INDICADORES DA QUALIDADE AMBIENTAL NO BIOMA PAMPA

Kéli Hofstätter[1], Silvana Isabel Schneider[1], Abrão Tchuda[2], Eduarda Grade Rosa[2], Bárbara Estevão Clasen[1], Jaqueline Ineu Golombieski[2]

[1] Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil (hofstatterkeli@gmail.com)
[2] Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen , Brasil

Resumo: O presente estudo buscou analisar e quantificar a presença de ferro e manganês no solo em municípios pertencentes ao Estado do Rio Grande do Sul (Brasil) no uso e ocupação de campo nativo em áreas preservadas do Bioma Pampa. Os resultados demonstraram a interação dos metais em condições naturais sem interferência antrópica. Além disso, embora sejam micronutrientes essenciais, concentrações elevadas desses elementos podem afetar o equilíbrio ecológico dos ecossistemas.

Palavras-chave: Ferro; Interferência antrópica; Manganês; Preservação ambiental; Qualidade do solo

INTRODUÇÃO

O Bioma Pampa é um ecossistema típico da América do Sul, contemplando países como a Argentina, Brasil e Uruguai. No Brasil está restrito ao território do sul do país, exclusivamente ao Estado do Rio Grande do Sul, apresentando características ecológicas únicas, prevalentemente de campo nativo com grande diversidade de plantas gramíneas e leguminosas de valor forrageiro (Gonçalves *et al*., 2012). O Brasil é o quinto maior país em extensão territorial, abrigando ecossistemas distintos e uma das maiores biodiversidades do planeta (Myers *et al*., 2000).

O Brasil vem de um crescimento populacional acelerado e depende essencialmente da economia agrícola, o que ocasiona variadas alterações no uso e ocupação do solo em toda a sua extensão territorial. Segundo dados desde 1990, perdas significativas de áreas naturais (ecossistemas preservados ou com pouca alteração antrópica) para áreas agrícolas vêm sendo registradas (Santos; Naval, 2022). O Cadastro Ambiental Rural (CAR) possibilitou o mapeamento do uso e ocupação das terras brasileiras, tornando possível a quantificação das áreas de proteção, preservação permanente, reservas legais, e demais usos e ocupação do solo (Embrapa Territorial, 2020).

O uso e ocupação do solo exercem influência direta sobre sua qualidade, principalmente quando as atividades antrópicas são conduzidas de maneira inadequada, muitas vezes não seguindo manuais de manejo do solo, o que pode resultar em desequilíbrio dos ecossistemas e no comprometimento deste importante compartimento ambiental. Conforme Winkler *et al*. (2021) cerca de 43 milhões de km^2 da superfície terrestre sofreu alteração no uso e ocupação do solo, o que representa um terço da superfície terrestre do planeta, onde áreas de vegetação nativa foram convertidas em áreas geridas pelo homem, em um espaço de tempo corresponde aos anos de 1960 a 2019. A mudança na cobertura do solo é causada basicamente pelo crescimento populacional, expansão das terras agrícolas, exploração madeireira, mineração, incêndios florestais e políticas ecológicas desfavoráveis ao meio ambiente (Osman, 2024).

A qualidade do solo tem relação diretamente com à qualidade ambiental e a qualidade da saúde, promovendo a estabilidade da produtividade do solo para apoiar a capacidade de produção biológica e promover a saúde animal, vegetal e humana em um determinado ecossistema (Smith *et al*., 2016). Nesse sentido, uma avaliação integrada da qualidade do solo que engloba análises físico-químicas, biológicas e ensaios ecotoxicológicos contribuem para uma dimensão total de sua qualidade real. Dentre esses, as propriedades químicas do solo, são responsáveis por regular a disponibilidade de nutrientes e a dinâmica de elementos essenciais ao equilíbrio do ecossistema.

As propriedades químicas do solo são constituídas por capacidade de troca iônica, condutividade elétrica, matéria orgânica, potencial hidrogeniônico e teor de nutrientes. Ademais são essenciais na atuação de poluentes no solo, por meio da adsorção, fixação, oxidação, precipitação, troca e a neutralização dos mesmos (Laurindo, 2021).

O ferro (Fe) no solo é considerado um micronutriente essencial para o desenvolvimento agrícola e apesar de ser encontrado em concentrações consideradas altas na maioria dos solos, o Fe possui limitações da sua biodisponibilidade (Zuluaga *et al*., 2023). Ademais, o manganês (Mn) também é considerado um micronutriente, tido como um dos mais

abundantes no solo. Inúmeros estudos todos os anos são desenvolvidos com foco em Mn, parte disso se deve ao fato do mesmo ser um dos oxidantes e sorventes naturais mais fortes no ecossistema aquático e terrestre (Post, 1999). Quando presente pode vir a alterar o ciclo de nutrientes e matéria orgânica do solo, além de contaminantes no meio ambiente (Vodyanitskii *et al*., 2004).

Atualmente a contaminação do solo por metais tornou-se um problema para os ecossistemas e para a saúde humana, grande parte disto deve-se ao uso/descarte inadequado de produtos, levando a potenciais riscos de contaminação (Saha *et al*., 2024). A contaminação por metais de origem natural ou antropogênica causa grande preocupação, devido que em altas concentrações causa danos à estrutura do solo, afetando a produtividade agrícola e contaminando as culturas, acarretando um risco à saúde humana (Yadav *et al*., 2021).

Neste contexto, o presente estudo buscou analisar e quantificar a presença de ferro e manganês no solo em municípios pertencentes ao Estado do Rio Grande do Sul (Brasil) no uso e ocupação de campo nativo em áreas preservadas do Bioma Pampa.

MATERIAL E MÉTODOS

O Brasil é um dos países mais ricos em biodiversidade o que contribuiu para a formação de seis biomas terrestres com as características mais distintas entre si em vegetação e fauna, sendo eles, Amazônia, Cerrado, Pampa, Pantanal, Caatinga e Mata Atlântica (Figura 1), distribuídos por toda extensão territorial, influenciando em ciclos regionais e globais de carbono, energia e hidrológicos (Caballero *et al*., 2023).



Figura 1. Mapa dos biomas brasileiros.
Fonte: IBGE, 2020.

O presente estudo foi desenvolvido no Estado do Rio Grande do Sul (Brasil) e abrangeu municípios situados na região central e na chamada Campanha Gaúcha, parte do Estado que contempla a área de transição com o Bioma Pampa. O estudo abrangeu os municípios de Caçapava do Sul, Cacequi, Mata, Rosário do Sul, São Gabriel, São Sepé e Vila Nova do Sul (Figura 2). A metodologia de escolha e determinação dos locais foi baseada no uso e ocupação do solo como fator determinante em campo nativo com foco no Bioma Pampa com áreas preservadas e desenvolvido em propriedades rurais privadas.

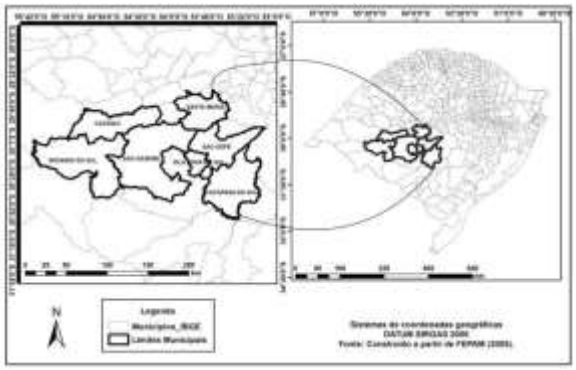

Figura 2. Mapa de localização dos municípios.

A coleta de amostras de solo foi realizada no período de outubro a novembro de 2021 e a amostragem ocorreu a uma distância de aproximadamente 1 m dos poços profundos de água de consumo humano utilizados pelas respectivas propriedades rurais privadas. Os solos foram coletados a uma profundidade de 0,3 m com o auxílio de uma pá de corte e um trado holandês, em que as ferramentas utilizadas foram desinfetadas após a realização de cada amostragem para evitar a contaminação cruzada das amostras de solo (Figura 3).



Figura 2. Registros fotográficos realizados durante o desenvolvimento do projeto.

O solo coletado foi armazenado em sacos plásticos e transportado à Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), *Campus* de Frederico Westphalen. A classificação dos solos pelo Sistema Brasileiro de

Classificação de Solos (SiBCS) foi realizada para cada município e estão apresentados na tabela 1 (Santos *et al*., 2018). Já as análises químicas realizadas para a determinação dos compostos químicos de Ferro (Fe) e Manganês (Mn) seguiram a metodologia de Tedesco *et al*. (1995).

Tabela 1. Classificação dos solos.

Municípios	Classificação do solo
São Gabriel	Planossolo
Cacequi	Argissolo
Rosário do Sul	Argissolo
São Sepé	Neossolo
Vila Nova do Sul	Luvissolo
Caçapava do sul	Neossolo
Mata	Planossolo

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Bioma Pampa é o menor em extensão territorial e restrito ao RS, sendo um conjunto de pastagens temperadas e gramíneas com importante destaque na produção alimentícia na América do Sul sendo usada como pastagem natural para a atividade agropecuarista do Estado (Oliveira, 2021). Entretanto, apesar de sua grande importância ambiental, o Pampa é o bioma brasileiro menos protegido (Lima; Crouzeilles; Vieira, 2020; Dick, 2021) e devido à atividade agrícola no entorno desta região há grande risco de perda da fauna e flora local.

De acordo com o Sistema Nacional de Conservação da Natureza existem 48 Unidades de Conservação (UC) do Bioma Pampa que abrangem apenas 3,03 % da área de todo o território pampeiro. A atividade econômica está por trás de diversos conflitos socioambientais em que as necessidades conservacionistas esbarram na necessidade de exploração dos recursos ambientais (Fernandes *et al*., 2020). Ainda a má gestão dos recursos naturais das UCs deriva da falta de manutenção de políticas ambientais efetivas no Brasil bem como de um controle maior sobre os processos de produção agropecuarista no país (Dick, 2021; Oliveira, 2021).

O uso e a ocupação do solo refletem a forma como as atividades antrópicas se distribuem no espaço, podendo contribuir tanto para o desenvolvimento econômico quanto para impactos ambientais, especialmente quando realizados sem planejamento adequado. Mudanças essas que vêm sendo registradas a todo o instante por todo o mundo, bem como no Brasil, causando impactos significativos em todos os compartimentos ambientais e levando a alterações nos ecossistemas de forma local ou até mesmo global impactando de forma negativa (Caballero; Ruhoff; Biggs, 2022).

O uso e a ocupação do solo desempenham influência significativa sobre os processos naturais que ocorrem no ambiente, especialmente sob áreas com tamanha dinâmica e vulnerabilidade como o Bioma Pampa. As atividades como a pecuária e a agricultura modificam as condições do solo, alterando fatores como a umidade e a oxigenação do solo. Essas mudanças impactam diretamente a dinâmica de elementos como ferro e manganês, que, em condições naturais, participam de ciclos essenciais para o equilíbrio ecológico dos ecossistemas. No entanto, o uso inadequado do solo pode interferir em processos naturais do mesmo, levando a um encharcamento ou até em casos mais extremos a degradação, fatores estes que podem acabar aumentando a disponibilidade desses metais e causar efeitos negativos para a vegetação e para a qualidade ambiental.

Os resultados obtidos nas áreas de campo nativo estudadas com foco no bioma Pampa evidenciam a variabilidade das concentrações de Fe e Mn entre os municípios avaliados, demonstrando a influência das características químicas e mineralógicas dos solos em diferentes regiões (municípios). A análise desses micronutrientes é importante, pois eles estão relacionados aos processos de formação do solo, disponibilidade de nutrientes e manutenção da vegetação nativa. Dessa forma, a Tabela 2 apresenta as concentrações de Fe e Mn observadas nos municípios estudados, permitindo discutir as diferenças encontradas entre as áreas avaliadas.

Tabela 2. Concentração de Fe e Mn para cada município.

Municípios	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)
São Gabriel	531,91	64,50
Cacequi	220,30	26,66
Rosário do Sul	308,39	6,75
São Sepé	184,33	44,50
Vila Nova do Sul	367,30	80,10
Caçapava do sul	153,53	14,90
Mata	509,99	26,77

Os municípios analisados abrangem seus territórios a classificação correspondente como uso e ocupação de campos nativos pertencentes a áreas preservadas do Bioma Pampa, tendo em vista que os resultados obtidos podem ser considerados representativos de condições ambientais com pouca ou nenhuma interferência antrópica. Dessa forma, os teores observados para Fe e Mn exibem predominantemente os processos naturais de formação e evolução dos solos, fornecendo informações de grande importância para o estabelecimento de valores de referência ambiental para a região (Santos *et al*., 2018).

A grande disparidade observada nas concentrações de Fe e Mn entre os municípios estudados podem

estar relacionadas às características dos diferentes tipos de classificação do solo para cada ponto de coleta. Além do mais, fatores como drenagem, textura, teor de argila, matéria orgânica e composição mineralógica influenciam diretamente os processos de oxidação-redução, adsorção e mobilidade destes micronutrientes no ambiente edáfico (Sparks, 2003). Os processos pedogenéticos responsáveis pela formação das diferentes classes de solo podem favorecer o acúmulo ou a redistribuição de ferro e manganês ao longo do perfil (Santos et al., 2018).

O elemento químico Fe, analisado no presente estudo apresentou valores médios que variaram de 153,53 a 531,91 mg/Kg entre os municípios. Zang *et al.* (2022) encontraram para solo o teor de Fe de 305, 55 mg/Kg na profundidade de coleta de 0-0,2 m concordando com a presente pesquisa. Schutz *et al.* (2023) afirmam que durante os processos de intemperismo o elemento químico Fe se decompõe liberando Fe para o solo e óxidos e hidróxidos. O Fe é precipitado nestas formas devido a alta afinidade do cátions Fe^{3+} com o ligante OH^- e a rápida polimerização que ocorre após a hidrólise formando compostos de baixa solubilidade em valores normais de pH do solo.

Para Mn, os valores médios entre os municípios variaram de 6,75 a 80,10 mg kg^{-1}, evidenciando a variabilidade desse micronutriente nos solos de campo nativo do Bioma Pampa. Resultados semelhantes foram observados por Silva e Berti (2022), que destacam a influência de fatores edáficos, como pH, matéria orgânica e condições de drenagem, na disponibilidade de manganês no solo.

Municípios da região central e da Campanha do Rio Grande do Sul, como São Gabriel e Rosário do Sul, estão inseridos no Bioma Pampa, onde predominam solos naturais sujeitos a variações de umidade, favorecendo processos químicos envolvendo elementos como ferro e manganês.

Para a vitalidade das plantas o Fe é considerado essencial, uma vez que, enquanto micronutriente participa de processos bioquímicos essenciais para seu desenvolvimento, sem a presença desse elemento o ciclo de vida das vegetações é interrompido (Barbosa Filho; Dynia; Fageria, 1994). O cátion Fe^{2+} é absorvível pelas plantas e está mais disponível em solos com o pH mais baixo (Souza *et al*., 2010). Contudo, essa biodisponibilidade não é tão comum e por isso a fertilização com Fe é necessária para remediar os efeitos colaterais causados por seu déficit (López-Rayo *et al*., 2019). Zuluaga *et al*. (2023) afirmam que a fertilização de Fe é a abordagem mais adotada para o resgate da disponibilidade de Fe no solo.

Apesar de ser essencial para o desenvolvimento das plantas, a contaminação do solo por Fe também é um risco para a qualidade da produção. Os sintomas variam de espécie para espécie, mas sempre acabando por deteriorar a qualidade das plantações (Alexandre *et al*., 2012).

A atividade antropogênica é grande responsável por elevar os níveis de Mn no solo, a fabricação de aço, ferro e ferroligas são as indústrias que mais emitem este poluente, seguida da queima de carvão, a gasolina e a incineração de resíduos, consequentemente grandes liberações causam impacto significativo ao ecossistema como um todo (Herndon; Jin; Brantley, 2011). Segundo Kugelmann e Sharpe (2006) a grande disponibilidade de Mn no solo pode vir a causar a toxicidade das plantas.

O manganês geralmente precipita como óxidos pouco cristalinos e sensíveis ao redox nos solos, que podem mobilizar ou absorver fortemente contaminantes metálicos como Cr, Co e Ni (Post, 1999). A concentração de Mn comumente se eleva conforme a profundidade do perfil e ainda está correlacionada positivamente com o valor de pH do solo (Queiroz *et al*., 2021). Barber (1995) afirma que a acidificação do solo pode vir a induzir a toxicidade do manganês, causando limitação no crescimento das plantas, destacando que a concentração de Mn^{2+} aumenta 100 vezes para cada unidade de diminuição no pH.

Portanto o conhecimento da concentração natural de Fe e Mn em áreas preservadas do Bioma Pampa é relevante para programas de monitoramento ambiental, pois fornece uma condição de referência para comparações futuras em áreas sujeitas à agricultura, pecuária intensiva ou outras atividades potencialmente poluidoras que possam vir a impactar este compartimento ambiental. Dessa forma, alterações significativas nesses teores podem indicar processos de degradação ou mudanças nas condições ambientais locais (Caballero; Ruhoff; Biggs, 2022).

CONCLUSÃO

Os resultados demonstraram que os solos de campo nativo do Bioma Pampa apresentam variações nas concentrações de ferro e manganês entre os municípios avaliados, evidenciando as diferenças nas características químicas, mineralógicas e ambientais dos solos. Os teores observados indicam que a dinâmica desses micronutrientes está associada principalmente às condições naturais do meio ambiente, corroborando com a importância do monitoramento da qualidade do solo para a conservação dos ecossistemas pampeanos. Dessa forma, o estudo contribui para ampliar o conhecimento sobre os atributos químicos dos solos

do Pampa e auxilia para futuras ações de manejo e conservação ambiental.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos proprietários rurais envolvidos na pesquisa, aos integrantes do Grupo de Monitoramento Ambiental (GMA) pelo apoio durante o desenvolvimento do estudo e à Universidade Federal de Santa Maria, Campus Frederico Westphalen.

REFERÊNCIAS

ALEXANDRE, Juliana R. *et al*. Zinco e ferro: de micronutrientes á contaminantes do solo. **Natureza on line**, v. 10, n. 1, p. 23-28, 2012.

BARBER, Stanley A. **Soil Nutrient Bioavailability: A Mechanistic Approach**, ed. 2, p. 432, 1995.

BARBOSA FILHO, Morel Pereira; DYNIA, Jose Flavio; FAGERIA, Nand Kumar. Zinco e ferro na cultura do arroz. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária** (Embrapa Arroz e Feijão), Brasília, 1994. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAF/10470/1/doc_49.pdf.

CABALLERO, Cassia Brocca; RUHOFF, Anderson; BIGGS, Trent. Land use and land cover changes and their impacts on surface-atmosphere interactions in Brazil: A systematic review. **Science of The Total Environment**, v. 808, p. 152134–152134, 2022.

CABALLERO, Cassia Brocca *et al*. Transformation of Brazil‘s biomes: The dynamics and fate of agriculture and pasture expansion into native vegetation. **Science of The Total Environment**, v. 896, p. 166323–166323, 2023.

DICK, Milene *et al*. Environmental impacts of Brazilian beef cattle production in the Amazon, Cerrado, Pampa, and Pantanal biomes. **Journal of Cleaner Production**, v. 311, p. 127750–127750, 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Agricultura e preservação ambiental**: uma análise do cadastro ambiental rural. EMBRAPA Territorial. Campinas, 2020. Disponível em: <www.embrapa.br/car>.

FERNANDES, G. Wilson *et al*. Biodiversity and ecosystem services in the Campo Rupestre: A road map for the sustainability of the hottest Brazilian biodiversity hotspot. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 18, n. 4, p. 213–222, 2020.

HERNDON, Elizabeth M.; JIN, Lixin; BRANTLEY, Susan L. Soils Reveal Widespread Manganese Enrichment from Industrial Inputs. **Environmental Science & Technology**, v. 45, p. 241-247, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2017:** Resultados Definitivos. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017.

KOGELMANN, Wilhelm J.; SHARPE, William E. Soil Acidity and Manganese in Declining and Nondeclining Sugar Maple Stands in Pennsylvania. **Journal of Environmental Quality**, v. 35, n. 2, p. 433–441, 2006.

LAURINDO, Lídia Klestadt *et al*. Propriedades químicas do solo. cap. 4, 2021.

LIMA, Daniela Oliveira de; CROUZEILLES, Renato; VIEIRA, Marcus Vinícius. Integrating strict protection and sustainable use areas to preserve the Brazilian Pampa biome through conservation planning. **Land Use Policy**, v. 99, p. 104836–104836, 2020.

LÓPEZ-RAYO, Sandra; *et al*. [S,S]-EDDS/Fe: A new chelate for the environmentally sustainable correction of iron chlorosis in calcareous soil. **Science of The Total Environment**, v. 647, p. 1508–1517, 2019.

MYERS, Norman *et al*. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n.6772, p. 853–858, 2000.

OLIVEIRA, Alanda de. **Gestão ambiental em unidades de conservação nos diferentes biomas brasileiros: estudo de caso em parques nacionais.** Trabalho de conclusão de curso (TCC). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2021.

OSMAN, Adams. Changing landcover: clustering of agents per moral responsibility and culpability. **Environmental Challenges**, v. 14, p. 100821–100821, 2024.

POST, Jeffrey E. Manganese oxide minerals: Crystal structures and economic and environmental significance. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 96, n. 7, p. 3447–3454, 1999.

QUEIROZ, Hermano M. *et al*. Manganese: The overlooked contaminant in the world largest mine

tailings dam collapse. **Environment International**, v. 146, p. 106284–106284, 2021.

SAHA, Arnab *et al*. Contamination Risk Assessment and Distribution of Rare Trace Metal(loid)s in Surface Soil of Cerrito Blanco, Mexico using Various Contamination Indices. **Total Environment Advances**, v. 9, p. 200086–200086, 2024.

SANTOS, João Francisco Severo dos; NAVAL, Llíliana Pena. Soy water footprint and socioeconomic development: An analysis in the new agricultural expansion areas of the Brazilian cerrado (Brazilian savanna). **Environmental Development**, v. 42, p. 100670–100670, 2022.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos *et al*. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuâria (Embrapa Solos), Brasília, DF, ed. 5, rev. e ampl., p. 356, il. Color, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/solos/busca-depublicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos?link=sibcs>.

SCHUTZ D. L., Marco, I. A., Telles A. G. D. X., Schmitz A. P. O., Gomes E. M., Manosso F. C., Tonial I. B., *et al*. (2023) ‗Soil Toxicity in a Protected Area in Brazil: Cytotoxic, Genotoxic, and Toxic Effects'. ***Science of The Total Environment***, Vol. 892, pp. 164564–164564.

SILVA, Luciana Maria da; BERTI, Mariana Pina da Silva. Manganês no solo e nas plantas: uma revisão. **Scientific Electronic Archives**, *[S. l.]*, v. 15, n. 3, 2022. DOI: 10.36560/15320221512.

SMITH, Pete *et al*. Global change pressures on soils from land use and management. **Global Change Biology**, v. 22, n. 3, p. 1008–1028, 2016.

SOUZA, Luiz Humberto *et al*. Efeito do pH do solo rizosférico e não rizosférico de plantas de soja inoculadas com Bradyrhizobium japonicum na absorção de boro, cobre, ferro, manganês e zinco. **Revista Brasileira De Ciencia Do Solo**, v. 34, n. 5, p. 1641–1652, 2010.

SHARPLEY, A. N. Environmental Soil Chemistry, Second Edition. **Journal of Environment Quality**, v. 32, n. 6, p. 2444, 2003.

TEDESCO, M. J., Gianello, C., Bissani, C. A., Bohnen, H., annd Volkweiss, S. J. (1995). Análises de solo, plantas e outros materiais Vol. 5, pp.15-174. Porto Alegre: Ufrgs.

VODYANITSKII, Yu N. *et al*. Formation of manganese oxides in soils. **Eurasian Soil Science**. V. 37, p. 572-584, 2004.

WINKLER, Karina *et al*. Global land use changes are four times greater than previously estimated. **Nature Communications**, v. 12, n. 1, 2021.

YADAV, Vaishali *et al*. Structural modifications of plant organs and tissues by metals and metalloids in the environment: A review. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 159, p. 100–112, 2021.

ZANG, M. *et al*. Soil quality in hydromorphic ecosystems decrease with intensification of pre-germinated rice production, even under ecologically based production system. **Geoderma Regional**, v. 31, p. e00582, dez. 2022.

ZULUAGA, Monica Yorlady Alzate *et al*. Iron nutrition in agriculture: From synthetic chelates to biochelates. **Scientia Horticulturae**, v. 312, p. 111833–111833, 2023.