



ANÁLISE DAS VARIÁVEIS QUÍMICAS DO SOLO NAS PROXIMIDADES DE POÇOS PROFUNDOS DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

KÉLI HOFSTÄTTER; INGRID BATISTA PACHECO; PATRÍCIA RAQUEL VARGAS;
WILLIAN FERNANDO DE BORBA; JAQUELINE INEU GOLOMBIESKI

RESUMO

O compartimento ambiental solo é um dos habitats mais consistentes e com a maior biodiversidade global. As atividades antrópicas mediante os usos e ocupação do solo influenciam nas propriedades físico-químicas do solo, em caso de uso e ocupação inadequado podem contribuir para a degradação da qualidade e vir a interferir na produtividade agrícola deste. Esse trabalho teve por objetivo realizar uma avaliação das propriedades químicas do solo sob uso e ocupação de culturas anuais ao entrono de poços profundos de água de consumo humano. O estudo abrangeu sete propriedades rurais particulares, sendo que a amostragem ocorreu a uma distância de aproximadamente 1 metro dos poços profundos de água de consumo humano. Os resultados das análises dos elementos químicos foram comparados com a legislação nacional estabelecida pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente e regulamentações estatuais da Fundação Estadual de Proteção Ambiental. Como resultados obtidos os elementos químicos cobrem e zinco apresentaram teores que estão de acordo com estabelecido pelas legislações vigentes. Em suma, o manejo adequado do solo e a preservação das áreas circundantes aos poços de consumo humano são essenciais para a sustentabilidade ambiental e a segurança hídrica. A adesão de práticas conscientes de manejo do solo como a agricultura sustentável e a conservação de áreas verdes, pode garantir não apenas a qualidade da água, mas também a preservação da qualidade do solo e a segurança alimentar. A proteção desses recursos não é apenas uma responsabilidade ambiental, mas um compromisso com o bem-estar das gerações presentes e futuras, assegurando um acesso seguro e contínuo à água potável para todos.

Palavras-chave: Atividade antrópica; Elementos químicos; Legislação; Qualidade do solo; Produtividade agrícola.

1 INTRODUÇÃO

O solo é um dos habitats mais densos e biodiversos do planeta Terra, reconhecido como um ecossistema complexo. A microbiota do solo, composta principalmente por bactérias e fungos, desempenha um papel crucial na ciclagem de nutrientes como carbono, nitrogênio e fósforo, na estruturação do solo e na disponibilização de macro e micronutrientes essenciais para o crescimento das plantas (Bellini et al., 2023; Imbeeck et al., 2024). A saúde do solo é fundamental para a produtividade agrícola e a segurança alimentar (Deel; Moore; Manter, 2024).

A degradação do solo pode desencadear desequilíbrios ambientais nos ecossistemas e afetar negativamente a qualidade e a produtividade agrícola. Essa degradação pode ocorrer de diversas formas, seja natural ou antrópica, resultante do uso inadequado e impróprio do solo pela ação humana (Melo et al., 2021). A atividade antropogênica altera significativamente as propriedades do solo e é responsável pela introdução de poluentes como hidrocarbonetos policíclicos e metais pesados, que representam uma séria ameaça ao ecossistema (Haque et

al., 2022).

A agricultura é uma das bases da economia brasileira, e o contínuo investimento em ciência e tecnologia nas últimas décadas colocou o país entre as grandes potências mundiais na produção de alimentos (Embrapa, 2022). O Estado do Rio Grande do Sul se destaca na produção de diversos cultivos como soja, fumo, arroz, trigo e milho, sendo a segunda unidade da federação que mais contribui para o Valor Adicionado ao Produto (VAB) (Feix; Leusin Júnior; Borges, 2021).

Para mitigar os impactos da atividade humana e proteger a qualidade do solo, a criação de legislações se tornou uma solução amplamente adotada pelas governanças globais. No Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução nº 420/2009, estabelece critérios e valores para a qualidade do solo, especialmente em áreas contaminadas por substâncias químicas devido às atividades humanas (Brasil, 2009). No Estado do Rio Grande do Sul, a Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM), conforme a Norma nº 85/2014, regula os Valores de Referência de Qualidade (VRQ) para nove elementos químicos presentes nas diferentes províncias geomorfológicas/geológicas da região (Rio Grande do Sul, 2014).

Assim, este estudo buscou avaliar as propriedades químicas do solo em relação aos teores de cobre e zinco nas áreas de culturas anuais próximas a poços profundos de água para consumo humano, com o objetivo de verificar a conformidade com as legislações ambientais vigentes e avaliar a qualidade do solo nessas áreas.

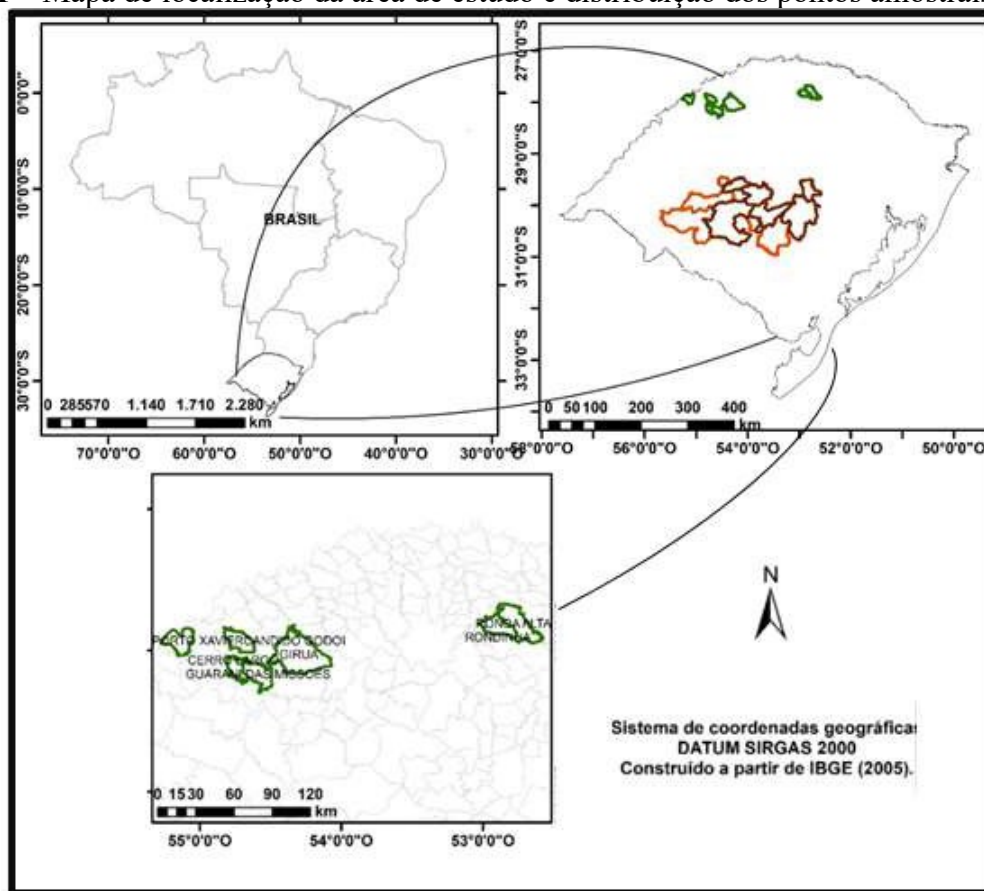
2 MATERIAL E MÉTODOS

Para este estudo, foram selecionados sete municípios localizados no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, onde predominam culturas anuais como milho, soja e trigo. Os pontos de amostragem foram os seguintes: Porto Xavier (PA), Cândido Godói (PB), Cerro Largo (PC), Guarani das Missões (PD), Giruá (PE), Ronda Alta (PF) e Rondinha (PG). Os solos encontrados no presente estudo foram classificados pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) em: chernossolo (PB e PC), latossolo (PD, PE, PF e PG) e neossolo (PA) (Santos *et al.*, 2018).

A coleta de solo foi realizada durante os meses de outubro a novembro de 2021, a uma distância aproximada de 1 metro dos poços profundos de água utilizados para consumo humano. As amostras foram coletadas a uma profundidade de 0,3 metros, utilizando uma pá de corte e um trado holandês. Após cada coleta, as ferramentas foram desinfetadas para evitar a contaminação cruzada das amostras de solo.

O solo coletado foi armazenado em sacos plásticos e encaminhado à Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), para a realização de análises químicas dos compostos de Cobre (Cu) e Zinco (Zn), seguindo a metodologia de Tedesco *et al.* (1995).

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo e distribuição dos pontos amostrais.



3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A qualidade do solo é crucial para a saúde ambiental e humana, garantindo a estabilidade da produtividade agrícola e promovendo a saúde animal, vegetal e humana dentro de um ecossistema específico (Smith et al., 2016). Os sistemas agrícolas desempenham um papel fundamental na produção de alimentos, destacando a importância da segurança alimentar, que está diretamente ligada à manutenção da produtividade do solo (Wolf; Wiesmeier; Macholdt, 2023). O conhecimento das propriedades do solo proporciona o seu entendimento para com a adequação dos usos específicos do solo, favorecendo o rendimento da produtividade agrícola (Aitkenhead et al., 2020).

O Cu é considerado um micronutriente essencial para as plantas e microrganismos (MIOTTO et al., 2014). As principais fontes antropogênicas de Cu incluem mineração, refinaria, combustão de combustíveis fósseis, incineração de resíduos, tráfego, corretivos de solo e fertilizantes (BRUNETTO et al., 2019). Cao *et al.* (2020) ressalta que altos teores de Cu no solo interferem nas propriedades físico-químicas e microbiológica deste, contudo ações para prevenir ou mitigar a poluição deste metal pesado nos solos agrícolas são indispensáveis para garantir a qualidade do solo (Yue *et al.*, 2020).

Conforme Zhang et al. (2022) a toxicidade de Cu no solo é influenciada fortemente pela concentração e biodisponibilidade, relacionada a mobilidade. Estudos realizados destacam que foram identificados efeitos negativos da presença de Cu na atividade microbiana do solo, sedimentos de água doce e na inibição da fotossíntese (SUTCLIFFE et al., 2019; FORTUNATO et al., 2021; ESPINOZA et al., 2022).

Apesar de seu nível de toxicidade a deficiência de Cu também é um grave problema para a qualidade do plantio, uma vez que a baixa presença do Cu resulta em diminuição do crescimento das plantas e suas folhas adquirem uma coloração mais acinzentada assim

dificultando o processo de fotossíntese (SFREDO; BORKERT, 2004).

O elemento químico Zn exerce uma função muito importante para o ser humano fisiologicamente e nutricionalmente, considerado um elemento essencial a imunidade celular e na síntese de proteínas e ácidos nucleicos. Contudo a sua deficiência causa perda de apetite e da função digestiva, retardo de crescimento, disfunção cerebral e redução da imunidade em humanos, especialmente em crianças pequenas (NIE et al., 2023).

Micronutriente essencial para as plantas presente em variados processos fisiológicos, atuando ainda como coadjuvante para várias enzimas, incluindo anidrase carbônica, fosfatases alcalinas, aldolases, carboxipeptidases, álcool desidrogenases, superóxido dismutases e transferência de elétrons na fotossíntese e na respiração (KAUR et al., 2024).

A deficiência de Zn em solos pode ser ocasionada por sua baixa disponibilidade devido à lixiviação, principalmente em solos arenosos de teores baixos de matéria orgânica e devido a aplicação de calcário e adubos fosfatados em grande quantidade nos solos (VALLADARES et al., 2009), afetando o crescimento e desenvolvimento das plantas, diminuindo o rendimento e qualidade das mesmas (CAKMAK; KUTMAN, 2018).

No presente estudo, a análise das variáveis químicas do solo, no uso e ocupação de culturas anuais, os resultados para as propriedades rurais estudadas apresentaram em cada parâmetro químico avaliado variação entre si, para Cu de 5, 29 a 24,38 mg/kg e para Zn de 1,02 a 18,94 mg/kg (Tabela 1).

Tabela 1 – Composição química do solo no uso e ocupação de culturas anuais.

Parâmetro do solo	Culturas Anuais						
	Parâmetros químicos do solo						
	PA	PB	PC	PD	PE	PF	PG
Cu (mg/kg)	12,19	24,38	12,94	11,49	10,24	8,00	5,29
Zn (mg/kg)	5,78	12,20	18,94	9,59	4,46	1,02	4,47

Repetições: Porto Xavier (PA), Cândido Godoi (PB), Cerro Largo (PC), Guarani das Missões (PD), Giruá (PE), Ronda Alta (PF) e Rondinha (PG).

De acordo com a resolução nacional, CONAMA de 2009 (BRASIL, 2009) é estabelecido valores para Cu e Zn de prevenção e investigação do solo agrícola (60 e 200 mg/kg; 300 e 450 mg/kg, respectivamente), os resultados encontrados no presente estudo para todas as propriedades rurais estão de acordo com o estabelecido pela legislação brasileira nacional.

A legislação brasileira estadual (FEPAM, 2014) é norteadada pela Portaria nº 85/2014 que estabelece Valores de Referência de Qualidade (VRQ) para nove elementos químicos presentes nos solos de diferentes províncias geomorfológicas e geológicas no Estado do Rio Grande do Sul. A grande diversidade dos solos pertencentes ao Estado do RS por meio de suas características distintas verificou a necessidade do estabelecimento de cinco províncias morfológicas (PM) (divisões de acordo com a formação rochosa inicial PM 1, 2, 3, 4 e 5). Conforme esta legislação, o VRQ do solo (para o percentil de 75) nos elementos químicos contemplados estão apresentados na ordem de PM 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente em cada província morfológica do Estado: Cu (165; 7; 9; 7 e 19 mg/Kg) e Zn (102; 27; 29; 19 e 29 mg/Kg).

Para os elementos químicos de Cu e Zn, todas as repetições (de PA a PG) enquadraram-se na PM1 (Rochas vulcânicas do Planalto). Contudo os elementos químicos de Cu e Zn para todas as repetições deste uso e ocupação apresentaram valores de referência de qualidade do solo (VRQ) em acordo com a legislação vigente estadual, VRQ para Cu (PM1= 165 mg/kg) e VRQ para Zn (PM1= 102 mg/Kg).

Os resultados obtidos no presente estudo podem estar relacionados ao tipo de solo,

tendo em vista que os solos variam entre chernossolo, latossolo e neossolo.

4 CONCLUSÃO

O presente trabalho avaliou as propriedades químicas do solo no uso e ocupação de culturas anuais ao entorno de poços profundos de água de consumo humano e constatou que dentre os elementos químicos contemplados pelas legislações vigentes o cobre e zinco apresentaram teores em acordo com as legislações vigentes. Investir em práticas sustentáveis de manejo do solo é essencial para garantir sua fertilidade, bem como a capacidade de suporte à vida neste ecossistema.

REFERÊNCIAS

Aitkenhead, M. J., Poggio, L., Wardell-Johnson, D., Coull, M. C., M. Rivington, Black, J., Yacob, G., Shiferaw Boke and Habte, M. (2020) ‘Estimating Soil Properties from Smartphone Imagery in Ethiopia’. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 171, pp. 105322–105322. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105322>

BELLINI, Alessio et al. Trichoderma enriched compost, BCAs and potassium phosphite control Fusarium wilt of lettuce without affecting soil microbiome at genus level. **Applied Soil Ecology**, v. 182, p. 104678–104678, 2023.

BRASIL. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Brasília: Conselho nacional do meio ambiente. CONAMA, 2009. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/CONAMA/REA0420-281209.PDF>.

BRUNETTO, Gustavo et al. Use of phosphorus fertilization and mycorrhization as strategies for reducing copper toxicity in young grapevines. **Scientia Horticulturae**, v. 248, p. 176–183, 2019.

Cao, Y., Ma, C., Chen, H., Chen, G., White, J. C. and Xing, B. (2020) ‘Copper Stress in Flooded Soil: Impact on Enzyme Activities, Microbial Community Composition and Diversity in the Rhizosphere of Salix Integra. *Science of The Total Environment*, Vol. 704, pp. 135350–135350. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135350>

CAKMAK, I; KUTMAN, U. B. Agronomic biofortification of cereals with zinc: a review. **European Journal of Soil Science**, v. 69, n. 1, p. 172–180, 2018.

DEEL, Heather L.; MOORE, Jennifer M.; MANTER, Daniel K. SEMWISE: A national soil health scoring framework for agricultural systems. **Applied Soil Ecology**, v. 195, p. 105273–105273, 2024.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Ciência e tecnologia tornaram o Brasil um dos maiores produtores mundiais de alimentos**. Portal EMBRAPA, 2022. Disponível: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/75085849/ciencia-tecnologia-tornaram-o-brasil-um-dos-maiores-produtores-mundiais-de-alimentos>. Acesso em: 01 junho. 2024.

ESPINOZA, Sergio E. et al. Long-Term Effects of Copper Mine Tailings on Surrounding Soils and Sclerophyllous Vegetation in Central Chile. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 233, n. 8, 2022.

FEIX, Rodrigo Daniel; LEUSIN JÚNIOR, Sérgio; BORGES, Bruna Kasprzak. **Painel do agronegócio do Rio Grande do Sul, 2021**. Porto Alegre: Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão, 2021.

FORTUNATO, Gianuario et al. Effect of copper and zinc as sulfate or nitrate salts on soil microbiome dynamics and bla-positive *Pseudomonas aeruginosa* survival. **Journal of Hazardous Materials**, v. 415, p. 125631–125631, 2021.

HAQUE, Shafiul et al. Functional microbiome strategies for the bioremediation of petroleumhydrocarbon and heavy metal contaminated soils: A review. **Science of The Total Environment**, v. 833, p. 155222–155222, 2022.

HIMBEECK Robbert Van et al. A full-length SSU rRNA-based workflow for high-resolution monitoring of nematode communities reveals direct and indirect responses to plant-based manipulations. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 189, p. 109263–109263, 2024.

KAUR, Harmanjit et al. Behavior of zinc in soils and recent advances on strategies for ameliorating zinc phyto-toxicity. **Environmental and Experimental Botany**, p. 105676–105676, 2024.

MIOTTO, Alcione et al. Copper uptake, accumulation and physiological changes in adult grapevines in response to excess copper in soil. **Plant and Soil**, v. 374, n. 1-2, p. 593–610, 2014.

MELO, Nilvan Carvalho et al. Conservação do solo: um estudo de caso sobre o processo de ensino e aprendizagem no campus agrícola do Instituto Federal do Amapá. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, p. e22810615723-e22810615723, 2021.

NIE, Zhaojun et al. Metabolomics reveals the impact of nitrogen combined with the zinc supply on zinc availability in calcareous soil via root exudates of winter wheat (*Triticum aestivum*). **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 204, p. 108069–108069, 2023.

RIO GRANDE DO SUL. Portaria FEPAM n.º 85/2014. Dispõe sobre o estabelecimento de Valores de Referência de Qualidade (VRQ) dos solos para 09 (nove) elementos químicos naturalmente presentes nas diferentes províncias geomorfológicas/geológicas do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Fundação Estadual de Proteção Ambiental, FEPAM, 2014. Disponível em: <https://fepam.rs.gov.br/upload/arquivos/202301/27114351-portaria085-2014.pdf>.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos et al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Solos), Brasília, DF, ed. 5, rev. E ampl., p. 356, il. Color, 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/solos/busca-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos?link=sibcs>>. Acesso em: 12 junho. 2024.

SFREDO, Gedi Jorge; BORKERT, Clóvis Manuel. **Deficiências e toxicidades de nutrientes**

em plantas de soja. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Soja), Londrina, p. 44, 2004. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/63305/1/Documentos-231.pdf>. Acesso em: 15 junho. 2024.

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.

SUTCLIFFE, B. et al. Microbial communities are sensitive indicators for freshwater sediment copper contamination. **Environmental Pollution**, v. 247, p. 1028–1038, 2019.

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

VALLADARES, Gustavo Souza et al. Zinco total e disponível em amostras de perfis de solos do estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 68, n. 4, p. 1105–1114, 2009

WOLF, Melanie Katrin; WIESMEIER, Martin; MACHOLDT, Janna. Importance of soil fertility for climate-resilient cropping systems: The farmer's perspective. **Soil Security**, v. 13, p. 100119–100119, 2023.

Yue, Z., Chen, Y., Chen, C., Ma, K., Tian, E., Wang, Y., Liu, H. and Sun, Z. (2021) _Endophytic *Bacillus Altitudinis* WR10 Alleviates Cu Toxicity in Wheat by Augmenting Reactive Oxygen Species Scavenging and Phenylpropanoid Biosynthesis'. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 405, pp. 124272–124272. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124272>

Zang, M., Nascimento, P.C., Bayer, C., Anghinoni, I., Toni, C., Silva, E.R. and Vodzik, G. (2022) _Soil Quality in Hydromorphic Ecosystems Decrease with Intensification of Pre-Germinated Rice Production, Even under Ecologically Based Production System'. *Geoderma Regional*, Vol. 31, pp. e00582–e00582. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2022.e00582>