

Pelotas, RS / Outubro, 2025

## Elementos-traço no ambiente: estudo de caso nos solos de uma propriedade em Encruzilhada do Sul, RS

José Maria Filippini Alba<sup>(1)</sup>, Pablo Miguel<sup>(2)</sup>, Stefan Domingues Nachtigall<sup>(3)</sup> e Jéferson Diego Leidemer<sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Pesquisadore, Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. <sup>(2)</sup> Professor, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS. <sup>(3)</sup> Bolsista, Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. <sup>(4)</sup> Engenheiro-agrônomo autônomo, Teutônia, RS.

**Resumo** – Os elementos-traço ocorrem em quantidades inferiores a 0,01% nos materiais terrestres, distinguindo-se de elementos menores e maiores, que superam esse percentual. Este estudo considerou os elementos maiores, Al, Ca, Fe, K e Mg, os elementos menores Mn e Na, e os elementos-traço B, Ba, Cu, Ni, Pb e Zn. Somente o Pb atingiu valores extremos em dois perfis de solo. Para alguns elementos-traço, houve incidência distinta nos diversos tipos de solos. O estudo se fundamentou na possibilidade de diferenciar solos por meio dos elementos químicos, com potencial para novas descobertas, no caso dos elementos-traço.

**Termos para indexação:** Argissolo, micronutrientes, pedologia, geoquímica.

## Trace elements in the environment: Case study in the soils of a rural property in Encruzilhada do Sul, RS

**Abstract** – Trace elements occur in minute quantities in terrestrial materials, but minor and major elements exceed 0.01%. This study considered Al, Ca, Fe, K and Mg (major elements), Mn and Na (minor elements) and the trace elements B, Ba, Cu, Ni, Pb and Zn. Exclusively Pb occurred in high levels in two soil profiles. For some trace elements there was a distinct incidence in the different types of soils for some trace elements. The study was based on the possibility of differentiating soils through chemical elements, with potential for new discoveries in the case of trace elements.

**Index terms:** Argisol, micronutrient, pedology, geochemistry.

## Introdução

Os elementos-traço ocorrem em teores inferiores a 100 ppm nos materiais terrestres (Jenner, 1996), suscitando interesse para estudos prospectivos do setor de recursos minerais (Govett, 1983; Filippini Alba, 1998; 2022), assim como para caracterização ambiental, seja como indicadores de contaminação ou no monitoramento de potenciais problemas relacionados à saúde pública.

**Embrapa Clima Temperado**  
BR-392, Km 78, Caixa Postal 403  
96010-971 Pelotas, RS  
www.embrapa.br/clima-temperado  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente

Ana Cristina Richter Krolow

Secretária-executiva

Rosângela Costa Alves

Membros

Newton Alex Mayer, Bárbara

Chevallier Cosenza, Cláudia

Antunez Arrieche e Sonia

Desimon

Edição executiva

Bárbara Chevallier Cosenza

Revisão de texto

Bárbara Chevallier Cosenza

Normalização bibliográfica

Cláudia Antunez Arrieche

(CRB-10/1594)

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Nathália Santos Fick

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados à Embrapa.

Solos com teores de arsênico (As), cobre (Cu), chumbo (Pb) e zinco (Zn) acima de 2.000 ppm, devido à ocorrência de mineralizações, podem provocar toxicidade em plantas ou no gado (Thornton, 1983). As necessidades de cálcio (Ca), potássio (K), magnésio (Mg) e fósforo (P) dos solos agrícolas são hoje bem entendidas e projetadas. O iodo já era usado na Antiguidade para a cura do bócio; também há evidências de doenças ou lesões em seres vivos tratados de maneira prolongada com elementos químicos específicos. Solos contaminados por níquel (Ni) derivado de rochas máficas, molibdênio (Mo) e selênio (Se), enriquecidos em xistos ou pela ocorrência de As, cádmio (Cd), Cu, Pb e/ou Zn relacionados à mineralização, foram associados a níveis tóxicos em produtos agrícolas, gado e doenças de origem animal. Filippini Alba (1998) detectou uma anomalia multivariada significativa Fe-Cr-Co-Cu-Ni-V, confirmando a presença de rochas ultramáficas e anfibólitos nas proximidades de Zapicán, Departamento de Lavalleja, Uruguai, pois as medianas de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , Cr e Ni em sedimentos de corrente superam as médias da população total em 48% para o óxido e em 129% para Cr e Ni. A abundância na crosta terrestre de vários elementos químicos varia desde centésimas a centenas ou milhares de partes por milhão, ocorrendo em formações geológicas específicas, muitas vezes distantes dos principais centros urbanos.

A prospecção geoquímica, envolvendo o uso de traços, tem ocorrido desde tempos antigos em diversos locais do mundo (Govett, 1983; Éden, 1994; Filippini Alba, 2022). Segundo Darnley et al. (1995), existem no mundo 45 milhões de quilômetros quadrados de territórios levantados por espectrometria gama aérea e 26 milhões de quilômetros quadrados prospectados com geoquímica convencional, totalizando 71 milhões de quilômetros quadrados, ou seja, 52% da superfície dos continentes. Paralelamente, diversos empreendimentos de cartografia geoquímica foram desenvolvidos, principalmente em escala nacional, envolvendo águas e sedimentos de corrente, nos quais foram analisados 30 ou mais elementos, com densidade de amostragem de 0,01 a 2 amostras por quilômetro quadrado. Lahermo et al. (1990) elaboraram o mapeamento hidrogeoquímico das águas subterrâneas da Finlândia, e Koljonen (1992) fez levantamento com os sedimentos não consolidados de origem glacial, denominados tilitos (Leinz; Leonards, 1977).

Davenport et al. (1993) apresentou resultados de prospecções geoquímicas em países europeus, Canadá e China, demonstrando a influência de aspectos geológicos e a presença de ocorrências

minerais na resposta geoquímica, mas destacando três situações específicas: (1) na Alemanha, foram identificadas associações multielementares de origem litológica, relacionadas com mineralizações, com o ambiente (Mn-Co-Ni-Zn) ou por atividades humanas (condutimetria-pH-Zn); (2) doenças graves na China sobrepuseram-se com anomalias Cr-Mo em sedimentos de corrente; e (3) desvios do comportamento *background* aconteceram no País de Gales, em curtos períodos, durante tormentas.

Segundo Plant e Raiswell (1983), as três unidades geológico-fisiográficas da Grã-Bretanha evidenciaram resposta geoquímica característica, sendo que a unidade coberta por sedimentos devonianos (Quaternário) e terciários tem maior contraste em relação às demais, onde prevalecem rochas cristalinas antigas. Anomalias Cd-Pb evidenciaram regiões contaminadas pela indústria ou mineração. Por outro lado, os elementos Cu, Co, Fe, Mn, Mo e Zn são essenciais para agricultura, enquanto a ocorrência de teores exagerados de As, Cd, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb e Zn seria prejudicial para a produção agrícola.

Já Figueiredo et al. (2012) mencionam aspectos toxicológicos do Pb e sua distribuição no ambiente e nos seres humanos, sendo relatados diversos estudos de caso no Brasil e Uruguai, envolvendo grandes cidades como Brasília, São Paulo e Montevidéu, e outras menores como Bauru, SP, e Santo Amaro da Purificação, BA. Os autores destacam que o teor de Pb pode superar 3% nos minérios, ocorrendo principalmente como galena (PbS), associado a outros sulfetos metálicos, mas também como carbonato, óxido e fosfato, entre outros.

Há um grupo de pesquisa sobre elementos-traço no estuário da Lagoa do Patos. Franz (2002) cita águas rasas com teores de 3 a 140 vezes acima do *background* para Hg nos sedimentos estuarinos da Lagoa dos Patos. Garcia (2001) menciona teores elevados de flúor (F) nos solos da cidade de Rio Grande, RS, relacionados à zona industrial. Bento (2013), ao avaliar o conteúdo de metais-traços nos sedimentos do trajeto de efluentes urbano-industrial nessa cidade, afirma que, em geral, na saída dos efluentes domésticos, misto ou industrial, houve aumento da concentração de metais na fração lábil.

A contaminação por arsênio (As) é um importante problema ambiental, devido à sua distribuição mundial e alta toxicidade para todos os organismos (Zhang et al., 2016). O As é o 20º elemento mais abundante no meio ambiente (Drewniak; Skłodowska, 2013), sendo classificado como cancerígeno de Classe 1 pela Agência Internacional de Pesquisa sobre Câncer (International Agency for Research on Cancer, 2019).

Alguns dos elementos-traço considerados neste trabalho são mencionados pela WHO (1996) no contexto da nutrição humana e saúde. Cu e Zn são considerados elementos essenciais, sendo que Mn, Ni, B e V podem apresentar potencial nesse sentido. Já Al e Pb têm caráter tóxico. Exemplo disso, os vinhos podem ser classificados em função do conteúdo dos elementos-traço, seja pela variedade, pelo tipo de solo ou localidade (Pérez-Álvarez et al., 2019).

Na Tabela 1 consta a abundância de alguns elementos nos materiais terrestres. Observa-se grande

variabilidade para B, Ba, Cu, Ni, Pb e Zn nos solos, que se associam a diversos ambientes.

Diante do exposto, um dos objetivos deste trabalho foi tentar caracterizar os solos envolvidos por meio dos respectivos teores de elementos-traço, de maneira complementar aos levantamentos tradicionais. A descoberta de novas aplicações ou processos envolvendo os elementos-traço, no contexto da pedologia, estaria associada a um objetivo secundário. A amostragem dos solos foi realizada em estudo anterior (Filippini Alba et al., 2024).

**Tabela 1.** Teores médios dos elementos considerados neste trabalho, nos compartimentos indicados. RF = rochas félsicas; RM = rochas máficas; Solo 1 = solo genérico; Solo 2 = solos tropicais asiáticos cultivados com arroz.

| Elemento                        | RF   | RM   | Folhelho | Solo 1   | Solo 2 |
|---------------------------------|------|------|----------|----------|--------|
| Elementos maiores e menores (%) |      |      |          |          |        |
| Al                              | 7,7  | 8,8  | 10,4     | ...      | ...    |
| Ca                              | 1,6  | 6,7  | 2,5      | ...      | ...    |
| Fe                              | 2,7  | 9,4  | 3,3      | ...      | ...    |
| K                               | 3,3  | 0,8  | 2,3      | ...      | ...    |
| Mg                              | 0,6  | 2,1  | 1,3      | ...      | ...    |
| Mn                              | 0,06 | 0,14 | 0,07     | 0,08     | ...    |
| Na                              | 2,8  | 2,4  | 0,7      | ...      | ...    |
| Elementos-traço (ppm)           |      |      |          |          |        |
| B                               | 15   | 5    | 100      | 2–10     | 52-197 |
| Ba                              | 830  | 300  | 700–800  | 100–3000 | ...    |
| Cu                              | 20   | 100  | 50-57    | 2–100    | 18-50  |
| Ni                              | 8    | 160  | ...      | 5–500    | 2-82   |
| Pb                              | 20   | 8    | 20       | 2–200    | ...    |
| V                               | 40   | 399  | 100      | 20–500   | ...    |
| Zn                              | 60   | 130  | 80       | 20       | 35-88  |

(...) Informação não disponível.  
Fonte: Govett (1983); Plant e Raiswell (1983); Adriano (1986).

Material e métodos

A fração inferior ou igual a 2 mm das amostras do horizonte A dos solos coletados no mencionado estudo (FilippiniAlba et al., 2024), foram submetidas à decomposição ácida em sistema fechado, conforme o método 3052 da Environmental Protection Agency (1996), com a substituição do forno de micro-ondas pelo bloco digestor. Frascos de teflon, com 250 mg de amostra e adição de 12 mL de mistura HNO<sub>3</sub> + HF, foram levados

ao bloco digestor por 3 horas à temperatura de 120 °C. A análise multielementar foi realizada por espectrometria de emissão ótica com plasma induzido por micro-ondas. Os procedimentos analíticos foram realizados no Instituto de Química da Universidade Federal de Pelotas. Dados descritivos dos perfis de solo constam na Tabela 2. Ap é um horizonte A, superficial, afetado pelas ações humanas. A1 indica a existência de outro horizonte A.

**Tabela 2.** Características da amostragem em cada ponto.

| Coordenadas |           | Perfil | Horizonte | Elevação (m) | UM     |
|-------------|-----------|--------|-----------|--------------|--------|
| E (m)       | N (m)     |        |           |              |        |
| 355.924     | 6.622.264 | P1     | Ap        | 393          | PVAd-1 |
| 356.004     | 6.622.274 | P2     | A         | 390          | PVAd-2 |
| 356.145     | 6.622.330 | P3     | A         | 378          | RRd    |
| 355.963     | 6.622.330 | P4     | A         | 396          | PVAd-1 |
| 356.067     | 6.621.951 | P5     | A         | 388          | PVAd-1 |
| 355.915     | 6.621.765 | P6     | A         | 399          | PVd    |
| 356.085     | 6.621.620 | P7     | A         | 391          | PAAd-1 |
| 355.972     | 6.621.598 | P8     | A         | 401          | PVAa   |
| 355.987     | 6.621.598 | P9     | A         | 404          | PVAd-2 |
| 356.346     | 6.621.483 | P10    | A         | 406          | PVAa   |
| 356.293     | 6.622.106 | P11    | A         | 380          | PAa    |
| 356.420     | 6.622.292 | P12    | A         | 371          | PAa    |
| 356.612     | 6.622.309 | P13    | A         | 383          | PAAd-1 |
| 356.334     | 6.621.622 | P14    | A         | 397          | PVAd-2 |
| 356.380     | 6.621.847 | P15    | A         | 394          | PAAd-1 |
| 356.822     | 6.622.423 | P16    | A         | 382          | PVa    |
| 356.251     | 6.621.845 | P17    | Ap        | 388          | PVAd-2 |
| 356.155     | 6.622.094 | P18    | A1        | 376          | PAAd-2 |

UM = Unidade de mapeamento (tipo de solo). PVAd = Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico; PAAd/PVa = Argissolo Amarelo Distrófico/Vermelho Aluminoso; RRd = Neossolo Regolítico Distrófico.

## Resultados e discussão

A maior parte das amostras corresponde a Argissolos, solos profundos e bem drenados, geralmente aptos para agricultura. Já o Neossolo é um solo raso e pedregoso, de potencial agrícola restrito. As 18 amostras posicionaram-se em altitude variando entre 371 e 406 m, com média de 390 metros e desvio padrão de 10 m.

Considerando-se a concentração dos elementos químicos (Tabela 3), observa-se a princípio uma distribuição aleatória dos teores. Para conferir isso, agruparam-se as amostras conforme o tipo

de solo (Figura 1). Observa-se que os Argissolos apresentam comportamento semelhante do ponto de vista qualitativo, com significativa aproximação para o Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico – 1 (PVAd-1) – e o Argissolo Amarelo Aluminoso (PAa). Já o Neossolo (RRd) apresenta comportamento geral diferenciado, com baixos teores. No caso dos traços, Ni e Zn apresentam 100% e 50% de valores nulos, respectivamente (Tabela 4). Ba, Cu e Pb apresentam máximos significativos.

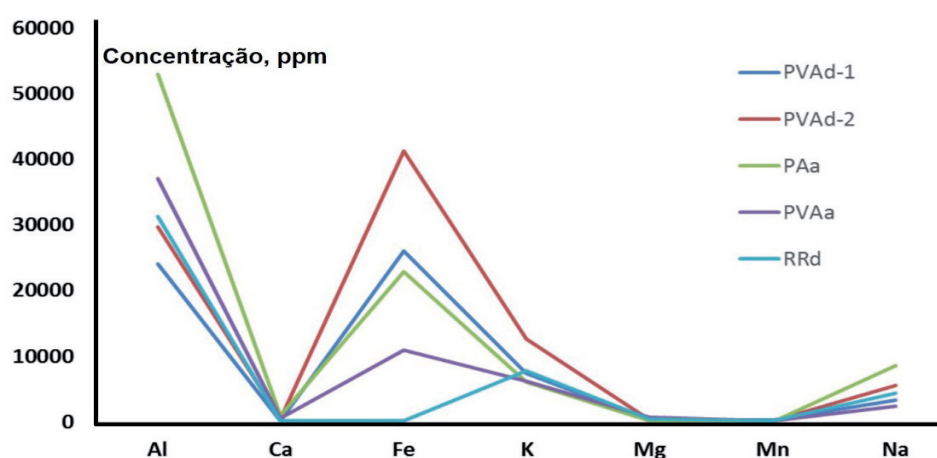
**Tabela 3.** Teores dos elementos maiores e menores ( $\mu\text{g/g}$ ) no horizonte A, A1 e Ap dos solos de propriedade rural em Encruzilhada do Sul, RS. UM = Unidade de mapeamento.

| Perfil | Al     | Ca  | Fe      | K     | Mg  | Mn  | Na    | UM     |
|--------|--------|-----|---------|-------|-----|-----|-------|--------|
| P1     | 20.516 | 445 | 67.128  | 7.768 | 416 | 258 | 2.483 | PVAd-1 |
| P2     | 32.249 | 18  | 130.907 | 4.098 | 198 | 565 | 2.406 | PVAd-2 |
| P3     | 31.258 | 202 | 136     | 7.834 | 429 | 148 | 4.432 | RRd    |

Continua...

**Tabela 2.** Continuação.

| Perfil | Al     | Ca    | Fe     | K      | Mg    | Mn  | Na    | UM     |
|--------|--------|-------|--------|--------|-------|-----|-------|--------|
| P4     | 31.053 | 29    | 7.020  | 5.972  | 154   | 162 | 4.570 | PVAd-1 |
| P5     | 20.538 | 210   | 4.019  | 8.340  | 428   | 391 | 2.966 | PVAd-1 |
| P6     | 25.034 | 401   | 5.371  | 0      | 493   | 466 | 3.587 | PVd    |
| P7     | 55.253 | 974   | 24.499 | 8.427  | 1.452 | 252 | 0     | PAAd-1 |
| P8     | 42.306 | 1.136 | 11.121 | 8.974  | 1.066 | 502 | 96    | PVAa   |
| P9     | 28.327 | 195   | 24.379 | 5.135  | 389   | 48  | 4.382 | PVAd-2 |
| P10    | 31.799 | 0     | 10.893 | 3.522  | 317   | 0   | 4.844 | PVAa   |
| P11    | 60.477 | 1.233 | 31.849 | 3.535  | 78    | 40  | 8.440 | PAa    |
| P12    | 45.336 | 830   | 13.977 | 8.658  | 208   | 212 | 8.738 | PAa    |
| P13    | 631    | 879   | 10.997 | 4.816  | 500   | 9   | 7.552 | PAAd-1 |
| P14    | 23.052 | 525   | 1.496  | 33.781 | 0     | 40  | 7.405 | PVAd-2 |
| P15    | 23.452 | 4.094 | 0      | 9.669  | 2.247 | 554 | 5.585 | PAAd-1 |
| P16    | 37.000 | 1.955 | 6.778  | 5.668  | 1.048 | 290 | 6.058 | PVa    |
| P17    | 35.414 | 1.084 | 8.070  | 7.858  | 633   | 125 | 8.323 | PVAd-2 |
| P18    | 49.107 | 1.038 | 22.367 | 9.948  | 1.187 | 327 | 6.855 | PAAd-2 |

**Figura 1.** Concentração média dos elementos químicos encontrados no solo.

Exceto no Argissolo Amarelo (PA), as médias de B (Tabela 5) superam os valores extremos dos solos 1 e 2 (Tabela 1), sendo que V apresenta valores muito altos, considerando os valores de referência. Já os outros elementos apresentam valores próximos ou inferiores, em geral. Constatou-se enriquecimento em B e V nos solos da área de estudo, sem explicação aparente. Al, Ca, Fe, K, Mg e Na

se mantiveram inferiores aos teores de abundância na crosta ou em rochas máficas, comportamento também apresentado pelos folhelhos, rochas com características semelhantes às dos solos, supostamente, por serem ambos os materiais significativamente afetados pelos processos naturais de erosão, sedimentação e pedogênese.

**Tabela 4.** Teores dos elementos-traço ( $\mu\text{g/g}$ ) nos horizontes A, A1 e Ap dos solos de propriedade rural em Encruzilhada do Sul, RS.

| Perfil | B     | Ba     | Cu  | Ni | Pb  | V     | Zn  |
|--------|-------|--------|-----|----|-----|-------|-----|
| P1     | 655   | 504    | 17  | 0  | 0   | 2.690 | 0   |
| P2     | 617   | 362    | 18  | 0  | 19  | 4.618 | 19  |
| P3     | 991   | 518    | 18  | 0  | 56  | 6.250 | 0   |
| P4     | 1.062 | 443    | 17  | 0  | 55  | 6.438 | 0   |
| P5     | 676   | 273    | 18  | 0  | 55  | 3.751 | 0   |
| P6     | 686   | 460    | 35  | 0  | 38  | 3.317 | 0   |
| P7     | 1.461 | 781    | 18  | 0  | 57  | 880   | 0   |
| P8     | 1.631 | 985    | 18  | 0  | 77  | 937   | 0   |
| P9     | 772   | 323    | 0   | 0  | 762 | 5.234 | 0   |
| P10    | 810   | 298    | 0   | 0  | 569 | 4.186 | 0   |
| P11    | 138   | 0      | 128 | 0  | 97  | 8.741 | 96  |
| P12    | 330   | 623    | 22  | 0  | 96  | 7.190 | 77  |
| P13    | 181   | 317    | 20  | 0  | 96  | 4.752 | 48  |
| P14    | 0     | 270    | 20  | 0  | 96  | 5.105 | 48  |
| P15    | 1.523 | 1.356  | 22  | 0  | 115 | 4.289 | 96  |
| P16    | 1.391 | 977    | 36  | 0  | 77  | 6.110 | 94  |
| P17    | 972   | 688    | 36  | 0  | 96  | 6.538 | 78  |
| P18    | 1.556 | 10.140 | 18  | 0  | 113 | 7.610 | 110 |

**Tabela 5.** Médias por tipo de solo, quanto ao número de amostras.

| Variável     | PVA (9) | PV (2) | PA (6) | RRd (1) |
|--------------|---------|--------|--------|---------|
| Al (ppm)     | 29.473  | 31.017 | 39.043 | 31.258  |
| B (ppm)      | 799     | 414    | 57     | 316     |
| Ba (ppm)     | 267     | 530    | 2.043  | 325     |
| Ca (ppm)     | 345     | 1.131  | 1.466  | 139     |
| Cu (ppm)     | 8       | 29     | 31     | 9       |
| Fe (%)       | 3,9     | 1,8    | 2,8    | 1,2     |
| K (%)        | 1,0     | 0,4    | 0,8    | 0,9     |
| Mg (ppm)     | 591     | 923    | 1.080  | 617     |
| Mn (ppm)     | 298     | 415    | 298    | 230     |
| Na (ppm)     | 692     | 1.850  | 4.265  | 1.163   |
| Ni (ppm)     | 0       | 0      | 0      | 0       |
| Pb (ppm)     | 192     | 57     | 96     | 56      |
| V (ppm)      | 4.389   | 4.714  | 5.577  | 6.250   |
| Zn (ppm)     | 16      | 47     | 71     | 0       |
| Elevação (m) | 396     | 391    | 383    | 378     |



Ni se apresentou nulo em todas as amostras, já as médias de B, Fe e Pb para os Argissolos Vermelho-Amarelos (PVA) foram as maiores. O Argissolo Amarelo apresentou enriquecimento em Al, Ba, Ca, Mg e Zn.

Existe preocupação com a distribuição de elementos-traços no ambiente, prevalecendo estudos prospectivos anteriores à década de 1980, que foram paulatinamente se transformando em estudos ambientais, posteriormente. Frequentemente, o foco esteve nos teores de As, Cd, Hg e Pb, elementos com potencial toxicidade para seres humanos e, em geral, nocivos à vida. Esses elementos ocorrem associados a minérios e processos industriais, principalmente.

## Conclusões

Teores elevados de Pb foram observados em dois perfis, P9 e P10; o que pode coincidir com algum evento casual que tenha passado inadvertido em campo. O Pb é um metal cinza que não ocorre na forma nativa, sendo usado na fabricação de baterias automotivas, mas também de tintas, cosméticos e blindagem de radiação. Além disso, os dados sugerem um potencial e moderado aumento do teor de B e V no solo da área de estudo, seja por condição natural ou pelo uso agrícola intensivo.

Ba, Cu, Pb e V apresentaram algumas amostras com valores extremos, por outro lado, B e Zn apresentaram, sem explicação, a priori, aproximadamente 28% das amostras com valores acima de 1.000 ppm para o primeiro e com valores acima de 90 ppm para o segundo, o que representa um aumento significativo em relação às demais amostras (médias de 607 ppm e 19 ppm respectivamente).

## Agradecimentos

Aos proprietários e funcionários do empreendimento Vinhedos da Quinta, pelo suporte oferecido nas etapas de levantamento a campo e coleta de amostras.

Ao estudante de pós-graduação Charlie G. Gomes e ao seu orientador, professor Dr. Anderson S. Ribeiro, do Instituto de Química da Universidade Federal de Pelotas (UFPEl), Capão do Leão, RS, pela disponibilização das análises químicas.

## Referências

- ADRIANO, D. **Trace elements in the terrestrial environment**. New York: Springer-Verlag, 1986. 533 p.
- BENTO, D. M. **A transformação da especiação de metais em sedimentos no trajeto dos efluentes urbano-industrial em estuário** (Lagoa dos Patos). 2013. 80 p. Tese (Pósgraduação em Ocenografia Química, Física e Geológica) - Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande.
- DARNLEY, A. G.; BJÖRKL, A.; BÖLVIKEN, B.; GUSTAVSSON, N.; KOVAL, P. V.; PLANT, J. A.; STEENFELT, A.; TAUCHID, M.; XIE X. **A Global geochemical database for environmental and resource management**: recommendations for International Geochemical Mapping, final report of IGCP Project 259. Paris: UNESCO publishing, 1995. (Earth Sciences, 19). Disponível em: [https://geochem.nrcan.gc.ca/ftp/data/publications/pub\\_01004/darnley\\_igcp\\_259.pdf](https://geochem.nrcan.gc.ca/ftp/data/publications/pub_01004/darnley_igcp_259.pdf). Acesso em: 2 set. 2025.
- DAVENPORT, P.; CHRISTOPHER, T. K.; VARDY, S.; NOLAN, L. W. Geochemical mapping. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 49, n. 1-2, p. 177-200, 1993. DOI: [https://doi.org/10.1016/0375-6742\(93\)90044-M](https://doi.org/10.1016/0375-6742(93)90044-M).
- DREWNIAK, L.; SKŁODOWSKA, A. Arsenic-transforming microbes and their role in biomining processes. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 20, p. 7728-7739, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-012-1449-0>.
- ÉDEN, P. **Wide-spaced sampling of overbank sediment, till, humus, and river water in Fennoscandia**: applicability for global geochemical mapping and environmental assessment. Åbo: Åbo Akademi University, 1994. 49 p.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Method 3052**: microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices. Washington, D.C., 1996. 20 p. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/3052.pdf>. Acesso em: 2 set. 2025.
- FIGUEIREDO, B.; CAPITANI, E. M.; DOS ANJOS, J. A.; LUIZ-SILVA, W. **Chumbo, ambiente e saúde**. São Paulo: Annablume, 2012. 271 p.
- FILIPPINI ALBA, J. M. **Análise e integração de dados geoquímicos e de sensoriamento remoto em um setor do cristalino uruguaio**. 1998. 172 f. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

FILIPPINI ALBA, J. M. Geochemical stream sediment signatures from Precambrian terrains of Uruguay. **Geochimica Brasiliensis**, v. 36, e-22004, 2022.

FILIPPINI ALBA, J. M.; MIGUEL, P.; PINTO, L. F. S.; NACHTIGALL, S. D.; LEIDEMER, J. D.; PAGANI JUNIOR, A. **Levantamento detalhado de solos da propriedade Vinhedos da Quinta, Encruzilhada do Sul, RS**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2024. 60 p. (Embrapa Suínos e Aves. Documentos, 543).

FRANZ, B. **Contaminação por mercúrio nos sedimentos do estuário da Lagoa dos Patos**. 2002. 74 p. Monografia (Graduação em Oceanologia) - Fundação Universidade de Rio Grande, Rio Grande.

GARCIA, M. R. D. **Distribuição de Flúor no solo da cidade de Rio Grande – RS, como reflexo da poluição atmosférica**. 2001. 81 p. Monografia (Graduação em Oceanologia) – Fundação Universidade de Rio Grande, Rio Grande.

GOVETT, G. J. S. **Rock geochemistry in mineral exploration**. Amsterdam: Elsevier, 1983. 461 p. (Handbook of mineral exploration, v. 3.).

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. **Biennial report 2018-2019**. Disponível em: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Biennial-Reports/IARC-Biennial-Report-2018-2019>. Acesso em: 16 dez. 2024.

JENNER, G. A. Trace element geochemistry of igneous rocks: geochemical nomenclature and analytical geochemistry. In: WYMAN, D. A. (ed.). **Trace elements geochemistry of volcanic rocks**: applications for massive sulphides exploration. Saint John: Geological Association of Canada, 1996. (Short Course Notes, 12). p. 51-77.

KOLJONEN, T. **Geochemical atlas of Finland**: part 2: Till. Espoo: Geological Survey of Finland, 1992. 218 p.

LAHERMO, P.; ILMASTI, M.; JUNTUNEN, R.; TAKA, M. **The geochemical atlas of Finland**: part. 1: the hydrogeochemical mapping of finnish groundwater. Espoo: Geological Survey of Finland, 1990. 65 p.

LEINZ, V.; LEONARDOS, O. H. **Glossário geológico: com a correspondente terminologia em Inglês, Alemão e Francês**. 2. ed. corr e aum. São Paulo, SP: Nacional, 1977. 236 p. (Nacional. Iniciação científica, 33).

PÉREZ-ÁLVAREZ, E. P.; GARCIA, R.; BARRULAS, P.; DIAS, C.; CABRITA, M. J.; GARDE-CERDÁN, T. Classification of wines according to several factors by ICP-MS multi-element analysis. **Food Chemistry**, v. 270, n. 1, p. 273-280, 2019.

PLANT, J. A.; RAISWELL, R. Principles of environmental geochemistry. In: THORNTON, I. (ed.). **Applied environmental geochemistry**. London: Academic Press, 1983. p. 1–39.

THORNTON, I. (ed.). **Applied environmental geochemistry**. London: Academic Press, 1983. 501 p.

WHO. **Trace elements in human nutrition and health**. GENEVE, 1996. 343 p.

ZHANG, L.; QIN, X.; TANG, J.; LIU, W.; YANG, H. Review of arsenic geochemical characteristics and its significance on arsenic pollution studies in karst groundwater, Southwest China. **Applied Geochemistry**, v. 77, p. 80–88, 2016.

#### Literatura recomendada

ABUNDANCE OF ELEMENTS IN EARTH'S CRUST. Wikipedia: the free encyclopedia. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Abundanceofelementsinearth%27scrust>. Acesso em: 2 set. 2025.

AGILENT TECHNOLOGIES. **MP-AES Agilent 4200: especificações**. 2014. 8 p. Disponível em: <http://cn.agilent.com/cs/library/specifications/public/5991-3445PTBR.pdf>. Acesso em: 17 maio 2024.

GRANIER, G. **Introduction à la prospection géochimique des gîtes métallifères**. Paris: Masson, 1973. 143 p.

FILIPPINI ALBA, J. M.; MIGUEL, P.; BUENO, J. M. M.; NACHTIGALL, S. D.; LEIDEMER, J. D.; JUNIOR, A. P. **Levantamento de solos do município de Gravataí, RS**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2021. 70 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 503).





*Ministério da  
Agricultura e  
Pecuária*