

Zinco em solos Catarinenses: avaliação temporal e relações com fatores pedogênicos

Zinc in Santa Catarina soils: temporal dynamics and pedogenic influences

Daniely Neckel Rosini^{1*}, Betel Cavalcante Lopes¹, Caroline Aparecida Matias Pierezan¹, Beatriz Rodrigues Bagnolin Muniz¹, Débora Cristina Correia Cardoso¹, Mari Lucia Campos¹
¹Laboratório de Levantamento e Análise Ambiental, Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, Santa Catarina, Brasil.

*Autora para correspondência: danielybio@hotmail.com

RESUMO

O zinco (Zn) é um micronutriente essencial para os organismos vivos, porém, em concentrações elevadas, pode representar riscos à saúde humana e ao meio ambiente. Neste contexto, conhecer os teores naturais desse elemento nos solos é fundamental para diferenciar concentrações naturais daquelas influenciadas por atividades antrópicas. Este estudo teve como objetivo comparar os teores naturais de zinco em solos de Santa Catarina, com base em amostras coletadas entre os anos de 2010 e 2021, a fim de verificar a estabilidade dos valores ao longo do tempo e a influência das características do solo. Foram analisadas 50 amostras representativas, coletadas no horizonte A, com determinação dos teores de Zn por espectrometria de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente (ICP OES). Os resultados mostraram que os teores de Zn permaneceram relativamente estáveis ao longo do período analisado. Houve correlação positiva entre os teores de Zn e o teor de argila e o pH. Solos originados de basalto apresentaram as maiores concentrações de Zn. Esses dados reforçam a importância de manter atualizadas as bases de referência para elementos-traço nos solos, considerando as especificidades geológicas regionais e os impactos potenciais à saúde ambiental. A adoção de medidas de monitoramento contínuo é essencial para garantir a segurança ambiental e o uso sustentável dos recursos naturais, em consonância com os princípios da abordagem Saúde Única.

Palavras-chave: teores naturais; solos, elementos-traço.

ABSTRACT

Zinc (Zn) is an essential micronutrient for living organisms; however, at elevated concentrations, it can pose risks to human health and the environment. In this context, understanding the natural levels of this element in soils is fundamental to distinguishing between natural concentrations and those influenced by anthropogenic activities. This study aimed to compare the natural zinc contents in soils of Santa Catarina, based on samples collected between 2010 and 2021, in order to assess the stability of values over time and the influence of soil characteristics. A total of 50 representative samples were analyzed, collected from the A horizon, with Zn concentrations determined by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP OES). The results showed that Zn levels remained relatively stable throughout the analyzed period. A positive correlation was observed between Zn concentrations and clay content, as well as pH. Soils derived from basalt showed the highest Zn concentrations. These data reinforce the importance of keeping reference values for trace elements in soils up to date, considering regional geological specificities and the potential impacts on environmental health. The adoption of continuous monitoring measures is essential to ensure environmental safety and the sustainable use of natural resources, in line with the principles of the One Health approach.

Keywords: natural levels; soils; trace elements.

1 INTRODUÇÃO

Os elementos-traço presentes nos solos, como o zinco (Zn), desempenham funções essenciais para os organismos vivos, estando envolvidos em processos metabólicos fundamentais para plantas, animais e microrganismos. No entanto, a presença desses elementos em concentrações elevadas pode representar riscos à saúde humana e ao meio ambiente. Nesse contexto, a abordagem da Saúde Única (*One Health*), que reconhece a interdependência entre a saúde humana, animal e ambiental, reforça a importância de monitorar e compreender a dinâmica desses elementos no ambiente. Conhecer os teores naturais de elementos-traço é essencial para distinguir concentrações naturais daquelas resultantes de atividades antrópicas e, assim, embasar políticas públicas, legislações ambientais e ações de monitoramento. Em solos,

sua concentração varia de acordo com diversos fatores, como o material de origem, a textura, o pH, a matéria orgânica e as condições de drenagem. Dessa forma, a determinação de seus valores naturais deve considerar a diversidade geológica e pedológica da região em estudo (Stiles *et al.*, 2024).

Em Santa Catarina, um levantamento de solos realizado entre os anos de 2003 e 2010 estabeleceu os primeiros valores de referência para diversos elementos-traço, incluindo o Zn (Hugen *et al.*, 2013). Considerando o avanço das atividades agrícolas e industriais no estado nas últimas décadas, bem como possíveis alterações no uso do solo, torna-se relevante atualizar e comparar esses dados, a fim de verificar se os teores naturais permanecem estáveis ao longo do tempo. Este estudo teve como objetivo comparar os teores naturais de zinco em solos de Santa Catarina, com base em dados obtidos em campanhas realizadas nos anos de 2003 e 2021, utilizando a mesma metodologia analítica, a fim de avaliar a estabilidade dos valores ao longo do tempo e a influência do material de origem na distribuição do elemento.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram coletadas 50 amostras de solo distribuídas por todo o estado de Santa Catarina entre os meses de junho e dezembro de 2021. Os perfis do solo foram coletados no horizonte A com trado holandês a uma profundidade de até 20 cm, conforme a classificação de Almeida *et al.*, 2003, Almeida e Erhart, 2009, Bringhenti *et al.*, 2012, Correa, 2003, Costa *et al.*, 2013, Ferreira, 2013, Lunardi Neto e Almeida, 2013, Paes Sobrinho *et al.*, 2009 e Teske *et al.*, 2013. A Tabela 1 apresenta a distribuição geográfica, descrição e classificação dos solos.

Tabela 1 - Descrição dos 50 perfis de solo representativos de Santa Catarina, localização e município da coleta das amostras.

Ponto	Localização		Classificação	Material de origem
P1	49°3'47.82"W	27°11'22.56"S	Argissolo Amarelo Alítico típico	Granada Muscovita Xisto
P2	48°56'13.20"W	27°56'20.40"S	Argissolo Amarelo Distrófico latossólico	Migmatitos
P3	49°2'49.20"W	27°41'49.20"S	Argissolo Amarelo Distrófico típico	Granitos e granulitos

P4	49°13'40.80"W	26°44'16.80"S	Argissolo Amarelo Distrófico típico	Hornblendito
P5	49°11'13.20"W	27°40'4.80"S	Argissolo Bruno-Acinzentado Alítico típico	Argilitos e siltitos
P6	49°17'6.81"W	28°44'42.22"S	Argissolo Vermelho Distrófico	Siltitos e arenitos
P7	49°17'42.00"W	28°43'37.20"S	Argissolo Vermelho Distrófico abrupto	Siltitos e arenitos finos
P8	49°0'32.40"W	26°40'55.20"S	Argissolo Vermelho-Amarelo Alítico típico	Granulito máfico
P9	48°54'10.80"W	26°59'38.40"S	Argissolo Vermelho Amarelo Alumínico típico	Metaarenito
P10	49° 5'20.40"W	26°47'52.80"S	Argissolo Vermelho Amarelo Alumínico típico	Granulito máfico
P11	49°22'4.80"W	28°23'24.00"S	Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico	Arenitos e siltitos
P12	48°56'9.60"W	27°43'19.20"S	Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico	Migmatitos
P13	49° 6'36.00"W	28°34'58.80"S	Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico típico	Granito
P14	50°22'54.91"W	28°14'48.54"S	Cambissolo Háptico Alítico típico	Riodacito
P15	50°10'37.20"W	28°23'42.00"S	Cambissolo Háptico Alítico típico	Riodacito vermelho
P16	50°28'22.80"W	28°24'18.00"S	Cambissolo Háptico Alítico típico	Riodacito vermelho
P17	50°14'24.00"W	27°33'50.40"S	Cambissolo Háptico Alumínico típico	Fonolito porfirítico
P18	50°13'55.20"W	27°46'44.40"S	Cambissolo Háptico Alumínico úmbrico	Fonolito
P19	50°16'22.80"W	27°55'48.00"S	Cambissolo Háptico Alumínico úmbrico	Basalto
P20	50°23'45.60"W	28°18'39.60"S	Cambissolo Háptico Alumínico úmbrico	Riodacito
P21	51°29'15.88"W	27°5'39.53"S	Cambissolo Háptico Ta Eutrófico típico	Basalto
P22	49°12'2.49"W	28°32'24.23"S	Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico	Granito
P23	49°32'38.40"W	27°48'54.00"S	Cambissolo Hístico	Folhelhos
P24	50° 9'50.40"W	27°38'38.40"S	Cambissolo Húmico Alumínico típico	Sienito
P25	50°24'10.80"W	27°47'38.40"S	Cambissolo Húmico Distroférico típico	Basalto
P26	49°33'54.00"W	28°22'19.20"S	Cambissolo Húmico Distrófico organossólico	Basalto

P27	50°18'10.80"O	28°19'51.60"S	Cambissolo Húmico Distrófico típico	Riodacito vermelho
P28	52°18'21.60"W	26°48'39.60"S	Latossolo Vermelho Distroférico húmico	Basalto
P29	51° 5'6.00"W	27°22'30.00"S	Latossolo Vermelho Distrófico retrático úmbrico	Basalto
P30	49° 7'51.60"W	28°37'1.20"S	Neossolo Regolítico Eutrófico típico	Granito
P31	50°13'55.20"W	27°46'44.40"S	Neossolo Regolítico Húmico típico	Fonolito
P32	51°33'46.18"O	26°41'27.55"S	Nitossolo Bruno Distroférico típico	Andesito basalto
P33	52° 2'31.20"W	26°51'21.60"S	Nitossolo Bruno Distrófico húmico	Riodacito
P34	50°34'44.40"W	27°22'12.00"S	Nitossolo Bruno Distrófico húmico latossólico	Riodacito
P35	50°42'21.60"W	26°56'49.20"S	Nitossolo Bruno Distrófico rúbico	Basalto
P36	50° 7'44.40"W	27°53'42.00"S	Nitossolo Bruno Distrófico típico	Basalto
P37	51°32'6.17"W	27° 2'39.74"S	Nitossolo Háptico Distrófico típico	Basalto
P38	50°15'56.58"W	28°22'26.68"S	Nitossolo Vermelho Alítico típico	Basalto
P39	50°17'38.40"W	28°20'42.00"S	Nitossolo Vermelho Distroférico típico	Basalto
P40	51°28'40.80"W	27° 6'43.20"S	Nitossolo Vermelho Eutrófico típico	Basalto
P41	49°34'45.28"W	28°21'59.22"S	Cambissolo Háptico Tb Distroférico típico	Riodacito
P42	49°33'20.49"W	28°24'16.69"S	Organossolo Fólico Sáprico cambissólico	Riodacito
P43	49°51'24.97"W	27°55'29.11"S	Organossolo Fólico Sáprico típico	Riodacito
P44	51°50'7.58"W	27°22'19.17"S	Nitossolo Vermelho Eutroférico típico	Basalto amigdalóide
P45	51°49'1.59"W	27°23'0.71"S	Argissolo Amarelo Eutrófico típico	Basalto
P46	51°48'29.37"W	27°23'37.76"S	Neossolo Litólico Eutrófico chernossólico	Basalto
P47	53°29'46.26"W	26°52'1.56"S	Nitossolo Vermelho Eutroférico chernossólico	Basalto
P48	53°26'3.26"W	26°52'39.72"S	Chernossolo Argilúvico Férrico típico	Basalto
P49	53°20'32.20"W	26°57'16.61"S	Chernossolo Háptico Férrico típico	Basalto amigdalóide

P50 53°21'9.64"W 27° 0'50.43"S Cambissolo Háplico Eutroférico típico Basalto

As amostras foram destorroadas e secas em estufa a 25°C por 48 horas. Após secos, os solos foram peneirados em peneira granulométrica de 2 mm. O pH em água e a textura dos solos foram analisados seguindo o método da EMBRAPA (Teixeira *et al.*, 2017). O pHmetro foi devidamente calibrado e a textura seguiu o método da pipeta para se obter o percentual de argila.

A determinação dos teores de zinco nos solos foi realizada por digestão em quadruplicata, seguindo o método 3050B da USEPA (2003). Foram utilizadas provas em branco e o material de referência NIST 2709A. As concentrações de Zn foram determinadas por espectrometria de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente (ICP OES, Perkin-Elmer Optima 8000).

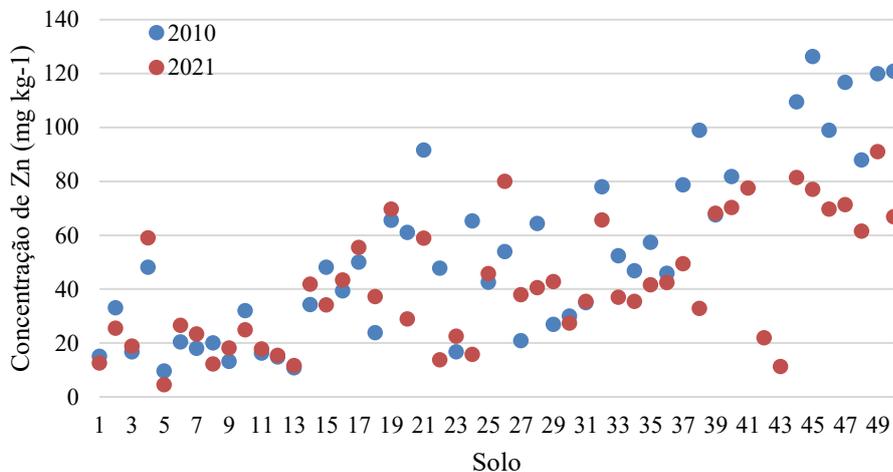
Os valores obtidos neste estudo foram comparados aos dados do trabalho de Hugen *et al.* (2013), que analisou solos coletados entre 2003 e 2010 nos mesmos locais. Esses solos fazem parte do banco de solos da UDESC e a mesma metodologia analítica foi utilizada.

Foi realizada a análise estatística descritiva dos dados, incluindo média, mediana, desvio padrão, valor mínimo e máximo. Em seguida, as médias dos teores de zinco entre os diferentes materiais de origem foram comparadas por meio do teste de Tukey, ao nível de 5% de significância. Além disso, foi aplicada a correlação de Pearson entre os teores de zinco e variáveis selecionadas, como pH e teor de argila, com o objetivo de identificar possíveis relações entre as características do solo e a concentração do elemento.

3 RESULTADOS

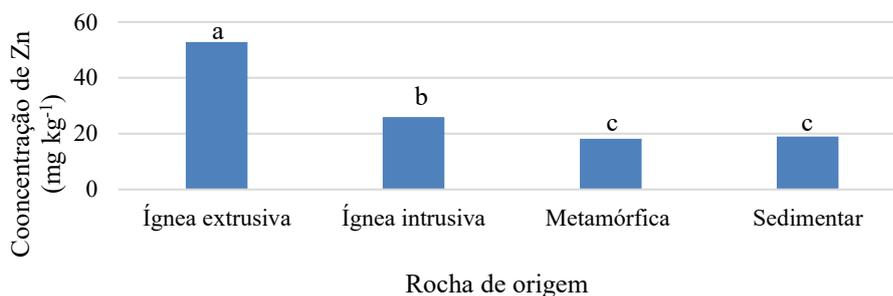
A análise comparativa das concentrações de Zn nos solos de Santa Catarina entre os anos de 2010 e 2021 demonstra que, de forma geral, os valores mantiveram-se estáveis ao longo do período, com variações pouco expressivas entre as duas campanhas (Figura 1). Os valores variaram entre 9,63 e 126,35 mg kg⁻¹ nos solos coletados em 2010. Já nos solos coletados em 2021 (Hugen *et al.*, 2013), os teores naturais variaram entre 4,55 e 91,01 mg kg⁻¹.

Figura 1 - Comparação temporal dos teores naturais de Zn nos solos Catarinenses.



A influência do material de origem foi estatisticamente significativa, conforme demonstrado pela análise de variância e pelo teste de Tukey, reforçando que a geologia local é um fator determinante na distribuição natural do zinco nos solos (Figura 2). Os resultados mostraram que os solos derivados de basalto apresentaram as maiores concentrações médias de Zn, quando comparados aos solos formados a partir de outras litologias, como granitos, gnaisses e arenitos.

Figura 2 – Comparação dos teores naturais de Zn nos solos oriundos de diferentes rochas.



*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($P > 0,05$).

A correlação de Pearson entre o teor de Zn nos solos e algumas propriedades físico-químicas revelou padrões importantes. Observou-se uma correlação positiva entre o Zn e o pH ($r = 0,45$), sugerindo que solos com pH mais elevado tendem a apresentar maiores teores de zinco disponível. A correlação entre Zn e o teor de argila foi também positiva ($r = 0,21$). Solos

mais argilosos normalmente apresentam maior capacidade de retenção de metais devido à sua maior área superficial e presença de cargas negativas.

4 DISCUSSÃO

Os teores de Zn nos solos permanecem fortemente influenciados pelas características naturais, especialmente pelo material de origem, que segue sendo o principal fator determinante da distribuição do elemento no ambiente edáfico. Apesar de possíveis alterações no uso e manejo do solo ao longo dos anos, os dados sugerem que não houve acréscimos significativos de zinco de origem antrópica que pudessem alterar os níveis naturais previamente estabelecidos. Isso reforça a ideia de que os valores observados em ambas as épocas refletem predominantemente a contribuição geogênica do elemento, ou seja, aquela derivada da composição das rochas e da mineralogia dos solos.

A análise dos teores naturais de Zn em diferentes solos de Santa Catarina evidenciou uma clara influência do material de origem na distribuição desse elemento-traço. A predominância do Zn nos solos basálticos pode ser explicada pela natureza geoquímica das rochas máficas, como o basalto, que são naturalmente mais ricas em metais como ferro, magnésio e zinco. Esses solos tendem a conter minerais primários, como piroxênios e anfibólios, que liberam Zn durante os processos de intemperismo (Skorupa *et al.*, 2024). Além disso, os solos basálticos geralmente apresentam maior fertilidade natural, textura mais argilosa e maior capacidade de retenção de cátions, o que favorece a adsorção de Zn em suas frações minerais e coloidais. Por outro lado, solos originados de materiais mais ácidos e pobres em bases, como granitos e arenitos, apresentaram teores significativamente mais baixos de Zn (Silva *et al.*, 2023).

A correlação positiva dos teores de Zn com a acidez e teor de argila, tem relação com a redução de perdas por lixiviação, favorecendo a retenção do elemento nas frações do solo (Eynde *et al.*, 2023). O Zn é influenciado pelas condições químicas e físicas dos solos, como pH e teor de argila, o que deve ser considerado na definição de estratégias de manejo e na interpretação dos valores naturais desse elemento.

5 CONCLUSÃO

O monitoramento dos elementos-traço é fundamental para avaliar possíveis alterações nos solos e subsidiar a definição de valores de referência regionais mais precisos. Este estudo reforça a importância de se considerar a diversidade pedológica nas avaliações ambientais, bem como de utilizar metodologias analíticas consistentes ao longo do tempo, garantindo a comparabilidade e a confiabilidade dos dados. Além disso, os dados gerados contribuem para o aprimoramento de políticas públicas, programas de controle ambiental e estratégias de gestão do uso do solo, dentro da perspectiva da Saúde Única.

REFERÊNCIAS

- EYNDE, E. V. *et al.* Spatial assessment of topsoil zinc concentrations in Europe. **Science of the Total Environment**, v.892, p.164512, 2023.
- HUGEN, C. *et al.* Natural background levels of copper in soils of Santa Catarina State, southern Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v.31, 2013.
- SKORUPA, A. L. *et al.* Spatial distribution of Pb and Zn in soils under native vegetation in Southeast Brazil. **Environmental Geochemistry and Health**, v.46, n.3, 2024.
- SILVA, J. D. *et al.* Magnetic signature and X-ray fluorescence for mapping trace elements in soils originating from basalt and sandstone. **Chemosphere**, v.341, 2023.
- STILES, L.I.; FERRAO, K.; MEHTA, K.J. Role of zinc in health and disease. **Clinical and Experimental Medicine**, v. 24, p. 38, 2024.
- TEIXEIRA, P.C. *et al.* **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Brasília, DF: 3 ed., 2017.
- USEPA - United States Environmental Protection Agency. **Method 3050B**. USEPA, 2003.