

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

NATIELLY PEREIRA DA SILVA

**ESTOQUE DE CARBONO E DIVERSIDADE MICROBIOLÓGICA
EM SOLOS SOB DIFERENTES MANEJOS NOS BIOMAS DO MATO
GROSSO DO SUL**

CHAPADÃO DO SUL – MS

2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

NATIELLY PEREIRA DA SILVA

**ESTOQUE DE CARBONO E DIVERSIDADE
MICROBIOLÓGICA EM SOLOS SOB DIFERENTES MANEJOS
NOS BIOMAS DO MS**

Orientador: Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Mato
Grosso do Sul, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Mestre em Agronomia, área de
concentração: Produção Vegetal.

CHAPADÃO DO SUL – MS

2024



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

DISCENTE: Natielly Pereira da Silva

ORIENTADOR: Dr. Rafael Felipe Ratke

TÍTULO: Estoque de carbono e diversidade microbológica em solos sob diferentes manejos nos biomas do Mato Grosso do Sul.

AVALIADORES:

Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke

Prof. Dr. Leandris Argentele Marnez

Prof. Dr. Paulo Eduardo Teodoro

Chapadão do Sul, 16 de fevereiro de 2024.

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Rafael Felipe Ratke, Professor do Magisterio Superior**, em 16/02/2024, às 16:04, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **LEANDRIS ARGENTELE MARTÍNEZ, Usuário Externo**, em 16/02/2024, às 17:50, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Eduardo Teodoro, Professor do Magisterio Superior**, em 19/02/2024, às 07:09, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho, ao meu querido filho, Nicollas Pereira De Souza, meu maior presente de Deus e incentivador.

Luz da minha vida.

AGRADECIMENTOS

A presente dissertação de mestrado não poderia chegar a bom porto sem o precioso apoio de várias pessoas.

A Deus, que me deu força, perseverança e coragem para vencer todos os obstáculos e dificuldades enfrentadas durante o mestrado e pela vitória de me tornar mestre.

Ao professor Dr. Rafael Felipe Ratke, meu orientador, ao professor, Paulo Eduardo Teodoro pela confiança e contribuições de pesquisa deste trabalho, acadêmica e de vida profissional, ao meu orientador pela dedicação, paciência, apoio e incentivo à minha pesquisa e pela oportunidade de poder usufruir um pouco de seus conhecimentos.

Desejo igualmente agradecer a todos os meus amigos e parceiros Magno, Dthenifer, Izabela, João Lucas, e todos aos Integrantes dos grupos GEFSF E GEMP. Esses têm grande parcela de contribuição no mestrado e sempre serei muito grata por isso.

Aos meus pais Valdeci e Lucilene, e minha irmã Nayny pelo apoio e incentivo que serviram de alicerce para as minhas realizações. Esta monografia é a prova de que os esforços deles pela minha educação não foram em vão e valeram a pena. Ao meu filho Nicollas, ao meu esposo Muriel, com eles compartilho a concretização de um sonho que é um dos momentos mais importante da minha vida, que hoje podemos desfrutar juntos.

A todos dessa instituição (UFMS-CPCS), que permitiram que eu chegasse onde estou.

O agradecimento ao próprio grupo da pesquisa (GEFSF) que, estavam sempre presentes em todo o processo de elaboração deste trabalho, nos bons e maus momentos.

Finalmente, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão desta pesquisa.

EPÍGRAFE

A satisfação está no esforço, não na conquista.

Esforço completo significa vitória completa.”

Mahatma Gandhi

RESUMO

O estoque de carbono e a diversidade microbiológica está intrinsicamente ligado ao uso do solo e o bioma. O Mato Grosso do Sul possui como principais usos e ocupação do solo: agricultura, pastagem, plantio de eucalipto e vegetação nativa. Esse Estado possui uma meta desafiadora de se tornar carbono neutro até 2030. Diante do exposto, a hipótese deste trabalho é que o uso e ocupação do solo influencia o estoque de carbono e a diversidade biológica microbiológica do solo em diferentes biomas do estado de Mato Grosso do Sul. Essa dissertação foi separada em dois capítulos. No primeiro o objetivo deste trabalho foi avaliar o estoque de carbono em três profundidades nos principais usos e ocupação do solo dos biomas Cerrado, Pantanal e Mata Atlântica de Mato Grosso do Sul. Neste trabalho foram avaliados diferentes usos do solo em cada bioma do MS, sendo eles: agricultura, pastagem, eucalipto e floresta nativa. Realizou-se avaliações do estoque de carbono através da análise de carbono total do solo, densidade do solo nas camadas do solo amostradas (0-10, 10-20 e 20-40 cm) em 100 pontos amostrais para cada uso e ocupação do solo e bioma. Agrupou-se as amostras de solo em uma amostra composta para cada uso e bioma considerando as duas profundidades iniciais para análise de identificação microbiológica do solo. Identificou-se bactérias e fungos pelo método 16S rRNA e ITS1/ITS2 PCR respectivamente. Os resultados encontrados demonstram que o Cerrado apresenta maior estoque de carbono nos usos e ocupações eucalipto, pasto e soja na profundidade de 20-40 cm, enquanto a floresta nativa apresenta estoque de carbono similar nos biomas Cerrado e Pantanal. O menor estoque de carbono foi observado no bioma Mata Atlântica, quando em uso e ocupação de soja quando nas profundidades de 0-10 e 20-40 cm. A maior diversidade de bactérias foi observada no uso de eucalipto e pastagem e nos biomas Pantanal e Mata-Atlântica. A maior diversidade de fungos foi observada no uso de pastagem e soja e nos biomas Cerrado e Mata-Atlântica. Os resultados reportados nessa pesquisa podem ser utilizados para traçar estratégias de políticas públicas para absorção de carbono nos principais usos e ocupação do solo em todos os biomas de Mato Grosso do Sul.

Palavras-chaves: RNA. Agricultura. Cerrado. Mata-Atlântica. Pantanal.

ABSTRACT

Carbon stock and microbiological diversity are intrinsically linked to land use and the biome. Mato Grosso do Sul's main land uses and occupation are: agriculture, pasture, eucalyptus planting and native vegetation. This State has a challenging goal of becoming carbon neutral by 2030. In view of the above, the hypothesis of this work is that land use and occupation influences the carbon stock and the microbiological biological diversity of the soil in different biomes in the state of Mato Grosso do Sul. This dissertation was separated into two chapters. In the first, the objective of this work was to evaluate the carbon stock at three depths in the main uses and occupation of soil in the Cerrado, Pantanal and Atlantic Forest biomes of Mato Grosso do Sul. In this work, different land uses were evaluated in each biome of MS, They are: agriculture, pasture, eucalyptus and native forest. Carbon stock assessments were carried out through the analysis of total soil carbon, soil density in the sampled soil layers (0-10, 10-20 and 20-40 cm) in 100 sampling points for each land use and occupation. and biome. The soil samples were grouped into a composite sample for each use and biome considering the two initial depths for soil microbiological identification analysis. Bacteria and fungi were identified using the 16S rRNA and ITS1/ITS2 PCR method, respectively. The results found demonstrate that the Cerrado has a greater carbon stock in the uses and occupations of eucalyptus, pasture and soybeans at a depth of 20-40 cm, while the native forest has a similar carbon stock in the Cerrado and Pantanal biomes. The lowest carbon stock was observed in the Atlantic Forest biome, when soybean was used and occupied at depths of 0-10 and 20-40 cm. The greatest diversity of bacteria was observed in the use of eucalyptus and pasture and in the Pantanal and Atlantic Forest biomes. The greatest diversity of fungi was observed in the use of pasture and soybeans and in the Cerrado and Atlantic Forest biomes. The results reported in this research can be used to outline public policy strategies for carbon absorption in the main uses and occupation of land in all biomes of Mato Grosso do Sul.

Keywords: RNA. Agriculture. Cerrado. Mata-Atlântica. Pantanal.

SUMÁRIO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA **Erro! Indicador não definido.**

CAPÍTULO 1 - ESTOQUE DE CARBONO EM SOLOS SOB DIFERENTES MANEJOS NOS BIOMAS DO MS.....	12
INTRODUÇÃO.....	14
MATERIAL E MÉTODOS.....	15
RESULTADOS	17
DISCUSSÃO	21
CONCLUSÃO.....	23
REFERÊNCIAS	23
CAPÍTULO 2 – DIVERSIDADE MICROBIOLÓGICA NOS SOLOS SOB DIFERENTES USOS NOS BIOMAS DO MATO GROSSO DO SUL.....	25
RESUMO.....	25
Palavras-chave	25
ABSTRACT	26
Keywords.....	26
INTRODUÇÃO.....	27
MATERIAL E MÉTODOS.....	28
RESULTADOS	30
DISCUSSÃO	37
CONCLUSÃO.....	40
REFERÊNCIAS	40

CAPÍTULO 1 - ESTOQUE DE CARBONO EM SOLOS SOB DIFERENTES MANEJOS NOS BIOMAS DO MS

RESUMO: Os usos e ocupações do solo, assim como o bioma em que se encontram, influenciam seu estoque de carbono no solo. Os solos tropicais detêm grande parte do estoque de carbono mundial, resultado das altas temperaturas, precipitação e manejos, que resultam na variabilidade temporal da respiração do solo. Diante do exposto, a hipótese deste trabalho é que o uso e ocupação do solo influencia o estoque de carbono no solo. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o estoque de carbono em diferentes usos e ocupações do solo nos biomas Cerrado, Pantanal e Mata Atlântica, localizados no estado de Mato Grosso do Sul. Neste trabalho foram avaliados diferentes usos e ocupações do solo em cada bioma do Mato Grosso do Sul, sendo eles: agricultura, representada pelo cultivo da soja; pastagem bem manejada, plantio de eucalipto e vegetação nativa. Realizou-se avaliações do estoque de carbono através da análise de carbono total do solo, densidade do solo nas camadas do solo amostradas (0-10, 10-20 e 20-40 cm) em 100 pontos amostrais para cada uso e ocupação do solo e bioma. Os resultados encontrados demonstram que o Cerrado apresenta maior estoque de carbono nos usos e ocupações eucalipto, pastagem e eucalipto na profundidade de 20-40 cm, enquanto a floresta nativa apresenta estoque de carbono similar nos biomas Cerrado e Pantanal. O menor estoque de carbono foi observado no bioma Mata Atlântica, quando em uso e ocupação de agricultura quando nas profundidades de 0-10 e 20-40 cm. Esses resultados demonstram a ocorrência de variação no estoque de carbono do solo em relação ao uso e ocupação apresentados e o bioma que se encontram. A identificação dos principais usos e ocupações que contribuem para o sequestro de carbono em cada bioma é de suma importância para estabelecimento de metas e mitigação da emissão de gases de efeito estufa, contribuindo para minimização das mudanças climáticas globais. Perspectivas futuras se baseiam no acompanhamento do estoque de carbono durante diferentes anos nos usos e ocupações estudados neste trabalho.

Palavras-chave: Dióxido de Carbono. Eucalipto. Pastagem. agricultura. Vegetação Nativa.

CHAPTER 1 - CARBON STOCK IN SOILS UNDER DIFFERENT MANAGEMENT IN THE BIOMES OF MS

ABSTRACT: Soil uses and occupations, as well as the biome in which they are located, influence their carbon stock in the soil. Tropical soils hold a large part of the world's carbon stock, a result of high temperatures, precipitation and management, which result in temporal variability in soil respiration. Given the above, the hypothesis of this work is that land use and occupation influences the carbon stock in the soil. Thus, the objective of this work was to evaluate the carbon stock in different uses and occupations of the soil in the Cerrado, Pantanal and Atlantic Forest biomes, located in the state of Mato Grosso do Sul. In this work, different uses and occupations of the soil were evaluated in each biome. of Mato Grosso do Sul, namely: agriculture, represented by soybean cultivation; well-managed pasture, eucalyptus planting and native vegetation. Carbon stock assessments were carried out through the analysis of total soil carbon, soil density in the sampled soil layers (0-10, 10-20 and 20-40 cm) in 100 sampling points for each land use and occupation. and biome. The results found demonstrate that the Cerrado has a greater carbon stock in the uses and occupations of eucalyptus, pasture and soybeans at a depth of 20-40 cm, while the native forest has a similar carbon stock in the Cerrado and Pantanal biomes. The lowest carbon stock was observed in the Atlantic Forest biome, when soybean was used and occupied at depths of 0-10 and 20-40 cm. These results demonstrate the occurrence of variation in soil carbon stock in relation to the use and occupation presented and the biome in which they are found. Identifying the main uses and occupations that contribute to carbon sequestration in each biome is extremely important for establishing goals and mitigating greenhouse gas emissions, contributing to minimizing global climate change. Future perspectives are based on monitoring the carbon stock during different years in the uses and occupations studied in this work.

Keywords: Carbon Dioxide. Eucalyptus. Pasture. Agriculture. Native vegetation.

INTRODUÇÃO

O estado do Mato Grosso do Sul (MS) apresenta destaque nacional por suas atividades de agricultura, floresta e pecuária. O Cerrado, Pantanal e Mata Atlântica são biomas presentes no MS, com características distintas e que permitem a realização de diferentes atividades, englobando aproximadamente 3,86 milhões de hectares de cultivos agrícolas, 18,43 milhões de hectares de pastagens, 6,33 milhões de hectares de vegetação nativa e 1,14 milhões de hectares de floresta plantada (IBGE, 2017; IBÁ, 2020).

O solo se apresenta como banco de armazenamento de carbono terrestre, diminuindo emissões de dióxido de carbono na atmosfera (MORAIS et al., 2020). O uso do solo com agricultura, pastagem e plantio de floresta altera a dinâmica e o estoque de carbono no solo, assim como sua emissão de gases de efeito estufa (YUAN et al., 2023).

Ao longo do tempo uso do solo com agricultura e pastagem podem diminuir o estoque de carbono no solo. As principais perdas de carbono no solo estão relacionadas ao manejo inadequado do solo nos sistemas de cultivo e pastagem, como o uso de fertilizantes. O uso de fertilizantes nitrogenados acelera a decomposição de matéria orgânica do solo e promove a emissão de CO₂, diminuindo o estoque de carbono orgânico no solo. Porém, o uso de fertilizantes orgânicos pode promover o estoque de carbono no solo.

Fatores edafoclimáticos também promovem alterações no estoque de carbono no solo. O excesso de umidade pode promover o acúmulo de carbono no solo, devido a paralisar a atividade microbiológica que decompõe a matéria orgânica. Diante disso, as mudanças climáticas poderão promover a perda ou acúmulo de carbono do solo em função das alterações de regimes hídricos e temperatura nas áreas agricultáveis do mundo.

A emissão de dióxido de carbono em áreas agrícolas está relacionada ao aumento da atividade de microrganismos durante atividades de preparo e manejo, resultado do revolvimento do solo e consequentemente, perdas de carbono estocado, contribuindo para o aumento da concentração atmosférica (CARVALHO et al., 2014). Outros sistemas produtivos, diminuem a emissão de dióxido de carbono através dos restos vegetais deixados no solo após a colheita, visto que a palhada aumenta os microrganismos no solo e elevam o índice de matéria orgânica, assim como o estoque de carbono pela degradação da matéria orgânica (SANTOS et al., 2019).

As emissões de dióxido de carbono não podem atingir zero absoluto, porém a neutralidade é uma meta a ser alcançada por meio de sistemas de cultivo que corroboram

para que as emissões sejam mitigadas (ROLLO et al., 2020). As espécies vegetais sequestram carbono de formas distintas, sendo as áreas florestais uma alternativa para mitigar o dióxido de carbono presente na atmosfera, armazenando-o em sua biomassa (RAIHAM, 2023).

Os solos tropicais possuem estoque de um terço de todo carbono armazenado no solo mundialmente, resultado da respiração do solo, elemento essencial da emissão de gases de efeito estufa na atmosfera em ecossistemas naturais (CUNHA et al., 2021). Fatores bióticos e abióticos podem influenciar a variabilidade temporal da respiração do solo, todavia, variações climáticas como temperatura e umidade, e mudanças no uso e manejo do solo contribuem para o aumento da emissão de carbono para a atmosfera (ASSUNÇÃO et al., 2019).

O estudo de estoque de carbono é realizado através da amostragem de solos e posteriormente a sua análise. As quantidades de estoques de carbono no solo consideram para o cálculo, a profundidade amostrada e a densidade do solo. O maior estoque de carbono está na camada mais superficial do solo (0,10 m) e subsuperficial (0,30) m. A massa equivalente do solo deve ser estimada para o balanço de carbono frente aos manejos do solo, pois em áreas de vegetação nativa não se observa camadas compactadas como em solos mecanizados. Assim, fazendo o equivalente massa do solo, considerando a densidade do solo cultivado e a densidade do solo não cultivado, se obtém valores mais precisos do estoque de carbono no solo.

Diante do exposto, a hipótese deste trabalho é que o uso e ocupação do solo influencia em seu estoque de carbono no solo e sofrem alteração de acordo com o bioma que pertencem. Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar o estoque de carbono em diferentes usos e ocupações do solo nos biomas Cerrado, Pantanal e Mata Atlântica, localizados no estado de Mato Grosso do Sul.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no estado de Mato Grosso do Sul, localizado na região Centro-Oeste do Brasil, com área de 357.145,32 km². As características edafoclimáticas do estado são divididas pelas características dos biomas Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal. Por conta dessa diversidade, neste trabalho foram avaliados diferentes usos e ocupações do solo em cada bioma do Mato Grosso do Sul, sendo eles: agricultura, pastagem, eucalipto e floresta nativa.

As avaliações foram realizadas em áreas de agricultura onde o cultivo ocorre a pelo menos quatro anos-safra, sendo as análises realizadas durante o pico vegetativo da cultura, com aproximadamente 60 dias após a emergência. Já as demais avaliações foram realizadas em áreas que contenham cada uso e ocupação do solo (UOS) por pelo menos quatro anos. Os biomas avaliados pertencem ao município de Chapadão do Sul (Cerrado), Aquidauana (Pantanal) e Deodápolis (Mata Atlântica), com mapeamento e estratificação por bioma.

O carbono no solo foi determinado através da concentração de carbono orgânico total (COT), por meio da coleta de solos em pontos georreferenciados, na profundidade de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, utilizando trado tipo sonda. Após homogeneização e separação para análises químicas, as amostras de solo foram secas ao ar e passadas por peneira de 2 mm.

Foi utilizado método colorimétrico, segundo recomendações de Cantarella et al. (2001), onde 1cm^{-3} de solo de cada profundidade foi condicionado em copos plásticos com adição de 10 ml de solução de bicromato de sódio $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, contendo $0,667\text{ mol L}^{-1}$ de dicromato de sódio e 5 mol L^{-1} de ácido sulfúrico. Após a adição da solução, os copos foram levados a mesa agitadora durante 10 minutos à 180 rpm. Posterior a agitação, as amostras ficaram em repouso durante uma hora, onde realizou-se adição de 50 ml de água usando dispensador com jato forte para promover a mistura das soluções. As amostras foram deixadas durante 12 horas em repouso, objetivando a obtenção da decantação. Após esse período, o líquido sobrenadante foi transferido para cela de medida do espectrofotômetro ou calorímetro, com filtro de transmissão máxima de 650 nm. Os resultados são calculados com base na curva padrão. A curva padrão foi obtida através de amostras de solos entre zero e 200 g dm^{-3} de C analisadas pelo método volumétrico (TEIXEIRA et al., 2017).

A densidade do solo foi obtida segundo metodologia proposta por Teixeira et al. (2017), através da coleta de amostras com cilindro metálico, por meio de escavação do solo ao redor do cilindro na medida que ele é inserido no solo. Após a remoção do anel no solo, a amostra é transferida para recipiente numerado e de massa conhecida, sendo levado a estufa de circulação de ar forçado por $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 48 horas e pesando após o resfriamento em dessecador. Os resultados são calculados através da fórmula:

$$Ds = \frac{m_a}{V}$$

Em que: D_s - densidade do solo em kg dm^{-3} ; m_a - massa da amostra de solo seco a 105°C até peso constante em gramas; e V – volume do cilindro em cm^3 .

O cálculo do estoque de carbono foi realizado através da densidade do solo utilizando correção baseada em Carvalho et al. (2009), onde cada camada estudada é corrigida por sua espessura em relação a área de referência (vegetação nativa), conforme fórmula abaixo:

$$EstC = \frac{Cs * Ds * (\frac{Dref}{Ds} * e)}{10}$$

Em que: EstC – estoque de carbono orgânico em determinada profundidade (Mg ha^{-1}); Cs – teor de carbono orgânico na profundidade amostrada (kg dm^{-3}); D_s – densidade do solo na profundidade amostrada (kg dm^{-3}); D_{ref} – densidade do solo para profundidade amostrada na área de referência (kg dm^{-3}); e – espessura da camada considerada.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância pelo teste F, com médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Posteriormente foi realizado uma análise de componentes principais (PCA) visando encontrar a relação entre as variáveis. E por fim, foi construída uma rede de correlação de Pearson para os usos e os biomas entre as variáveis avaliadas, para expressa graficamente as correlações. As análises foram realizadas no software Rbio.

RESULTADOS

Na análise de estoque de carbono em diferentes usos e ocupações do solo dos biomas do Mato Grosso do Sul, é possível observar que na profundidade de 0-10 cm, o eucalipto, pastagem e agricultura no bioma Cerrado, apresentam os maiores valores de estoque de carbono (Figura 1). No uso da ocupação de floresta nativa (FN), não houve diferença no estoque de carbono entre os biomas Cerrado e Pantanal. O menor estoque de carbono foi observado no bioma Mata Atlântica, quando o uso e ocupação de agricultura e pastagem.

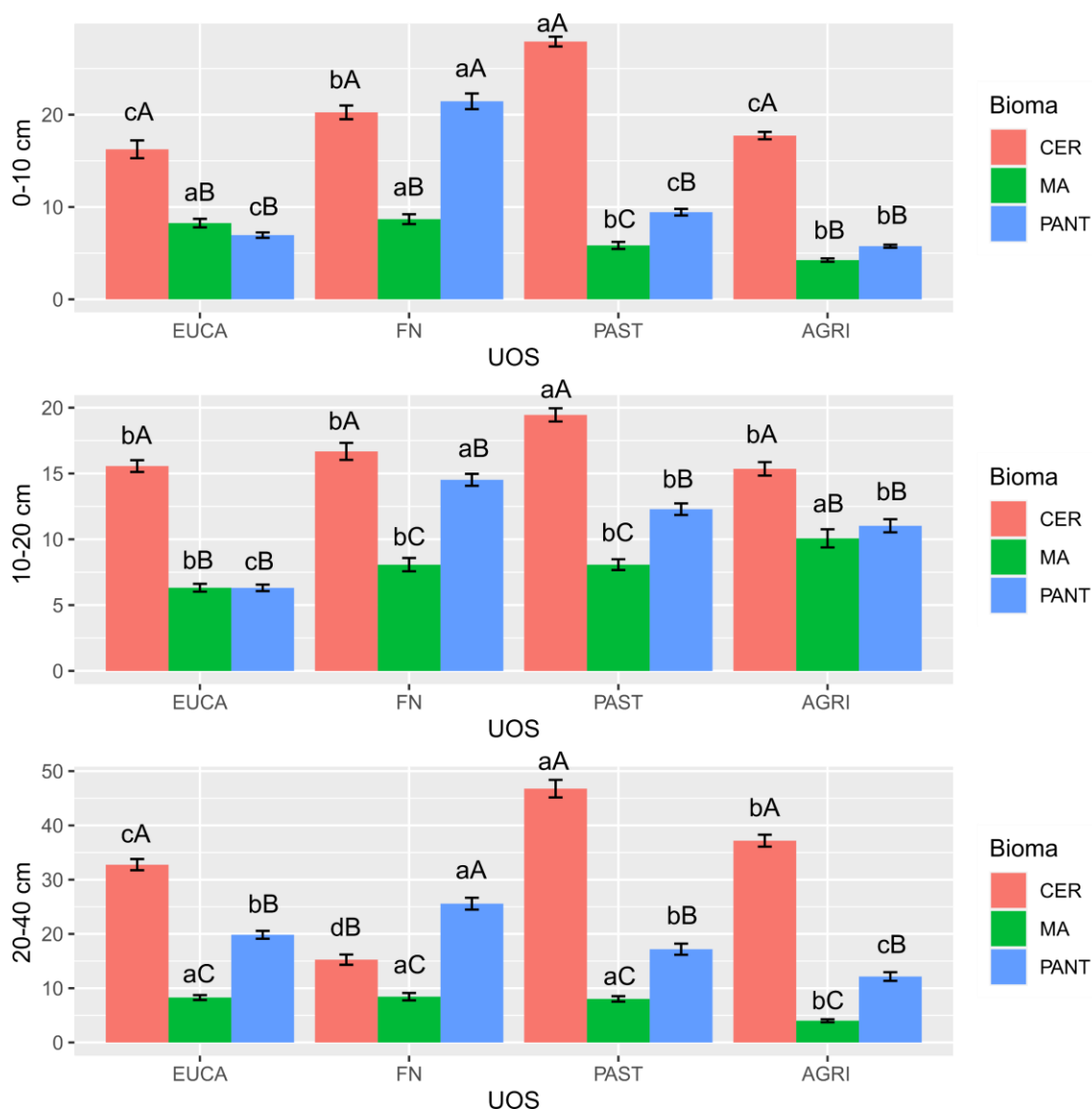


Figura 1. Gráfico de barras para a variável estoque de carbono avaliadas em diferentes usos e ocupação do solo (UOS) nos biomas de Mato Grosso do Sul.

Letras maiúsculas iguais não se diferenciam entre os biomas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade; letras minúsculas não se diferenciam entre os UOS pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

CER: cerrado; MA: Mata atlântica; PANT: pantanal; EUCA: eucalipto; FN: Floresta Nativa; PAST: pastagem; AGRI: agricultura.

Na profundidade de 10-20 cm observa-se que o Cerrado apresenta o maior estoque de carbono, independente do uso e ocupação do solo. Já na profundidade de 20-40 cm o bioma Cerrado apresentou maior estoque de carbono nos usos de solo eucalipto, pastagem e agricultura enquanto no uso FN o maior estoque de carbono foi observado no Pantanal. A Mata atlântica apresenta os piores resultados de estoque de carbono para floresta nativa e pastagem.

No bioma Cerrado os maiores estoques de carbono foram observados na profundidade de 20-40 cm, nos usos e ocupações eucalipto, pastagem e agricultura. No

bioma Mata Atlântica, os maiores estoques de carbono foram observados em eucalipto, e floresta nativa na profundidade de 0-10 cm, agricultura na profundidade de 10-20 cm e eucalipto, floresta nativa e pasto na profundidade de 20-40 cm. No bioma pantanal, o estoque de carbono foi favorecido no e ocupação floresta nativa independente da profundidade estudada.

Na análise de componentes principais, a soma dos dois principais componentes apresentou valores acima de 60%, indicando a confiabilidade dos dados (Figura 2). Em relação aos biomas observa-se a proximidade dos dados entre si, enquanto ao observar os usos e ocupações é possível entender a qual bioma pertencem. Esse resultado demonstra que apesar do estoque de carbono similar entre os usos e ocupações, e que existe diferença no estoque de carbono entre os biomas. Os vetores indicam que o Cerrado e Pantanal são os biomas que mais estocam carbono independente da profundidade estudada.

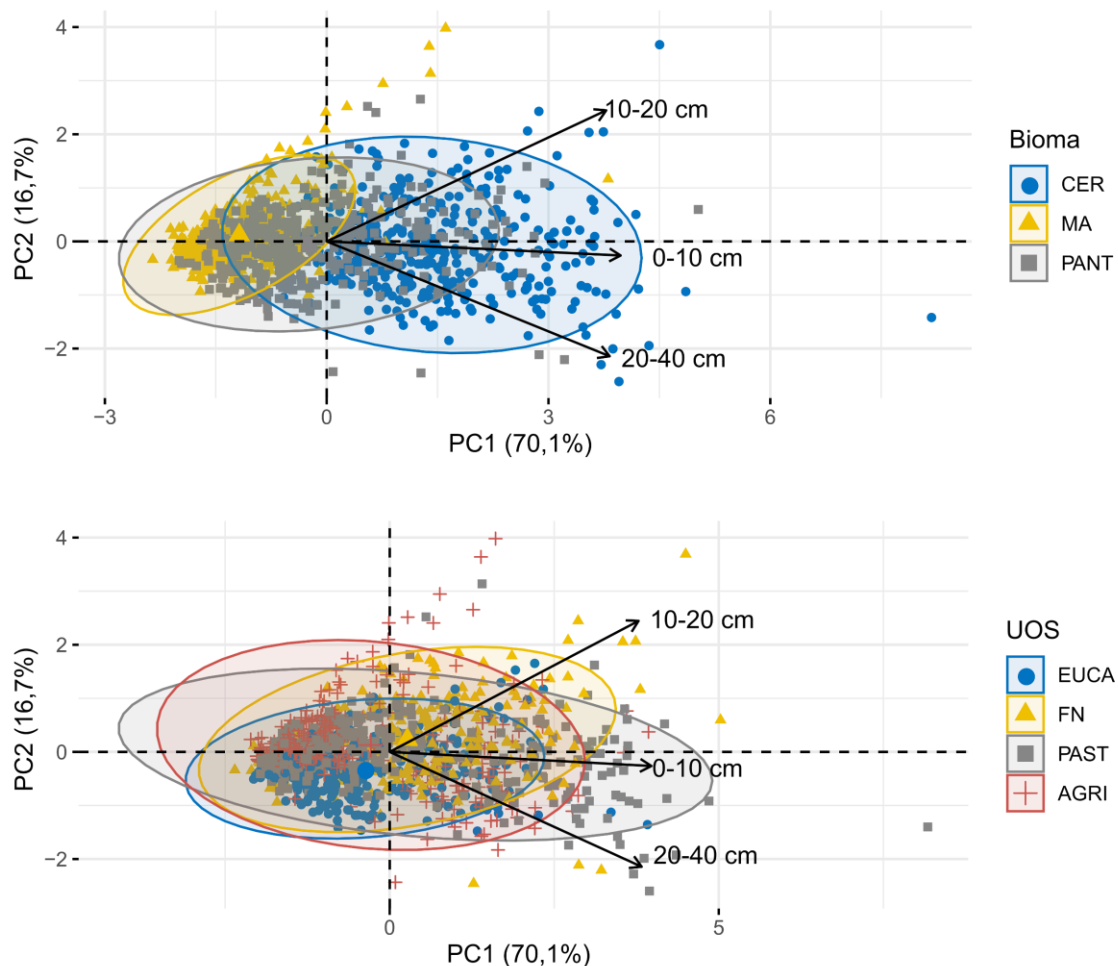


Figura 2. Análise de componentes para a variável estoque de carbono avaliada em diferentes usos e ocupação do solo nos biomas de Mato Grosso do Sul.

CER: cerrado; MA: Mata atlântica; PANT: pantanal; EUCA: eucalipto; FN: Floresta Nativa; PAST: pastagem; AGRI: agricultura.

Na análise de correlação de Pearson, os melhores resultados de estoque de carbono foram apresentados pelo bioma Pantanal, com correlação positiva nas profundidades de 0-10 e 10-20, com valores de 0,44 e 0,39 (Figura 3). A correlação entre as profundidades de 10-20 e 20-40 cm apresentou resultados similares para os biomas Cerrado e Pantanal, com valores de 0,25 e 0,21, respectivamente.

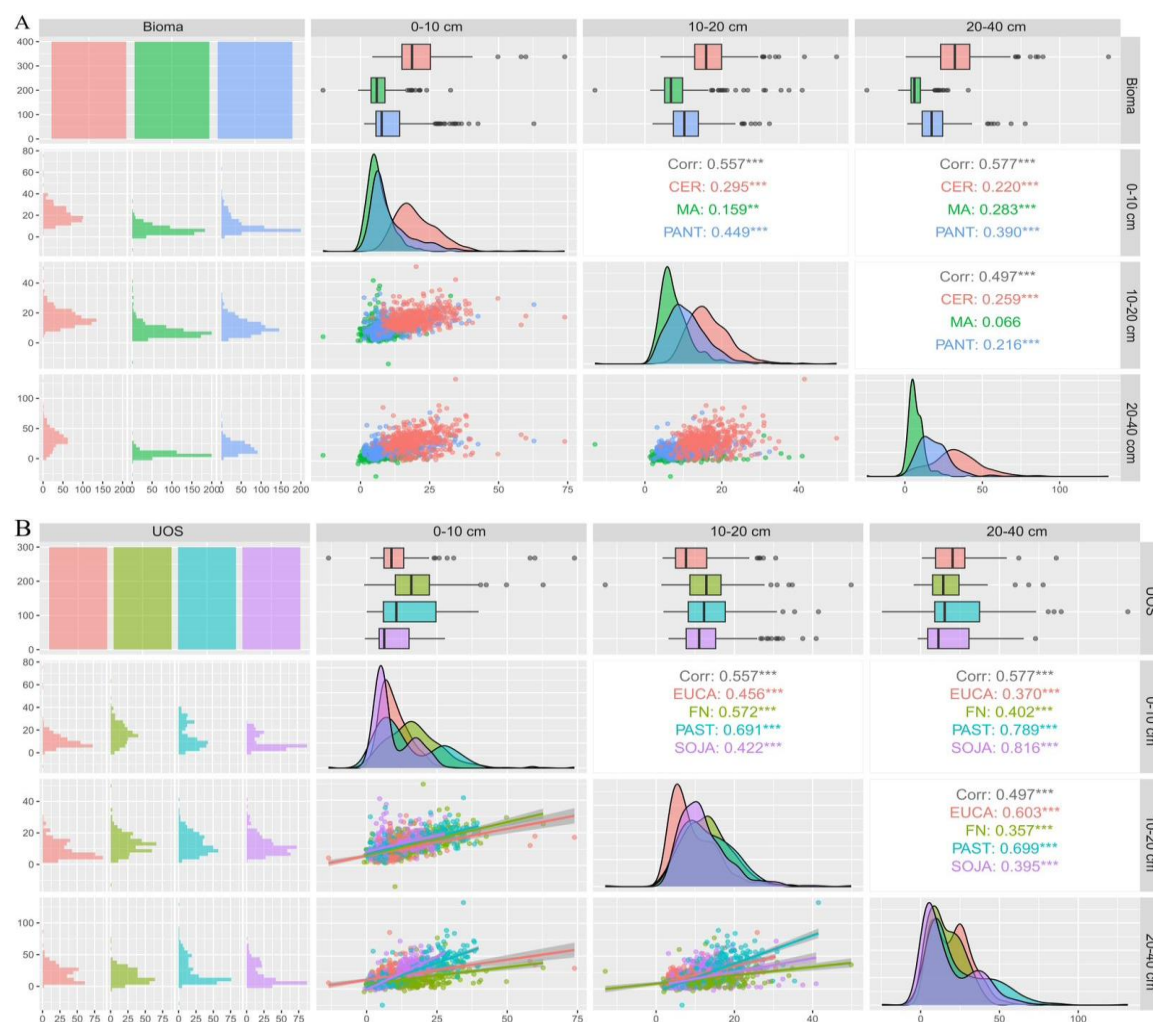


Figura 3. Análise de correlação de Pearson para a variável estoque de carbono avaliada em diferentes usos e ocupação do solo nos biomas Cerrado (CER), Mata Atlântica (MA) e Pantanal (PANT) de Mato Grosso do Sul.

Em relação aos usos e ocupações de solo, os melhores resultados foram observados na pastagem nas correlações entre profundidades 0-10 e 10-20 cm e 10-20 e

20-40 cm de, apresentando valores de 0,69 em ambas. Na correlação entre as profundidades de 0-10 e 20-40 cm, a agricultura apresentou valor de 0,81, seguido pela pastagem com 0,78, indicando que esses usos e ocupações apresentam maior correlação entre as profundidades e estoques de carbono.

Os resultados encontrados demonstram que o Cerrado apresenta maior estoque de carbono nos usos e ocupações eucalipto, pastagem e agricultura na profundidade de 20-40 cm, enquanto a floresta nativa apresenta estoque de carbono similar nos biomas Cerrado e Pantanal. O menor estoque de carbono foi observado no bioma Mata Atlântica, quando em uso e ocupação de agricultura quando nas profundidades de 0-10 e 20-40 cm. Esses resultados demonstram a ocorrência de variação no estoque de carbono do solo em relação ao uso e ocupação apresentados e o bioma que se encontram.

DISCUSSÃO

O bioma Cerrado apresenta os maiores valores de estoque de carbono nos usos e ocupações eucalipto, pastagem e agricultura, O resultado encontrado na profundidade de 0-10 cm pode estar relacionado ao fato que em áreas tropicais a respiração do solo é influenciada pelos microrganismos e raízes presentes no solo (LIMA et al., 2023).

No uso a ocupação floresta nativa, não houve diferença no estoque de carbono entre os biomas Cerrado e Pantanal, enquanto o menor estoque de carbono foi observado no bioma Mata Atlântica. As coberturas florestais contribuem para o sequestro de carbono e armazenamento em sua biomassa florestal, beneficiando os ecossistemas e preservando características próprias de cada bioma (BEGUM et al., 2020). O sequestro de carbono promove a remoção do carbono presente na atmosfera para a biomassa florestal, apresentando relação estreita com o estoque de carbono no solo pela decomposição de resíduos vegetais (SIHI et al., 2016). A relação de sequestro e estoque afeta os biomas, visto que a vegetação encontrada em cada bioma difere entre si, sequestrando e estocando quantidades diferentes de carbono. A substituição de áreas nativas por áreas de cultivo agropecuário tem contribuído para o desequilíbrio do solo, provocando mudanças na qualidade física, química e biológica, além de alterar a dinâmica de sequestro e emissão de dióxido de carbono para a atmosfera (ASSUNÇÃO et al., 2019).

Na profundidade de 10-20 cm observa-se que o Cerrado apresenta o maior estoque de carbono, independente do uso e ocupação do solo, resultado que se repete nas profundidades de 20-40 cm para os usos e ocupações eucalipto, pastagem e agricultura. Esse resultado pode ser explicado pelo fato de o Cerrado apresentar solo do tipo

Latossolos, caracterizado por sua profundidade superior a dois metros e intemperismo, resultando em maior quantidade de resíduos vegetais e microrganismos e assim, contribuindo para maior estoque de carbono (FREITAS et al., 2018).

O uso floresta nativa apresenta maior estoque de carbono no Pantanal, que pode ser relacionado as áreas inundáveis e ecossistema nativo (SALES, 2021). O solo desenvolvido sob condições temporárias de saturação de água e inundação torna-se mais escurecidos devido ao acúmulo de carbono e a atividade de microrganismos é potencializada, oxidando tecidos orgânicos e removendo o oxigênio da água presente nos poros do solo (LUKO et al., 2024). Além disso, grande parte do carbono orgânico encontrado na camada superficial do solo são formados em condições de saturação e inundação, pela alta concentração de matéria orgânica. A Mata atlântica apresenta os piores resultados de estoque de carbono para floresta nativa e pastagem, que pode ser relacionado ao manejo inadequado desse bioma, seja por desmatamento ou substituição de áreas para cultivos agrícolas, mas que geram como resultado a alteração do sequestro de carbono (ARAÚJO et al., 2023).

Na análise de componentes principais é possível observar a sobreposição dos dados em relação aos biomas e usos e ocupações estudados (Figura 2). Esse resultado demonstra que apesar do estoque de carbono similar entre os usos e ocupações, porém diferenças no estoque em relação aos biomas. O processo acelerado de substituição da vegetação nativa para atender a necessidade do crescimento agrícola provoca alterações na dinâmica de deposição da matéria orgânica pelos microrganismos e assim, alteração do estoque de carbono presente em cada bioma (SALES et al., 2018).

Na análise de correlação de Pearson, os melhores resultados de estoque de carbono foram apresentados pelo bioma Pantanal, com correlação positiva nas profundidades de 0-10 e 10-20, e de 10-20 e 20-40 para os biomas Cerrado e Pantanal (Figura 3). Esses biomas apresentam propriedades de solo e tipos de vegetação distintas, resultado do tipo de cobertura vegetal e o uso do solo, influenciando a respiração do solo, emissões e estoque de dióxido de carbono (GHIMIRE et al., 2017).

Em relação aos usos e ocupações de solo, os melhores resultados foram observados na pastagem nas correlações entre profundidades 0-10 e 10-20 cm, e 10-20 e 20-40 cm. Na correlação entre as profundidades de 0-10 e 20-40 cm, a agricultura e a pastagem apresentam as maiores correlações, em consequência ao maior estoque de carbono nesses usos e ocupações. Esse resultado pode ser relacionado ao fato da

decomposição de restos vegetais e atividade microbiana (SIHI et al., 2016), alterando o sequestro de carbono nessas profundidades.

Os resultados encontrados neste trabalho evidenciam que o uso e ocupação do solo influencia o estoque de carbono em cada bioma. O Cerrado apresenta maior estoque de carbono nos usos e ocupações eucalipto, pastagem, agricultura e floresta nativa, este último com resultado similar para o bioma Pantanal. A identificação dos principais usos e ocupações que contribuem para o sequestro de carbono em cada bioma é de suma importância para estabelecimento de metas e mitigação da emissão de gases de efeito estufa, contribuindo para minimização das mudanças climáticas globais. Perspectivas futuras se baseiam no acompanhamento do estoque de carbono durante diferentes anos nos usos e ocupações estudados neste trabalho.

CONCLUSÃO

Dentre os biomas estudados, o Cerrado apresenta maior estoque de carbono nos com eucalipto, pastagem e agricultura, especialmente na profundidade de 20-40 cm. A floresta nativa apresenta estoque de carbono similar nos biomas Cerrado e Pantanal. O menor estoque de carbono foi observado no cultivo de agricultura no bioma Mata Atlântica.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, A. P. et al. **Pantanal sustentável: sistemas alternativos de produção na pecuária bovina de corte**, in: Zootecnia: Tópicos Atuais Em Pesquisa. Editora Científica Digital, Guarujá, 2023. pp. 168–180
- ASSUNÇÃO, S. A. et al. Carbon input and the structural quality of soil organic matter as a function of agricultural management in a tropical climate region of Brazil. **Science of The Total Environment**, v. 658, p. 901–911, 2019.
- BEGUM, R. A. et al. Dynamic impacts of economic growth and forested area on carbono dioxide emissions in Malaysi. **Sustainability**, v. 12, e9375, 2020.
- CANTARELLA, H. et al. Determinação da matéria orgânica. In: RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronomico, 2001. pp. 176-180.
- CARVALHO, J. L. N. Carbon sequestration in agricultural soil in the Cerrado region of the Brazil Amazon. **Soil and Tillage Reserch**, v. 103, p. 342-349, 2009.
- CARVALHO, J. L. N. et al. Crop-pasture rotation: A strategy to reduce soil greenhouse gas emissions in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 183, p. 167-175, 2014.

- CUNHA, J. M. et al. Emissão de CO₂ do solo em áreas de terra preta arqueológica na região amazônica, in: Cunha, J. M., Campos, M. C. C., Brito Filho, E.G. (Eds.). **Terra Preta Arqueológica: Atributos Morfológicos, Físicos, Químicos e Efluxo de CO₂ Em Solos Sob Diferentes Usos Na Região Sul Do Amazonas**. Atena Editora, Ponta Grossa, 2021. pp. 46–66.
- FREITAS, L. et al. Latosols (Oxisols) carbono storage in natural and altered managements. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 228-239, 2018.
- GHIMIRE, B. et al. Cover Crop Residue Amount and Quality Effects on Soil Organic Carbon Mineralization. **Sustainability**, v. 9, e2316, 2023.
- IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBÁ 2020**. Disponível em <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba2020.pdf>>. Acesso em 21 set. 2022.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017**. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ms/pesquisa/24/76693>>. Acesso em 21 set. 2022.
- LIMA, J. R. S. et al. Moisture, temperature and respiration of two soil classes under pasture and tropical dry forest in the semiarid Brazilian region. **Journal of Arid Environments**, v. 214, e104981, 2023.
- LUKO, K. et al. Spatial variation of soil organic matter and metal mobility in wetland soils: implications for biogeochemical processes in lateritic landscape. **Catena**, v. 237, p. 107810, 2024.
- MORAIS, V. A. et al. Spatial distribution of soil carbon stocks in the Cerrado biome of Minas Gerais, Brazil. **Catena**, v. 185, p. 104285, 2020.
- RAIHAN, A. The dynamic nexus between economic growth, renewable energy use, urbanization, industrialization, tourism, agricultural productivity, forest area and carbono dioxide emissions in the Philippines. **Energy Nexus**, v. 9, e100180, 2023.
- ROLLO, M. et al. The tree-lined path to carbono neutrality. **Nat Ver Earth Environ**, v. 332, 2020.
- SALES, A. et al. Carbono orgânico e atributos físicos do solo sob manejo agropecuário sustentável na Amazônia legal. **Colloquium Agrariae**, v. 14, p. 01-15, 2018.
- SANTOS, U. J. et al. Land use changes the soil carbon stocks, microbial biomass and fatty acid methyl ester (FAME) in Brazilian semiarid area. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 65, n. 6, p. 755-769, 2019.
- SIHI, D. et al. Comparing models of microbial–substrate interactions and their response to warming. **Biogeosciences**, v. 13, p. 1733–1752, 2016.
- TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573 p.
- YUAN, N. et al. Degradation reduces greenhouse gas emissions while weakening ecosystem carbono sequestration of Moso bamboo forests. **Science of the Total Environment**, v. 877, e162915, 2023.

CAPÍTULO 2 – DIVERSIDADE MICROBIOLÓGICA NOS SOLOS SOB DIFERENTES USOS NOS BIOMAS DO MATO GROSSO DO SUL

RESUMO: Os solos possuem uma grande diversidade de microrganismos. As características edafoclimáticas e o uso do solo implicam na modificação da diversidade biológica do solo. Diante do exposto, a hipótese deste trabalho é que o uso e ocupação do solo influencia a diversidade de fungos e bactérias e está correlacionada com o estoque de carbono no solo. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o estoque de carbono e a diversidade microbiológica dos solos em cada uso e bioma. Avalia-se o estoque de carbono através da análise de carbono total do solo, densidade do solo nas camadas do solo amostradas (0-10, 10-20 e 20-40 cm) em 100 pontos amostrais para cada uso e ocupação do solo e bioma. Agrupou-se as amostras de solo em uma amostra composta para cada uso e bioma, e também as amostras de profundidade de 0-10 e 10-20cm para análise de identificação microbiológica do solo. Identificou-se bactérias e fungos pelo método 16S rRNA e ITS1/ITS2 PCR respectivamente. De forma geral houve diferenças importantes na diversidade microbiana entre os diferentes biomas e usos do solo avaliados. Em geral, nos biomas Cerrado e Mata Atlântica a pastagem apresentou índices de bactérias mais uniforme, enquanto no bioma Pantanal, o eucalipto demonstrou o maior índice de diversidade. No caso dos fungos, biomas Cerrado e Mata Atlântica a agricultura apresentou maior diversidade, no bioma Pantanal, o eucalipto e a floresta nativa mostraram os maiores índices de diversidade. Em relação ao estoque de carbono, os fungos não tiveram relação com o estoque de carbono. As espécies bacterianas apresentaram maior agrupamento entre os biomas Mata Atlântica e Pantanal, enquanto as espécies de fungos mostraram melhor agrupamento entre os biomas Cerrado e Mata Atlântica. Os resultados sugerem que o tipo de bioma e o manejo do solo exercem influência na diversidade microbiana, destacando a importância de considerar esses fatores em avaliações relacionadas ao estoque de carbono, observando os microrganismos que contribuem para maior estoque e os manejos de solo que contribuem para o aumento dessa população.

Palavras-chave: RNA. Componentes Principais. Bactérias. Fungos.

CHAPTER 2 - MICROBIOLOGICAL DIVERSITY IN SOILS UNDER DIFFERENT USES IN THE BIOMES OF MS

ABSTRACT: Soils have a great diversity of microorganisms. Edaphoclimatic characteristics and land use imply changes in soil biological diversity. Given the above, the hypothesis of this work is that land use and occupation influences the diversity of fungi and bacteria and is correlated with the carbon stock in the soil. Thus, the objective of this work was to evaluate the carbon stock and microbiological diversity of soils in each use and biome. The carbon stock is evaluated through the analysis of total soil carbon, soil density in the sampled soil layers (0-10, 10-20 and 20-40 cm) in 100 sampling points for each land use and occupation and biome. The soil samples were grouped into a composite sample for each use and biome, and also the 0-10 and 10-20cm depth samples for microbiological identification analysis of the soil. Bacteria and fungi were identified using the 16S rRNA and ITS1/ITS2 PCR method, respectively. In general, there were important differences in microbial diversity between the different biomes and land uses evaluated. In general, in the Cerrado and Atlantic Forest biomes, pasture presented more uniform bacterial levels, while in the Pantanal biome, eucalyptus demonstrated the highest diversity index. In the case of fungi, in the Cerrado and Atlantic Forest biomes, agriculture showed greater diversity, in the Pantanal biome, eucalyptus and native forest showed the highest diversity rates. Regarding carbon stock, fungi had no relationship with carbon stock. Bacterial species showed greater grouping between the Atlantic Forest and Pantanal biomes, while fungal species showed better grouping between the Cerrado and Atlantic Forest biomes. The results suggest that the type of biome and soil management influence microbial diversity, highlighting the importance of considering these factors in assessments related to carbon stock, observing the microorganisms that contribute to greater stock and the soil management that contributes to the increase in this population.

Keywords: RNA. Principal Components. Bacteria. Fungi.

INTRODUÇÃO

No âmbito da agricultura brasileira, a soja é a oleaginosa mais cultivada no mundo e a principal commodities agrícolas do Brasil, sendo que 57% da área cultivada do país são com esta cultura (CONAB, 2022). A área de pastagem ocupa a maior 47 milhões de ha no bioma cerrado do Brasil (CONAB, 2022). Porém, deste montante 40% ainda resultam de pastagem degradadas, e com baixa taxa de lotação, 0,9 a 1,0 cabeças/há. Entretanto, em sistema de pastagem cultivadas, pode-se ter taxa de lotação acima de 3,0 cabeças/ha, considerando um manejo adequado de adubação e conservação do solo (GLÉRIA et al., 2017). A área de floresta plantada no Brasil é de 9,93 milhões de ha, sendo 75% com eucalipto (IBÁ, 2022). Os plantios de eucalipto expandiram no estado do Mato Grosso do Sul, devido a instalação de 2 fábricas de celulose no estado (IBÁ, 2022).

O monocultivo, ao longo do tempo, não incrementa a matéria orgânica ao solo, por isso deve-se utilizar sistemas integrados de cultivo e o sistema de plantio direto (SPD) (MACEDO, 2009). Para promover a cobertura do solo utiliza-se da sucessão de culturas, após a colheita da soja, algodão, com o milho, e forrageiras: *Urochloa* (braquiárias) e *Panicum maximum*, para pastagem plantas que persistem na superfície do solo em função da sua relação C:N, quando comparado ao monocultivo (BRANDT et al., 2008).

O carbono orgânico é um dos principais indicadores de qualidade do solo, e sua avaliação é importante para verificar a sustentabilidade de um agroecossistema (DON et al., 2007). Por ser um atributo de fácil e rápida medição, e pelo fato de correlacionar-se a outros atributos do solo, o carbono orgânico é indicador-chave para verificar aspectos físicos, químicos e biológicos do solo (BASILE-DOELSCH; BALESDENT; PELLERIN, 2020).

A diversidade de microrganismos do solo também são principais indicadores da qualidade do solo (BERTOLA; FERRARINI; VISIOLI, 2021). Os solos naturalmente apresentam uma abundância de microrganismos (KUZYAKOV; FRIEDEL; STAHR, 2000). Os microrganismos colonizam solos e raízes de plantas devido grande fonte de alimentos proporcionada a eles nestes ambientes (BLAGODATSKAYA; KUZYAKOV, 2013). Nesse sentido, ao promover o uso do solo para cultivos altera-se a microbiota dos solos.

Os cultivos exigem solos desprovidos de florestas nativa para aumento da produção de alimentos e fontes energéticas renováveis (NOOJIPADY et al., 2017). Os cultivos modificam as estruturas naturais do solo promovendo um ambiente desfavorável para os

microrganismos, principalmente com o uso do revolvimento do solo (YANG et al., 2023). Além disso, o uso de fertilizantes e pesticidas podem impactar na sobrevivência de microrganismos no solo (VASHISHTH et al., 2022). Entretanto, com o advento dos cultivos em sistema de plantio direto, sem revolver o solo, e o uso de práticas orgânicas de manejo pode promover a conservação da microbiota do solo (BERTOLA; FERRARINI; VISIOLI, 2021; ZHANG; SHEN, 2022).

As análises de identificação de microrganismos do solo usam técnicas inovadoras a partir do estudo de rRNA e rDNA (MARETTO et al., 2022). Após a identificação dos microrganismos utiliza-se os índices de Shannon e Simpson para medir a diversidade de espécies no solo (MARINARI et al., 2013). O índice de Shannon mede a diversidade e a uniformidade das espécies numa comunidade, enquanto o índice de Simpson mede a dominância e a concentração das espécies (CHERNOV; TKHAKAKHOVA; KUTOVAYA, 2015). Esses índices podem ser utilizados para comparar ambientes e monitorar a diversidade microbiológica promovida pelas alterações no uso do solo.

A diversidade microbiana no solo está intimamente relacionada com o estoque de carbono do solo (CAO et al., 2023). Solos com maior diversidade de bactérias e maior adaptabilidade ambiental, desempenham um papel significativo na decomposição do carbono (CHEN et al., 2022). Os microrganismos do solo, incluindo bactérias e fungos, são cruciais para a fertilidade do solo e desempenham um papel fundamental na liberação de nutrientes e na transferência de energia, que afetam diretamente a qualidade do solo e a saúde das culturas (KING et al., 2023). Dessa forma, a diversidade microbiana no solo é um fator importante na compreensão e previsão da dinâmica do carbono no solo.

Diante disso, a hipótese desta pesquisa é que os solos de floresta nativa nos biomas do MS apresentam alta diversidade biológica quando comparados ao uso de agricultura, pastagem e eucalipto. O objetivo da identificação microbiológica dos solos de floresta nativa, agricultura, pastagem e eucalipto é avaliar qual apresenta maior diversidade biológica e sua correlação como estoque de carbono no solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Os solos foram coletados nos diferentes usos do solo (US) em cada bioma do estado de Mato Grosso do Sul, Cerrado, Pantanal e Mata Atlântica nos municípios de Chapadão do Sul, Aquidauana e Deodápolis conforme Tabela 1.

Em cada US foram coletadas 100 amostras simples na camada de 0-20 cm com uso de trado tipo sonda, as amostras simples foram juntadas e homogeneizadas formando uma amostra composta por US e por bioma. As amostras foram armazenadas em refrigerador (-5°C) até a análise de identificação microbiana para bactérias e fungos.

Tabela 1. Relação de biomas e usos dos solos e locais amostrados.

Sigla	Bioma	Uso
CE	Cerrado	Eucalipto
CS	Cerrado	Agricultura
CF	Cerrado	floresta Nativa
CP	Cerrado	Pastagem
ME	Mata atlântica	Eucalipto
MS	Mata atlântica	Agricultura
MF	Mata atlântica	floresta Nativa
MP	Mata atlântica	Pastagem
PE	Pantanal	Eucalipto
PS	Pantanal	Agricultura
PF	Pantanal	floresta Nativa
PP	Pantanal	Pastagem

Os solos coletados foram analisados para determinação da concentração de carbono orgânico total (COT) e calcular o estoque de carbono, conforme descrito no Capítulo 1, seção Material e Métodos.

Uma alíquota de 5 g de cada amostra foi utilizada para realização de extração de DNA total utilizando-se kits comerciais para bactérias e fungos. O DNA resultante foi utilizado para amplificação do gene marcador 16S rRNA mediante reação em cadeia da polimerase (PCR), o fragmento resultante foi utilizado em reação de sequenciamento de DNA de nova geração para identificação de bactérias. Para fungos, o DNA extraídos com kits comerciais foram ampliados na região ITS1 e ITS2 mediante reação em cadeia da polimerase (PCR), e o fragmento resultante foi utilizado em reação de sequenciamento de DNA de nova geração. Os dados gerados foram comparados com banco de dados de referência contendo mais de 13.000 fungos. Os dados gerados foram comparados com banco de dados de referência contendo mais de 15.000 bactérias e 13.000 fungos.

A abundância relativa de espécies de bactérias e fungos foi calculada baseando-se no número de espécies identificadas. Selecionou-se as 20 espécies mais abundantes presentes em cada uso do solo em cada bioma. Utilizou-se os índices de Shannon e Simpson para analisar a diversidade das espécies de bactérias e fungos encontradas nas amostras

O índice de Shannon foi calculado da seguinte forma (SUPRIATNA, 2018):

$$H = \sum p_i \ln p_i \text{ ou } H' = -\sum \frac{n_i}{N} * \log \frac{n_i}{N}$$

onde p_i é a proporção de caracteres pertencentes ao de espécie de interesse. Em ecologia, p_i é muitas vezes a proporção de indivíduos pertencentes ao i -ésimo espécies no conjunto de dados de interesse.

O índice de Simpson foi calculado da seguinte forma (SUPRIATNA, 2018):

$$D = 1 - \sum (n/N)^2$$

onde n é a abundância da i -ésima espécie em uma área e N número total das referidas espécies que vivem na mesma área.

Foi realizado uma análise de componentes principais (PCA) visando encontrar a relação entre as variáveis e os biomas e usos do solo. Também realizou-se gráficos heatmap para verificar padrões de comportamento entre os microrganismos de acordo com os biomas e usos do solo. Para confecção dos gráficos foi utilizado o software gratuito, RStudio.

RESULTADOS

A abundância ecológica de espécies variou entre uso do solo e bioma, tanto para bactérias e fungos (Tabela 2 e 3). O uso do solo com agricultura no Cerrado e floresta nativa no Pantanal apresentaram maiores proporções de espécies de bactérias ainda não catalogadas em banco de referências. A espécie *Bacillus* ssp. de mais abundante nos usos dos solos, sendo que maior presença no uso de eucalipto e pastagem no bioma Mata Atlântica.

Tabela 2. Abundância relativa (%) de bactérias nos diferentes usos dos solos nos biomas do Mato Grosso do Sul.

ID*	Organismos	CE	CS	CF	CP	ME	MS
NI	Não classificados	45,5	52,26	45,01	32,86	27,22	34,24
SP1	<i>Bacillus</i>	7,53	3,7	1,09	22,45	40,5	26,58
SP2	<i>Rhodoplanes</i>	7,04	2,19	6,7	5,51	1,99	2,0
SP3	<i>Vicinamibacter</i>	2,45	4,32	0,49	4,25	0,07	4,2
SP4	<i>Acidibacter</i> '	0,65	0,31	4,8	0,3	0,33	0,0
SP5	<i>Bradyrhizobium</i>	2,62	1,63	4,14	1,26	1,39	3,78
SP6	<i>Brevitalea</i>	0,33	1,25	0,0	1,11	0,0	2,21
SP7	<i>Paenibacillus</i>	2,13	1,75	0,49	0,91	3,52	1,58
SP8	<i>Lysinibacillus</i>	0,0	0,06	0,05	0,61	1,56	0,84
SP9	<i>Acidibrevibacterium</i>	0,0	0,13	0,33	0,25	0,07	0,11
SP10	<i>Pseudolabrys</i>	1,47	0,31	2,45	0,71	0,03	0,53
SP11	<i>Gaiella</i>	0,82	1,38	0,05	0,91	0,2	0,95
SP12	<i>Terriglobus</i>	2,29	0,94	2,29	0,51	1,0	0,84
SP13	<i>Edaphobacter</i>	0,98	0,31	1,96	0,56	1,06	0,63
SP14	<i>Aliidongia</i>	0,65	0,25	1,14	0,25	0,56	0,11
SP15	<i>Conexibacter</i>	0,33	0,19	0,49	0,05	0,23	0,0
SP16	<i>Tumebacillus</i>	0,82	1,07	0,16	0,81	1,2	1,37
SP17	<i>Cohnella</i>	0,65	0,5	0,11	0,51	0,7	0,63
SP18	<i>Acidobacterium</i>	1,47	0,69	2,07	0,66	1,1	0,84
SP19	<i>Occallatibacter</i>	1,96	1,0	1,74	0,61	1,53	1,05
SP20	<i>Acidiferrimicrobium</i>	0,16	0,06	0,6	0,05	0,46	0,0
ID*	Organismos	MF	MP	PE	PS	PF	PP
NI	Não classificados	35,84	21,71	32,12	34,55	46,65	40,86
SP1	<i>Bacillus</i>	7,46	37,2	30,76	31,17	8,36	20,37
SP2	<i>Rhodoplanes</i>	6,61	4,68	3,18	0,61	3,08	1,1
SP3	<i>Vicinamibacter</i>	0,19	0,69	2,27	3,1	6,94	4,52
SP4	<i>Acidibacter</i> '	1,85	0,75	0,45	0,07	0,06	0,0
SP5	<i>Bradyrhizobium</i>	3,14	3,14	1,82	0,27	2,07	1,54
SP6	<i>Brevitalea</i>	0,0	0,0	0,79	3,85	3,85	3,74
SP7	<i>Paenibacillus</i>	2,8	2,61	2,04	1,82	0,83	1,21
SP8	<i>Lysinibacillus</i>	0,67	3,03	1,48	0,34	0,18	0,0
SP9	<i>Acidibrevibacterium</i>	2,52	0,16	0,34	0,2	0,0	0,11
SP10	<i>Pseudolabrys</i>	1,28	1,01	1,48	0,27	0,71	0,44
SP11	<i>Gaiella</i>	0,29	0,85	1,25	2,36	1,48	1,65
SP12	<i>Terriglobus</i>	0,9	0,85	0,23	0,27	0,71	0,44
SP13	<i>Edaphobacter</i>	1,19	2,29	0,68	0,07	0,3	0,55
SP14	<i>Aliidongia</i>	2,28	0,53	0,23	0,07	0,12	0,22
SP15	<i>Conexibacter</i>	2,23	0,43	0,23	0,27	0,12	0,33
SP16	<i>Tumebacillus</i>	0,52	0,59	1,36	2,16	0,06	0,77
SP17	<i>Cohnella</i>	2,14	0,64	0,23	0,4	0,06	0,0
SP18	<i>Acidobacterium</i>	1,0	0,96	0,45	0,2	0,89	0,44
SP19	<i>Occallatibacter</i>	2,04	1,28	0,45	0,13	0,47	0,33
SP20	<i>Acidiferrimicrobium</i>	1,95	0,11	0,0	0,27	0,0	0,0

*Identificação das espécies para correlação com estoque de carbono. NI: Espécies não identificadas em comparação com banco genético abordado.

A maior proporção de espécies de fungo ainda não catalogadas em banco de referências foi verificado em pastagem no bioma Pantanal (Tabela 3). Em pastagem no Bioma Mata Atlântica *Aspergillus* ssp. apresentou maior proporção. Em cada ambiente de uso e bioma a abundância de espécies é diversificada, devido a preservação do ambiente como no caso das florestas nativas, ou devido ao seu uso, como no caso de agricultura que apresenta maior proporção de *Beauveria* ssp. e *Thichoderma* ssp., no bioma cerrado e mata atlântica respectivamente.

Tabela 3. Abundância relativa de fungos nos diferentes usos dos solos nos biomas do Mato Grosso do Sul.

ID*	Organismos	CE	CS	CF	CP	ME	MS
NI	Não classificados	31,39	13,72	23,62	29,64	20,31	14,1
SP1	<i>Aspergillus</i>	1,4	1,11	2,61	2,25	2,72	1,14
SP2	<i>Mortierella</i>	11,67	19,04	0,94	1,23	2,04	29,87
SP3	<i>Penicillium</i>	16,22	5,5	23,31	11,71	13,76	1,62
SP4	<i>Arcopilus</i>	0,0	0,04	0,36	0,0	20,24	0,0
SP5	<i>Fusarium</i>	6,65	18,87	3,23	13,68	3,85	19,4
SP6	<i>Gliomastix</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,05
SP7	<i>Saitozyma</i>	0,35	0,09	7,92	0,0	5,52	0,03
SP8	<i>Pseudothielavia</i>	0,0	0,13	0,0	0,0	0,5	2,65
SP9	<i>Absidia</i>	0,35	0,07	0,16	0,07	5,85	0,7
SP10	<i>Talaromyces</i>	2,1	0,86	1,04	0,14	8,05	0,49
SP11	<i>Metarhizium</i>	6,42	9,39	6,93	4,57	1,11	0,0
SP12	<i>Beauveria</i>	0,0	7,93	0,1	0,04	0,02	0,0
SP13	<i>Trichoderma</i>	2,33	0,58	1,62	0,88	2,65	7,33
SP14	<i>Gymnopilus</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SP15	<i>Angustimassarina</i>	0,0	0,0	5,21	0,04	0,02	0,0
SP16	<i>Amorocoelophoma</i>	0,0	0,0	5,11	0,0	0,0	0,0
SP17	<i>Clonostachys</i>	0,35	4,62	0,73	2,99	0,0	3,79
SP18	<i>Apiotrichum</i>	1,4	0,04	0,42	0,11	0,04	0,0
SP19	<i>Phialophora</i>	0,12	0,0	0,0	0,0	0,04	0,11
SP20	<i>Scedosporium</i>	0,0	0,0	0,05	4,18	0,04	0,0
ID*	Organismos	MF	MP	PE	PS	PF	PP
NI	Não classificados	31,8	19,77	29,29	35,84	27,52	70,23
SP1	<i>Aspergillus</i>	1,3	32,62	3,48	1,37	0,4	1,02
SP2	<i>Mortierella</i>	4,77	5,19	0,5	0,14	1,0	0,07
SP3	<i>Penicillium</i>	7,65	4,72	16,86	1,37	3,5	1,14
SP4	<i>Arcopilus</i>	1,29	0,31	0,04	0,0	0,04	0,0
SP5	<i>Fusarium</i>	3,13	4,77	6,17	18,33	14,02	3,52
SP6	<i>Gliomastix</i>	0,35	0,0	0,0	0,0	14,74	0,0
SP7	<i>Saitozyma</i>	13,39	0,47	0,04	0,0	0,0	0,0
SP8	<i>Pseudothielavia</i>	0,43	0,21	2,78	11,35	0,48	1,09
SP9	<i>Absidia</i>	0,68	10,02	2,94	0,27	0,16	0,25
SP10	<i>Talaromyces</i>	1,43	6,35	9,73	0,96	2,65	0,16
SP11	<i>Metarhizium</i>	1,71	0,1	0,08	0,0	2,65	0,07

SP12	<i>Beauveria</i>	0,27	0,0	0,0	0,41	0,0	0,0
SP13	<i>Trichoderma</i>	2,38	1,36	2,98	2,33	3,86	0,9
SP14	<i>Gymnopilus</i>	0,05	0,0	0,0	0,0	0,0	6,02
SP15	<i>Angustimassarina</i>	0,84	0,0	0,04	0,0	0,0	0,0
SP16	<i>Amorocoelophoma</i>	0,49	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SP17	<i>Clonostachys</i>	1,44	0,52	0,17	0,55	2,01	0,37
SP18	<i>Apiotrichum</i>	4,5	0,05	0,0	0,0	0,04	0,05
SP19	<i>Phialophora</i>	0,15	0,0	0,12	0,0	4,3	0,02
SP20	<i>Scedosporium</i>	0,14	0,1	0,04	0,0	0,0	0,02

*Identificação das espécies para correlação com estoque de carbono. NI: Espécies não identificadas em comparação com banco genético abordado.

A pastagem nos biomas Cerrado e Mata Atlântica apresentou comunidade de indivíduos mais uniforme distribuídas entre as espécies de bactérias e (Tabela 4). Entretanto, no bioma Pantanal o maior índice de Shannon e Simpson foi observado no eucalipto. Na média geral a pastagem e o bioma Mata Atlântica apresentou maior índice de Shannon. O índice de Simpson também apresentou maiores medias em pastagem e bioma Mata Atlântica para bactérias (Tabela 4).

Tabela 4. Índice de Shannon e Simpson para as bactérias presentes nas amostras de solo dos biomas Cerrado, Pantanal e Mata atlântica nos usos eucalipto, agricultura, pastagem e floresta nativa

Shannon					
	Eucalipto	agricultura	Pastagem	Floresta	Média
Cerrado	4,54	4,49	5,60	4,60	4,81
Pantanal	5,34	5,26	4,85	4,60	5,01
Mata Atlântica	5,66	5,38	5,99	5,41	5,61
Média	5,18	5,04	5,48	4,87	5,14
Simpson					
	Eucalipto	agricultura	Pastagem	Floresta	Média
Cerrado	0,79	0,72	0,88	0,79	0,80
Pantanal	0,88	0,87	0,82	0,78	0,84
Mata Atlântica	0,90	0,88	0,93	0,87	0,90
Média	0,85	0,82	0,88	0,81	0,85

A biodiversidade de fungos medida através dos índices de Shannon e Simpson foi maior na agricultura nos biomas Cerrado e Mata Atlântica (Tabela 5). Entretanto, no bioma Pantanal o maior índice de Shannon e Simpson foi observado no eucalipto e floresta. Na média geral a agricultura e o bioma cerrado apresentaram maior índice de Shannon e Simpson para fungos.

Tabela 5. Índice de Shannon e Simpson para os fungos presentes nas amostras de solo dos biomas Cerrado, Pantanal e Mata atlântica nos usos eucalipto, agricultura, pastagem e floresta nativa

	Shannon				Média
	Eucalipto	agricultura	Pastagem	Floresta	
Cerrado	4.82	5.32	5.40	5.18	5.18
Pantanal	5.05	4.57	2.70	5.05	4.34
Mata Atlântica	4.81	5.50	4.66	5.54	5.13
Média	4.89	5.13	4.25	5.26	4.88

	Simpson				Média
	Eucalipto	agricultura	Pastagem	Floresta	
Cerrado	0.88	0.94	0.90	0.91	0.91
Pantanal	0.88	0.85	0.50	0.90	0.78
Mata Atlântica	0.90	0.94	0.88	0.88	0.90
Média	0.89	0.91	0.76	0.89	0.86

A análise de componentes principais aponta que o estoque de carbono não se correlaciona com as 20 espécies de bactérias, mas abundantes observadas nos usos do solo nos diferentes biomas do MS (Figura 1A). Entretanto, no bioma Mata Atlântica apresentou correção positiva com as espécies de bactérias menos abundantes identificadas, o mesmo ocorreu nos usos de eucalipto, agricultura e pastagem o maior índice de Shannon e Simpson foi observado no eucalipto e floresta (Figura 1B).

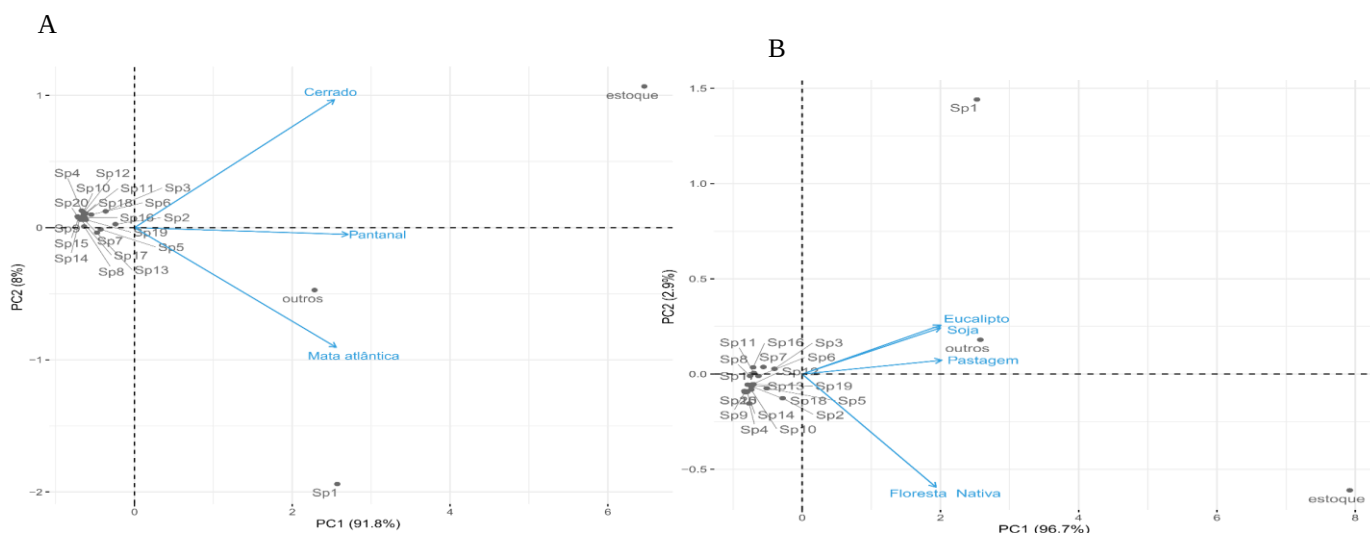


Figura 1. Análise de componentes principais para as bactérias presente nas amostras e o estoque de carbono para os biomas Cerrado, Pantanal e Mata atlântica (A) e nos usos eucalipto, agricultura (soja), pastagem e floresta nativa (B).

O estoque de carbono não se correlaciona com as 20 espécies de fungos, mas abundantes observadas nos usos do solo nos diferentes biomas do MS (Figura 2A). As espécies de fungos menos abundantes (outros), e *Mortierella* spp., *Penicillium* spp. e *Fusarium* spp. apresentaram correlação com o bioma (Figura 2A). O manejo na agricultura independente do bioma apresentou correlação com espécies de fungos menos abundantes identificados e *Penicillium* spp. e *Fusarium* spp. (Figura 2B).

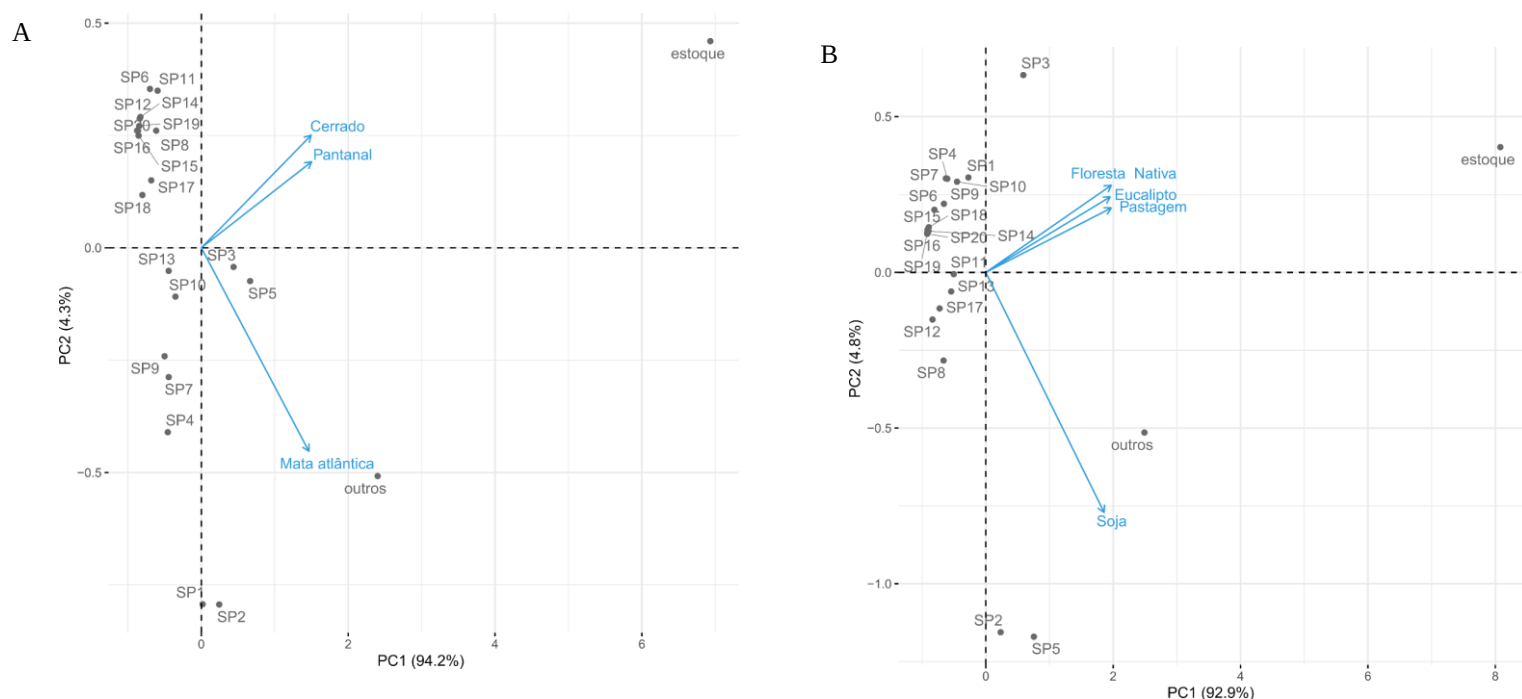


Figura 2. Análise de componentes principais para os fungos presente nas amostras e o estoque de carbono para os biomas Cerrado, Pantanal e Mata atlântica (A) e nos usos eucalipto, agricultura (soja), pastagem e floresta nativa (B).

A avaliação por Heatmap para as 20 espécies de bactérias mais abundantes apresentou maior agrupamento entre os biomas Mata Atlântica e Pantanal para a diversidade de espécies, e agrupamento entre a espécie *Bacillus* spp. (SP1) e espécies de bactérias de menor diversidade (outros) (Figura 3A). O Heatmap mostra que houve um agrupamento maior entre eucalipto e pastagem entre as 20 espécies mais abundantes de bactérias (Figura 3B).

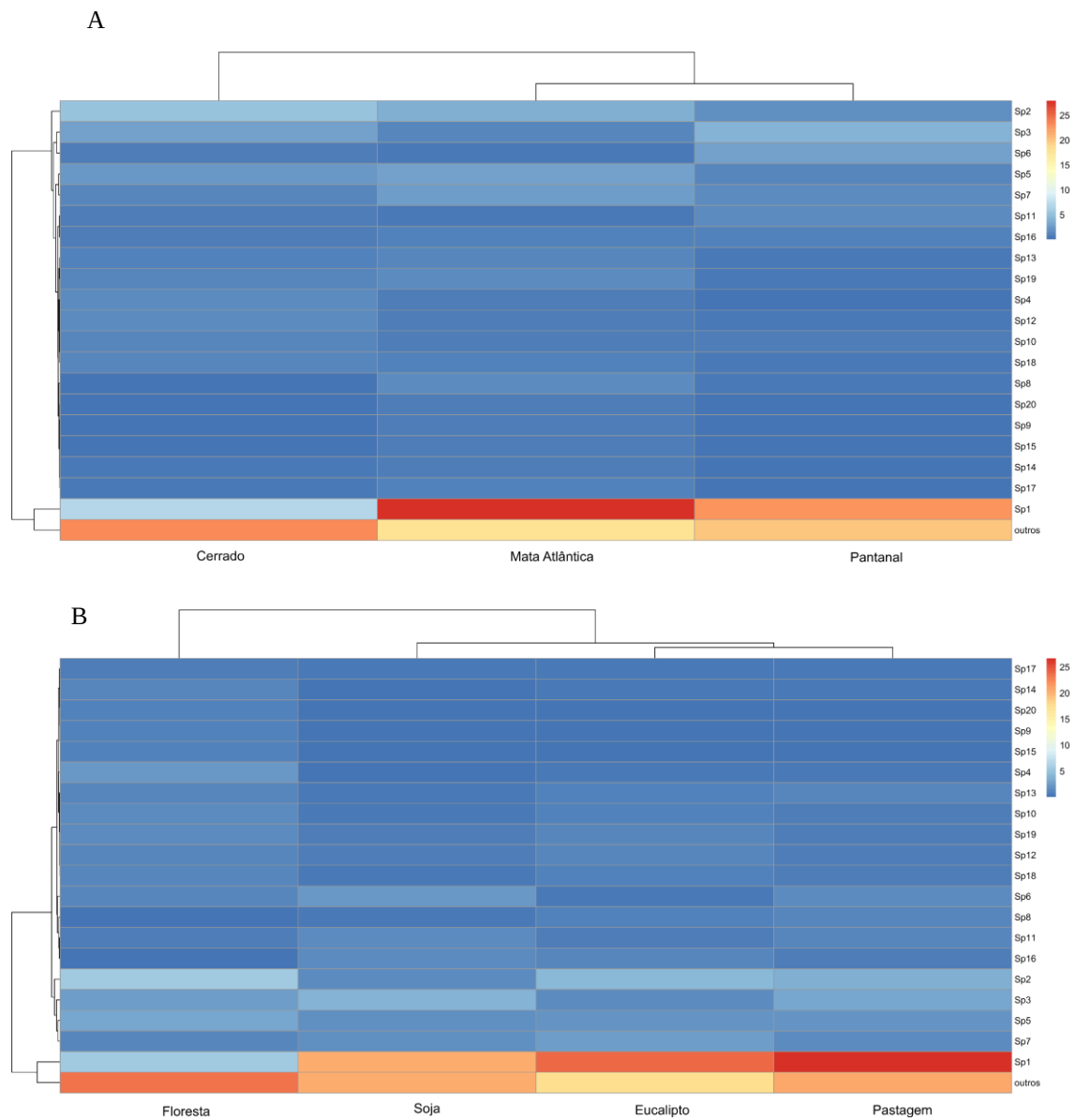


Figura 3. Heatmap para relação entre as bactérias nos biomas (A) e usos (B) das amostras de solo avaliadas

As espécies mais abundantes de fungos apresentaram melhor agrupamento entre os biomas Cerrado e Mata-Atlântica (Figura 4A). O Heatmap mostra que houve um agrupamento distinto entre espécies de fungos, como exemplo o fungo *Talaromyces* spp. (SP10) e *Thichoderma* spp. (SP13). O uso do solo pastagem e agricultura apresentou melhor agrupamento para as espécies de fungo identificadas (Figura 4B).

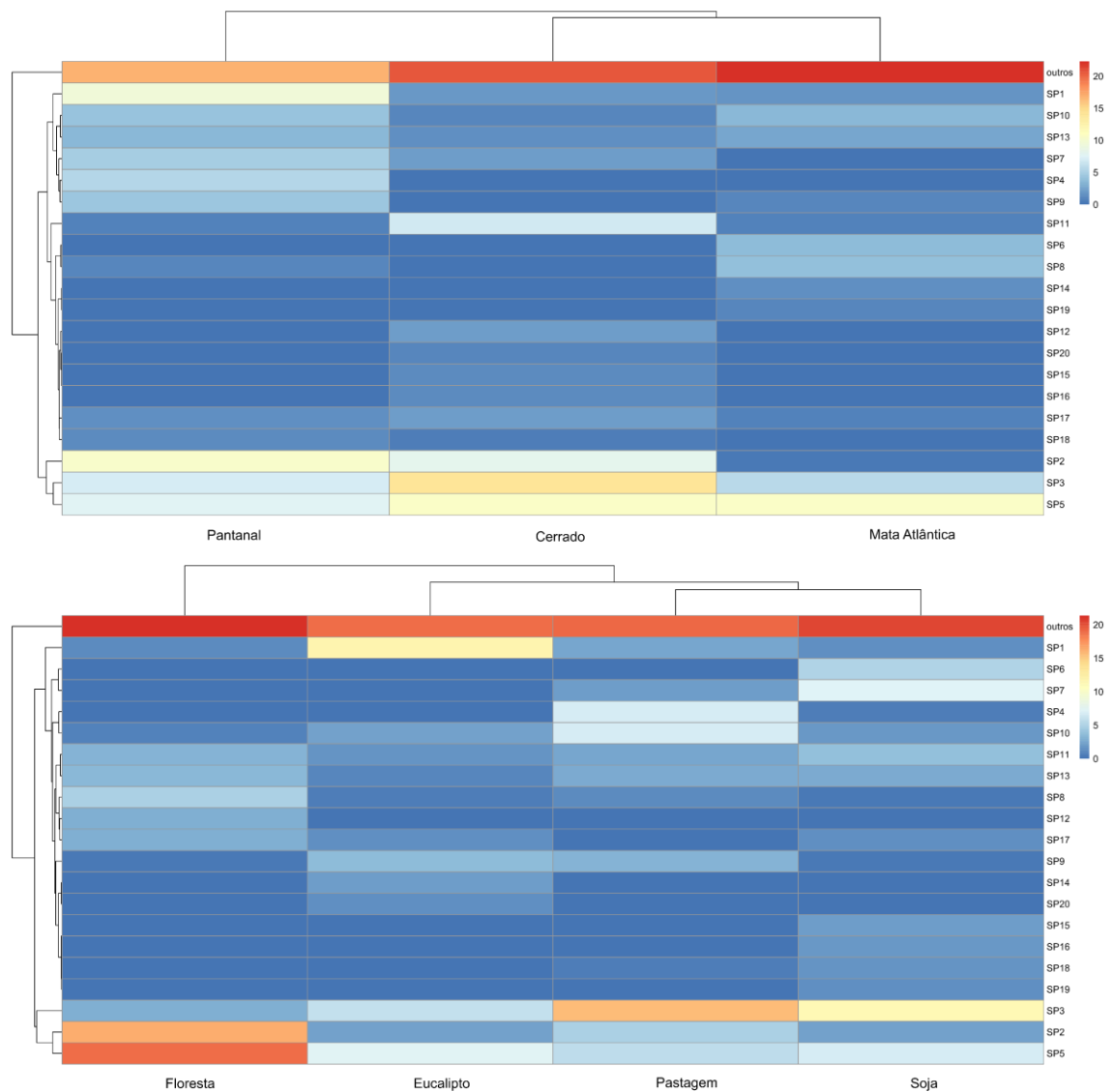


Figura 4. Heatmap para relação entre s fungos nos biomas (A) e usos (B) das amostras de solo avaliadas.

DISCUSSÃO

À medida que aprofundamos a nossa compreensão da diversidade microbiana no solo, podemos desenvolver estratégias inovadoras para uma agricultura sustentável (YU et al., 2022). Os usos dos solos modificam um ambiente natural e promove a diversidade de microrganismos (CHEN et al., 2022). Porém, em nosso estudo foi verificado que em

áreas cultivadas a uma abundância de espécies de bactérias e fungos maior que em áreas de vegetação nativa nos biomas Cerrado, Pantanal e Mata Atlântica.

A espécie de bactéria *Bacillus* ssp. foi a mais encontrada nos usos do solo e biomas analisados. O *Bacillus* ssp. desempenha um papel crucial no solo, promovendo o crescimento das plantas, controlando os patógenos das plantas e aumentando a fertilidade do solo (ABOU-ZEID; BAKRY, 2011). O uso de *Bacillus* ssp. é comercialmente utilizado no cultivo de soja para controle de patógenos e aumentar a disponibilidade de P nos solos tropicais (ALEYZADEH et al., 2013).

A variabilidade de uso do solo e biomas diversifica as espécies de fungos identificados (OLIVEIRA et al., 2016). Nesse sentido é possível observar que o fungo *Fusarium* ssp. está mais presente no cultivo de agricultura nos três biomas analisados. *Fusarium* ssp. são um fungo que coloniza as raízes de soja e pode ser dispersado através de sementes (OLIVEIRA et al., 2016). O advento de bioinsumos para o controle de pragas da soja também pode contribuir para o estabelecimento de fungos no solo, este é o caso do uso de *Beauveria* ssp. e *Thichoderma* ssp. A presença de fungos no solo está muito relacionada ao tipo de solo e a vegetação presente (PINO et al., 2023).

A pastagem promove a diversidade de bactérias medidas através dos índices de Shannon e Simpson. Neste ambiente, pode-se ter uma maior diversidade de bactéria introduzidas pelas deposições de fezes no solo (VASHISHTH et al., 2022). Dentre os biomas a Mata Atlântica apresentou maior diversidade de bactérias. A mata atlântica apresenta um ambiente mais úmido propício para bactérias. A análise de componentes principais confirma a correlação da proporção de bactérias de menor proporção relativa com o uso de pastagem e o bioma Mata-Atlântica.

O uso do solo com agricultura apresentou maior diversidade de fungos. Esperava-se que os ambientes com vegetação nativa se apresentem maior diversidade de fungos (KONG et al., 2011). Porém, a soja cultivada em plantio direto permite a permanência de resíduos culturais de plantas por mais tempo na superfície no solo, promovendo a proliferação de fungos. Resultado confirmado pela análise de componentes principais, sendo que os fungos de menor abundância relativa se aproximam do uso do solo com agricultura e o bioma Mata Atlântica.

As proporções da presença de espécies de bactérias e fungos identificados no solo não apresentaram proximidade com o estoque de carbono no solo. O estoque de carbono no solo está ligado à presença de microrganismos no solo, pois estes estão fazendo

decomposição da matéria orgânica, sendo provavelmente sua maior fonte de alimento (CHEN et al., 2022; LIU et al., 2021).

Os biomas Pantanal e Mata Atlântica apresentam similaridade na presença das mesmas espécies de bactérias. Dentre os usos, a maior similaridade de mesmas espécies de bactérias foi observada entre pastagem e eucalipto. A pastagem e eucalipto tem menor revolvimento do solo quando comparado ao solo cultivado com soja, sendo que mesmo cultivada em plantio direto, o sulco de semeadura é revolvido (CONCEIÇÃO et al., 2005). Entretanto, observa-se que a permanência de inalteração de vegetação nativa não promove a diversidade de bactérias.

A similaridade da presença de fungos de mesma espécie foi maior entre os biomas Cerrado e Mata-Atlântica. Dentre os usos a maior similaridade de fungos foi observado entre pastagem e agricultura. As características do solo, como a estrutura da vegetação, a idade do solo, a aridez e a disponibilidade de nutrientes, desempenham um papel crucial na definição da semelhança de fungos entre os usos e biomas (SANTOS; HERNDON, 2023). A dominância dos fungos aumenta em ambientes frios, úmidos e de alta latitude com grandes estoques de carbono no solo (YU et al., 2022). O bioma Mata Atlântica condiz com a promoção de um ambiente frio e úmido. Porém, o ambiente Cerrado é menos úmido para a proliferação de fungos (MENDES et al., 2009). A promoção de fungos no uso do solo com solo deve-se a maior fertilidade do solo, devido a neste cultivo exigir maiores aporte de fertilizantes para garantir a produtividade principalmente no Cerrado.

De forma geral houve diferenças importantes na diversidade microbiana entre os diferentes biomas e usos do solo avaliados. Em geral, nos biomas Cerrado e Mata Atlântica a pastagem apresentou índices de bactérias mais uniforme, enquanto no bioma Pantanal, o eucalipto demonstrou o maior índice de diversidade. No caso dos fungos, biomas Cerrado e Mata Atlântica a agricultura apresentou maior diversidade, no bioma Pantanal, o eucalipto e a floresta nativa mostraram os maiores índices de diversidade. O estoque de carbono não apresentou correlação significativa com a composição das espécies de bactérias, exceto no bioma Mata Atlântica, onde correlações positivas foram observadas com espécies menos abundantes. Em relação ao estoque de carbono, os fungos não tiveram relação com o estoque de carbono, exceto para algumas espécies que foram menos abundantes, como *Mortierella* spp., *Penicillium* spp. e *Fusarium* spp., que apresentaram correlação com o bioma e o manejo agrícola.

As espécies bacterianas apresentaram maior agrupamento entre os biomas Mata Atlântica e Pantanal, enquanto as espécies de fungos mostraram melhor agrupamento entre os biomas Cerrado e Mata Atlântica. Os resultados sugerem que o tipo de bioma e o manejo do solo exercem influência na diversidade microbiana, destacando a importância de considerar esses fatores em avaliações relacionadas ao estoque de carbono, observando os microrganismos que contribuem para maior estoque e os manejos de solo que contribuem para o aumento dessa população

CONCLUSÃO

A abundância e diversidade de bactérias e fungos é influenciada de tipo de uso do solo e bioma.

As espécies de bactérias e fungos identificadas não tem proximidade com os teores de estoque de carbono no solo.

A vegetação nativa apresentou menor diversidade de bactérias e fungos nos biomas do MS.

O uso de eucalipto pastagem promovem maior diversidade de bactérias e o uso de pastagem e agricultura promove a diversidade de fungos nos biomas do MS.

REFERÊNCIAS

- ABOU-ZEID, M. Y.; BAKRY, M. A. A. Integrated effect of bio-organic manures and mineral fertilizers on potato productivity and the fertility status of a calcareous soil. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 5, n. 8, p. 1385–1399, 2011.
- ALEYZADEH, M. B. et al. Effect of bio-fertilizers on the yield and yield components of Cucurbita pepo L. **BioTechnology: An Indian Journal**, v. 7, n. 6, p. 207–214, 2013.
- BASILE-DOELSCH, I.; BALESSENT, J.; PELLERIN, S. Reviews and syntheses: The mechanisms underlying carbon storage in soil. **Biogeosciences**, v. 17, n. 21, p. 5223–5242, 2020.
- BERTOLA, M.; FERRARINI, A.; VISIOLI, G. Improvement of soil microbial diversity through sustainable agricultural practices and its evaluation by -omics approaches: A perspective for the environment, food quality and human safety. **Microorganisms**, v. 9, n. 7, 2021.
- BLAGODATSKAYA, E.; KUZUYAKOV, Y. Active microorganisms in soil: Critical

- review of estimation criteria and approaches. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 67, p. 192–211, dez. 2013.
- CAO, H. et al. Stronger linkage of diversity-carbon decomposition for rare rather than abundant bacteria in woodland soils. **Frontiers in Microbiology**, v. 14, n. March, p. 1–11, 2023.
- CHEN, J. et al. Living and Dead Microorganisms in Mediating Soil Carbon Stocks Under Long-Term Fertilization in a Rice-Wheat Rotation. **Frontiers in Microbiology**, v. 13, n. June, p. 1–13, 2022.
- CHERNOV, T. I.; TKHAKAKHOVA, A. K.; KUTOVAYA, O. V. Assessment of diversity indices for the characterization of the soil prokaryotic community by metagenomic analysis. **Eurasian Soil Science**, v. 48, n. 4, p. 410–415, 2015.
- CONCEIÇÃO, P. C. et al. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 29, n. 4, p. 777–788, 2005.
- DON, A. et al. Spatial and vertical variation of soil carbon at two grassland sites - Implications for measuring soil carbon stocks. **Geoderma**, v. 141, n. 3–4, p. 272–282, 2007.
- IBÁ, I. B. DE Á. **IBÁ Annual Report**. Brasília: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2021-compactado.pdf>>. Acesso em: 26 jan. 2022.
- KING, W. L. et al. Leveraging microbiome rediversification for the ecological rescue of soil function. **Environmental Microbiome**, v. 18, n. 1, p. 1–13, 2023.
- KONG, A. Y. Y. et al. Microbial community composition and carbon cycling within soil microenvironments of conventional, low-input, and organic cropping systems. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 43, n. 1, p. 20–30, jan. 2011.
- KUZYAKOV, Y.; FRIEDEL, J. K.; STAHR, K. **Review of mechanisms and quantification of priming effects** *Soil Biology and Biochemistry* Elsevier Ltd, , 2000.
- LIU, J. et al. Linking soil bacterial diversity to satellite-derived vegetation productivity: a case study in arid and semi-arid desert areas. **Environmental Microbiology**, v. 23, n. 10, p. 6137–6147, 2021.
- MARETTO, L. et al. Microbial Diversity of Reconstituted, Degraded, and Agricultural Soils Assessed by 16S rDNA Multi-Amplicon Sequencing. **Frontiers in Environmental Science**, v. 9, n. January, p. 1–11, 2022.
- MARINARI, S. et al. Soil development and microbial functional diversity: Proposal for

- a methodological approach. **Geoderma**, v. 192, n. 1, p. 437–445, 2013.
- MENDES, I. DE C. et al. **Bioindicadores para Avaliação da Qualidade dos Solos Tropicais: utopia ou realidade?** Documentos ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2009.
- NOOJIPADY, P. et al. Forest carbon emissions from cropland expansion in the Brazilian Cerrado biome. **Environmental Research Letters**, v. 12, n. 2, 2 fev. 2017.
- OLIVEIRA, P. DE et al. Response of soil fungi and biological processes to crop residues in no-tillage system. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, v. 46, n. 1, p. 57–64, 2016.
- PINO, V. et al. Australian soil microbiome: A first sightseeing regional prediction driven by cycles of soil temperature and pedogenic variations. **Molecular Ecology**, v. 32, n. 23, p. 6243–6259, 2023.
- SANTOS, F.; HERNDON, E. Plant-Soil Relationships Influence Observed Trends Between Manganese and Carbon Across Biomes. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 37, n. 1, 2023.
- SUPRIATNA, J. **Biodiversity Indexes: Value and Evaluation Purposes**. E3S Web of Conferences. **Anais...**2018
- VASHISHTH, M. et al. Soil microbial diversity in conventional and organic agricultural farming systems. **The Pharma Innovation**, v. 11, n. 11S, p. 1331–1337, 2022.
- YANG, X. et al. Loss of microbial diversity weakens specific soil functions, but increases soil ecosystem stability. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 177, n. November 2022, p. 108916, 2023.
- YU, K. et al. The biogeography of relative abundance of soil fungi versus bacteria in surface topsoil. **Earth System Science Data**, v. 14, n. 9, p. 4339–4350, 2022.
- ZHANG, J.; SHEN, J. L. Effects of biochar on soil microbial diversity and community structure in clay soil. **Annals of Microbiology**, v. 72, n. 1, p. 1–14, 2022.