143, 2004.

PANETTIERI, M.; KNICKER, H.; BERNIS, A. E.; MURILLO, J. M.; MADEJÓN, E. Moldboard plowing effects on soil aggregation and soil organic matter quality assessed by ^{13}C CPMAS NMR and biochemical analyses. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 177, p. 48–57, 2013. DOI: 10.1016/j.agee.2013.05.025.

PASSOS, A. M. A. dos; ALVARENGA, R. C.; SANTOS, F. C. dos. Sistema de Plantio Direto. In: NOBRE, M. M.; OLIVEIRA, I. R. de (Ed.). **Agricultura de baixo carbono: tecnologias e estratégias de implantação**. Brasília: Embrapa, 2018. p. 61-104.

PAULA, A. M. de. Micorrizas arbusculares. In: DIONÍSIO, J. A.; PIMENTEL, I. C.; SIGNOR, D.; PAULA, A. M. de; MACEDA, A.; MATTANA, A. L. **Guia prático de biologia do solo**. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2016. p. 33-42.

PAZUTTI, L. V. B.; CHAER, G. M. Desenvolvimento de metodologia de baixo custo para análise de β -glicosidase em solos. **Embrapa Agrobiologia**, Seropédica, n. 92, 23 p., 2012.

PEIXOTO, D. S.; SILVA, L. de C. M. da; MELO, L. B. B. de; AZEVEDO, R. P.; ARAÚJO, B. C. L.; CARVALHO, T. S. de; MOREIRA, S. G.; CURI, N.; SILVA, B. M. Occasional tillage in no-tillage systems: A global meta-analysis. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 745, p. 1-14, 2020. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140887.

PELLEGRINO, E.; GAMPER, H. A.; CICCOLINI, V.; ERCOLI, L. Forage Rotations Conserve Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Soil Fertility. **Frontiers in Microbiology**, v. 10, n. 2969, p. 1-17, 2020. DOI: 10.3389/fmicb.2019.02969.

PERALTA, G.; ALVAREZ, C. R.; TABOADA, M. A. Soil compaction alleviation by deep non-onversion tillage and crop yield responses in no tilled soils of the Pampas region of Argentina. A meta-analysis. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 211, p. 1-12, 2021.

PHAM, T. G.; NGUYEN, H. T.; KAPPAS, M. Assessment of soil quality indicators under different agricultural land uses and topographic aspects in Central Vietnam. **International Soil and Water Conservation Research**, Beijing, v. 6, n. 4, p. 280–288, 2018. DOI: 10.1016/j.iswcr.2018.08.001.

PIRES, L. F.; BORGES, J. A. R.; ROSA, J. A.; COOPER, M.; HECK, R. J.; PASSONI, S.; ROQUE, W. L. Soil structure changes induced by tillage systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 165, p. 66–79, 2017. DOI: 10.1016/j.still.2016.07.010.

POSSAMAI, E. J.; CONCEIÇÃO, P. C.; AMADORI, C.; BARTZ, M. L. C.; RALISCH, R.; VICENSI, M.; MARX, E. F. Adoption of the no-tillage system in Paraná State: A (re)view. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 46, p. 1-24, 2022. DOI: 10.36783/18069657rbc20210104.

PRIMIERY, S.; SANTOS, J. C. P.; ANTUNES, P. M. Nodule-associated bacteria alter the mutualism between arbuscular mycorrhizal fungi and N_2 fixing bacteria. **Soil**

Biology and Biochemistry, Oxford, v. 154, p. 1-7, 2021. DOI: 10.1016/j.soilbio.2021.108149.

PULIDO-MONCADA, M.; KATUWAL, S.; REN, L.; CORNELIS, W.; MUNKHOLM, L. Impact of potential bio-subsoilers on pore network of a severely compacted subsoil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 363, p. 1-11, 2020. DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.114154.

PULROLNIK, K. Transformações do carbono no solo. **Embrapa Cerrados**, Planaltina, n. 264, p. 1-36, 2009.

PURCENA, L. L. A. **Prospecção de enzimas de solo de Cerrado sob cultivo de cana-de-açúcar**. Tese (Doutorado em Biologia). 2014. 103 p. Universidade Federal de Goiás, Instituto de Ciências Biológicas, Goiânia.

RAFFA, D. W.; BOGDANSKI, A.; TITTONELL, P. How does crop residue removal affect soil organic carbon and yield? A hierarchical analysis of management and environmental factors. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 81, p. 345-355, 2015. DOI: 10.1016/j.biombioe.2015.07.022.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285p

RALISCH, R.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; TOMAZI, M.; HERNANI, L. C.; MELHO, A. da S.; SANTI, A.; MARTINS, A.L. da S.; BONA, F.D. de. Diagnóstico rápido da estrutura do solo – DRES. **Embrapa Soja**, Londrina, n. 390, 2017. 64 p.

RANAIVOSON, L.; NAUDIN, K.; RIPOCHE, A.; AFFHOLDER, F.; RABEHARISOA, L.; CORBEELS, M. Agro-ecological functions of crop residues under conservation agriculture. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 37, n. 26, p. 1-17, 2017.

RAPER, R. L. Agricultural traffic impacts on soil. **Journal of Terramechanics**, Oxford, v. 42, n. 4, p. 259–280, 2005.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; SUZUKI, L. E. A. S.; HORN, R. Mecânica do solo. In: LIER, Q. de J. (ed.). **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 29-102.

RILLIG, M. C.; MUMMEY, D. L. Mycorrhizas and soil structure. **New Phytologist**, Chichester, v. 171, p. 41-53, 2006. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2006.01750.x.

ROLDÁN, A.; SALINAS-GARCÍA, J. R.; ALGUACIL, M. M.; CARAVACA, F. Soil sustainability indicators following conservation tillage practices under subtropical maize and bean crops. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 93, n. 2, p. 273–282, 2007. DOI: 10.1016/j.still.2006.05.001.

ROSCOE, R.; BODDEY, R. M.; SALTON, J. C. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F.M.; SALTON, J.C. **Dinâmica da**

Matéria Orgânica em Sistema Conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p. 17-42.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C. Phosphorus and potassium budget in the soil–plant system in crop rotations under no-till. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 126, p. 127–133, 2013. DOI:10.1016/j.still.2012.08.003.

ROSOLEM, C. A.; PIVETTA, L. A. Mechanical and biological approaches to alleviate soil compaction in tropical soils: assessed by root growth and activity (Rb uptake) of soybean and maize grown in rotation with cover crops. **Soil Use and Management**, Chichester, v. 33, n. 1, p. 141–152, 2017. DOI: 10.1111/sum.12313.

SÁ, M. A. C. de; SANTOS-JUNIOR, J. de D. G. dos. Compactação do solo: consequências para o crescimento vegetal. **Embrapa Cerrados**, Planaltina, n. 136, p. 1-25, 2005.

SALINAS, J.; MECA, D.; DEL MORAL, F. Short-term effects of changing soil management practices on soil quality indicators and crop yields in greenhouses. **Agronomy**, Basel, v. 10, n. 4, p. 1-18, 2020.

SALTON, J. C.; TOMAZI, M. Sistema radicular de plantas e qualidade do solo. **Embrapa Agropecuária Oeste**, Dourados, n. 198, p. 1-5, 2014.

SAMBA, R. T.; SYLLA, S. N.; NEYRA, M.; GUEYE, M.; DREYFUS, B.; NDOYE, I. Biological nitrogen fixation in *Crotalaria* species estimated using the 15N isotope dilution method. **African Journal of Biotechnology**, Sapele, v. 1, n. 1, p. 17-22, 2002.

SÁNCHEZ, J. D. L.; CANABAL, V. A. G.; ARMBRECHT, I. Longitud del micélio y glomalina de micorrizas arbusculares: agregación del suelo en bosques y agroecosistemas andinos. **Acta Agronómica**, Palmira, v. 71, n. 2, p. 139-147, 2022. DOI: 10.15446/acag.v71n2.101536.

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

SATIRO, L. S.; CHERUBIN, M. R.; SAFANELLI, J. L.; LISBOA, I. P.; ROCHA JUNIOR, P. R. da; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. Sugarcane straw removal effects on Ultisols and Oxisols in south-central Brazil. **Geoderma Regional**, Amsterdam, v. 11, p. 86–95, 2017. DOI: 10.1016/j.geodrs.2017.10.005.

SCHNEIDER, F.; DON, A.; HENNINGS, I.; SCHMITTMANN, O.; SEIDEL, S. J. The effect of deep tillage on crop yield – What do we really know?. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 174, p. 193–204, 2017. DOI: 10.1016/j.still.2017.07.005.

SCHÜLER, A.; SCHWARZOTT, D.; WALKER, C. A new fungal phylum, the *Glomeromycota*: phylogeny and evaluation. **Mycological Research**, London, v. 105, n. 12, p. 1413-1421, 2001.

SHAH, A. N.; TANVEER, M.; SHAHZAD, B.; YANG, G.; FAHAD, S.; ALI, S.; BUKHARI, M. A.; TUNG, S. A.; HAFEEZ, A.; SOULIYANONH, B. Soil compaction effects on soil health and cropproductivity: an overview. **Environmental Science and Pollution Research**, Heidelberg, v. 24, n. 11, p. 10056–10067, 2017.

SHAH, K. K.; MODI, B.; PANDEY, H. P.; SUBEDI, A.; ARYAL, G.; PANDEY, M.; SHRESTHA, J. Diversified Crop Rotation: An Approach for Sustainable Agriculture Production. **Advances in Agriculture**, London, v. 21, p. 1-9, 2021. DOI: 10.1155/2021/8924087

SHAHEB, M. R.; VENKATESH, R.; SHEARER, S. A. A Review on the Effect of Soil Compaction and its Management for Sustainable Crop Production. **Journal of Biosystems Engineering**, Heidelberg, v. 46, n. 4, p. 417–439, 2021. DOI: 10.1007/s42853-021-00117-7

SHUKLA, S. K.; JAISWAL, V. P.; SHARMA, L.; PATHAK, A. D.; SINGH, A. K.; GUPTA, R.; AWASTHI, S. K.; GAUR, A.; ZUBAIR, A.; TIWARI, R. Sugarcane yield using minimum tillage technology through subsoiling: beneficial impact on soil compaction, carbon conservation and activity of soil enzymes. **Sugar Tech**, New Delh, v. 22, n. 6, p. 987-1006, 2020.

SINGH, P. K.; SINGH, M.; TRIPATHI, B. N. Glomalin: an arbuscular mycorrhizal fungal soil protein. **Protoplasma**, Vienna, v. 250, p. 663-669, 2013. DOI 10.1007/s00709-012-0453-z.

SINGER, M. Physical degradation of soils. In: SCALENGHE, R.; CERTINI, G. **Soils: basic concepts and future challenges**. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. p. 223-234. DOI:10.1017/CBO9780511535802.017.

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**, Sinop, n. 4, p. 1-23, 2018.

SPOOR, G. Alleviation of soil compaction: Requirements, equipment and techniques. **Soil Use and Management**, Chichester, v. 22, n. 2, p. 113–122, 2006.

STOTT, D. E.; ANDREWS, S. S.; LIEBIG, M. A.; WIENHOLD, B. J.; KARLEN, D. L. Evaluation of β -glucosidase activity as a soil quality indicator for the soil management assessment framework. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 74, n. 1, p. 107-119, 2010. DOI: 10.2136/sssaj2009.0029.

STEPONAVIČIENĖ, V.; BOGUŽAS, V.; SINKEVICIENE, A.; SKINULIENE, L. VAISVALAVICIUS, R.; SINKEVICIUS, A. Soil water capacity, poro size distribution, and CO₂ emission in different soil tillage systems and straw retention. **Plants**, Basel, v. 11, n. 614, p. 1-14, 2022.

SUL, W. J.; ASUMING-BREMPONG, S.; WANG, Q.; TOURLOUSSE, D. M.; PENTON, C. R.; DENG, Y.; RODRIGUES, J. L. M.; ADIKU, S. G. K.; JONES, J. W.; ZHOU, J.; COLE, J. R.; TIEDJE, J. M. Tropical agricultural land management

influences on soil microbial communities through its effect on soil organic carbon. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 65, p. 33–38, 2013. DOI: 10.1016/j.soilbio.2013.05.007.

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Arylsulfatase activity of soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 34, n. 2, p. 225-229, 1970.

TAURO, T. P.; NEZOMBA, H.; MTAMBANENGWE, F.; MAPFUMO, P. Germination, field establishment patterns and nitrogen fixation of indigenous legumes on nutrient-depleted soils. **Symbiosis**, Dordrecht, v. 48, p. 92-101, 2009.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Brasília: Empresa Solos, 2017. 574 p.

THORSØEA, M. H.; NOE, E. B.; LAMANDÉ, M.; FRELIH-LARSEN, A.; KJELDSSEN, C.; ZANDERSEN, M.; SCHJØNNING, P. Sustainable soil management - Farmers' perspectives on subsoil compaction and the opportunities and barriers for intervention. **Land Use Policy**, Oxford, v. 86, p. 427-437, 2019. DOI: 10.1016/j.landusepol.2019.05.017.

TRIPATHI, M. K.; CHAUDHARY, B.; SINGH, S. R.; BHANDARI, H. R. Growth and yield of sunnhemp (*Crotalaria juncea* L.) as influenced by spacing and topping practices. **African Journal of Agricultural Research**, Sapele, v. 8, n. 28, p. 3744–3749, 2013. DOI: 10.5897/AJAR12.6919.

VANDERHASSELT, A.; COOL, S.; D'HOSE, T.; CORNELIS, W. How tine characteristics of subsoilers affect fuel consumption, penetration resistance and potato yield of a sandy loam soil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 228, p. 1-12, 2023. DOI: 10.1016/j.still.2022.105631.

VAZ, D. de O. **Estudo das interações de íons metálicos divalente com ácidos fúlvicos extraídos das águas do rio Suwannee**. Tese (Doutorado em Química). 2006. 79 p. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

VEIGA, M. da; HORN, R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Soil compressibility and penetrability of an Oxisol from southern Brazil, as affected by long-term tillage systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 92, p. 104-113, 2007. DOI: 10.1016/j.still.2006.01.008.

VERCHOT, L. V.; BORELLI, T. Application of para-nitrophenol (pNP) enzyme assays in degraded tropical soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 37, p. 625-633, 2005.

VIANA, J. H. M.; TEIXEIRA, W. G.; DONAGEMMA, G. K. Umidade atual. In: Teixeira, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (eds.). **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3ª ed. Brasília: Embrapa, 2017. p. 29-31.

VLCEK, V.; POHANKA, M. Glomalin – an interesting protein part of the soil organic matter. **Soil and Water Research**, Prague, v. 15, n. 2, p. 67-74, 2020. DOI: 10.17221/29/2019-SWR.

WANG, X.; QI, J. Y.; ZHANG, X. Z.; LI, S. S.; LATIF VIRK, A.; ZHAO, X.; XIAO, X. P.; ZHANG, H. L. Effects of tillage and residue management on soil aggregates and associated carbon storage in a double paddy cropping system. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 194, p. 1-9, 2019. DOI: 10.1016/j.still.2019.104339.

WENDEL, A. S.; BAUKE, S. L.; AMELUNG, W.; KNIEF, C. Root-rhizosphere-soil interactions in biopores. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 475, n. 2, p. 253–277, 2022. DOI: 10.1007/s11104-022-05406-4.

WILKES, T. I.; WARNER, D. J.; EDMONDS-BROWN, V.; DAVIES, K. G.; DENHOLM, I. Zero tillage systems conserve arbuscular mycorrhizal fungi, enhancing soil glomalin and water stable aggregates with implications for soil stability. **Soil Systems**, Basel, v. 5, n. 1, p. 1–13, 2021. DOI: 10.3390/soilsystems5010004.

WILLIS, A.; RODRIGUES, B. F.; HARRIS, P. J. C. The ecology of arbuscular mycorrhizal fungi. **Critical reviews in plant sciences**, v. 32, n. 1, p. 1-20, 2013. DOI: 10.1080/07352689.2012.683375.

WILLEKENS, K.; VANDECASTEELE, B.; BUCHAN, D.; DE NEVE, S. Soil quality is positively affected by reduced tillage and compost in an intensive vegetable cropping system. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 82, p. 61–71, 2014. DOI: 10.1016/j.apsoil.2014.05.009.

WIPF, D.; KRAJINSKI, F.; TUINEN, D. van; RECORBET, G.; COURTY, P.E. Trading on the arbuscular mycorrhiza market: from arbuscules to common mycorrhizal networks. **New Phytologist**, Chichester, v. 223, p. 1127-1142, 2019. DOI: 10.1111/nph.15775.

WILPISZESKI, R. L.; AUFRECHT, J. A.; RETTERER, S. T.; SULLIVAN, M. B.; GRAHAM, D. E.; PIERCE, E. M.; ZABLOCKI, O. D.; PALUMBO, A. V.; ELIAS, D. A. Soil Aggregate Microbial Communities: Towards Understanding Microbiome Interactions at Biologically Relevant Scales. **Applied and environmental microbiology**, Washington, v. 85, n. 14, p. 1-18, 2019.

XU, P.; ZHU, J.; WANG, H.; SHI, L.; ZHUANG, Y.; FU, Q.; CHEN, J.; HU, H.; HUANG, Q. Regulation of soil aggregate size under different fertilizations on dissolved organic matter, cellobiose hydrolyzing microbial community and their roles in organic matter mineralization. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 755, p. 1-11, 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142595.

YANG, P.; DONG, W.; HEINEN, M.; QIN, W.; OENEMA, O. Soil Compaction Prevention, Amelioration and Alleviation Measures Are Effective in Mechanized and Smallholder Agriculture: A Meta-Analysis. **Land**, Basel, v. 11, n. 5, p. 1-18, 2022.

ZHANG, W.; LI, S.; XU, Y.; WANG, Y.; LIU, X.; PENG, C.; WANG, J. Residue incorporation enhances the effect of subsoiling on soil structure and increases SOC accumulation. **Journal of Soils and Sediments**, Heidelberg, v. 20, p. 3537-3547, 2020. DOI: 10.1007/s11368-020-02680-6.

ZHAO, J.; ZENG, Z.; HE, X.; CHEN, H.; WANG, K. Effects of monoculture and mixed culture of grass and legume forage species on soil microbial community structure under different levels of nitrogen fertilization. **European Journal of Soil Biology**, Paris, v. 68, p. 61–68, 2015. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2015.03.008.

ZHENG, J. Y.; ZHAO, J. S.; SHI, Z. H.; WANG, L. Soil aggergates are key factors that regulate erosion-related carbon loss in citrus orchards of southern China: Bare land vs. grass-covered land. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 309, p. 1-9, 2021. DOI: 10.1016/j.agee.2020.107254.

ZHOU, M.; LIU, C.; WANG, J.; MENG, Q.; YUAN, Y.; MA, X.; LIU, X.; ZHU, Y.; DING, G.; ZHANG, J.; ZENG, X.; DU, W. Soil aggregates stability and storage of soil organic carbon respond to cropping systems on Black Soils of Northeast China. **Scientific Reports**, London, v. 10, n. 1, p. 1–13, 2020. DOI: 10.1038/s41598-019-57193-1.