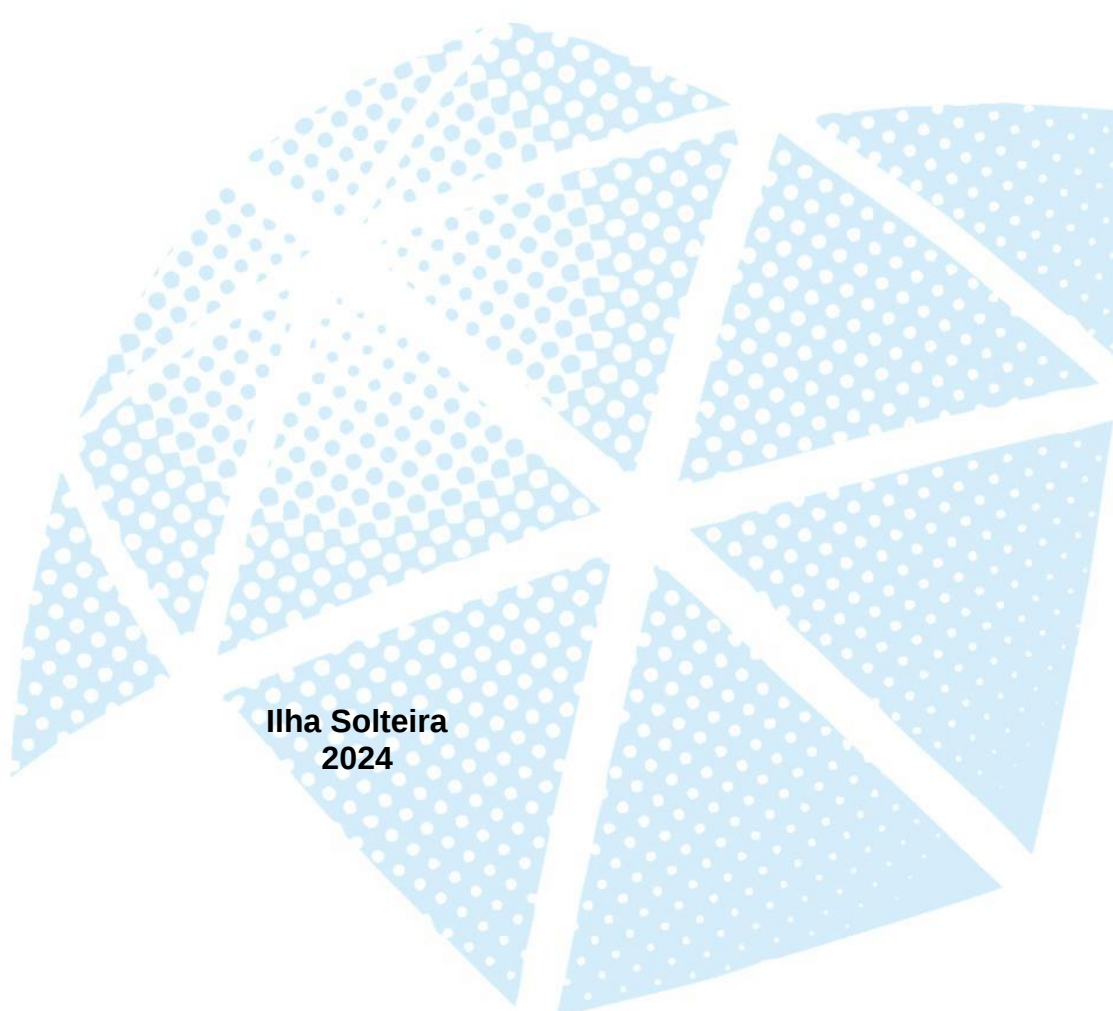


**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

MILENA SAYURI OZIMA

**RESÍDUOS ORGÂNICOS E GALHARIA NA REVEGETAÇÃO DE UMA ÁREA
DEGRADADA**



**Ilha Solteira
2024**

MILENA SAYURI OZIMA

**RESÍDUOS ORGÂNICOS E GALHARIA NA REVEGETAÇÃO DE UMA ÁREA
DEGRADADA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Maria Rodrigues Cassiolato

Coorientador: MS Philippe Solano Toledo Silva

Ilha Solteira
2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

O99r

Ozima, Milena Sayuri.

Resíduos orgânicos e galharia na revegetação de uma área degradada /
Milena Sayuri Ozima. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024
41 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Ciências Biológicas) -
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira,
2024

Orientadora: Ana Maria Rodrigues Cassiolato

Coorientador: Philippe Solano Toledo Silva

Inclui bibliografia

1. Biocarvão. 2. Lodo de Esgoto. 3. Arbuscular. 4. Fungos endofíticos. 5.
Aristida setifolia. 6. Área de empréstimo.

ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Resíduos orgânicos e galharia na revegetação de uma área degradada

Milena Sayuri Ozima

REGULAMENTO SOBRE A AVALIAÇÃO:

ARTIGO 25º - § 2º A apresentação pública do trabalho de TCC deverá ser de no mínimo 20 (vinte) minutos e máximo de 40 (quarenta) minutos. Após um intervalo de 5 (cinco) minutos, haverá a arguição do Trabalho pelos examinadores. O tempo de arguição, será de até 15 (quinze) minutos para cada examinador, e até 15 (quinze) minutos o tempo para a resposta do(a) aluno(a) a cada examinador ou no caso de se optar pelo diálogo, o tempo conjunto entre examinador e acadêmico(a) será de no máximo 30 (trinta) minutos.

ARTIGO 24º - No julgamento do TCC, a banca examinadora deverá avaliar a apresentação oral, escrita e a defesa do trabalho durante a arguição. O conceito final será APROVADO ou REPROVADO.

COMISSÃO EXAMINADORA

1º EXAMINADOR (Orientador-Presidente)

Nome: Ana Maria Rodrigues Cassiolato



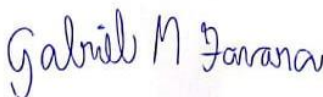
2º EXAMINADOR

Nome: Thaís Soto Boni



3º EXAMINADOR

Nome: Gabriel Madoglio Favara



CONCEITO

(X) APROVADO

() REPROVADO

Ilha Solteira-SP, 05 de julho de 2024.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, de coração, a todos que contribuíram para a realização deste trabalho acadêmico, que representa uma etapa importante em minha jornada.

Primeiramente, queria agradecer aos meus pais Ricardo Yukio Ozima e Celina Suemi Yamaguchi Ozima, meu irmão Renan Eiji Ozima e toda minha família, que apoiaram, compreenderam e foram essenciais em todos os momentos e decisões tomadas durante toda a minha vida. Aos meus grandes amigos Guilherme Ferreira Silva, Lucas Bueno Garcia, Pedro Ribeiro de Barros e Jefferson de Lazari Silva por serem além de amigos, confidentes, companhia em tantos momentos incríveis e amparo nos momentos difíceis. E, a todas as pessoas maravilhosas que tive o prazer de conhecer durante minha graduação e que seria impossível mencionar e mensurar a importância no decorrer da minha trajetória.

À República Útero que, além de abrigo se tornou família, agradeço por cada momento vivido, pelas experiências e pelo crescimento pessoal que cada moradora me proporcionou. Obrigada Julia Fascina, Rafaella Arcanjo e Mayara Bertalha por me fazerem amar essa casa, à Iris Pavan, Gabriele Lopes, Lya Yamaguti, Gisella Talarico, Eduarda Mello, Isadora Daher e Gabriela Costa por todo companheirismo, preocupação e, principalmente, por tornar o convívio diário mais leve e feliz.

Ao técnico José Antônio Agustini, por sua disponibilidade em acompanhar nas idas ao campo, em ajudar no que fosse necessário e por todo o conhecimento durante o tempo que passamos juntos. Ao meu coorientador Philippe Solano Toledo Silva, pela prestatividade em sanar dúvidas, ensinar e explicar o que fosse necessário.

E não menos importante a minha orientadora Ana Maria Rodrigues Cassiolato, por sua orientação, paciência e sabedoria ao longo deste processo, que além de orientar, também foi um apoio nos momentos necessários e que foram cruciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Que este trabalho possa refletir o esforço e dedicação de todos aqueles que me apoiaram ao longo desta jornada.

RESUMO

O Cerrado é o segundo maior bioma da América do Sul e a extensa transformação antrópica neste bioma possui potencial de produzir grandes perdas de biodiversidade, tornando o processo de recuperação mais complexo. Durante a década de 60, a construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, na divisa entre o estado de São Paulo e Mato Grosso do Sul, gerou grandes extensões de áreas de ação antrópica, formando locais como as “áreas de empréstimo”, degradados pela retirada da camada superficial do solo, deixando as condições edáficas limitantes à regeneração natural. O experimento foi instalado para estudar os efeitos dos tratamentos do subsolo por mecanização (subsolagem e gradagem), da adição de resíduos orgânicos (lodo de esgoto- LOD e biocarvão oriundo da pirólise do bagaço da cana-de-açúcar- BIO) e do recobrimento parcial da superfície do solo com galharia, além de sementes de espécies nativas, visando a recuperação de uma área degradada. O presente trabalho objetivou avaliar a efetividade dos tratamentos por meio dos atributos químicos do subsolo, peso da matéria seca e colonização radicular por fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e fungos endofíticos septados melanizados (ESM) autóctones da *Aristida setifolia* e na ocorrência de gramíneas de crescimento espontâneo, após 12 e 24 meses do início das intervenções. O trabalho foi conduzido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, em delineamento de blocos inteiramente casualizados, contendo 4 repetições, em parcelas de 5 x 5 m, espaçadas 2 m entre elas. Em esquema fatorial, foram estabelecidos 8 tratamentos, consistindo dos resíduos LOD e BIO, aplicados em 2 doses (0 e 20 t ha⁻¹). As parcelas foram, posteriormente, subdivididas para receberem galharia, cobrindo cerca de 32% da área da parcela, e constituindo nos 2 tratamentos para SOMB (com e sem). Nos anos avaliados, a adição de resíduos orgânicos ao solo, na presença de sombreamento ou não, beneficiaram a fertilidade do solo, com aumento nos teores de P, pH, Ca²⁺, Mg²⁺ e diminuição do Al³⁺ e H+Al. Após 24 meses de estudo, a adição de BIO proporcionou maior esporulação de FMA no subsolo, com redução da colonização por ESM. No mesmo ano, o LOD, na presença de sombreamento, favoreceu a MSPI. Desta forma, o uso de resíduos orgânicos, associados ou não ao sombreamento-beneficiam os processos de recuperação em áreas degradadas.

Palavras-chave: biocarvão; lodo de esgoto; arbuscular; fungos endofíticos; *Aristida setifolia*; área de empréstimo; Cerrado.

ABSTRACT

The Cerrado is the second biggest biome in South America and the extensive anthropogenic transformation of this biome has the potential to produce major losses of biodiversity, making the recovery process more complex. During the decade of the 1960s, the construction of the Ilha Solteira Hydroelectric, on the boundary between the states of São Paulo and Mato Grosso do Sul, generated great extensions of areas of anthropic action, forming places such as “lending areas”, degraded by the removal of the topsoil, leaving edaphic conditions limiting natural regeneration. The experiment was carried out to study the effects of subsoil treatment by mechanization (subsoiling and harrowing), the addition of organic waste (sewage sludge - LOD and biochar from the pyrolysis of sugarcane bagasse - BIO) and the partial covering of the soil surface with branches, as well as seeds of native species, with the aim of recovering a degraded area. The aim of this study was to evaluate the efficiency of the treatments in terms of subsoil chemical attributes, dry matter weight and root colonization by arbuscular mycorrhizal fungi (FMA) and septate melanized endophytic fungi (ESM) native to *Aristida setifolia* and the occurrence of spontaneously growing grasses, 12 and 24 months after the interventions began. The work was carried out at the Teaching, Research and Extension Farm of São Paulo State University (UNESP), Faculty of Engineering, Ilha Solteira, in a completely randomized block design, with 4 replications, in 5 x 5 m plots, spaced 2 m apart. In a factorial design, 8 treatments were established, consisting of LOD and BIO residues, applied in 2 doses (0 and 20 t ha⁻¹). The plots were subsequently subdivided to receive branches, covering around 32% of the plot area, and constituting the 2 treatments for SOMB (with and without). In the years under evaluation, the addition of organic waste to the soil, with or without shadowing, benefited soil fertility, with an increase in the levels of P, pH, Ca²⁺, Mg²⁺ and a decrease in Al³⁺ and H+Al. After 24 months, BIO favored an increase in the number of AMF spores in the soil and decreased colonization by ESM. In the same year, LOD, in the presence of shading, favored MSPI. In conclusion, the use of organic waste, whether or not associated with shadowing and associations with soil microorganisms, benefits the recovery processes in degraded areas.

Key-words: biochar; sewage sludge; arbuscular; endophytic fungi; *Aristida setifolia*; “lending area”; Cerrado.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	5
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1	DEGRADAÇÃO POR AÇÕES ANTRÓPICAS.....	7
2.2	REVEGETAÇÃO DE “ÁREAS DE EMPRÉSTIMO”	9
2.3	INTERFERÊNCIA NAS ÁREAS.....	12
3	OBJETIVOS.....	13
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	14
4.1	LOCAL DO EXPERIMENTO.....	14
4.2	INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO E HISTÓRICO.....	15
4.3	COLETA DO SOLO E RAÍZES.....	17
4.4	CARACTERIZAÇÃO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO.....	17
4.5	CARACTERIZAÇÃO DOS ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DO SOLO.....	18
4.5.1	Peso de matéria seca da parte aérea.....	18
4.5.2	Análise de cobertura vegetal.....	19
4.5.3	Análise de dados.....	19
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
5.1	ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO.....	20
5.2	ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DO SOLO.....	23
5.2.1	Matéria seca da planta inteira.....	23
5.2.2	Colonização radicular fúngica por fungos micorrízicos e endoíticos.....	25
5.2.3	Densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares.....	27
5.2.4	Cobertura vegetal.....	28
6	CONCLUSÃO	31
	REFERÊNCIAS.....	32

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado abrange cerca de 24% do território nacional, sendo o segundo maior bioma da América do Sul e detendo cerca de 5% da biodiversidade do planeta (Ribeiro; Walter, 2008). É composto por diversas fisionomias, sendo mais comum a formação aberta de árvores e arbustos baixos e uma camada rasteira de gramíneas (Reis; Schmiele, 2019). A extensa transformação antrópica envolvendo o Cerrado vem sendo provocada primariamente pela degradação do solo que, usualmente, é oligotrófico, e somado à sua degradação biológica, tem potencial de proporcionar perdas impactantes na biodiversidade e capacidade produtiva vegetal (Malavolta, 2006; Sun *et al.*, 2020).

Os processos erosivos, com a exposição do solo, são reforçados com a água proveniente de precipitação, acelerando a mineralização da biomassa vegetal e, com isto, a perda de nutrientes e matéria orgânica, aumentando a acidez e compactação, reduzindo a capacidade de infiltração e retenção de água (Wadt, 2003).

As hidrelétricas se tornaram uma estratégia energética frente ao consumo de combustíveis fósseis. Na década de 60, durante a construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, entre o estado de São Paulo e Mato Grosso do Sul, e para formação da barragem, a vegetação foi retirada e o solo removido em profundidades que variaram de 1 a 12 m, estabelecendo as “áreas de empréstimo” (Boni *et al.*, 2017).

A remoção da vegetação reduz a resiliência física, química e biológica do solo, mas a situação se agrava quando vem aliada à uma superfície com exposição do subsolo. Este possui alta densidade e compactação, fatores diretamente relacionados à disponibilidade de água em decorrência da baixa retenção e infiltração, e da manutenção da matéria orgânica (Rodrigues; Pruski, 2019). Uma alternativa para este problema pode ser a mecanização com revolvimento e quebra do selamento superficial do solo e compactação, possibilitando a incorporação de resíduos orgânicos, garantindo matéria orgânica, nutrientes e água.

Com esta melhora, pode ocorrer a reintrodução da vegetação, a qual levará ao recobrimento da superfície, sombreando e reduzindo a temperatura média do solo, a velocidade do escoamento superficial de águas de precipitações, protegendo a liteira e o material orgânico a ser degradado (Torres *et al.*, 2006). Para acelerar o sombreamento, uma alternativa é a adição de galharia que, além de fonte de material orgânico e nutrientes, protegerá a superfície do solo de processos erosivos, auxiliará

na contenção de sementes e estabelecimento da biota do solo, contribuindo para restauração da vegetação (IMASUL, 2016).

O recobrimento da área pode ser natural, a partir de propágulos das espécies já estabelecidas e de plantas de ocorrência espontâneas, ou com espécies de interesse propositalmente introduzidas na área. As gramíneas associadas a espécies arbóreas têm relevante papel na entrada de material orgânico, incluindo exsudatos rizosféricos, e sempre aparecem entre as espécies espontâneas, ou seja, adaptadas a uma determinada condição. Com isto, assegurar heterogeneidade na cobertura vegetal importante para o aporte de nutrientes que auxiliarão no desenvolvimento vegetal e de microrganismos benéficos, compondo a biota do solo (Bento; Schmitt Filho; Faita, 2020; Cardoso; Andreote, 2016). Por diferentes mecanismos, eles atuarão na decomposição de resíduos orgânicos, produção de compostos bioativos, ou formando associações ou simbiose, com bactérias fixadoras de nitrogênio (N₂), os fungos micorrízicos arbusculares ou os fungos endofíticos septados melanizados. Estas atividades promovem maior eficiência no aproveitamento de nutrientes e água do solo para o desenvolvimento das plantas, especialmente importantes em ambientes desfavoráveis. Nos casos necessários, a adição de material orgânico ao solo pode ocorrer com o aproveitamento de fontes de resíduos urbanos ou agroindustriais, na forma de adubo, como o lodo de esgoto e o biocarvão, agregando valor ambiental e sustentável (Carvalho *et al.*, 2013).

OBJETIVO GERAL

O experimento foi instalado para estudar os efeitos do tratamento físico do subsolo por mecanização, da adição de resíduos orgânicos e do recobrimento parcial da superfície do solo com galharia, além de sementes de espécies nativas, visando a recuperação de uma área degradada.

Objetivos Específicos

O presente trabalho objetivou avaliar, aos 12 e 24 meses do início das intervenções, os efeitos dos tratamentos por meio dos atributos químicos do subsolo, do peso da matéria seca e colonização radicular por fungos micorrízicos arbusculares e fungos endofíticos septados melanizados autóctones em *Aristida setifolia* e levantamento de gramíneas de crescimento espontâneo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Cerrado é o segundo maior bioma da América do Sul, compreendendo uma área de 203,4 milhões de hectares, onde estão o Distrito Federal e mais onze estados brasileiros (Scariot; Silva; Felfili, 2005). Além de abranger aproximadamente 24% do território nacional, detém cerca de 5% da biodiversidade do planeta. O Bioma é composto por diversas fisionomias, sendo mais comum a com formação aberta de árvores e arbustos baixos e uma camada rasteira de gramíneas (Ribeiro; Walter, 2008). As espécies vegetais são resistentes a períodos de seca ou de elevada precipitação, alta incidência de radiação solar e ocorrência de incêndios como fator ecológico que regula e equilibra os ciclos no bioma (Reis; Schmieele, 2019).

Nesta região o clima predominante é do tipo tropical sazonal, com uma estação seca e outra chuvosa, ambas bem definidas (Ribeiro; Walter, 2008). Os solos, usualmente, são oligotróficos, com alto índice de porosidade, pH ácido e baixa disponibilidade de nutrientes para as plantas, como o fósforo (P), que é pouco móvel e apresenta alta tendência à adsorção aos óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al^{3+}) (Malavolta, 2006; Sun *et al.*, 2020).

A extensa transformação antrópica do Cerrado tem o potencial de produzir grandes perdas de biodiversidade (Ministério do Meio Ambiente-MMA, 2002). A degradação biológica é a principal responsável pela perda de capacidade produtiva, consistindo no processo em que há diminuição significativa da capacidade de produção de biomassa vegetal, provocada primariamente pela degradação do solo (Wadt, 2003).

2.1. DEGRADAÇÃO POR AÇÕES ANTRÓPICAS

As mudanças nos ambientes na capacidade produtiva do sistema, usualmente causadas por ações antrópicas onde estão inseridas, resultam na criação das “áreas alteradas” na natureza (Bustamante *et al.*, 2019). Um fator preocupante na degradação ambiental ocorre, especialmente, quando modificações combinadas acentuam o desequilíbrio nos ecossistemas, com perda da biodiversidade (Silva; Felizmino; Oliveira, 2015).

As modificações inerentes a um ambiente natural envolvendo as características do solo, da água, da fauna e da flora, tornando o processo de recuperação mais complexo, requerendo um tempo maior com ações, incluindo a identificação dos

diferentes fatores modificadores e dos que ainda agem na área dando continuidade à degradação dos recursos naturais (Almeida, 2016).

Os processos erosivos pela exposição direta do solo são reforçados com a água proveniente de precipitação, o que acelera a mineralização da biomassa vegetal, tendo como consequência, a perda de nutrientes, matéria orgânica, aumento da acidez e compactação, diminuindo a capacidade do solo de infiltração e retenção de água (Wadt, 2003). Na fase mais acentuada, quando os processos erosivos se tornam evidentes, pode ser visualizada alterações das camadas mais superficiais do solo, podendo ocorrer formação de sulcos (Salimon; Wadt; Melo, 2007). A longo prazo, a estratégia para recuperação destas áreas degradadas é o abandono do local para que a recomposição da vegetação ocorra naturalmente, sendo esperado o desenvolvimento de arbustos e árvores, retornando a vegetação característica (Hardt *et al.* 2006).

O impacto ambiental, como definido pela Resolução 001/86 emitida pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA, 1986), é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas. Dentre as causas decorrentes de fatores antrópicos estão o uso inadequado de terras agrícolas, práticas de manejo do solo inadequadas, desmatamento, remoção da vegetação natural e biodiversidade, uso de maquinário pesado, pastoreio e práticas de irrigação e rotação de cultivos incorretas (Lisboa, 2021).

Com a diminuição da disponibilidade dos combustíveis fósseis e a preocupação com a redução dos gases de efeito estufa, a preferência por hidrelétricas se tornou uma grande estratégia energética. A construção de barragens ocasiona bloqueios na conectividade fluvial, formando reservatórios que inundam adjacentes, causando destruição de *habitats*, deposição de sedimentos, degradação do solo e perda da qualidade da água (Almeida *et al.*, 2005; Asaeda; Rashid, 2012; Zhang *et al.*, 2005; 2014).

Durante a década de 60, a construção da Usina Hidrelétrica (UHE) de Ilha Solteira na divisa dos estados São Paulo e Mato Grosso do Sul, gerou grandes extensões de áreas de ação antrópica (cerca de 8.000.000 m²). No período, para as obras necessárias à construção da UHE, a vegetação foi retirada e o solo removido em profundidades, que variaram de 1 a 12 m, que serviram para o barramento da

água e das demais obras. Com a finalização das operações, na região ficaram estabelecidas as “áreas de empréstimos” (Boni *et al.*, 2017).

2.2. REVEGETAÇÃO DE “ÁREAS DE EMPRÉSTIMO”

O solo pode ser considerado o principal fator determinante para o desenvolvimento das espécies, mas depende da inter-relação entre os atributos físicos, químicos e biológicos responsáveis pela sua funcionalidade (Xavier, 2021). Locais como as “áreas de empréstimos”, degradados com a retirada da camada superficial do solo, compreendendo vegetação, matéria orgânica, nutrientes e biota, podem ser caracterizados como fortemente impactados.

A remoção da vegetação e do solo, acarreta baixa resiliência física, química e biológica. Superfícies com a exposição do subsolo, possuem outras limitações, como alta densidade e compactação, fatores diretamente relacionados à pouca disponibilidade de água. Desta forma, mostram elevado escoamento da água proveniente da precipitação, decorrente da baixa retenção e infiltração, características que limitam o armazenamento de matéria orgânica e, consequente, disponibilização de nutrientes (Rodrigues; Pruski, 2019).

Somados a estes problemas, e sem banco de sementes ou condições que proporcionem o desenvolvimento de espécies vegetais, medidas de manejo são essenciais, requerendo, por vezes, o enriquecimento da matéria orgânica (Bettiol *et al.*, 2023).

A reintrodução da vegetação leva ao sombreamento causado pela cobertura da superfície, reduzindo a temperatura média do solo e a velocidade do escoamento superficial de águas de chuva, protegendo a liteira (Torres *et al.*, 2006), material orgânico a ser degradado, processos fundamentais para o funcionamento do ecossistema. O sombreamento, a liteira e a rizodeposição são pontos fundamentais para a retenção de matéria orgânica e água, com redução da temperatura superficial, necessários para a atividade microbiológica no solo (Boni *et al.*, 2022). Com o tempo, a galharia também será decomposta.

Um manejo para acelerar o sombreamento é a adição de galharia, produzida localmente, para o sombreamento, além de proteger a superfície do solo e a liteira da exposição aos processos erosivos, pela diminuição do escoamento superficial da água proveniente da precipitação (Chaves *et al.*, 2012). A galharia influenciará na diminuição da temperatura média do solo, possibilitando o estabelecimento de

microrganismos e, posteriormente, será degradada, servindo como fonte de material orgânico e nutrientes para o solo, e de refúgio para pequenos animais que podem mobilizar o solo, auxilia na contenção de sementes. Consequentemente, estes fatores são benéficos para a instalação e desenvolvimento das plantas (IMASUL, 2016).

A restauração da vegetação nativa pode ser iniciada a partir de propágulos de espécies que já se estabeleceram na área ou com espécies de interesse propositalmente introduzidas na área (Sampaio *et al.* 2021). É importante que a seleção das espécies para plantio contemple diferentes grupos ecológicos, desde os com crescimento mais rápido, que irão ocupar e recobrir o solo em curto tempo, quanto aqueles que se desenvolvem mais lentamente, e irão dominar a área em fases mais avançadas (Moraes *et al.*, 2013).

As gramíneas associadas a espécies arbóreas são relevantes para a ciclagem de nutrientes. Os nutrientes são absorvidos pelas raízes das árvores nas camadas mais profundas do solo, e são depositados na camada superficial na forma de folhas, frutos e galhos, juntamente com os liberados por meio da decomposição. Além disso, exsudam na rizosfera (rizodeposição), proporcionando água e nutrientes para os microrganismos (Marriel *et al.*, 2005). Dentre as espécies de plantas espontâneas que podem se desenvolver em áreas degradadas, pode-se destacar a gramínea nativa e pioneira da família Poaceae, gênero *Aristida*, espécie *A. setifolia* Kunth (Martins, 1996).

A escolha da heterogeneidade vegetal proporcionará maximização da funcionalidade dos serviços ecossistêmicos, promovendo diversidade de serrapilheira e riqueza da biota do solo. Dentre os importantes processos está a simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico (BFN) e com fungos micorrízicos, proporcionando maior aporte de nutrientes no sistema (Bento; Schmitt Filho; Fanta, 2020; Cardoso; Andreote, 2016). Algumas plantas leguminosas possuem mecanismos de simbiose mais eficientes em relação a associações com plantas superiores (Döbereiner, 1990). A simbiose com rizóbios ocorrem pela formação de estruturas hipertróficas por meio da nodulação, e a bactéria juntamente com a enzima nitrogenase, transformam o N₂ em compostos amoniacais que, posteriormente, serão disponibilizados para as plantas (Marchetti; Barp, 2015).

Microrganismos benéficos são aqueles que decompõem resíduos orgânicos, desintoxicam o ambiente, suprimem doenças de plantas e patógenos transmitidos

pelo solo, participam da ciclagem de nutrientes e produzem compostos bioativos, como vitaminas, hormônios e enzimas que estimulam o crescimento das plantas (Silva *et al.*, 2024). Dentre estes estão os fungos do solo que auxiliam no crescimento das plantas em ambientes desfavoráveis que, por meio das hifas formadas durante sua colonização no solo, transferem água e nutrientes aos hospedeiros, como os fungos micorrízicos e os endofíticos septados (Gong *et al.*, 2023).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) realizam simbiose com as plantas e promovem seu crescimento, diminuem o tempo de formação das plântulas, melhoram as taxas nutricionais e diminuem a mortalidade no campo (Cavalcante; Goto; Maia, 2009). As hifas exploram maiores volumes de solo, absorvendo água e nutrientes, especialmente N e P, que são transferidos para as plantas hospedeiras, de quem recebem carboidratos. Ainda, ajudam aumentando a tolerância a estresse biótico e abiótico e a densidade de bactérias na rizosfera e micorizosfera (Prates *et al.*, 2021).

Os fungos endofíticos septados melanizados (ESM) habitam solos oligotróficos e colonizam raízes de plantas em ambientes temperados e tropicais (Sharma; Jha, 2012) e podem atuar no crescimento vegetal de forma direta, facilitando a absorção de nutrientes por meio de bases orgânicas ou inorgânicas e de forma indireta, ao proteger a planta contra estresses bióticos e abióticos. Possuem atividades enzimáticas que auxiliam na degradação da matéria orgânica, disponibilizando, assim, maiores quantidades de nutrientes próximo ao sistema radicular (Knapp *et al.*, 2018). Se associam às raízes colonizando o córtex, crescendo entre células, onde formam microescleródios, com posterior desenvolvimento micelial no solo, absorvendo nutrientes que serão repassados aos hospedeiros como N e P (Li *et al.*, 2019).

Tanto os FMA quanto os ESM podem colonizar e coexistir sob as mesmas regiões radiculares e possuem sobreposições funcionais e ecológicas (Gong *et al.*, 2023). A associação com os ESM promove à planta maior eficiência em relação a utilização e absorção de nitrogênio, enquanto a associação com os FMA aumenta a área de absorção das raízes, por meio da formação de uma rede de micélios (Camel *et al.*, 1991). Desta maneira, ambos os fungos estabelecem relações mutualísticas, aumentando a ciclagem de nutrientes do solo e o desenvolvimento da planta.

Nestes, toda a extensão de produtividade fica prejudicada, com as condições edáficas limitantes à regeneração natural. Ainda, quando estas áreas estão

localizadas em regiões com clima úmido e quente, tem-se como obstáculo agravante a degradação mais rápida da matéria orgânica.

2.3. INTERFERÊNCIA NAS ÁREAS

Algumas das alternativas de interferência antrópica para as restrições anteriormente citadas, como a alta densidade e compactação, diretamente relacionadas com a disponibilidade de água, seria o revolvimento mecanizado para quebrar o selamento superficial do solo, e incorporar os resíduos orgânicos para garantir matéria orgânica e nutrientes. Estas modificações possibilitam a germinação de sementes e o desenvolvimento das plantas ou mudas introduzidas (Santos, 2021).

Um método indicado na recuperação de áreas degradadas é a adubação com fontes orgânicas, como resíduos agroindustriais, urbanos ou material compostado. Esta pode ser uma alternativa mais econômica que a adubação mineral e uma solução de problemas ambientais, com o uso do lodo de esgoto de cidades ou indústrias e o biocarvão proveniente da pirólise, como do bagaço da cana-de-açúcar (Carvalho *et al.*, 2013).

O lodo de esgoto é um material rico em nutrientes e matéria orgânica (Raheem *et al.*, 2018), sendo uma alternativa para a adubação mineral, porém, é necessário utilizar técnicas como a compostagem ou tratamento em sistema biológico para estabilizar sua composição, resultando em um produto que pode ser empregado como substrato orgânico (Siqueira *et al.*, 2018).

O Brasil, como potência agrícola, é maior produtor e exportador de cana de açúcar (*Sacharum officinarum* L.) do mundo, sendo uma produção muito incentivada nos últimos anos. A cana de açúcar tem uma produtividade média esperada, para a safra 2022/23, de 72.609 kg ha⁻¹, aumento de 1,9% superior à safra 2021/22 (CONAB, 2022). Desta forma, um dos grandes produtores de resíduos agroindustriais do mundo (SEAB, 2013) e, desta forma, um dos maiores geradores de cinza provenientes da pirólise deste resíduo. Estudos afirmam que cada tonelada de cana de açúcar gera aproximadamente 6 kg de cinzas (CONAB, 2022; Gar; Suresh; Bindiganavile, 2017; Sales; Lima, 2010). Tradicionalmente, parte das cinzas é devolvida ao solo de plantio na forma de fertilizante e outra parte descartada em aterros, não possuindo outra finalidade na cadeia produtiva (Moretti *et al.* 2018).

É um desafio a finalidade dos resíduos orgânicos gerados nos processos industriais, como o biocarvão, diminuindo os custos do seu descarte e agregando a

ele um valor ambiental e sustentável. Igualmente, o lodo de esgoto é um material rico em nutrientes e matéria orgânica (Raheem *et al.*, 2018), que pode ser utilizado como substrato para que as plantas introduzidas sejam beneficiadas e consigam se estabelecer.

3. OBJETIVOS

O experimento foi instalado para estudar os efeitos do tratamento físico do subsolo por mecanização, da adição de resíduos orgânicos e do recobrimento parcial da superfície do solo com galharia, além de sementes de espécies nativas, visando a recuperação de uma área degradada.

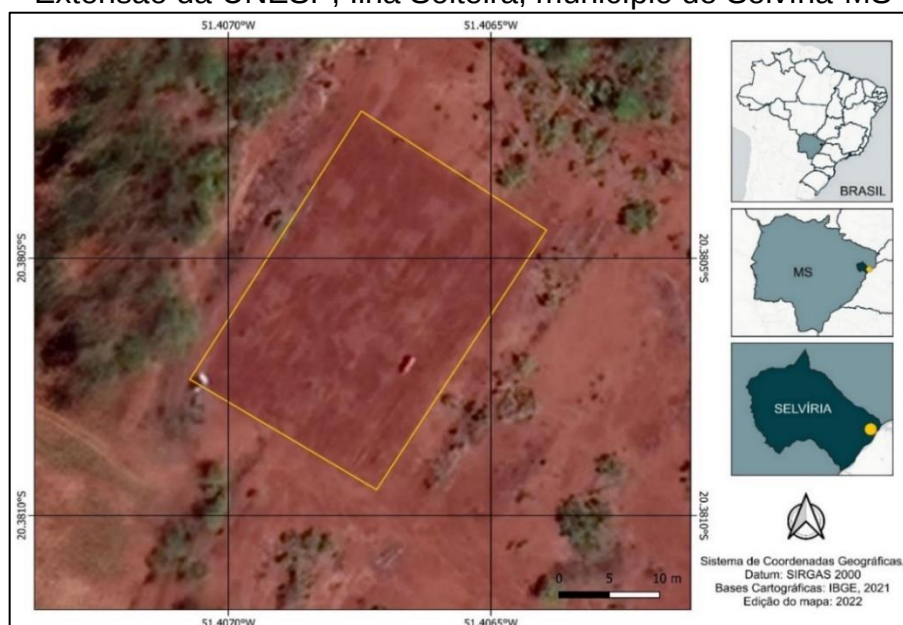
O presente trabalho objetivou avaliar, aos 12 e 24 meses do início das intervenções, os efeitos dos tratamentos por meio dos atributos químicos do subsolo, do peso da matéria seca e colonização radicular por fungos micorrízicos arbusculares e fungos endofíticos septados melanizados autóctones em *Aristida setifolia* e levantamento de gramíneas de crescimento espontâneo.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. LOCAL DO EXPERIMENTO

O experimento foi instalado e desenvolvido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, município de Selvíria/ MS, no bioma Cerrado (Figura 1). O clima se encaixa na classificação Aw (tropical úmido), com estação chuvosa no verão e seca no inverno, segundo o Sistema Internacional de Classificação de Köppen (Alvares *et al.*, 2013), e altitude média de 335 metros e temperatura e precipitação médias anuais de 23,7 °C e 1.300 mm, respectivamente. Na região predominam LATOSSOLOS e ARGISSOLOS Vermelhos (Demattê, 1980), atualizado segundo Santos *et al.* (2018).

Figura 1. Vista área e localização da área na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP, Ilha Solteira, município de Selvíria-MS



Fonte: Fuzeto (2023)

4.2. INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO E HISTÓRICO

Desde a década de 1960, o local em estudo é uma área degradada por ter de 8 até 10 m da camada superior de solo retirada e usada na construção da barragem da UHE (Boni *et al.*, 2022). Para a implantação do experimento por Fuzeto (2023), em abril de 2021, foi necessária ação mecanizada para descompactar a camada superficial, a 0,40 m de profundidade, usando uma gradagem pesada, seguida de duas escarificações com grade leve. O delineamento foi conduzido em blocos

Fonte: Fuzeto (2023)

O biocarvão foi doado pela Usina Vale do Paraná, localizada no município de Suzanápolis – SP, e o lodo de esgoto doado pela Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Presidente Prudente – SP, onde foi previamente higienizado (adição de cal – caleação).

Em outubro de 2021, um mix de sementes da leguminosa forrageira estilósantes (*Stylosanthes* sp. cv. Campo Grande (*S. capitata* + *S. macrocephala*) e de espécies arbóreas nativas foram semeadas em linhas, depositadas em pequenos sulcos abertos com 8 cm de profundidade. A quantidade de sementes de estilósantes seguiu a recomendação de 5 kg de sementes ha⁻¹, ou seja, 32 g de sementes por parcela experimental. A lista das espécies nativas, com nome científico e popular e o número de sementes por parcela, estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Lista das espécies vegetais, nome popular, família botânica e quantidade de sementes adicionadas por parcela experimental

Espécies	Nome popular	Família	Quantidade
<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	Gonçalo Alves	Anacardiaceae	311 und
<i>Dipteryx alata</i> Vogel	Baru	Fabaceae	10 und
<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart. ex Hayne	Jatobá	Fabaceae	5 und
<i>Plathymenia reticulada</i> Benth.	Amarelinho	Fabaceae	30 g
<i>Leptolobium elegans</i> Vogel	Chapadinha	Fabaceae	15 grs
<i>Lafoensia pacari</i> A. St.-Hil.	Dedaleiro	Lythraceae	537 und
<i>Magonia pubescens</i> A. St.-Hil.	Tingui	Sapindaceae	10 und
<i>Machaerium villosum</i> Vogel	Jacarandá	Fabaceae	33 und
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	Copaiba	Fabaceae	10 und
<i>Kielmeyera coriacea</i> Mart. & Zucc.	Pau Santo	Calophyllaceae	10 und
<i>Vatairea macroparva</i> (Benth.) Ducke.	Angelim do Cerrado	Fabaceae	10 und
<i>Alibertia edulis</i> (Rich.) A.Rich. ex DC.	Marmelo do Cerrado	Rubiaceae	20 unid
<i>Stryphnodendron obovatum</i> Benth.	Barbatimão	Fabaceae	58 unid
<i>Stylosanthes</i> spp. cv. Campo Grande	Estilosantes	Fabaceae	32 g

Fonte: Fuzeto (2023). *Und = unidades

Após a semeadura, a área experimental passou a ser irrigada com auxílio de tanque pipa e mangueira, duas vezes por semana, até o início das chuvas.

4.3. COLETA DO SOLO E RAÍZES

As amostragens do solo e plantas, e demais avaliações foram realizadas no mês de janeiro, após o período de maior índice de precipitação pluviométrica. por dois anos consecutivos, ou seja, aos 12 e 24 meses do início das intervenções. Os dados climatológicos para o período estão apresentados na Figura 4.

Utilizando uma enxada foram coletadas plantas de *A. setifolia* com raízes e a parte aérea, o número de plantas coletadas variou de 3 a 10 plantas por parcela, de acordo com a disponibilidade.

Figura 4. Média diária de temperatura do ar e chuva no período de 2023 a 2024

Fonte: clima.feis.unesp.br

As raízes coletadas foram lavadas e preservadas em álcool 60% até o momento de coloração e avaliação da colonização. O subsolo que veio junto às raízes foi recolhido, seco à sombra, peneirado em malha de 2 mm e homogeneizado. Parte das amostras foram utilizadas para a contagem do número de esporos de FMA e a outra parte enviada para a análise dos atributos químicos do solo.

4.4. CARACTERIZAÇÃO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Na caracterização dos atributos químicos inicial do subsolo e dos resíduos orgânicos (biocarvão do bagaço de cana-de-açúcar - BIO e lodo de esgoto - LOD) (Tabela 2) e, posteriormente, amostras dos tratamentos foram coletadas aos 12 e 24 meses do início das intervenções.

Tabela 2. Caracterização dos atributos químicos inicial do subsolo e dos resíduos orgânicos, biocarvão do bagaço de cana-de-açúcar (BIO) e lodo de esgoto (LOD) para pH, fósforo (P), matéria orgânica (MO), potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), acidez potencial (H+Al), alumínio (Al³⁺), soma de bases (SB) e capacidade de troca de cátions (CTC).

Material	P mg kg ⁻¹	MO g kg ⁻¹	pH CaCl ₂	K ⁺ -----	Ca ²⁺ -----	Mg ²⁺ -----	H+Al (cmol _c kg ⁻¹)	Al ³⁺ -----	SB	CTC
Subsolo	1	8	4,2	0,1	0,1	0,1	3,1	0,4	0,29	3,39
Resíduos										
LOD	108,2	108,2	7,8	6,4	712,6	97,0	6,7	0	816	822,7
BIO	405,4	405,4	8,1	17,9	255,4	43,6	5,4	0	317	322,3

Fonte: Fuzeto (2023).

A metodologia proposta por Raij *et al.* (2001) foi utilizada para as determinações: pH (CaCl_2), fósforo (P), matéria orgânica (MO), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), acidez potencial ($\text{H}^+\text{+Al}$), alumínio (Al^{3+}), soma de bases (SB) e capacidade de troca de cátions (CTC).

4.5. CARACTERIZAÇÃO DOS ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DO SOLO

As raízes preservadas em álcool foram lavadas e passaram por um processo de coloração que permitiu a avaliação da colonização radicular fúngica, seguindo metodologia de Phillips e Hayman (1970). Para o clareamento as raízes foram cobertas com hidróxido de potássio (KOH 10%) e levadas ao banho-maria à 90° C, por 30 - 40 min, dependendo da amostra, quando foi adicionado 1 mL de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) por frasco, que permaneceram em banho-maria por mais dez min. Descartada a solução, as raízes foram lavadas em água corrente, recolocadas nos frascos e cobertas com uma solução de ácido clorídrico (HCl 1%) e retornaram ao banho-maria à 90° C, por 20 min. A solução foi descartada e as raízes foram cobertas com o corante azul de tripano e levadas ao banho-maria à 90° C por mais cinco minutos. Após a remoção do corante em água corrente, as raízes foram armazenadas em Lactoglicerol (ácido láctico: glicerina: água - 1:1:1).

Para a contagem de esporos dos FMA autóctones, foram separadas amostras de 100 g do subsolo por parcela. A separação dos esporos envolveu a combinação de dois métodos, o da agitação em água, seguida de decantação e peneiramento (Gerdemann; Nicholson, 1963); e da centrifugação e flutuação com sacarose 60% (Jenkins, 1964). Os esporos foram coletados, enxaguados para retirada da sacarose e depositados em uma placa de acrílico com anéis concêntricos para contagem sob microscópio estereoscópico.

4.5.1. Peso de matéria seca da parte aérea

Após a separação do sistema radicular, o número de plantas coletadas de cada parcela foi quantificado e estas foram mantidas em estufa a 65 °C por 48 horas para secagem. Transcorrido o tempo necessário em estufa, a matéria seca da parte aérea foi pesada e, posteriormente, realizada a média dos valores, de acordo com o número de plantas coletadas em campo, ou seja, da disponibilidade de plantas por repetição, por coleta.

4.5.2. Análise de cobertura vegetal

A avaliação da cobertura vegetal foi realizada atribuindo notas de 0 a 100% de acordo com a cobertura vegetal total de cada parcela. Após atribuídas as notas, como a *A. setifolia* foi a espécie predominante, foram conferidas e, novamente, atribuídas notas de 0 a 100% da cobertura para esta espécie dentro do total, para cada parcela experimental.

4.5.3. Análise de dados

Os dados foram analisados estatisticamente por meio de análise de variância (ANOVA), as médias comparadas pelo teste Scott Knott ($p \leq 0,05$).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Para os atributos químicos do solo após 12 meses das intervenções e condução do experimento, observou-se que o tratamento sem aplicação de LOD exibiu o maior teor de K^+ no solo. Para os demais atributos, observou-se significância para a interação entre BIO*LOD, BIO*SOMB, LOD*SOMB e BIO*LOD*SOMB, enquanto o SOMB não resultou em efeitos significativos sobre os atributos químicos do subsolo (Tabela 3).

Tabela 3. Valores médios para fósforo (P), matéria orgânica (MO), pH_{CaCl_2} , potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), alumínio (Al^{3+}) e acidez potencial (H+Al), valores de F, média geral e coeficiente de variação (CV) para os tratamentos resíduos (biocarvão-BIO e lodo de esgoto-LOD), doses (0 e 20 t ha⁻¹) e sombreamento (SOMB - com ou sem), aos 12 meses da intervenção

Fontes de Variação	P-resina (mg kg ⁻¹)	MO (g kg ⁻¹)	pH CaCl ₂	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+} (cmol _c kg ⁻¹)	Al^{3+}	H+AL
Valores de F								
BIO	93,27**	3,23 ^{ns}	205,34**	0,27 ^{ns}	33,64**	11,38**	116,26**	37,03**
LOD	149,41**	2,43 ^{ns}	225,97**	22,31**	38,50**	90,00**	171,00**	74,31**
SOMB	3,50 ^{ns}	5,18*	0,08 ^{ns}	0,81 ^{ns}	1,78 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,11 ^{ns}
BIO*LOD	10,64**	0,01 ^{ns}	102,32**	3,97 ^{ns}	0,58 ^{ns}	7,51*	116,26**	22,40**
BIO*SOMB	6,26*	5,18*	0,02 ^{ns}	0,17 ^{ns}	10,42**	2,18 ^{ns}	6,37*	2,31 ^{ns}
LOD*SOMB	6,72*	0,01 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,46 ^{ns}
BIO*LOD*SOMB	3,84 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,91 ^{ns}	5,45*	1,60 ^{ns}	6,37*	1,40 ^{ns}
Média Geral	88,46	10,21	6,38	0,20	8,59	0,89	2,36	1,68
CV (%)	22,11	14,43	3,94	41,52	45,93	24,84	43,25	16,48
BIO (t ha ⁻¹)								
0	55,06 b	9,75 a	5,74 b	0,19 a	4,54 b	0,76 b	4,32 a	1,98 a
20	121,87a	10,68 a	7,01 a	0,21 a	12,64 a	1,03 a	0,41 b	1,38 b
LOD (t ha ⁻¹)								
0	46,18 b	9,81 a	5,71 b	0,27 a	4,26 b	0,52 b	4,73 a	2,11 a
20	130,75a	10,62 a	7,05 a	0,13 b	12,92 a	1,27 a	0,00 b	1,26 b
SOMB								
Sem	82,00 a	10,81 a	6,36 a	0,22 a	9,52 a	0,87 a	2,41 a	1,70 a
Com	94,93 a	9,62 b	6,39 a	0,19 a	7,66 a	0,92 a	2,32 a	1,67 a

Fonte: elaboração da própria autora. **, * e ^{ns} valores de F significativos a 1, 5% e não significativos, respectivamente. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem entre si para cada fonte de variação.

No desdobramento da interação observou-se incremento para o P nos tratamentos de LOD e LOD*BIO. Os atributos químicos do solo P, pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} e H+Al responderam a adição de resíduos orgânicos e ao sombreamento (Tabela 4).

A interação SOMB*BIO e/ou 20 LOD exibiu teores elevados de P no subsolo. BIO*SOMB elevou a MO do solo, enquanto a LOD*BIO elevou o pH. O H+Al e o Al

foram reduzidos pela adição de LOD independente do sombreamento. Ainda, a adição dos resíduos orgânicos, combinados ou não, elevaram os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} no solo (Tabela 4).

Tabela 4. Desdobramento das interações significativas nos atributos químicos para fósforo (P), matéria orgânica (MO), $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$, cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), acidez potencial (H+Al) e alumínio (Al^{3+}), entre os tratamentos resíduos (biocarvão-BIO e lodo de esgoto-LOD), doses (0 e 20 t ha^{-1}) e sombreamento (SOMB - com ou sem), aos 12 meses da intervenção

Tratam.	0 BIO	20 BIO	Tratam.	0 BIO	20 BIO
Variáveis	--- P-resina (mg kg^{-1}) ---		Variáveis	--- P-resina (mg kg^{-1}) ---	
0 LOD	1,50 bB	90,87 aB	Sem SOMB	57,25 bA	106,75 aB
20 LOD	108,87 bA	152,87 aA	Com SOMB	52,87 bA	137,00 aA
	----- pH (CaCl_2) -----			----- MO (mg kg^{-1}) -----	
0 LOD	4,62 bB	6,80 aB	Sem SOMB	9,75 aA	9,50 aB
20 LOD	6,86 bA	7,23 aA	Com SOMB	9,75 bA	11,87 aA
	----- Mg^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) ---			----- Ca^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) ---	
0 LOD	0,28 aB	0,76 aB	Sem SOMB	3,22 bA	15,87 aA
20 LOD	1,24 aA	1,29 aA	Com SOMB	5,86 aA	9,45 aB
	----- H+Al ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) ---				
0 LOD	2,64 aA	1,57 bA			
20 LOD	1,33 aB	1,19 aB			
	----- Al^{3+} ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) ---				
0 LOD	8,64 aA	0,83 bB			
20 LOD	0,00 aA	0,00 aA			

Fonte: elaboração da própria autora. Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, para cada variável, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Após 24 meses de condução do experimento, a adição BIO elevou o teor de MO e diminuiu o teor de K^+ no solo, enquanto a adição de LOD elevou o teor de K^+ no solo (Tabela 5). Para os demais atributos, observou-se significância para a interação entre BIO*LOD e LOD*SOMB (Tabela 5). No desdobramento adição de LOD elevou o teor de P. Ainda, a adição de resíduos, combinados ou não, contribuíram para elevar o pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} e diminuir os teores de Al^{3+} e H+Al (Tabela 6). O aumento no teor de P é explicado pela adição do material orgânico ao solo, promovendo a disponibilidade de P pela liberação de fósforo orgânico durante a mineralização (Mello, 1980).

Nos tratamentos com LOD, houve resultados significativos para pH que, consequentemente, diminuíram a acidez potencial (H+Al) pela insolubilização do Al tóxico, sendo benéfico para correção da acidez (Silva *et al.*, 1998). Para os tratamentos com BIO, também houve efeito significativo no pH, visto que sua aplicação atribuiu efeito neutralizante ao solo (Maeda *et al.*, 2008).

Tabela 5. Valores médios para fósforo (P), matéria orgânica (MO), reação do solo (pH), potássio (K⁺), acidez potencial (H+Al), alumínio (Al³⁺), saturação por bases (V%), valores de F, média geral e coeficiente de variação (CV) para os tratamentos resíduos (biocarvão-BIO e lodo de esgoto-LOD), doses (0 e 20 t ha⁻¹) e sombreamento (SOMB - com ou sem), aos 24 meses da intervenção

Fontes de Variação	P-resina (mg kg ⁻¹)	MO (g kg ⁻¹)	pH CaCl ₂	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	Al ³⁺	H+AL
BIO	0,38 ^{ns}	16,27**	48,33**	10,43**	2,49 ^{ns}	10,39**	18,14**	9,31**
LOD	30,66**	0,01 ^{ns}	5,76*	3,00 ^{ns}	41,74**	5,70*	22,86**	40,69**
SOMB	0,29 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,22 ^{ns}	2,12 ^{ns}	5,92*	0,13 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,11 ^{ns}
BIO*LOD	10,52**	0,05 ^{ns}	22,75**	1,90 ^{ns}	2,54 ^{ns}	6,29*	22,86**	30,77**
BIO*SOMB	4,78*	0,61 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,91 ^{ns}	2,31 ^{ns}
LOD*SOMB	2,40 ^{ns}	0,05 ^{ns}	1,48 ^{ns}	0,22 ^{ns}	6,00*	0,36 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,46 ^{ns}
BIO*LOD*SOMB	0,03 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,19 ^{ns}	1,40 ^{ns}
Média Geral	71,09	12,96	5,95	0,26	6,14	0,91	2,53	1,76
CV (%)	57,88	19,26	9,52	44,73	51,89	43,07	106,67	19,24
BIO (t ha ⁻¹)								
0	66,62 a	11,18 b	5,25 b	0,19 b	5,25 a	0,68 a	4,74 a	1,94 a
20	75,56 a	14,75 a	6,65 a	0,33 a	7,03 a	1,13 a	0,49 b	1,57 b
LOD (t ha ⁻¹)								
0	30,81 b	12,93 a	5,71 b	0,30 a	2,50 b	0,74 b	4,82 a	2,14 a
20	111,37a	13,00 a	6,19 a	0,23 a	9,78 a	1,08 a	0,24 b	1,37 b
SOMB								
Sem	75,00 a	12,56 a	5,90 a	0,23 a	7,51 a	0,88 a	2,57 a	1,77 a
Com	67,18 a	13,37 a	6,00 a	0,29 a	4,77 b	0,93 a	2,49 a	1,74 a

Fonte: elaboração da própria autora. **, * e ^{ns} valores de F significativos a 1, 5% e não significativos, respectivamente. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, dentro de cada variável, não diferem entre si para cada fonte de variação.

Tabela 6. Desdobramento das interações significativas nos atributos químicos para fósforo (P), pH_{CaCl₂}, cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺) e acidez potencial (H+Al), entre os tratamentos resíduos (biocarvão-BIO e lodo de esgoto-LOD), doses (0 e 20 t ha⁻¹) e sombreamento (SOMB - com ou sem), aos 24 meses da intervenção

Tratam.	0 BIO	20 BIO	Tratam.	0 BIO	20 BIO
Variáveis	--- P-resina (mg kg ⁻¹) ---		Variáveis	--- P-resina (mg kg ⁻¹) ---	
0 LOD	2,75 bB	58,87 aA	Sem SOMB	54,62 aA	95,37 aA
20 LOD	130,50 aA	92,25 aA	Com SOMB	78,62 aA	55,75 aA
	----- pH (CaCl ₂) -----			0 LOD	20 LOD
0 LOD	4,53 bB	6,88 aA		---- Ca ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹) ----	
20 LOD	5,97 aA	6,41 aA	Sem SOMB	3,22 bA	15,82 aA
	----- Mg ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹) ---		Com SOMB	5,86 aA	9,45 aB
0 LOD	0,28 bB	0,76 aB			
20 LOD	1,24 aA	1,29 aA			
	----- H+Al (cmol _c kg ⁻¹) ---				
0 LOD	2,64 aA	1,57 bA			
20 LOD	1,33 aB	1,19 aB			

Fonte: Elaboração da própria autora. Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, dentro de cada tratamento e época de avaliação, não difere entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

A fertilidade do solo está direcionada na eficiência com que as plantas captam e utilizam os nutrientes essenciais, dependendo do sincronismo entre a capacidade do solo de fornecer e a habilidade das plantas em absorver (Santos *et al.*, 2010).

5.2. ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DO SOLO

5.2.1. Matéria seca da planta inteira

A interação entre o tratamento de LOD*SOMB foi a única fonte de variação significativa para a matéria seca da planta inteira (MSPI) após 12 meses da intervenção e condução do experimento (Tabela 7).

Tabela 7. Valores de F para matéria seca planta inteira (MSPI - g) para os tratamentos resíduos (biocarvão-BIO e lodo de esgoto-LOD), doses (0 e 20 t ha⁻¹) e sombreamento (SOMB - com ou sem), bem como valores de F, coeficiente de variação (CV) e média geral, aos 12 e 24 meses da intervenção

Fonte de Variação	Valor de F	Fonte de Variação	MSPI (g)
----- 12 meses -----			
BIO	0,29 ^{ns}	BIO (t ha⁻¹)	
LOD	1,77 ^{ns}	0	4,77 a
SOMB	0,17 ^{ns}	20	4,38 a
BIO*SOMB	0,60 ^{ns}	LOD (t ha⁻¹)	
LOD*SOMB	4,83*	0	4,09 a
BIO*LOD*SOMB	2,39 ^{ns}	20	5,05 a
		SOMB	
Média Geral	4,57	Sem	4,72 a
CV (%)	44,72	Com	4,42 a
----- 24 meses -----			
BIO	0,29 ^{ns}	BIO (t ha⁻¹)	
LOD	0,63 ^{ns}	0	4,62 a
SOMB	1,52 ^{ns}	20	4,17 a
BIO*LOD	8,90**	LOD (t ha⁻¹)	
BIO*SOMB	4,42*	0	4,06 a
LOD*SOMB	20,70**	20	4,73 a
BIO*LOD*SOMB	0,00 ^{ns}	SOMB	
Média Geral	4,40	Sem	3,87 a
CV (%)	54,32	Com	4,92 a

Fonte: Elaboração da própria autora. **, * e ^{ns} valores de F significativos a 1, 5% e não significativos, respectivamente, dentro de cada variável e época de avaliação. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem entre si para cada fonte de variação.

No desdobramento da interação, observou-se que a adição de LOD, com ou sem sombreamento, incrementou a MSPI em relação ao tratamento sem adição de LOD e sem sombreamento (Tabela 8).

Após 24 meses da intervenção, a adição de resíduos orgânicos ao solo também favoreceu e incrementou a MSPI (Tabela 9). No desdobramento da interação, adição de LOD ou BIO exibiram a maior MSPI (Tabela 10). O sombreamento somente, ou combinado com adição de BIO também incrementaram a MSPI.

Tabela 8. Desdobramento das interações significativas entre tratamentos para MSPI - g) para os tratamentos resíduos (biocarvão-BIO e lodo de esgoto-LOD), doses (0 e 20 t ha⁻¹) e sombreamento (SOMB - com ou sem), aos 12 meses da intervenção

Tratamentos	----- MSPI (g) -----	
	0 SOMB	20 SOMB
0 LOD	3,44 b	4,74 a
20 LOD	5,99 a	4,11 a

Fonte: elaboração da própria autora. Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não difere entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 9. Valores de F para massa seca da planta inteira (MSPI) nas doses 0 e 20 t ha⁻¹ de biocarvão (BIO) e de lodo de esgoto (LOD), com e sem sombreamento (SOMB), bem como coeficiente de variação (CV) e média geral, aos 24 meses da intervenção

Fonte de Variação	Valor de F	Fonte de Variação	MSPI
BIO	0,29 ^{ns}	BIO (t ha ⁻¹)	
LOD	0,63 ^{ns}	0	4,62 a
SOMB	1,52 ^{ns}	20	4,17 a
BIO*LOD	8,90**	LOD (t ha ⁻¹)	
BIO*SOMB	4,42*	0	4,06 a
LOD*SOMB	20,70**	20	4,73 a
BIO*LOD*SOMB	0,00 ^{ns}	SOMB	
Média Geral	4,40	Sem	3,87 a
CV (%)	54,32	Com	4,92 a

Fonte: Elaboração da própria autora. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem entre si para cada fonte de variação. **, * e ^{ns} valores de F significativos a 1, 5% e não significativos, respectivamente.

Tabela 10. Desdobramento das interações significativas entre tratamentos para MSPI aos 24 meses da intervenção

Tratamentos	MSPI (g)	
	----- 12 meses -----	
LOD (t ha ⁻¹)	SOMB	SOMB
0	3,44 b	4,74 a
20	5,99 a	4,11 a
	----- 24 meses -----	
LOD (t ha ⁻¹)	BIO - 0 t ha ⁻¹	BIO - 20 t ha ⁻¹
0	3,03 aB	5,10 aA
20	6,22 aA	3,25 bA
Sem SOMB	3,21 aA	4,54 aA
Com SOMB	6,03 aA	3,80 aB
	LOD - 0 t ha ⁻¹	LOD - 20 t ha ⁻¹
Sem SOMB	5,46 aA	2,29 bB
Com SOMB	2,66 aB	7,18 aA

Fonte: elaboração da própria autora. Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, dentro de cada variável e época de avaliação, não difere entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

A adição dos resíduos orgânicos incrementou a matéria orgânica no solo e, juntamente com os sistemas de preparo do solo, assim como o manejo de resíduos vegetais, afetaram a ciclagem de carbono orgânico (C) no ambiente (Pillon; Mielniczuk; Neto, 2004). Os principais constituintes da matéria seca de uma planta, o C, assim como O e H, são chegando a cerca de 90% (Mendes, 2007). Ao introduzir LOD e BIO, houve aumento dos teores de micro e macronutrientes que afetaram positivamente nos resultados relacionados a matéria seca da planta.

5.2.2. Colonização radicular fúngica por fungos micorrízicos e endofíticos

Adição de BIO desfavoreceu a colonização radicular fúngica pelos ESM aos 12 meses de condução (Tabela 11). Aos 24 meses de intervenção, não houve diferenças para a colonização radicular por ESM entre os tratamentos, contudo, estes foram superiores aos 12 meses de condução.

Tabela 11. Valores de F para colonização radicular por fungos endofíticos septado melanizado (ESM - %), para os tratamentos resíduos (biocarvão- BIO e lodo de esgoto- LOD), doses (0 e 20 t ha⁻¹) e sombreamento (SOMB - com ou sem), bem como coeficiente de variação (CV) e média geral, aos 12 e 24 meses da intervenção

Fonte de Variação	Valor de F	Fonte de Variação	Colonização ESM (%)
----- 12 meses -----			
BIO	6,11*	BIO (t ha⁻¹)	
LOD	0,01 ^{ns}	0	4,87 a
SOMB	0,01 ^{ns}	20	1,75 b
BIO*LOD	0,01 ^{ns}	LOD (t ha⁻¹)	
BIO*SOMB	0,09 ^{ns}	0	3,25 a
LOD*SOMB	2,20 ^{ns}	20	3,37 a
BIO*LOD*SOMB	0,48 ^{ns}	SOMB	
Média Geral	3,31	Sem	3,25 a
CV (%)	107,97	Com	3,37 a
----- 24 meses -----			
BIO	1,85 ^{ns}	BIO (t ha⁻¹)	
LOD	3,10 ^{ns}	0	8,25 a
SOMB	1,64 ^{ns}	20	6,12 a
BIO*LOD	2,08 ^{ns}	LOD (t ha⁻¹)	
BIO*SOMB	0,03 ^{ns}	0	8,56 a
LOD*SOMB	0,52 ^{ns}	20	5,81 a
BIO*LOD*SOMB	0,16 ^{ns}	SOMB	
Média Geral	7,18	Sem	6,18 a
CV (%)	61,43	Com	8,18 a

Fonte: Elaboração da própria autora. **, * e ^{ns} valores de F significativos a 1, 5% e não significativos, respectivamente, dentro de cada variável e época de avaliação. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem entre si para cada fonte de variação.

A colonização radicular por FMA diferiu entre tratamentos (Tabela 12). No desdobramento das interações significativas aos 12 meses, o tratamento com SOMB, sem adição de BIO, exibiu a maior colonização radicular por FMA, porém aos 24 meses, a adição de LOD favoreceu a colonização radicular por FMA (Tabela 13).

Tabela 12. Valores de F para colonização radicular por fungos micorrízicos arbusculares (FMA) nas doses 0 e 20 t ha⁻¹ de biocarvão (BIO) e de lodo (LOD), com e sem sombreamento (SOMB), bem como coeficiente de variação (CV) e média geral, aos 12 e 24 meses da intervenção

Fonte de Variação	Valor de F	Fonte de Variação	Colonização FMA (%)
----- 12 meses -----			
BIO	0,05 ^{ns}	BIO (t ha⁻¹)	
LOD	0,43 ^{ns}	0	2,93 a
SOMB	1,52 ^{ns}	20	3,12 a
BIO*LOD	0,13 ^{ns}	LOD (t ha⁻¹)	
BIO*SOMB	5,72*	0	2,75 a
LOD*SOMB	0,01 ^{ns}	20	3,31 a
BIO*LOD*SOMB	0,26 ^{ns}	SOMB	
Média Geral	3,03	Sem	2,50 a
CV (%)	80,45	Com	3,56 a
----- 24 meses -----			
BIO	0,19 ^{ns}	BIO (t ha⁻¹)	
LOD	14,36**	0	10,93 a
SOMB	0,64 ^{ns}	20	11,68 a
BIO*LOD	2,81 ^{ns}	LOD (t ha⁻¹)	
BIO*SOMB	4,16 ^{ns}	0	8,06 b
LOD*SOMB	0,76 ^{ns}	20	14,56 a
BIO*LOD*SOMB	1,19 ^{ns}	SOMB	
Média Geral	11,31	Sem	12,00 a
CV (%)	42,89	Com	10,62 a

Fonte: Elaboração da própria autora. **, * e ^{ns} valores de F significativos a 1, 5% e não significativos, respectivamente, dentro de cada tratamento e época avaliada. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem entre si para cada fonte de variação.

Tabela 13. Desdobramento das interações significativas entre tratamentos para colonização de FMA, aos 12 meses da intervenção

Tratamentos	ColFMA (%)	
	0 SOMB	20 SOMB
0 BIO	1,37 a	4,50 a
20 BIO	3,62 a	2,62 a

Fonte: elaboração da própria autora. Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não difere entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

A adição dos resíduos orgânicos desfavoreceu ou não teve resultados tão significativos nas análises pelo fato de que os resíduos diminuíram a acidez potencial

e aumentaram os valores de pH do solo e, em termos gerais, os fungos são mais adaptados a solos com pH mais ácido (Bettiol *et al.* 2023).

5.2.3. Densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares autóctones

Para número de esporos de FMA autóctones, aos 12 meses de condução do experimento, não houve diferença entre os tratamentos com resíduos orgânicos e/ou sombreamento, enquanto que aos 24 meses, adição de BIO levou a um maior número de esporos (Tabela 14).

Tabela 14. Valores de F para número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares (em 100 g subsolo), nas doses 0 e 20 t ha⁻¹ de biocarvão (BIO) e de lodo (LOD), com e sem sombreamento (SOMB), bem como valores de F, coeficiente de variação (CV) e média geral, aos 12 e 24 meses da intervenção

Fonte de Variação	Valor de F	Fonte de Variação	n. esporos (x100 g solo)
----- 12 meses -----			
BIO	1,41 ^{ns}	BIO (t ha⁻¹)	
LOD	0,79 ^{ns}	0	3,62 a
SOMB	1,41 ^{ns}	20	3,12 a
BIO*LOD	0,79 ^{ns}	LOD (t ha⁻¹)	
BIO*SOMB	1,41 ^{ns}	0	3,18 a
LOD*SOMB	0,09 ^{ns}	20	3,56 a
BIO*LOD*SOMB	0,79 ^{ns}	SOMB	
Média Geral	3,37	Sem	3,12 a
CV (%)	35,26	Com	3,62 a
----- 24 meses -----			
BIO	5,20*	BIO (t ha⁻¹)	
LOD	2,03 ^{Nns}	0	5,37 b
SOMB	0,21 ^{ns}	20	10,37 a
BIO*LOD	1,72 ^{ns}	LOD (t ha⁻¹)	
BIO*SOMB	1,57 ^{ns}	0	9,43 a
LOD*SOMB	0,16 ^{ns}	20	6,31 a
BIO*LOD*SOMB	3,13 ^{ns}	SOMB	
Média Geral	7,87	Sem	7,37 a
CV (%)	78,72	Com	8,37 a

Fonte: Elaboração da própria autora. **, * e ^{ns} valores de F significativos a 1, 5% e não significativos, respectivamente, dentro de cada variável e época de avaliação. Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem entre si para cada fonte de variação.

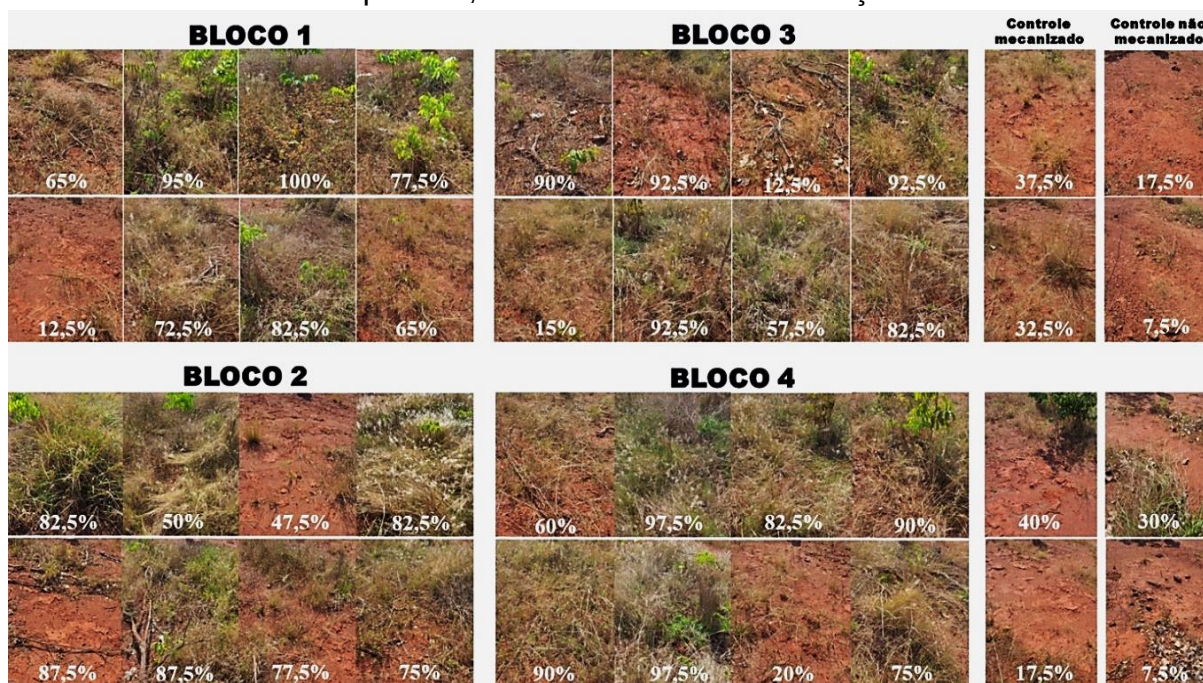
Pode-se explicar a baixa esporulação apresentada nos resultados relacionada à época da coleta, visto que foi realizada após o período de maior precipitação pluviométrica. Em regiões tropicais, a maior parte da esporulação de FMA ocorre em estações secas, estando associado ao aspecto fenológico das plantas (Cardoso *et al.*, 2003; Birhane *et al.*, 2010).

Em áreas com solo degradado e associado à erosão, é provável que os esporos ocorram em camadas mais profundas, resultado da perda da camada superficial do solo e da distribuição mais profunda das raízes (Birhane *et al.* 2010). Desta forma, como o solo utilizado para avaliar a densidade de esporos não foi realizada em profundidade, os esporos que se estabeleceram em camadas mais profundas podem não ter sido coletados.

5.2.4. Cobertura vegetal

Os tratamentos com LOD e com BIO, assim como as interações entre BIO*LOD*SOMB, LOD*SOMB e BIO*LOD resultaram em melhores porcentagens de cobertura total dentro de todas as parcelas experimentais (Figura 4). Para a presença de *A. setifolia*, houve variação nos tratamentos que influenciaram a porcentagem da gramínea em cada bloco (Figura 5). A presença de SOMB e LOD apresentaram resultados relevantes neste quesito.

Figura 4. Avaliação da cobertura vegetal com notas atribuídas de 0 a 100% de acordo com a cobertura total da parcela, aos 24 meses da intervenção

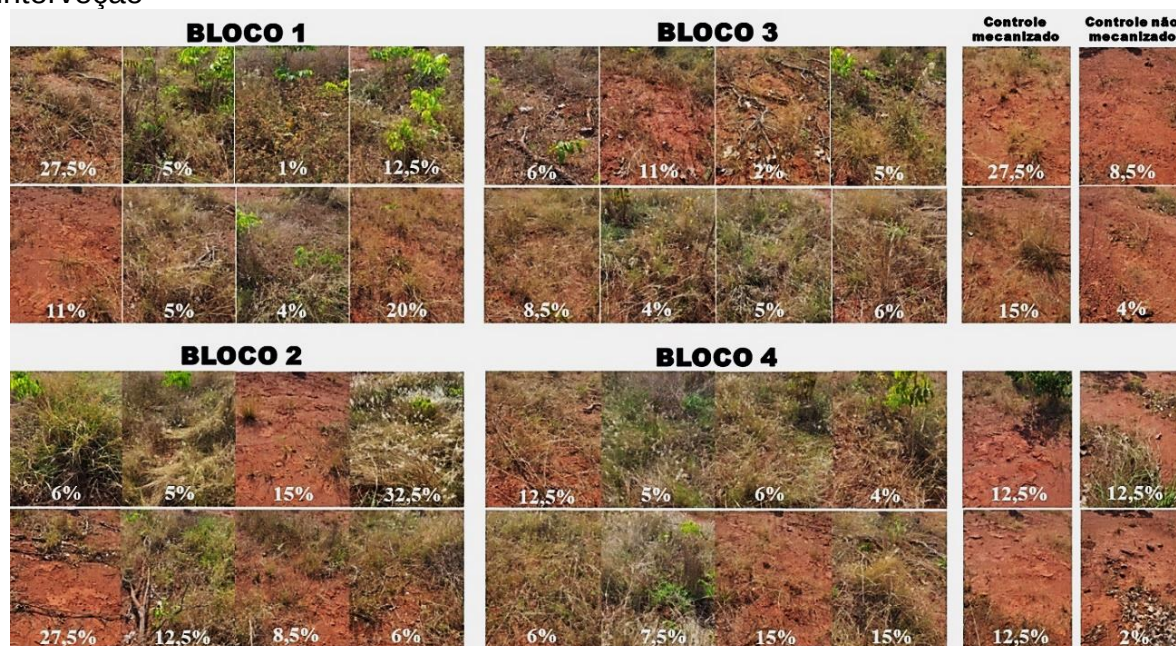


Fonte: elaboração da própria autora.

A colonização fúngica também favoreceu a cobertura vegetal, isso se deve por conta do estabelecimento de interações entre planta e fungo, assim como outros organismos edáficos, contribuindo para formação de agregados estáveis e

desenvolvimento da complexidade da organização do sistema poroso, tendo como resultado o aumento da funcionalidade física da estrutura do solo e estabelecimento das plantas (Gamboa, 2020).

Figura 5. Avaliação da presença de *A. setifolia* de acordo com sua presença em relação à cobertura vegetal total, com notas atribuídas de 0 a 100%, aos 24 meses da intervenção



Fonte: elaboração da própria autora.

O aumento nos teores de matéria orgânica, assim como a intensa atividade dos microrganismos contribuem para maior agregação do solo, importante para conferir a preservação de sua estrutura. O não revolvimento garante maior qualidade do solo, por não quebrar as estruturas físicas nem favorecer a perda de nutrientes e material orgânico (Vezzani; Mielniczuk, 2009).

Estas medidas de manejo visam proteger o solo, prevenindo os efeitos prejudiciais da erosão aumentando a disponibilidade de água, de nutrientes e da atividade biológica do solo, acarretando condições adequadas ao desenvolvimento das plantas. A cobertura vegetal adequada possui importância fundamental diminuir o impacto das gotas provenientes da precipitação, ocorrendo redução da velocidade das águas que escorrem sobre o terreno, possibilitando maior infiltração de água e, diminuição do carreamento das suas partículas no solo (Machado, 2006).

O selamento superficial é de ocorrência comum, principalmente, em solos com pouca cobertura vegetal. A superfície do solo torna-se compactada, e, embora a

camada compactada possa ser de pequena espessura, seu efeito nas propriedades físicas do solo influencia expressivamente as condições de infiltração.

Em uma área com sistema de ILPF, as gotas de chuva, antes de atingirem o solo, atingem a cobertura vegetal. Isto reduz a velocidade de queda da gota e o seu tamanho, reduzindo a energia cinética, o selamento superficial e a ação de desprendimento de partículas, que dão origem ao processo erosivo. A infiltração, por sua vez, se mantém em taxas elevadas, o que favorece a recarga dos aquíferos

Em áreas com pastagem degradada a compactação do solo é maior, bem como a sua suscetibilidade ao processo de selamento superficial. Consequentemente, a infiltração é menor, sendo menor também a recarga dos aquíferos e, consequentemente, a contribuição da área para o aumento da disponibilidade hídrica nos períodos de estiagem.

Os sistemas radiculares sob florestas são extensos e relativamente profundos em relação às terras agrícolas e pastos, e tendem a criar solos com alta macroporosidade, baixa densidade, altas condutividade hidráulica saturada e taxas de infiltração (Alvarenga *et. al.*, 2012).

Outro benefício da floresta é que ela ameniza o clima local, reduz a temperatura, alterando as condições de evapotranspiração. É evidente que a magnitude dessa alteração depende de vários fatores, como, por exemplo, o tipo de árvore, a sua orientação e disposição, o espaçamento, etc.

Um outro comportamento associado às áreas florestais é o associado à serapilheira, que, além da influência que causa em relação à quantidade de água interceptada, promove, também, um efeito muito expressivo em relação aos processos biológicos que se desenvolvem no solo, e que favorecem o movimento da água, o que, somado à atenuação do selamento superficial, promove o incremento da capacidade de infiltração da água no solo (Rodrigues; Pruski, 2019).

6. CONCLUSÃO

No ano de 2023, a adição dos resíduos orgânicos nas doses de 20 t ha⁻¹ de biocarvão (BIO) e de lodo de esgoto (LOD) elevaram os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ no solo. No mesmo ano, quando houve sombreamento, aumentou-se os teores de P, MO, pH e houve decréscimo na acidez potencial e Al³⁺. A adição de BIO e LOD aumentaram os teores de P, pH Ca²⁺ e Mg²⁺ e os tratamentos de BIO associados ou não com LOD, diminuíram a acidez potencial e Al no ano de 2024.

A adição de LOD, associada ou não ao sombreamento, incrementou o MSPI em 2024. No ano de 2023, a adição de BIO desfavoreceu a colonização por ESM. O tratamento com LOD na dose de 20 t ha⁻¹ incrementou a colonização de FMA em 2024. O tratamento com BIO na dose de 20 t ha⁻¹ aumentou o número de esporos no ano de 2024. A colonização micorrízica influenciou na cobertura vegetal das parcelas experimentais. Desta forma, o uso de resíduos orgânicos, associados a cobertura vegetal, favorecem a interação com microrganismos do solo e contribuem para os processos de recuperação de áreas degradadas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, D. S. Plano de recuperação de áreas degradadas (PRAD). *In: _____*
Recuperação ambiental da Mata Atlântica. 3rd ed. rev. and enl. Ilhéus, BA: Editus, 2016, p. 140-158.
- ALMEIDA, A. T. *et al.* Multi-impact evaluation of new medium and large hydropower plants in Portugal center region. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 9, p. 149-167, 2005.
- ALVARENGA, L. A. A. *et al.* Estudo da qualidade e quantidade da água em microbacia, afluente do Rio Paraíba do Sul - São Paulo, após ações de preservação ambiental. **Revista Ambiente & Água**. Taubaté, v. 7, n. 3, p.228-240, 2012.
- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ASAEDA, T.; RASHID, M. H. The impacts of sediment released from dams on downstream sediment bar vegetation. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 430, p. 25-38, 2012.
- BENTO, G. P.; SCHMITT FILHO, A. L.; FAITA, M. R. Sistemas silvipastoris no Brasil: uma revisão sistemática. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 9, n. 10, p. e7019109016, 2020.
- BETTIOL W. *et al.* **Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical**. Objetivos de desenvolvimento sustentável. Brasília: EMBRAPA, 1 ed., 2023. 788 p.
- BONI, T. S. *et al.* Chemical soil attributes of Cerrado areas under different recovery managements or conservation levels. **International Journal of Biodiversity and Conservation**, Lagos, v. 9, n. 5, p. 115-121, 2017.
- BONI, T. S. *et al.* Biomass residues improve soil chemical and biological properties reestablishing native species in an exposed subsoil in Brazilian Cerrado. **PLoS One**, San Francisco, v. 17, n. 6, p. e0270215, 2022.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Biodiversidade brasileira**: avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros. Brasília: MMA/SBF, 2002.
- BUSTAMANTE, M. M. C.; METZGE, J. P. (Coord) Tendências e impactos dos vetores de degradação e restauração da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos. *In: BPBES. 1º Diagnóstico Brasileiro de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos*. Cap. 3. São Carlos: Editora Cubo, 2019. p. 92- 213.
- CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. 2 ed. Piracicaba: FEALQ, ESALQ, 2016. 221 p.

CAMEL, S. B. *et al.* The growth of mycorrhizal mycelia through bulk soil. **Soil Science Society of America**, Madison, v. 55, n. 2, p. 389-393, 1991.

CARVALHO, J. C. *et al.* Compostagem de resíduos agroindustriais. *In.* PASTORE, G. M.; BICAS, J. L.; MARÓSTICA JÚNIOR, M. R. (Ed.) **Biotecnologia de Alimentos**. v. 12. São Paulo: Atheneu, 2013.

CAVALCANTE, U. M. T.; GOTO, B. T.; MAIA, L. C. Aspectos da simbiose micorrízica arbuscular. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, Recife, v. 5 e 6, p. 180-208, 2008-2009.

CHAVES, T. A. *et al.* **Recuperação de áreas degradadas por erosão no meio rural**. Niterói: Programa Rio Rural, 2012. 19 p. (Programa Rio Rural. Manual Técnico, 34).

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. Safra 2022/23. Primeiro levantamento, Brasília, v. 9, n. 1, p. 1-57, 2022.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Ministério do Meio Ambiente. Resolução n. 001/86, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Brasília, DF, 1986. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em: Jun. 2024.

DEMATTE, J. L. I. **Levantamento detalhado dos solos do Campus Experimental de Ilha Solteira**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1980.

DÖBERENER, J. Avanços recentes na pesquisa em fixação biológica de nitrogênio no Brasil. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 4, n. 8, p. 144-152, 1990.

FUZETO, I. M. **Resíduos e sombreamento: Facilitadores do processo de recuperação de área impactada pela construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira**. Ilha Solteira, 2023. 95 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista - Unesp, Ilha Solteira, 2023.

GAMBOA, C. H. **Funcionamento do sistema solo em diferentes escalas em sistemas de cultura sob plantio direto**. Porto Alegre, 2020. 208 f. Tese (Doutorado) -Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRS, Porto Alegre, 2020.

GAR, P. S.; SURESH, N.; BINDIGANAVILE, V. Sugar cane bagasse ash as a pozzolanic admixture in concrete for resistance to sustained elevated temperatures. **Construction and Building Materials**, London, v. 153, p. 929-936, 2017.

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transaction of British of Mycology Society**, Cambridge, v. 46, n. 2, p. 234-244, 1963.

GONG, M. *et al.* Co-inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi and dark septate endophytes under drought stress: synergistic or competitive effects on maize growth, photosynthesis, root hydraulic properties and aquaporins? **Plants**, Basel, v. 12, p. e2596, 2023.

HARDT, E. *et al.* Plantios de restauração de matas ciliares em minerações de areia da Bacia do Rio Corumbataí: eficácia na recuperação da biodiversidade. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 34, n. 70, p. 107-123, 2006.

INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE DE MATO GROSSO DO SUL – IMASUL. **Métodos e técnicas para restauração da vegetação nativa**. Documento técnico para orientação na Restauração da Vegetação Nativa no Bioma Mata Atlântica do Mato Grosso do Sul. Campo Grande: IMASUL, 2016. 114 p.

JENKINS, W. R. A rapid centrifugal–flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, Saint Paul, v. 48, n. 9, p. 692, 1964.

KNAPP, D. G. *et al.* Comparative genomics provides insights into the lifestyle and reveals functional heterogeneity of dark septate endophytic fungi. **Scientific Reports**, v. 8, p. e6321, 2018.

LI, X. *et al.* Dark septate endophytes improve the growth of host and non-host plants under drought stress through altered root development. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 439, p. 259–272, 2019.

LI, Z. *et al.* Water quality trends in the Three Gorges Reservoir region before and after impoundment (1992-2016). **Ecohydrology and Hydrobiology**, Olsztyn, v. 19, n. 3, p. 317-327, 2019.

LISBOA, E. G. *et al.* A influência das exportações de produtos agrícolas, e os impactos gerados na degradação do solo e do meio ambiente, durante o período entre 2004 à 2019. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.4, p. 38286-38302, 2021.

MACHADO, R. L.; RESENDE, A. S.; CAMPELLO, E. F. C. (Ed) **Recuperação de Voçorocas em áreas rurais**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2006. 63p. (Embrapa Agrobiologia. Sistemas de Produção, 4).

MAEDA, S. *et al.* Resposta de *Pinus taeda* à aplicação de cinza de biomassa vegetal em Cambissolo Húmico, em vaso. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 56, p. 43-52, 2008.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Ceres, 2006. 638 p.

MANZATTO, C. V. *et al.* **Uso agrícola dos solos brasileiros**. ed. 1. 174 p. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002.

MARCHETTI, M. M.; BARP, E. A. Efeito rizosfera: a importância de bactérias fixadoras de nitrogênio para o solo/planta – revisão. **Ignis**, v. 4, n. 1, p. 61-71, 2015.

MARRIEL, I. E. *et al.* **Aplicação da técnica de eletroforese em gel de gradiente desnaturante (DGGE) na caracterização de microrganismos dominantes na rizosfera de plantas cultivadas em solo ácido**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2005 (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica 72).

MARTINS, C. R. **Revegetação com gramíneas de uma área degradada no Parque Nacional de Brasília-DF, Brasil** Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Brasília, 1996.

MELLO, F. A. F. O. **O fósforo no solo e na adubação fosfatada**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1980. 39 p.

MENDES, A. M. S. In: CURSO DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA. Barreiras: MAPA. SFA-BA: Embrapa Semiárido. UEP Recife: Embrapa Solos, 2007.

MORAES, L. F. D. *et al.* **Manual técnico para a restauração de áreas degradadas no estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2013. 84 p.

MORETTI, J. P. *et al.* Pore size distribution of mortars produced with agro-industrial waste. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 187, p. 473-484, 2018.

PHILLIPS, J. M.; HAYMAN, D. S. Improved procedures for clearing roots for rapid assessment of infection. **Transaction of British of Mycology Society**, London, v. 55, n. 1, p.158-161, 1970.

PILLON C. N.; MIELNICZUK, J.; NETO, L. M. **Ciclagem da matéria orgânica em sistemas agrícolas**. Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado, 2004 (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 125)

PRATES, P. *et al.* Mycorrhizal inoculation and phosphorus fertilization show contrasts on native species of the Brazilian Atlantic Forest and Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. e0210013, 2021.

RAHEEM, A. *et al.* Opportunities and challenges in sustainable treatment and resource reuse of sewage sludge: A review. **Chemical Engineering Journal**, Lausanne, v. 337, p. 616-641, 2018.

RAIJ, B. van *et al.* **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2021. p. 285.

REIS, A. F.; SCHMIELE, M. Características e potencialidades dos frutos do Cerrado na indústria de alimentos. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 22, p. e2017150, 2019.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As Principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. (Ed.). **Cerrado: ecologia e flora** v. 2. Brasília: EMBRAPA-CERRADOS, 2008. 876 p.

RODRIGUES, L. N.; PRUSKI, F. F. Fundamentos e benefícios do sistema de integração lavoura-pecuária-floresta para os recursos hídricos. *In*: BUNGENSTAB, D. J. *et al.* (Ed.). **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Brasília: EMBRAPA, cap. 13. 2019. p. 181-194

SALES, A.; LIMA, S. A. Use of Brazilian sugarcane bagasse ash in concrete as sand replacement. **Waste Management**, Elmsford, v. 30, n. 6, p. 1114-1122, 2010.

SALIMON, C. I. WADT, P. G. S.; MELO, A. W. F. Dinâmica do carbono na conversão de floresta para pastagens em Argissolos da formação geológica Solimões, no Sudoeste da Amazônia. **Revista de Biologia e Ciências da Terras**, v. 7, n. 1, p. 29-38, 2007.

SAMPAIO, A. B. *et al.* **Guia de restauração ecológica para gestores de Unidades de Conservação**. 1 ed., Brasília, DF: Instituto Chico Mendes, 2021.

SANTOS, A. B. **Manejo do solo e sistema de plantio**. Brasília, DF: Embrapa Arroz e Feijão, 2021.

SANTOS, D. R. *et al.* **Fertilidade do solo e nutrição de plantas**. 1 ed., Santa Maria, RS: UFSM; NTE, UAB, 2010.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SCARIOT, A.; SILVA, J. C. S.; FELFILI, J. M. **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. 439 p.

SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO RURAL – SEAB. Depto. de Economia Rural. **Soja: Análise da Conjuntura Agropecuária**, 2013.

SHARMA, B. B.; JHA D. K. Arbuscular mycorrhiza and dark septate fungal associations in medicinal and aromatic plants of Guwahati. **Journal of Microbiology and Biotechnology Research**, v. 2, n. 1, p. 212-222, 2012.

SILVA, A. L. P. *et al.* As contribuições dos microrganismos na qualidade do solo na agricultura. **Peer Review**, v. 6, n. 7, p. 96-106, 2024.

SILVA, D. D. E.; FELIZMINO, F. T. A.; OLIVEIRA, M. G. Avaliação da degradação ambiental a partir da prática da cultura do feijão no município de Tavares-PB. **Holos**, Natal, ano 31, v. 8, p. 148-165, 2015.

SILVA, F. C. *et al.* Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto: nutrientes, metais pesados e produtividade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 1, p. 1-8, 1998.

SIQUEIRA, D. P. *et al.* Lodo de esgoto tratado na composição de substrato para produção de mudas de *Lafoensia glyptocarpa*. **Floresta**, Curitiba, v. 48, n. 2, p. 277-284, 2018.

SUN, F. *et al.* Long-term increase in rainfall decreases soil organic phosphorus decomposition in tropical forests. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 151, p. e108056, 2020.

TORRES, J. L. R. *et al.* Influência de plantas de cobertura na temperatura e umidade do solo na rotação milho-soja em plantio direto. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 12, n. 1, p. 107-113, 2006.

WADT, P. G. S. **Práticas de Conservação do solo e recuperação de áreas degradadas**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2003. 29 p. (Embrapa Acre. Documentos, 90)

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 743-755, 2009.

XAVIER, F. A. S. Solo - definição e importância. *In*: BORGES, A. L. (Ed.). **Recomendações de calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, citros, mamão, mandioca, manga e maracujá**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. Cap. 1. p.15-25.

ZHANG, Y.; LIU, J.; WANG, L. Changes in water quality in the downstream of Lancangjiang River after the construction of Manwan hydropower station. **Resources and Environment in the Yangtze Basin**, China, v.14, p. 500-506, 2005.

ZHANG, J. *et al.* Environmentally feasible potential for hydropower development regarding environmental constraints. **Energy Policy**, v. 73, p.552-562, 2014.