

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CAMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
CURSO DE AGRONOMIA

EVELYN GABRIELLY BOFF

**INDICADORES MICROBIOLÓGICOS DA QUALIDADE DO SOLO EM
DIFERENTES FITOFISIONOMIAS DO BIOMA PANTANAL**

CHAPADÃO DO SUL - MS

2026

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CAMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
CURSO DE AGRONOMIA

EVELYN GABRIELLY BOFF

**INDICADORES MICROBIOLÓGICOS DA QUALIDADE DO SOLO EM
DIFERENTES FITOFISIONOMIAS DO BIOMA PANTANAL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Mato Grosso do Sul, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Agrônoma.

Orientadora: Profa. Dra. Meire Aparecida
Silvestrini Cordeiro

CHAPADÃO DO SUL - MS

2026



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

AUTORA: Evelyn Gabrielly Boff.

ORIENTADORA: Profa. Dra. Meire Aparecida Silvestrini Cordeiro.

Aprovada pela Banca Examinadora como parte das exigências do Componente Curricular Não Disciplinar TCC, para obtenção do grau de BACHARELA EM AGRONOMIA, pelo curso de Bacharelado em Agronomia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Chapadão do Sul.

Profa. Dra. Meire Aparecida Silvestrini Cordeiro
Presidente da Banca Examinadora e Orientador

Profa. Dra. Elisângela de Souza Loureiro
Membro da Banca Examinadora

Profa. Dra. Susany Santos Moura
Membro da Banca Examinadora

Chapadão do Sul, 17 de junho de 2026.

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Meire Aparecida Silvestrini Cordeiro, Professora do Magistério Superior**, em 17/06/2026, às 14:58, 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 **Elisangela de Souza Loureiro, Professora do Magistério Superior**, em 17/06/2026, às 14:59, 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 **Suzany Santos de Moura, Usuário Externo**, em 18/06/2026, às 10:13, 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](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6474277** e o código CRC **CA9E25DF**.

COORDENAÇÃO DE GESTÃO ACADÊMICA DO CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL

Avenida Engenheiro Douglas Ribeiro Pantaleão, nº 5167

Fone:

CEP 79560-000 - Chapadão do Sul - MS

Referência: Processo nº 23455.000473/2026-10

SEI nº 6474277

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me proporcionar saúde, sabedoria e força ao longo da graduação e em todos os momentos da minha vida, guiando meus caminhos e permitindo que cada etapa acontecesse da melhor forma possível.

Aos meus pais, em especial à minha mãe, Edina Carneiro da Silva, por todo o cuidado, acolhimento e proteção durante esses anos; e ao meu padrasto, Claudemir Oliveira Fraga da Silva, pela paciência, apoio constante e por estar presente nos momentos de dúvidas, desafios e dificuldades. À minha irmã, Emily Fraga, por ser a força motriz, que precisei. Com ela compartilhei conversas, ideias, reflexões e recebi conselhos valiosos que contribuíram para minha formação pessoal e acadêmica.

A todos os meus familiares que me apoiaram e estiveram ao meu lado durante essa trajetória, compartilhando os momentos de alegria, conquistas e os desafios enfrentados ao longo do caminho. Agradeço, ainda, à memória daqueles que já não estão presentes, mas que permanecem como exemplos de educação, aprendizado e inspiração em minha vida: Nelso Boff, Libera Roldon Boff e Jairo da Silva.

Aos meus amigos Caique Luan Zandomenighi, Evelyn Rodrigues de Lacerda e Lethicia Victoria Antunes dos Santos, por compartilharem comigo esta jornada acadêmica, oferecendo apoio, escuta, conselhos e amizade nos momentos mais difíceis, bem como celebrando cada conquista alcançada. A todos os amigos que conheci ao longo desses cinco anos, meu sincero agradecimento pelos momentos inesquecíveis, pelas experiências compartilhadas e pelas amizades construídas, que levarei comigo para toda a vida.

À minha orientadora, Meire Aparecida Silvestrini Cordeiro, pela paciência, dedicação, confiança e orientação durante o desenvolvimento deste trabalho, bem como por todos os ensinamentos, incentivos e esclarecimentos que contribuíram para minha formação acadêmica e profissional.

Ao PET Agroflorestal, que se tornou meu lar dentro da universidade, proporcionando experiências, aprendizados e oportunidades de crescimento pessoal e profissional que levarei para todas as etapas futuras da minha trajetória.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta conquista e fizeram parte da minha caminhada acadêmica.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	7
MATERIAL E MÉTODOS	9
RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
CONCLUSÕES.....	20
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21

INDICADORES MICROBIOLÓGICOS DA QUALIDADE DO SOLO EM DIFERENTES FITOFISIONOMIAS DO BIOMA PANTANAL

O Bioma do Pantanal compreende como a maior região alagada do mundo, com cerca de 140.000 km², se destacando por sua heterogeneidade ambiental. Possui um sistema de inundação heterogêneo com épocas de seca e cheias, bem distintas, além disso pode-se destacar por diferentes classes de vegetação a partir das fitofisionomias do ambiente. Nesse cenário, é importante compreender o comportamento da microbiota do solo e sua dinâmica nas diferentes fitofisionomias, podendo-se inferir em manejos conservacionistas e observar a qualidade microbiológica do solo. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar indicadores de qualidade microbiológica e química do solo em diferentes fitofisionomias do bioma Pantanal. As coletas foram realizadas na Base de Estudos da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) no Pantanal, localizada na região da Nhecolândia, no município de Corumbá/MS. Os tratamentos deste estudo foram compostos por quatro fitofisionomias diferentes e um uso agropecuário sendo eles: Cerrado, Campo Seco, Brejo, Mata de Galeria e área de pastagem extensiva (Pastagem). As coletas foram realizadas em maio de 2025, período de transição, entre o auge da cheia e o início da drenagem. As variáveis avaliadas foram: carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração microbiana do solo (RMS), quociente metabólico (qCO_2), teores totais de fósforo (P) e alumínio (Al), pelo equipamento p-XRF, além da avaliação da atividade das enzimas fosfatase ácida e β -glicosidase. Avaliações da comunidade e atividade microbiológica do solo foram indicadores sensíveis para caracterizar as diferentes fitofisionomias do Bioma Pantanal entre inundado e seco. A área de Campo Seco influenciou no maior valor de carbono da biomassa microbiana do solo (CBM), seguido pela área de Brejo. A área de Brejo proporcionou os maiores valores para a atividade das enzimas fosfatase ácida e β -glicosidase. As fitofisionomias Cerrado, Campo Seco e Brejo influenciaram nos menores valores de respiração microbiana do solo (RMS). Em contrapartida, solo da área sob Pastagem apresentou maior valor de respiração microbiana do solo (RMS) e o maior valor de quociente metabólico do solo (qCO_2).

Palavras-chave: carbono da biomassa microbiana, enzima do solo, bioma brasileiro, microbiologia do solo.

MICROBIOLOGICAL INDICATORS OF SOIL QUALITY IN DIFFERENT PHYTOPHYSIOGNOMIES OF THE PANTANAL BIOME.

ABSTRACT: The Pantanal Biome comprises the largest wetland region in the world, covering approximately 140,000 km², and stands out for its environmental heterogeneity. It has a heterogeneous flooding system with distinct dry and wet seasons and is also characterized by different vegetation classes based on the phytophysioognomies of the environment. In this scenario, it is important to understand the behavior of the soil microbiota and its dynamics in the different phytophysioognomies, allowing inferences to be made regarding conservation management and observation of the microbiological quality of the soil. Therefore, the objective of this work was to evaluate indicators of microbiological and chemical soil quality in different phytophysioognomies of the Pantanal biome. The samples were collected at the Research Base of the Federal University of Mato Grosso do Sul (UFMS) in the Pantanal, located in the Nhecolândia region, in the municipality of Corumbá/MS. The treatments in this study consisted of four different phytophysioognomies and one agricultural use: Cerrado, Dry Field, Swamp, Gallery Forest, and extensive pasture area (Pasture). The samples were collected in May 2025, a transition period between the peak of the flood and the beginning of drainage. The evaluated parameters were microbial biomass carbon (MBC), soil microbial respiration (SMR), metabolic quotient (qCO₂), total phosphorus (P) and aluminum (Al) content, using p-XRF equipment, in addition to the evaluation of acid phosphatase and β -glucosidase enzyme activity. Assessments of the community and soil microbiological activity were sensitive indicators for characterizing the different phytophysioognomies of the Pantanal Biome between flooded and dry. The Dry Field area showed the highest value of soil microbial biomass carbon (SMC), followed by the Swamp area. The Swamp area provided the highest values for the activity of the enzyme's acid phosphatase and β -glucosidase. The Cerrado, Dry Field, and Swamp phytophysioognomies influenced the lowest values of soil microbial respiration (SMR). In contrast, the soil in the Pasture area showed the highest value of soil microbial respiration (SMR) and the highest value of soil metabolic quotient (qCO₂).

Keywords: microbial biomass carbon, soil enzyme, Brazilian biome, soil microbiology.

INTRODUÇÃO

O Bioma Pantanal compreende como a maior região de planície tropical alagada do mundo, com cerca de 140.000 km², ao qual foi declarada como Patrimônio Nacional pela Constituição Brasileira de 1988 (Prance; Schaller, 1982; Brasil, 1988). O Pantanal recebe destaque pela sua heterogeneidade ambiental, sendo influenciada por quatro biomas: Floresta Amazônica, Cerrado (predominância), Chaco (Savana Estépica) e Mata Atlântica (Morais *et al.*, 2013).

Um dos fatores que mais dão destaque para o Pantanal é sua característica de inundação sazonal, onde ao longo do ano possui dois períodos distintos, inundado e drenado, ocorrendo devido as influências topográficas e as condições hidrológicas que podem influenciar na vegetação, além da baixa declividade que não proporciona um eficiente escoamento da água, fazendo com que ocorra períodos de inundação periódicos (Silva e Caputo, 2010).

O principal tipo de solo localizado no bioma é o Neossolo Quartzarênico (Santos *et al.*, 2025), ao qual tem uma maior quantidade de areia, e são solos relativamente novos com aproximadamente 150 cm. O tipo de solo e o regime de secas e inundações, podem auxiliar na formação de diferentes fitofisionomias do ambiente, contribuindo para grandes diferenças vegetais e a heterogeneidade da região ecológica, sendo abrigo para uma alta diversidade de organismos terrestres e aquáticos (Morais *et al.*, 2013).

Silva *et al.* (2000) caracterizaram 16 classes de vegetação a partir das fitofisionomias do ambiente, seguindo a ordem de campos (31%), cerradão (22%), cerrado (14%), campos inundáveis (7%), floresta semidecídua (4%), entre diversas outras classes. O bioma também se destaca pelo uso antrópico voltado à agropecuária, com forte predomínio da atividade pecuária. Suas características edafoclimáticas, como o relevo plano e os tipos de solo, tornam a região propícia para essa prática. Refletindo esse cenário, estimativas de 2020 indicam que as pastagens já ocupavam cerca de 20% do território pantaneiro (Marengo *et al.*, 2021).

Devido a diversidade de fitofisionomias do Pantanal, se torna imprescindível o conhecimento das características microbiológicas do solo dessas áreas. A microbiota do solo desempenha um papel fundamental na decomposição de compostos orgânicos, na ciclagem de nutrientes e no fluxo de energia do solo. Dessa forma, avaliações como a do carbono da biomassa microbiana (CBM) e respiração microbiana do solo (RMS), gerando também o quociente metabólico (qCO₂), bem como a avaliação da atividade enzimática do solo, podem

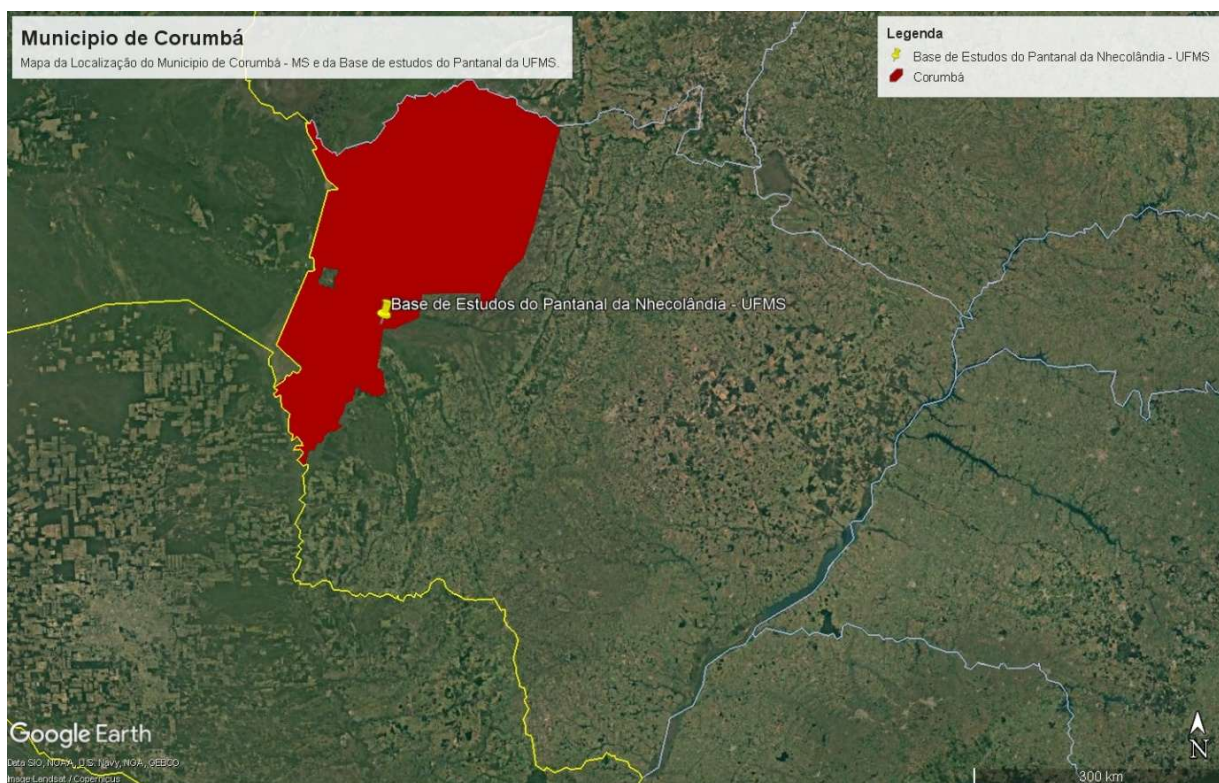
indicar a atividade desse solo, a eficiência microbiana e a energia necessária para sintetizar a biomassa, entre diversas outras interpretações (Pereira *et al.*, 2024).

De acordo com Fan *et al.* (2025) salientaram que para possuir resultados efetivos de qualidade do solo, há a necessidade de avaliar a relação de indicadores biológicos com parâmetros físico-químicos. Nesse estudo, buscou-se avaliar indicadores microbiológicos, que possuem importância na aferição precoce de possíveis efeitos desfavoráveis do manejo da qualidade do solo e dos parâmetros químicos como: fósforo (P) e alumínio (Al) com a utilização da técnica de fluorescência de raio X, procedimento que permite o fornecimento da concentração total de diversos elementos químicos, de forma breve e efetiva (Gozukara *et al.*, 2023). Conhecer o ambiente, facilita a tomada de decisões mais sustentáveis, como priorizar restauração sem converter áreas naturais, manejo conservacionista do solo em áreas degradadas e técnicas de agricultura regenerativa em áreas de pastagem (Franzluebbers, 2024; Schuler; Bustamante, 2022). Estima-se que 17% do Pantanal sofreu perda ou modificação de habitats naturais pela pecuária, ou pelas altas queimadas que estão afetando o bioma e influenciando no regime de cheias (Alho, 2008; Berlinck *et al.*, 2021).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar indicadores de qualidade microbiológica e química do solo em diferentes fitofisionomias do Bioma Pantanal, no período de transição entre inundado e seco.

MATERIAL E MÉTODOS

As coletas foram realizadas no mês de maio de 2025 na Base de Estudos da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) no Bioma Pantanal, localizada na região da Nhecolândia, no município de Corumbá, situado a 19°34'36" S e 57°01'09" O e altitude de 91 metros (Figura 1).



Fonte: Google Earth





Figura 1: Mapa da localização do município de Corumbá no Estado do Mato Grosso do Sul e da Base de Estudos da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), localizada no Pantanal da Nhecolândia.

O clima característico da região é Tropical típico, Aw na classificação de Köppen, que se caracteriza por duas estações bem definidas, uma seca, no inverno, e outra chuvosa, no verão (Garcia, 1984). Sua temperatura média anual está em torno de 25 °C e a umidade relativa é, em média, de 82%. Com precipitações médias de 1200 mm por ano, concentrada nos me-ses de outubro a março (Lázaro et al., 2020). Com tipo de solo característico sendo Neossolo Quartzarênico em predominância (apresenta textura arenosa, baixa retenção de água e fertilidade e suscetibilidade à erosão) (Oliveira Júnior et al., 2017).

Os tratamentos deste estudo foram compostos por quatro fitofisionomias diferentes e um uso agropecuário, ficando as áreas delimitadas por suas principais características: mata

nativa fechada (Cerrado), área descampada (Campo Seco), área de banhado ou inundada (Brejo), área de barranco do rio (Mata de Galeria) e área de pastagem extensiva (Pastagem), com uso para pecuária, descritos de acordo com Silva *et al.*, (2000), como mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Descrição das fitofisionomias da área amostrada.

Fitofisionomia	Descrição	Imagem
Cerrado	Composto por árvores grandes, primárias e secundárias de 0,8-10 m de altura	
Campo Seco	Área com predomínio de espécies gramíneas e arbustivas, não inundadas no período do levantamento	
Brejo	Área inundada, composta por espécies vegetais aquáticas, arbustos, trepadeiras e ciperáceas	
Mata de Galeria	Área próxima ao rio Miranda, sob influência direta, possui a presença de gramíneas	

Pastagem

Área com a presença de gramíneas, com pastagem extensiva para uso pecuário e a presença espaçada de espécies arbustivas



Fonte: PET Agroflorestal/ UFMS (2025)

As coletas foram realizadas no mês de maio de 2025, período de transição, entre o auge da cheia e o início da drenagem, sendo presentes áreas muito inundadas, mas começando a escoar, hidrológicamente chamado de “água alta tardia” (Milien *et al.*, 2023).

Em cada área foi feita amostragem de 150 g de solo, de 0-10 cm de profundidade, dentro de um quadrante de 50 m², coletando-se 5 repetições em cada. Cada amostra foi composta de três amostras simples, retiradas em zigue-zague (Figura 2). O acondicionamento das amostras foi realizado logo após a coleta a 10°C em geladeira até o momento da realização das análises.

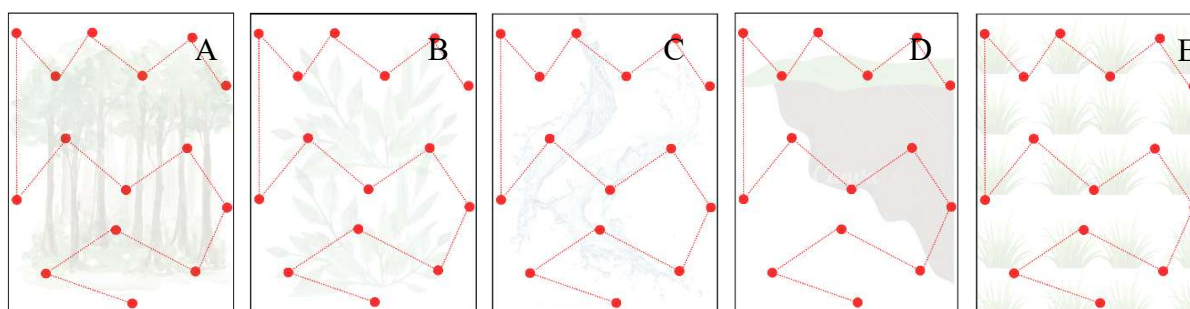


Figura 2: Esquema de coleta das amostras simples, das áreas de Cerrado (A), Campo Seco (B), Brejo (C), Mata de Galeria (D) e Pastagem (E).

Para as avaliações dos indicadores microbiológicos e químicos de qualidade do solo foram realizadas as seguintes avaliações: carbono da biomassa microbiana (C-BM), respiração microbiana do solo (RMS), quociente metabólico (qCO_2), atividade das enzimas fosfatase ácida e β -glicosidase, fósforo (P) e alumínio (Al) total.

O carbono da biomassa microbiana do solo (C-BM) foi avaliado pelo método da fumigação-extração de Vance *et al.*, (1987), após incubação por 24 h, extração com K_2SO_4 0,5 mol L⁻¹, oxidação com $K_2Cr_2O_7$ 0,0667 mol L⁻¹ e titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,0333 mol L⁻¹.

A respiração microbiana do solo (RMS) foi mensurada pela liberação de CO₂ a partir de 10 g de solo durante dez dias, com extração através de NaOH 0,05 mol L⁻¹ e titulação com HCl 0,05 mol L⁻¹ (Alef e Nannipieri, 1995). Para a determinação do quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) foi utilizada a equação: $q\text{CO}_2 = \text{C-CO}_2/\text{C-BM}$; em que, C-CO₂ é a taxa de respiração microbiana do solo (mg de C-CO₂ Kg⁻¹), e C-BM é o carbono da biomassa microbiana (mg de CO₂ kg⁻¹).

As enzimas mensuradas foram: β-glicosidase e fosfatase ácida. A determinação de tais enzimas é realizada por meio do método descrito por Tabatabai (1994), que consiste na determinação colorimétrica do p-nitrofenol. Para a enzima β-glicosidase, o p-nitrofenol que é liberado pelas β-glicosidasas do solo, quando ele é incubado com uma solução tamponada de p-nitrofenil-β-D-glicopiranosídeo. E para a determinação da enzima fosfatase ácida a determinação colorimétrica da p-nitrofenol é dado pela liberação das fosfatases encontradas no solo quando o solo é incubado com uma solução tamponada de p-nitrofenol fosfato.

Para a avaliação dos teores totais de fósforo (P total) e de alumínio (Al total) foi realizada a técnica de fluorescência de raio X, utilizando-se o aparelho p-XRF (modelo TRACER 5 g, Bruker, Alemanha). Antes das leituras, foram removidas as impurezas das amostras de solo (folhas, galhos e demais materiais), seguidas de peneiramento em peneira de malha 2 mm e levadas para secagem em estufa, a 104 °C. Após esse procedimento, foram acondicionadas em sacos plásticos transparentes, a fim de facilitar a leitura no equipamento, p-XRF que foi calibrado com amostras padrão (disponibilizadas pelo fabricante para essa finalidade), metodologia conforme descrito por Konstantakopoulo *et al.* (2023).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o software Sisvar (Ferreira, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas as variáveis estudadas, carbono na biomassa microbiana (CBM), respiração microbiana do solo (RMS), quociente metabólico (qCO_2), atividade das enzimas fosfatase ácida e β -glicosidase e os teores totais de alumínio (Al total) e fósforo (P total), foram influenciadas pelas diferentes fitofisionomias (Tabela 2).

Tabela 2. Análise de variância para as variáveis carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração microbiana do solo (RMS), quociente metabólico (qCO_2), enzimas fosfatase ácida e β -glicosidase e teores totais de fósforo (P total) e alumínio (Al total) em diferentes fitofisionomias do Bioma Pantanal/ Corumbá-MS.

Fatores	GL	Quadrado Médio						
		CBM	RMS	qCO_2	Fosfatase ácida	β -glicosidase	P total	Al total
Fitofisionomias	4	3790,88*	61773,09*	49,58*	9049,83*	10285,20*	0,000042*	2,130*
Bloco	4	128,477	4584,46	4,21	423,56	100,90	0,000011	0,094
Erro	16	174,071	2791,72	1,56	231,35	36,90	0,000012	0,390
CV (%)	-	17,28	11,82	18,51	22,55	10,08	37,53	47,89

*Significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns}: Não significativo; GL: grau de liberdade; CV: coeficiente de variação.

O maior valor de CBM do solo foi verificado na área de Campo Seco, seguido pela área de Brejo, com ambas as áreas apresentando valores superiores as áreas de Pastagem, Cerrado e Mata de Galeria, que tiveram valores semelhantes entre si (Tabela 3). O solo sob pastagem contribuiu para o maior valor de RMS em relação as demais áreas. As áreas de Cerrado, Campo Seco e Brejo apresentaram os menores valores para RMS, e foram iguais entre si.

Tabela 3. Carbono da biomassa microbiana (CBM, $\mu\text{g C g}^{-1}$ solo seco), respiração microbiana do solo (RMS, mg C g^{-1} solo seco) e quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) do solo em diferentes fitofisionomias do Bioma Pantanal - Corumbá/MS

Tratamentos	Variáveis		
	CBM	RMS	$q\text{CO}_2$
Cerrado	59,21 c	351,00 c	6,02 b
Campo Seco	117,61 a	340,25 c	2,94 c
Brejo	91,48 b	437,50 bc	4,82 bc
Mata de Galeria	52,27 c	496,40 b	9,78 a
Pastagem	61,26 c	609,0 a	10,18 a

*Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a variável $q\text{CO}_2$, os maiores valores foram verificados para os solos sob as áreas de Pastagem e Mata de Galeria em relação as demais. As áreas Campo Seco e Brejo não diferiram entre si e obtiveram o menor $q\text{CO}_2$, (Tabela 3). Tais valores indicam que nas áreas Campo Seco e Brejo, possuíam maiores eficiências microbianas no uso do carbono e um menor estresse metabólico da comunidade microbiana, enquanto em áreas de Pastagem e Mata de Galeria, por apresentarem maiores valores de $q\text{CO}_2$, sugerem que a microbiota estava sob maiores estresses ambientais (He *et al.*,2023; Babur, Ozlu e Uslo 2025).

O maior valor de CBM observado na área de Campo Seco (Tabela 3) pode ser atribuído ao maior equilíbrio da comunidade microbiana ativa no solo dessa fitofisionomia, comportamento também verificado por Moreira et al. (2021), onde reportaram que em solos de vereda (úmidos) atividades microbianas foram mais altas. Em sistemas de inundações sazonais, áreas de campos secos possuem tanto vegetação nativa “rasteira” uma vez no ano, quanto, um período com o solo inundado, e essa condição de umidade do solo um é fator preponderante

para aumentar a capacidade bioquímica de metabolizar carbono (Silva; Caputo, 2010; Silva *et al.*, 2024). Fato que também pode explicar o valor expressivo de CBM encontrado na área de Brejo (Tabela 3).

Observando a Tabela 3, nota-se que os valores de Cerrado, Campo Seco e Brejo, diferiram estatisticamente de Pastagem, para RMS o que sugere, que os locais com valores reduzidos de RMS, estão com uma microbiota abundante e eficiente, entrando em concordância com qCO_2 , pois valores de quociente metabólico baixo, sugerem uma alta biomassa para uma possível RMS, gerando maior eficiência e menor estresse, enquanto valores de qCO_2 alto indicam uma alta respiração para pouca biomassa, gerando mais estresse ou comunidades perturbadas, sistemas de áreas inundadas, cerrado e vegetações nativas apresentam maiores eficiências da microbiota do solo (Souza *et al.*, 2006; Silva *et al.*, 2010; Oliveira *et al.*, 2016; Meena e Rao, 2021).

É possível observar que os valores qCO_2 , se apresentam como um indicador de eficiência metabólica, os gastos energéticos mostram mais altos em áreas de Pastagem e Mata de Galeria, indicando áreas de grande estresse hídrico, nutricional e desequilibradas (Chen *et al.*, 2023). Em determinadas fitofisionomias não houve variações significativas, o que pode indicar uma estabilidade funcional do ambiente, refletindo até uma homeostase funcional, não sendo uma falha do indicador, mas uma “redundância funcional”. Mesmo que as fitofisionomias sejam diferentes, elas podem apresentar processos de ciclagem de nutrientes e comunidades microbianas semelhantes. Isso indica que essas diferentes formações vegetais conseguem manter o funcionamento ecológico dentro de padrões normais, demonstrando resiliência do ecossistema (Griffiths e Philippot, 2013; Ludwig, Wilmes e Schrader 2018; Moreira *et al.*, 2021).

Solos com atividades agrícolas extensivas como pecuária, apresentam valores mais baixos de CBM, principalmente em pastagens degradadas (Silva *et al.*, 2024), o que explica o valor encontrado para essa variável em solos da área de pastagem estudada (Tabela 3). Nessas condições, observam-se maiores valores de RMS e qCO_2 , geralmente possuem menor biomassa microbiana, passam por estresse e sua eficiência no uso do carbono é reduzida, geralmente são solos pobres nutricionalmente, com a quantidade de carbono convertido em nova biomassa microbiana menor, e maior a quantidade de CO_2 é liberado pelo solo, mostrando um solo com baixa eficiência metabólica (Zhou, Wang e Luo, 2018).

Em relação a atividade enzimática, verificou-se que a atividade da fosfatase ácida do solo sob a área de Brejo foi superior as demais fitofisionomias, que foram iguais entre si (Figura 3A). Resultado semelhante foi encontrado para a atividade da β -glicosidase, onde a fitofisionomia Brejo apresentou maior atividade da enzima (Figura 3B). Porém, o solo sob a área de pastagem apresentou o menor valor dessa enzima, quando comparado com as áreas naturais de Mata de Galeria, Campo Seco e Cerrado.

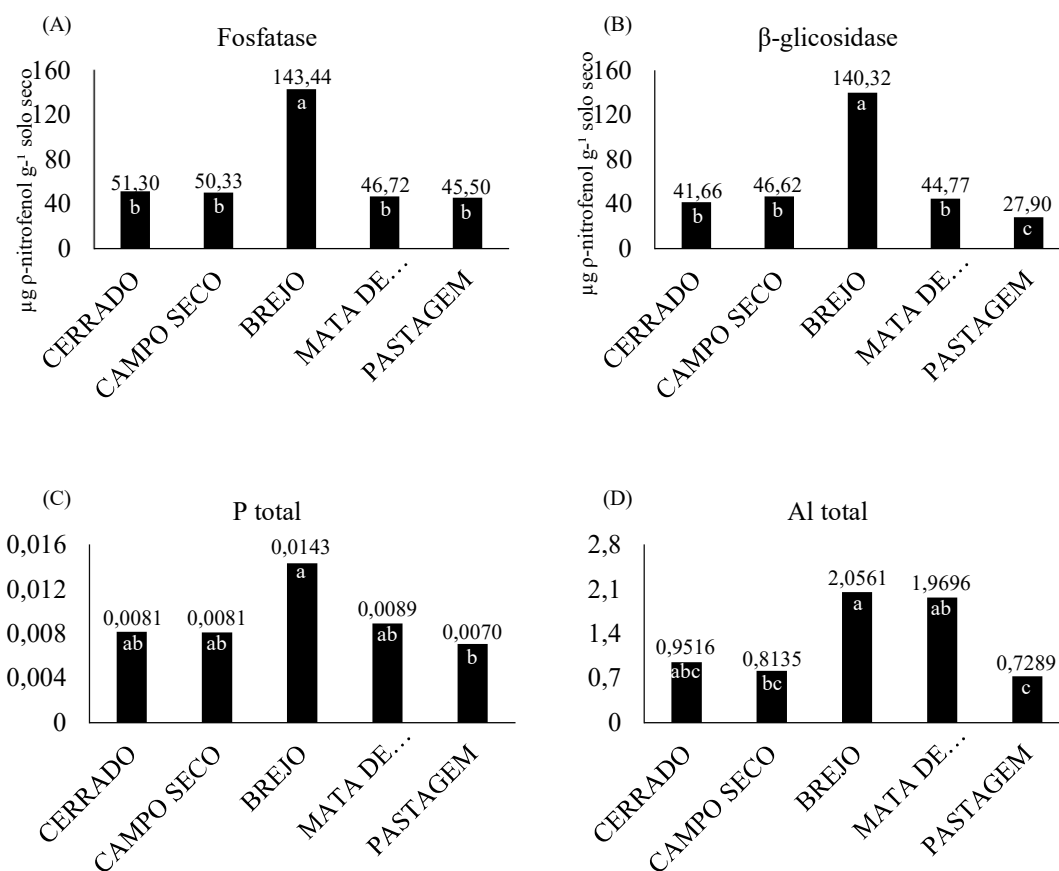


Figura 3. Efeito em solos de diferentes fitofisionomias do Bioma Pantanal da atividade enzimática da fosfatase ácida (A), da β -glicosidase (B), teores de P total no solo (C) e teores de Al total no solo (D). *Médias seguidas por letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A atividade da enzima fosfatase ácida do solo tende ser maior em solos úmidos, essa enzima responde fortemente, em ambientes ricos de matéria orgânica, além de solos com a

presença de Al total (Figura 3D), que remete a solos mais ácidos, como observado no estudo de Li e Johnson (2016). Cestari-Abreu (2024) afirma que em lugares em condições de anoxia (como na área de Brejo desta pesquisa), há um aumento considerável da atividade enzimática, e que esse aumento contribui para mobilização do P pouco disponível nos sedimentos, tanto mineral, quanto orgânico. Esse resultado pode ser confirmado ao observar que na análise dos teores totais de P pelo pXRF, os valores encontrados no solo sob a área de Brejo apresentaram-se elevado (Figura 3C). No entanto, a atividade da enzima fosfatase é inibida pela disponibilidade de P inorgânico e estimulada pela presença de P orgânico (Janes-Basset *et al.*, 2021), o que também pode explicar os elevados valores de fosfatase nessa área.

Em relação a enzima β -glicosidase, foi possível observar que também no solo sob o Brejo ocorreu maior atividade (Figura 3B). Essa enzima é fundamental no ciclo do carbono e está presente na etapa final da degradação da celulose e liberação de glicose para microrganismos, respondendo muito rapidamente as mudanças ambientais e de manejo (Adetunji *et al.*, 2017). As áreas de brejo são áreas ricas em material orgânico depositado ao longo do tempo (folhas, galhos, restos vegetais, animais mortos), dessa forma ricas em C orgânico. Assim, a maior atividade da β -glicosidase observada na fitofisionomia Brejo pode estar relacionada ao maior acúmulo de biomassa e serrapilheira, uma vez que essas condições favorecem a atividade dessa enzima (Yang *et al.*, 2023).

Em solos pantanosos, a atividade enzimática tende a ser elevada nas camadas superficiais devido à maior disponibilidade de matéria orgânica e umidade. Entretanto, essa atividade diminui rapidamente com a profundidade, em razão da limitação de oxigênio. Embora a umidade favoreça a atividade da β -glicosidase até determinados níveis, condições de encharcamento prolongado podem reduzi-la significativamente, pois a ausência de oxigênio restringe o desenvolvimento e a atividade de microrganismos aeróbios responsáveis pela produção dessa enzima (Lopes *et al.*, 2021). Por outro lado, Shahariar *et al.* (2021) reportaram que drenagens temporárias podem estimular a atividade da β -glicosidase, o que explica os valores observados nas áreas de Campo Seco, Mata de Galeria e Cerrado, que apesar de serem menores que na área de Brejo, foram em média 37% maiores que na área de agrícola de pastagem (Figura 3B). De maneira geral, solos dos ambientes naturais possuem maiores teores de matéria orgânica, o que possibilita maior atividade da β -glicosidase, mesmo em Neossolos, que são solos com altos teores de areia (Sinsabaugh *et al.*, 2008).

A atividade enzimática em Brejo elevada, apesar de possuir menor valores de CBM em relação ao Campo (Tabela 2 e Figuras 3A e 3B), pode sugerir uma adaptação funcional aos regimes de inundações, como é visto em manguezais, onde a redução do oxigênio aumenta atividades específicas de enzimas (Barros *et al.*, 2023). Em marismas costeiras, frequentemente inundadas, são encontrados atividade enzimática estabilizada, apesar da quantidade de oxigênio presente serem menores (Mueller *et al.*, 2020). Ademais, revisões indicam que a anoxia seleciona organismos com estratégias de sobrevivência, o que altera o funcionamento microbiano (Chen *et al.*, 2023; Das *et al.*, 2025).

Os resultados obtidos evidenciam a elevada complexidade funcional dos solos das diferentes fitofisionomias do Pantanal, indicando a necessidade de aprofundamento das pesquisas nessa temática. Estudos futuros devem contemplar avaliações integradas dos atributos biológicos, químicos e físicos do solo, buscando compreender de forma mais abrangente as interações responsáveis pela dinâmica dos processos ecossistêmicos.

Além disso, recomenda-se a realização de monitoramentos em diferentes épocas do ano, especialmente durante os períodos de inundação e seca, permitindo avaliar os efeitos da sazonalidade sobre a atividade microbiana, as enzimas do solo e os ciclos biogeoquímicos. A incorporação de técnicas de biologia molecular e metagenômica também poderá contribuir para a caracterização da diversidade e funcionalidade das comunidades microbianas presentes nesses ambientes.

Outra perspectiva importante consiste em investigar a relação entre a biodiversidade microbiana, os serviços ecossistêmicos e a resiliência dos solos frente às mudanças climáticas e às alterações no uso da terra. Essas informações poderão subsidiar estratégias de manejo conservacionista mais eficientes, promovendo a conservação dos ecossistemas pantaneiros e a manutenção de suas funções ambientais.

CONCLUSÕES

Avaliações da comunidade e atividade microbiológica do solo foram indicadores sensíveis para caracterizar as diferentes fitofisionomias do bioma Pantanal, no período de transição- entre inundado e seco.

A área de Campo Seco influenciou no maior valor de carbono da biomassa microbiana do solo (CBM), seguido pela área de Brejo.

A área de Brejo proporcionou os maiores valores para a atividade das enzimas fosfatase ácida e β -glicosidase.

As fitofisionomias Cerrado, Campo Seco e Brejo proporcionaram os menores valores de respiração microbiana do solo (RMS). Em contrapartida, solo da área sob Pastagem apresentou maior valor de respiração microbiana do solo (RMS) e o maior valor de quociente metabólico do solo (qCO_2).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADETUNJI, A. T. *et al.* The biological activities of β -glucosidase, phosphatase and urease as soil quality indicators: a review. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 17, n. 3, p. 794–807, 2017.
- ALEF, K.; NANNIPIERI, P., 1995. Methods in applied soil microbiology and biochemistry. **London: Academic Press**, 1995. 576p. ISBN: 9780125138406.
- ALHO, C. J. R. Biodiversity of the Pantanal: response to seasonal flooding regime and to environmental degradation. **Revista brasileira de biologia [Brazilian Journal of Biology]**, v. 68, n. 4 Suppl, p. 957–966, 2008.
- BABUR, E.; OZLU, E.; USLU, O.S. Soil respiration, microbial biomass, and stoichiometry within riparian buffers and adjacent land use. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, p. 40445, 2025.
- BARROS, D. J. *et al.* Microbial metabolic activity in Amazon floodplain forest and agricultural soils. **Frontiers in Microbiology**, v. 14, p. 1144062, 2023.
- BERLINCK, C. N. *et al.* The Pantanal is on fire and only a sustainable agenda can save the largest wetland in the world. **Revista brasileira de biologia [Brazilian Journal of Biology]**, v. 82, p. e244200, 2021.
- BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.
- CESTARI-ABREU, S. *et al.* Microbial activity approximation in soil and dynamic of three edaphic enzymes along the Mapire floodplain, Venezuela, in times of high and low humidity. **Wetlands (Wilmington, N.C.)**, v. 44, n. 8, p. 114, 2024.
- CHEN, Ji *et al.* Trade-off between microbial carbon use efficiency and specific nutrient-acquiring extracellular enzyme activities under reduced oxygen. **Soil Ecology Letters**, v. 5, n. 2, 2023.
- DAS, A.K. *et al.* The impact of flooding on soil microbial communities and their functions: A review. **Stresses**, v. 5, n. 2, p. 30, 2025.
- FAN, Y. *et al.* Development of soil quality assessment framework: A comprehensive review of indicators, functions, and approaches. **Ecological Indicators**, v. 172, n. 113272, p. 113272, 2025.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs: Sisvar. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529–535, 2019.
- FRANZLUEBBERS, A.J. Soil aggregation and surface-soil properties under grazed pastures and other conservation land uses in Virginia. **Agronomy Journal**, v. 116, n. 4, p. 1730–1745, 2024.
- GARCIA, E.A.C. O clima no Pantanal Mato-Grossense. **Circular Técnica**. n. 14. p. 36 Corumbá-MS. Jan, 1984.
- GOZUKARA, G. *et al.* Rapid assessment of elemental concentrations using pXRF and remote sensing on a dried lakebed. **Journal of Arid Environments**, v. 219, n. 105087, p., 2023.
- GRIFFITHS, B.S.; PHILIPPOT, L. Insights into the resistance and resilience of the soil microbial community. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 37, n. 2, p. 112–129, 2013.

- HE, P. *et al.* Microbial carbon use efficiency in different ecosystems: A meta-analysis based on a biogeochemical equilibrium model. **Global Change Biology**, v. 29, n. 17, p. 4758–4774, 2023.
- JANES-BASSETT, V. *et al.* A meta-analysis of phosphatase activity in agricultural settings in response to phosphorus deficiency. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 165, n. 108537, 2022.
- KONSTANTAKOPOULOU, E. *et al.* Quantitative criteria to configure and characterise portable X-ray fluorescence spectrometers. *In*: Budapest: **IMEKO**, 2023.
- LÁZARO, W.L. *et al.* Climate change reflected in one of the largest wetlands in the world: an overview of the Northern Pantanal water regime. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 32, 2020.
- LI, W.; JOHNSON, C.E. Relationships among pH, aluminum solubility, and aluminum complexation with organic matter in acid forest soils of the Northeastern United States. **Geoderma**, v. 271, p. 234–242, 2016.
- LOPES, A.A.C. *et al.* Enzyme activities in a sandy soil of Western Bahia under cotton production systems: short-term effects, temporal variability, and the FERTBIO sample concept. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 52, n. 4, p. 2193–2204, 2021.
- LUDWIG, M.; WILMES, P.; SCHRADER, S. Measuring soil sustainability via soil resilience. **The Science of the Total Environment**, v. 626, p. 1484–1493, 2018.
- MARENGO, J.A. *et al.* Extreme drought in the Brazilian Pantanal in 2019–2020: Characterization, causes, and impacts. **Frontiers in Water**, v. 3, p. 639204, 2021.
- MEENA, A.; RAO, K. S. Assessment of soil microbial and enzyme activity in the rhizosphere zone under different land use/cover of a semiarid region, India. **Ecological Processes**, v. 10, n. 1, 2021.
- MILIEN, E.J. *et al.* Hydrological dynamics of the Pantanal, a large tropical floodplain in Brazil, revealed by analysis of Sentinel-2 satellite imagery. **Water**, v. 15, n. 12, p. 2180, 2023.
- MORAIS, R. F. *et al.* Composição florística e estrutura da comunidade vegetal em diferentes fitofisionomias do Pantanal de Poconé, Mato Grosso. **Rodriguésia**, v. 64, p. 775-790, 2013.
- MOREIRA, C. P. *et al.* Biochemical activity and microbial biomass in wetlands (Vereda) and well-drained soils under native vegetation types in Brazilian Cerrado. **Applied Soil Ecology: A Section of Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 160, n. 103840, 2021.
- MUELLER, P. *et al.* Unrecognized controls on microbial functioning in Blue Carbon ecosystems: The role of mineral enzyme stabilization and allochthonous substrate supply. **Ecology and Evolution**, v. 10, n. 2, p. 998–1011, 2020.
- OLIVEIRA JUNIOR, J.C. *et al.* Genesis and classification of sodic soils in the northern Pantanal. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 41, n. 0, 2017.
- OLIVEIRA, W.R.D. de *et al.* Dynamics of soil microbiological attributes under integrated production systems, continuous pasture, and native cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1501–1510, 2016.
- PEREIRA, A.E. *et al.* Uma revisão sistemática dos indicadores microbiológicos para avaliar a qualidade do solo agrícola. **Observatório de La Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 5, p. e4695-e4695, 2024.

- PRANCE, G. T.; SCHALLER, G. B. Preliminary study of some vegetation types of the Pantanal, Mato Grosso, Brazil. **Brittonia**, New York, v. 34, n. 2, p. 228-251, Apr./jun. 1982.
- SANTOS, H.G. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 6. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2025.
- SCHÜLER, J.; BUSTAMANTE, M.M.C. Spatial planning for restoration in Cerrado: Balancing the trade-offs between conservation and agriculture. **The Journal of Applied Ecology**, v. 59, n. 10, p. 2616–2626, 2022.
- SHAHARIAR, S. *et al.* Soil enzyme activity as affected by land-use, salinity, and groundwater fluctuations in wetland soils of the prairie pothole region. **Wetlands (Wilmington, N.C.)**, v. 41, n. 2, p. 31, 2021.
- SILVA, J.V.; CAPUTO, A.C.B. Localização e distribuição da vegetação Savana Estépica (Chaco) no Pantanal brasileiro. **Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, v. 3, 2010.
- SILVA, L.J. *et al.* Converting low-productivity pasture to well-managed pasture and silvopastoral system cause relevant changes in soil chemical and microbiological characteristics. **Forests**, v. 15, n. 6, p. 1029, 2024.
- SILVA, M.P. *et al.* Distribuição e quantificação de classes de vegetação do Pantanal através de levantamento aéreo. **Brazilian Journal of Botany**, v. 23, p. 143-152, 2000.
- SILVA, R. R. DA *et al.* Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 5, p. 1584–1592, out. 2010.
- SINSABAUGH, R. L. *et al.* Stoichiometry of soil enzyme activity at global scale: Stoichiometry of soil enzyme activity. **Ecology Letters**, v. 11, n. 11, p. 1252–1264, 2008.
- SOUZA, E.D. *et al.* Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 28, n. 3, 2006.
- Tabatabai, M. A. Soil Enzymes. In: *Methods of Soil Analysis – Part 2 Microbiological and Biochemical Properties* (R. W. Weaver, S. Angle, P. Bottomley, D. Bezdicek, S. Smith, M. A. Tabatabai, A. Wollum, eds.), pp. 786-944, 1994.
- VANCE, E.D.; BOOKES, P.C.; JENKISON, D.S.; 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, 9(1), 703-707. DOI: 10.1016/0038-0717(87)90052-6.
- YANG, Y. *et al.* Land use conversion impacts on the stability of soil organic carbon in Qinghai Lake using ¹³C NMR and C cycle-related enzyme activities. **Land Degradation & Development**, v. 34, n. 12, p. 3606–3617, 2023.
- ZHOU, Z.; WANG, C.; LUO, Y. Effects of forest degradation on microbial communities and soil carbon cycling: A global meta-analysis. **Global Ecology and Biogeography: A Journal of Macroecology**, v. 27, n. 1, p. 110–124, 2018.