

DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DOS VALORES DE REFERÊNCIA DE QUALIDADE (VRQs) PARA SOLOS BRASILEIROS

Daniely Neckel **Rosini**¹, Luiz Paulo **Rauber**², Mari Lucia **Campos**³

(1 - Universidade do Estado de Santa Catarina, danielybio@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9873-6750>; 2 - Universidade do Estado de Santa Catarina, luiz.rauber@udesc.br, <https://orcid.org/0000-0003-4223-8140>; 3 - Universidade do Estado de Santa Catarina, mari.campos@udesc.br, <https://orcid.org/0000-0003-3250-2067>)

Resumo: Os Valores de Referência de Qualidade (VRQs) para solos são concentrações naturais de elementos químicos que servem como parâmetro para avaliar a contaminação ambiental. A Resolução CONAMA nº 420/2009 determina que os estados devem definir seus VRQs de acordo com as particularidades de cada região, visando proteger os ecossistemas e a saúde humana ao evitar que os solos alcancem níveis críticos de degradação. O objetivo do estudo é analisar a situação atual da implementação dos VRQs no Brasil, avaliando as metodologias adotadas e sua importância para a proteção ambiental. São Paulo é o único estado brasileiro que definiu valores de prevenção para alguns elementos. Somente seis estados já publicaram legislação específica para definição dos VRQs: São Paulo, Minas Gerais, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Sergipe e Pernambuco. Não foram encontradas legislação e nem estudos publicados sobre os VRQs nos estados de Goiás, Paraíba, Acre, Roraima e Amapá, a maioria localizados na região amazônica. A definição dos VRQs para solos no Brasil enfrenta desafios significativos, especialmente em estados com infraestrutura limitada e escassez de recursos para gestão ambiental. A complexidade técnica e a diversidade geológica exigem análises detalhadas e uma equipe técnica qualificada. Embora a resolução exija que os estados definam seus VRQs, muitos ainda não o fizeram, ressaltando a necessidade urgente de estudos locais para garantir a proteção ambiental e a saúde pública, na perspectiva da saúde única. A expectativa é que, com o avanço das implementações, o processo se torne mais acessível em todo o país.

Palavras-chave: Resolução CONAMA; Contaminação do Solo; Legislação Ambiental.

CHALLENGES IN THE IMPLEMENTATION OF QUALITY REFERENCE VALUES (QRVS) FOR BRAZILIAN SOILS

Abstract: Quality Reference Values (QRVs) for soils are natural concentrations of chemical elements that serve as parameters for assessing environmental contamination. CONAMA Resolution No. 420/2009 mandates that states define their QRVs according to the specific characteristics of each region, aiming to protect ecosystems and human health by preventing soils from reaching critical levels of degradation. This study aims to analyze the current status of QRV implementation in Brazil, evaluating the methodologies adopted and their importance for environmental protection. São Paulo is the only Brazilian state that has established prevention values for certain elements. Only six states have published specific legislation for defining QRVs: São Paulo, Minas Gerais, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Sergipe, and Pernambuco. No legislation or published studies on QRVs were found in the states of Goiás, Paraíba, Acre, Roraima, and Amapá, most of which are located in the Amazon region. The definition of QRVs for soils in Brazil faces significant challenges, particularly in states with limited infrastructure and scarce resources for environmental management. The technical complexity and geological diversity require detailed analyses and a qualified technical team. Although the resolution requires states to define their QRVs, many have yet to do so, highlighting the urgent need for local studies to ensure environmental protection and public health, from the perspective of One Health. The expectation is that, as implementation progresses, the process will become more accessible across the country.

Keywords: CONAMA Resolution; Soil Contamination; Environmental Legislation.

DESAFÍOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS VALORES DE REFERENCIA DE CALIDAD (VRCS) PARA LOS SUELOS BRASILEÑOS

Resumen: Los Valores de Referencia de Calidad (VRQs) para suelos son concentraciones naturales de elementos químicos que sirven como parámetro para evaluar la contaminación ambiental. La Resolución CONAMA nº 420/2009 determina que los estados deben definir sus VRQs de acuerdo con las particularidades de cada región, con el objetivo de proteger los

ecossistemas y la salud humana evitando que los suelos alcancen niveles críticos de degradación. El objetivo del estudio es analizar la situación actual de la implementación de los VRQs en Brasil, evaluando las metodologías adoptadas y su importancia para la protección ambiental. São Paulo es el único estado brasileño que ha definido valores de prevención para algunos elementos. Sólo seis estados han publicado legislación específica para la definición de los VRQs: São Paulo, Minas Gerais, Santa Catarina, Río Grande do Sul, Sergipe y Pernambuco. No se encontraron legislación ni estudios publicados sobre los VRQs en los estados de Goiás, Paraíba, Acre, Roraima y Amapá, la mayoría ubicados en la región amazónica. La definición de los VRQs para suelos en Brasil enfrenta desafíos significativos, especialmente en estados con infraestructura limitada y escasez de recursos para la gestión ambiental. La complejidad técnica y la diversidad geológica requieren análisis detallados y un equipo técnico cualificado. Aunque la resolución exige que los estados definan sus VRQs, muchos aún no lo han hecho, resaltando la necesidad urgente de estudios locales para garantizar la protección ambiental y la salud pública, desde la perspectiva de la salud única. Se espera que, a medida que avancen las implementaciones, el proceso se vuelva más accesible en todo el país.

Palabras clave: Resolución CONAMA; Contaminación del Suelo; Legislación Ambiental.

Introdução

A lei federal nº 6.938 de 31 de agosto de 1981 foi um marco importante na história da legislação ambiental brasileira. Essa lei dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente - PNMA e instituiu o Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, que é o órgão responsável por adotar medidas consultivas e deliberativas do meio ambiente (Brasil, 1981). Em 1988, o dever do poder público e da coletividade de preservar o meio ambiente para as presentes e futuras gerações foi instituído no artigo 225 da constituição federal (Brasil, 1988). No Brasil, diversas leis e resoluções foram criadas com o intuito da preservação ambiental.

Após seis anos de construção, em 30 de dezembro de 2009 foi promulgada a resolução CONAMA nº 420 que “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” (Brasil, 2009). Esta resolução estabelece os valores de prevenção (VP), afirmando

que acima desse limite de concentração a substância pode alterar a qualidade do solo e os valores de investigação (VI) são os valores acima dos quais existem riscos potenciais à saúde humana e ao meio ambiente.

Os valores de referência de qualidade (VRQs) são as concentrações dos elementos presentes naturalmente nos solos e eles servem como valores orientadores para a qualidade dos solos. Os VRQs correspondem às concentrações naturais de substâncias químicas no solo de uma região específica. Esses valores são estabelecidos com base em análises de solos que não sofreram influências antrópicas significativas. Eles servem como parâmetro comparativo para determinar o nível de contaminação do solo. A resolução CONAMA nº 420 estabeleceu que os estados brasileiros deveriam definir seus VRQs até o ano de 2013, porém isso não aconteceu. Então, por meio da resolução CONAMA nº 460 (CONAMA, 2013), esse prazo foi prolongado até dezembro de 2014. A necessidade de cada estado definir seu VRQ reside nas diferenças geoquímicas e pedológicas, observando a especificidade de cada estado e possibilitando uma maior precisão para a recuperação e o gerenciamento de áreas contaminadas (Alloway, 2012; Marrugo-Negrete; Pinedo-Hernández, 2017).

Do ponto de vista biológico, a definição dos VRQs para solos é uma ferramenta importante para contribuir na saúde dos ecossistemas, da biodiversidade e na sustentabilidade dos recursos naturais. Os VRQs estabelecem os limites seguros para 15 substâncias químicas, conhecidas como elementos-traço (Ag, As, Ba, Cd, Co, Cu, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, V e Zn), sendo essenciais para prevenir a contaminação ambiental e proteger as interações entre organismos, solo e água. Os solos abrigam uma infinidade de organismos, como bactérias, fungos, plantas e animais, que desempenham papéis fundamentais nos ciclos biogeoquímicos. Elementos químicos presentes em concentrações acima dos valores naturais podem ser tóxicos para esses organismos, comprometendo processos vitais como a decomposição da matéria orgânica e a fixação de nutrientes (Lehmann et al., 2020). A definição de VRQs adequados pode contribuir para a preservação das condições de vida e funcionalidade do solo.

Os elementos-traço são encontrados naturalmente em baixas concentrações no ambiente (Campos et al., 2020). A contaminação de solos e águas por estes elementos tornou-se um problema grave do ponto de vista ecológico e de saúde humana, podendo acarretar sérias consequências sobre os ecossistemas (Wang et al., 2020). O solo serve como um meio de crescimento para plantas que compõem a base da alimentação humana e animal. Quando o solo está contaminado, esses elementos podem ser absorvidos pelas plantas, contaminando a cadeia

alimentar e expõem humanos e animais a riscos de saúde, como doenças e contaminação por elementos-traço (Ali et al., 2019). A definição de VRQ para solos ajuda a estabelecer limites seguros que evitam essa transferência de poluentes para os alimentos e recursos hídricos, promovendo a saúde única ao integrar a preservação da saúde humana, animal e ambiental em uma abordagem conjunta e sustentável (Xie et al., 2017).

Como os elementos inorgânicos ocorrem naturalmente nos solos, os VRQs são estabelecidos em função dos teores naturais. Portanto, o objetivo deste estudo é apresentar um panorama sobre a situação atual dos VRQ para solos no Brasil, destacando as definições legais, a legislação vigente e os estudos regionais que tratam da determinação desses valores.

Material e Métodos

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa documental e exploratória, com abordagem qualitativa e quantitativa. Este estudo foi realizado de janeiro a outubro de 2024 e buscou investigar o estágio de implementação dos VRQ nos diferentes estados brasileiros, identificar as metodologias adotadas para a definição desses valores e analisar a sua importância na proteção ambiental, especialmente no que se refere à prevenção da contaminação dos solos e à preservação dos ecossistemas.

A obtenção dos dados foi realizada em duas etapas principais: levantamento em fontes oficiais e contato com as secretarias estaduais de meio ambiente. Foram realizadas buscas em sites e documentos oficiais de órgãos ambientais estaduais e federais. A busca focou em legislações, normas técnicas e relatórios relacionados aos VRQ para solos, utilizando o termo Valores de Referência de Qualidade combinado com o nome de cada estado brasileiro. Além disso, foi utilizada a base de dados SciELO, Google Scholar, Periódicos CAPES, Scopus e Web of Science para identificar estudos acadêmicos relevantes que abordassem os VRQ no contexto estadual ou nacional.

Foram enviados e-mails ou realizados contatos telefônicos com as secretarias de meio ambiente de todos os estados brasileiros, solicitando informações específicas sobre a existência de regulamentações locais, as metodologias adotadas para a definição dos VRQ e os elementos químicos considerados.

Para cada estado brasileiro, foi avaliada a metodologia empregada na definição dos VRQ, considerando os elementos químicos analisados, a avaliação das técnicas de digestão e

leituras utilizadas para análise química do solo, a verificação se os valores de referência foram estabelecidos com base no percentil 75 ou 90 da distribuição dos teores naturais das substâncias inorgânicas no solo.

O levantamento documental foi complementado com análises comparativas entre estados, identificando similaridades, diferenças e lacunas na implementação dos VRQ. Todas as legislações e publicações coletadas foram lidas na íntegra para garantir uma interpretação acurada dos dados e das metodologias apresentadas. As informações foram sistematizadas e organizadas em tabelas e gráficos para facilitar a visualização e a interpretação dos resultados.

Resultados e Discussão

A Holanda foi o primeiro país a estabelecer VRQs e serviu como parâmetro para diversos países no mundo, inclusive o Brasil. Para isso, considerou que a concentração natural dos elementos pode ser estimada pela correlação com propriedades químicas e físicas do solo, principalmente a matéria orgânica e a fração argila (Vrom, 1988). Os VRQs servem como subsídio para o controle da poluição, visando a qualidade ambiental e a proteção dos solos e águas subterrâneas e, conseqüentemente, o gerenciamento das áreas contaminadas.

A Resolução CONAMA nº 420, de 2009, tem como objetivo central definir critérios e valores de referência para avaliar a qualidade dos solos no Brasil, com foco especial em áreas afetadas por atividades antrópicas. Ela abrange tanto a prevenção quanto o controle de contaminação dos solos e estabelece procedimentos para a avaliação de áreas contaminadas. De acordo com a resolução, os estados têm a responsabilidade de definir os VRQ em seus territórios, considerando as condições específicas de cada região. Os estados precisam realizar estudos locais de solos para determinar as concentrações naturais de substâncias químicas e, com base nesses estudos, estabelecer os VRQs regionais.

Nem todos os estados brasileiros definiram e regulamentaram plenamente seus VRQs (Figura 1). Alguns estados avançaram mais rapidamente nesse processo, enquanto outros ainda estão em fase de estudos ou definição. Os estados que ainda não regulamentaram seus VRQ podem utilizar os valores orientadores definidos nacionalmente na resolução CONAMA até que os estudos regionais sejam concluídos.

Figura 1 – Mapa das regiões do Brasil e a situação atual dos estados na implementação dos VRQs.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

À medida que novos dados científicos e técnicos são produzidos sobre a qualidade do solo em diferentes regiões, os estados podem atualizar seus VRQs. A resolução oferece essa flexibilidade para assegurar que os valores sejam adequados às condições locais e às melhores práticas de gestão ambiental (Brasil, 2009). A definição dos VRQ de solos varia entre os estados e o avanço depende da capacidade técnico-científica e da disponibilidade de recursos financeiros de cada região para conduzir estudos adequados sobre suas condições ambientais e características dos solos.

Estados Brasileiros com os VRQs estabelecidos em legislação

A resolução CONAMA nº 420, estabelece os VP e VI para áreas agrícolas residenciais e industriais para 15 substâncias inorgânicas (Tabela 1). Os VP são concentrações máximas de substâncias químicas no solo que indicam o limite seguro para proteger a qualidade ambiental a longo prazo. Quando essas concentrações são ultrapassadas, pode haver risco de alterações na funcionalidade dos ecossistemas e danos à biota. O principal objetivo dos VP é evitar que o solo atinja um nível de degradação que comprometa suas propriedades naturais (Brasil, 2009).

Tabela 1 – Valores de prevenção (VP) e investigação (VI) para elementos inorgânicos no solo definidos na Resolução CONAMA nº 420.

| | VP | VI | | |
|------------------------|-----|---------------------|-------------|------------|
| | | Agrícola | Residencial | Industrial |
| | | mg kg ⁻¹ | | |
| Prata (Ag) | 2 | 25 | 50 | 100 |
| Alumínio (Al) | - | - | - | - |
| Arsênio (As) | 15 | 35 | 55 | 150 |
| Bário (Ba) | 150 | 300 | 500 | 750 |
| Boro (B) | - | - | - | - |
| Cádmio (Cd) | 1.3 | 3 | 8 | 20 |
| Cobalto (Co) | 25 | 35 | 65 | 90 |
| Cobre (Cu) | 60 | 200 | 400 | 600 |
| Cromo (Cr) | 75 | 150 | 300 | 400 |
| Ferro (Fe) | - | - | - | - |
| Mercúrio (Hg) | 0,5 | 12 | 36 | 70 |
| Manganês (Mn) | - | - | - | - |
| Molibdênio (Mo) | 30 | 50 | 100 | 120 |
| Níquel (Ni) | 30 | 70 | 100 | 130 |
| Nitrato (N) | - | - | - | - |
| Chumbo (Pb) | 72 | 180 | 300 | 900 |
| Antimônio (Sb) | 2 | 5 | 10 | 25 |
| Selênio (Se) | 5 | - | - | - |
| Vanádio (V) | - | - | - | 1000 |
| Zinco (Zn) | 300 | 450 | 1000 | 2000 |

- Valores não definidos pela legislação.

O VI para áreas residenciais indica as concentrações máximas permitidas de substâncias químicas em áreas onde a exposição humana é mais frequente, como residências, escolas, parques e áreas de lazer. Já o VI para áreas industriais refere-se às concentrações máximas de substâncias químicas em áreas industriais, onde as atividades humanas e os usos do solo são diferentes dos ambientes residenciais. Esses valores tendem a ser mais elevados, dada a menor vulnerabilidade à exposição direta por parte da população. Quando os VI são excedidos, a legislação exige a execução de um estudo de avaliação de risco para determinar se há necessidade de intervenções, como remediação do solo ou restrição de uso da área (Brasil, 2009).

Dos 26 estados brasileiros, apenas Santa Catarina (SC), Rio Grande do Sul (RS), São Paulo (SP), Minas Gerais (MG), Sergipe (SE) e Pernambuco (PE) já desenvolveram legislação específica sobre os VRQs (Tabela 2).

Tabela 2 – Valores de referência de qualidade estabelecidos legalmente para os estados de Santa Catarina (SC), Rio Grande do Sul (RS), São Paulo (SP), Minas Gerais (MG), Pernambuco (PE) e Sergipe (SE).

| | SC ⁽¹⁾ | | RS* ⁽²⁾ | | | | | SP ⁽³⁾ | MG ⁽⁴⁾ | PE ⁽⁵⁾ | SE ⁽⁶⁾ |
|-----------|---------------------|--------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | Argila <59% | Argila ≥ 59% | a) | b) | c) | d) | e) | | | | |
| | mg kg ⁻¹ | | | | | | | | | | |
| Ag | - | - | - | - | - | - | - | 0,25 | <0,45 | 0,5 | <0,003 |
| Al | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| As | - | - | - | - | - | - | - | 3,5 | 8 | 0,6 | 1,1 |
| Ba | 75,76 | - | - | - | - | - | - | 75 | 93 | 84 | 151,41 |
| B | - | - | - | - | - | - | - | - | 11,5 | - | - |
| Cd | 0,11 | 0,59 | 0,4 | 0,38 | 0,42 | 0,36 | <0,5 | 0,4 | 0,5 | 0,34 | |
| Co | 22,58 | 54,28 | 75 | 13 | 8 | 7 | 29 | 13 | 6 | 4 | 19,08 |
| Cr | 47,68 | 94 | 40 | 25 | 21 | 27 | 40 | 75 | 35 | 49 | |
| Cu | 93,84 | 146,92 | 203 | 9 | 13 | 11 | 37 | 35 | 49 | 5 | 28,44 |
| Fe | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 33.301,61 |
| Hg | - | - | 0,073 | 0,034 | 0,043 | 0,015 | 0,105 | 0,05 | 0,05 | 0,1 | 0,07 |
| Mn | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 483,51 |
| Mo | - | - | - | - | - | - | - | <4 | <0,9 | 0,5 | <0,006 |
| Ni | 18,3 | 47 | 12 | 10 | 7 | 11 | 13 | 21,5 | 9 | 37,83 | |
| N | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Pb | 16,08 | 36 | 18 | 19 | 16 | 27 | 17 | 19,5 | 13 | 16,54 | |
| Sb | - | - | - | - | - | - | - | <0,5 | 0,5 | 0,2 | 4,18 |
| Se | - | - | - | - | - | - | - | 0,25 | 0,5 | 0,4 | 1,67 |
| V | - | - | 567 | 48 | 56 | 76 | 177 | | 129 | 24 | 47,84 |
| Zn | 55,6 | 78,1 | 120 | 31 | 31 | 29 | 33 | 60 | 46,5 | 35 | 61,35 |

*a) Rochas vulcânicas do Planalto formadas sobre basalto. b) Rochas cristalinas do Escudo Sul-riograndense c) Rochas sedimentares pelíticas da Depressão Periférica. d) Rochas sedimentares areníticas do Planalto, do Escudo Sul-riograndense e da Depressão Periférica (arenitos). e) Sedimentos inconsolidados da Planície Costeira.

- Valor não determinado.

(1) (IMA-SC, 2021); (2) (FEPAM, 2014); (3) (CETESB, 2014); (4) (COPAM, 2011); (5) (CPRH, 2014); (6) (CEMA-SE, 2019).

O estado de São Paulo é o único estado brasileiro que definiu VP para alguns elementos (Soares et al., 2021). Os testes ecotoxicológicos com organismos terrestres são essenciais para

avaliar os impactos de contaminantes no solo e definir limites ou faixas de risco ecológico e evitar que os limites de contaminação não causem danos à biodiversidade e à saúde humana. No entanto, esses testes enfrentam desafios. A metodologia dos testes ecotoxicológicos é complexa e demanda padrões de controle rigorosos que nem sempre estão disponíveis em larga escala no Brasil. A falta de padronização dificulta a adoção ampla desses testes. Além disso, há um número reduzido de especialistas aptos a conduzir testes ecotoxicológicos com organismos terrestres. Esses estudos são demorados e caros, o que limita a realização de testes em maior escala e em regiões que não possuem tanto investimento em pesquisa científica.

SP foi o estado brasileiro pioneiro para a definição dos valores orientadores para solos, em 2001, ampliados e revisados em 2005, 2007 e 2014. Em 2001, publicou uma lista com 37 substâncias com os valores de referência definidos por meio de análises estatísticas de solos coletados em áreas sem influência antrópica por todo o estado (CETESB, 2001). Em 2005, esse documento foi revisado, ampliado para 84 substâncias e foram definidos os VRQ, VP e VI (CETESB, 2005). Em 2007, começou uma nova revisão e adaptação para o método USEPA (1989) e em 2014 uma nova versão foi publicada (CETESB, 2014) com retificação para duas substâncias no mesmo ano (CETESB, 2014).

No estado de MG, foi publicado no ano de 2011 a deliberação normativa da COPAM nº 166 (COPAM, 2011), que estabelece os VRQs para os solos desse estado. A legislação foi desenvolvida por meio dos estudos realizados pelo “Programa Solos de Minas”, por estudos da Universidade Federal de Viçosa, Universidade Federal de Lavras, Universidade Federal de Ouro Preto e da Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. O estudo contemplou as maiores unidades geológicas e também as que tem características peculiares (Abrahão & Marques, 2013). Foram coletadas 499 amostras e subamostras em locais com pelo menos a 200 m de rodovias e a menos de 1 km de centros urbanos ou industriais (Rocha et al., 2013a). Neste mesmo documento, foi estabelecido que em cinco anos os valores deveriam ser revistos. Porém, após doze anos, ainda não houve publicação desses resultados.

No RS, os valores de referência de qualidade foram definidos com base em 254 amostras de estudos realizados pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (FEPAM, 2014). Os valores deveriam ter sido revisados em 2018, mas isso não ocorreu. O território foi dividido em cinco províncias geomorfológicas: a) Rochas vulcânicas do Planalto formadas sobre basalto (108 amostras); b) Rochas cristalinas do Escudo Sul-riograndense (granito, xisto e andesito) (32 amostras), c) rochas sedimentares pelíticas da Depressão Periférica (siltito e argilito) (39

amostras), d) Rochas sedimentares areníticas do Planalto, do Escudo Sul-riograndense e da Depressão Periférica (arenitos) (51 amostras) e e) Sedimentos inconsolidados da Planície Costeira (24 amostras). Dessas amostras, foram definidos os valores de Zn, Cu, Cr, Ni, Pb, Cd, Co, V e Hg.

No PE, os valores foram estabelecidos na Instrução Normativa nº 7 de 07 de julho de 2014 CPRH, 2014), mas não se aplicam ao Arquipélago de Fernando de Noronha, por ter uma formação geológica peculiar. Em estudo realizado (Fabricio Neta et al., 2018), a ilha de Fernando de Noronha teve os solos divididos em três grupos, Neossolos, Vertissolos e Cambissolos. Os Neossolos são originados por sedimentos marinhos e encontradas em encostas inclinadas ou nas dunas e praias, os Cambissolos se encontram em diversos níveis topográficos e os Vertissolos nas depressões e áreas de baixa drenagem. O material de origem é, em sua maioria, de origem vulcânica. Foram realizadas coletas de oito solos e a concentração dos elementos variou. Os elementos As, Cd, Pb, Hg, Mo e Ag ficaram abaixo do limite de detecção. Em ordem crescente, os elementos encontrados, em mg kg^{-1} , foram: Ba (522,15), Cr (237,7), V (122,24), Zn (97,48), Ni (45,81), Cu (24,01), Co (13,02) e Sb (4,6). Foram sugeridos os VRQs, em mg kg^{-1} , para os seguintes elementos: Ba (834,88), Co (19,61), Cu (41,49), Cr (266,13), Ni (58,75), Sb (5,96) e Zn (117,58). Esses dados são influenciados principalmente pelo material de origem do solo e precisam de revisão, pois o número de solos coletados é pequeno.

No estado de SE, a resolução 001/2019 (CEMA-SE, 2019) dispõe sobre os VRQ. O estudo de seis anos foi realizado por uma equipe multidisciplinar da Universidade Federal de Sergipe e foram coletadas 40 amostras de solos representativos de todas as classes de solos em diferentes ecossistemas e em áreas com pouca interferência antrópica (Pedrotti et al., 2018). Apesar de ser o menor estado do país, diversas classes de solos foram encontradas e os VRQ foram definidos.

Em SC, os VRQs foram definidos por estudos realizados pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) em parceria com o Instituto do Meio Ambiente (IMA) que publicou a portaria nº 45/2021 (IMA-SC, 2021). Foram obtidos a partir de 56 amostras de solos previamente caracterizadas por todo o estado. Até o momento, foram definidos valores de referência para oito substâncias inorgânicas: Ba, Cd, Co, Cu, Cr, Ni, Pb e Zn (Suppi et al., 2022) e, para o Co, Cu e Zn, os VRQs foram determinados de acordo com o teor de argila, menor de 59% ou maior ou igual a 59%. O teor de argila é um fator crucial para definir os VRQs dos solos por conta da grande diversidade pedológica em Santa Catarina e da influência direta nas

propriedades físico-químicas dos solos, que afetam a distribuição e a retenção de substâncias inorgânicas. Com essa normatização, é possível garantir a preservação e a qualidade dos solos de acordo com suas especificidades.

É possível observar que, nos estados em que existe a definição dos VRQ para solos em legislação, os elementos Cd, Co, Cr Cu, Ni, Pb e Zn tiveram seus VRQ definidos em todos os estados; Ba, Hg e V em cinco dos seis; Ag, As, Mo, Sb e Se em quatro; B, Fe e Mn em apenas um estado. Isso pode estar relacionado com a complexidade das amostras e cuidado na coleta para elementos voláteis e a falta de VP e VI para elementos como B, Fe e Mn, que embora importantes, podem ser considerados de menor risco ambiental.

Pesquisas em desenvolvimento nas Regiões Sul, Sudeste e Centro-oeste

Nas regiões sul, sudeste e centro-oeste do Brasil, os estados do Paraná (PR), Espírito Santo (ES), Rio de Janeiro (RJ), Mato Grosso (MT), Mato Grosso do Sul (MS) apresentam estudos desenvolvidos e alguns valores de referência de qualidade para solos. Em Goiás (GO) ainda não há uma regulamentação específica dos VRQ para solos (Tabela 3).

No PR, em novembro de 2023, o Conselho Estadual do Meio Ambiente (CEMA) aprovou a Resolução CEMA nº 129/2023, que dispõe sobre procedimentos para proteção da qualidade do solo e das águas subterrâneas e sobre o gerenciamento de áreas contaminadas. A construção dessa normativa demandou inúmeras reuniões da Câmara Temática de Qualidade Ambiental do CEMA, bem como do Grupo de Trabalho criado para tratar e discutir essa questão. Porém, não foram definidos VRQ específicos para o estado. Em estudo conduzido em 72 solos da Bacia do Rio Paraná, os elementos-traço Ag, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Sb, V, Zn foram extraídos pelo método USEPA 3051A (USEPA, 2007). A determinação ocorreu por meio da Espectroscopia de Emissão Óptica com Plasma Induzido (ICP-OES). Os VRQ para o percentil 75 estabelecidos para esta região estão descritos na Tabela 3 (Bocardi et al., 2020).

No ES, 80 pontos amostrais foram delimitados na bacia de Santa Maria da Vitória (Costa, 2015). Os solos foram coletados em uma profundidade de 0 a 20 cm na maior parte em relevo acidentado da floresta remanescente da mata atlântica. Para a análise dos elementos Ag, As, Ba, B, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, N, Se, Pb, Sb, V e Zn se utilizou o método EPA SW-846 por Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES). Os VRQs foram extraídos do percentil 75.

Tabela 3 – VRQ definidos em pesquisas científicas nos estados do sul, sudeste e centro-oeste do Brasil que ainda não possuem legislação estabelecida.

| | PR ⁽¹⁾ | ES ⁽²⁾ | RJ ⁽³⁾ | MT ⁽⁴⁾ | MS ⁽⁵⁾ |
|-----------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | mg kg ⁻¹ | | | | |
| Ag | 0,28 | <LD | - | - | 0,90 |
| As | 6,20 | <LD | - | 7 | 3,17 |
| Ba | 148,51 | 85,00 | 40 | - | 67,7 |
| B | - | 5,90 | 117 | - | 1,25 |
| Cd | 0,82 | <LD | - | <LD | 0,07 |
| Co | - | 8,68 | 6 | - | 11,68 |
| Cr | 43,03 | 51,25 | 52 | 37 | 30,30 |
| Cu | 103,77 | 9,40 | 10 | 4 | 28,49 |
| Fe | - | 10675 | - | - | - |
| Hg | - | <LD | - | <LD | - |
| Mn | - | 98 | - | 12 | - |
| Mo | 0,30 | 2,30 | - | - | 0,13 |
| Ni | 7,93 | 6,10 | 7 | 2 | 8,61 |
| Pb | 14,97 | 2,50 | 15 | 15 | 11,05 |
| Sb | 3,68 | <LD | - | - | - |
| Se | - | <LD | - | <LD | - |
| V | 275,34 | <LD | - | - | 110,58 |
| Zn | 62,35 | 71 | 31 | 4 | 16,40 |

< LD: Abaixo do limite de detecção;
- Valor não determinado.

⁽¹⁾ (Bocardi et al, 2020); ⁽²⁾ (Costa, 2015); ⁽³⁾ (Mattos et al, 2018); ⁽⁴⁾ (Pierangeli et al, 2013); ⁽⁵⁾ (Perez et al, 2022).

No RJ, um estudo foi conduzido na Região do Médio Paraíba e foram definidos os VRQ em três grupos de acordo com as variáveis Mn, Fe e Mg, para os elementos B, Ba, Co, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn (Mattos et al., 2018). Na metodologia, foram coletados 40 amostras de solos nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm e as amostras foram analisadas de acordo com a EPA 3051A. Os VRQs obtidos a partir do percentil 75 dos diferentes grupos de solos apresentaram diferenças significativas, o que traz vantagens para o gerenciamento de áreas contaminadas na região.

No MT, foram coletadas 36 amostras de solo a 0-20 cm de profundidade em áreas de vegetação nativa. Nas amostras de solo, foram determinados os teores de As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Se e Zn usando a metodologia USEPA 3051. Cr, Mn, Pb e Zn foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica de chama; As, Cd, Cu, Ni e Se por atomização

eletrotérmica em forno de grafite; e Hg por geração de hidretos. Os teores naturais foram inferiores se comparados ao restante do Brasil, com exceção do As (Pierangeli et al., 2013).

No MS, a EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) (Perez et al., 2022) realizou um estudo no horizonte A de 156 solos. A digestão ácida foi feita pelo método da EPA 3051A e com água régia para comparação. Os teores Al, B, Ba, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sr, V e Zn foram determinados no ICP-OES e os VRQ foram calculados com base no percentil 75 e 90. A tabela 3 expressa os valores do percentil 75.

Estudos nas regiões Norte e Nordeste do Brasil

Foram encontrados estudos sobre os VRQs nos estados de Alagoas (AL), Bahia (BA), Ceará (CE), Maranhão (MA), Piauí (PI) e Rio Grande do Norte (RN) na região nordeste do Brasil e no Amazonas (AM), Pará (PA), Rondônia (RO) e Tocantins (TO) na região norte (Tabela 4).

Para o estado de AL, um estudo conduzido por Moura (2018), coletou 56 amostras que representaram as principais classes de solo do estado, sob mínima intervenção antrópica seguida da digestão ácida das amostras usando o método EPA 3051A para Ag, As, Ba, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, V e Zn. Os teores de metais pesados foram então analisados por ICP-OES. O autor verificou que os VRQs extraídos do percentil 90, observados nos solos de AL, foram inferiores aos valores de VP e VI contidos na resolução nº 420 de 2009 do CONAMA.

Para o estado da BA (Cardoso et al., 2023), foram definidos VRQs para 23 solos coletados de 0-20 cm da bacia do rio Verruga, avaliando os teores dos elementos As, Cd, Co, Cr, Cu, Pb, Mn, Ni, Zn e Fe. As concentrações foram determinadas seguindo o método EPA 3051A e analisadas por ICP-OES e o VRQ de cada elemento foi determinado com base no percentil 75 ou 90 do universo amostral após a remoção das anomalias por meio da análise box-plot de acordo com as recomendações do CONAMA (2009). Os dados da Tabela 4 mostram o percentil 75. Esses dados são essenciais para o planejamento estratégico de uso do solo na região e também servem como base para futuras pesquisas de monitoramento ambiental.

Tabela 4 – VRQs definidos em estudos nos estados do norte e nordeste do Brasil que ainda não possuem legislação definida.

| | AL ⁽¹⁾ | BA ⁽²⁾ | CE ⁽³⁾ | MA ⁽⁴⁾ | RN ⁽⁵⁾ | AM ⁽⁶⁾ | PA ⁽⁷⁾ | RO ⁽⁸⁾ |
|-----------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | mg kg ⁻¹ | | | | | | | |
| Ag | <0,003 | - | - | - | 0,88 | - | - | - |
| Al | | - | 23970 | - | - | - | 14800 | - |
| As | 0,66 | 3,00 | - | - | - | - | 1,9 | - |
| B | - | - | - | - | - | 12,9 | - | - |
| Ba | 133,48 | - | 45,93 | - | 58,91 | 11 | 49,5 | - |
| Cd | 0,21 | 0,05 | < 0,69 | 2,88 | 0,10 | - | 0,3 | 0,3 |
| Co | 11,94 | 0,75 | 7,14 | 3,64 | 15,41 | - | 4,8 | 21,3 |
| Cr | 42,93 | 41,59 | 31,21 | 82,96 | 30,94 | 109,4 | 22,1 | 44,8 |
| Cu | 19,06 | 5,79 | 15,27 | 48,61 | 13,69 | 3,5 | 9,8 | 20,6 |
| Fe | 28.726,61 | - | 23090 | - | - | 20.375 | 17800 | - |
| Hg | 0,11 | - | - | - | - | - | - | - |
| Mn | 591,65 | 81,11 | 231,02 | 95,66 | - | 88,2 | 101 | - |
| Mo | 0,31 | - | 2,54 | - | - | 1,6 | - | - |
| Ni | 17,69 | 5,28 | 13,11 | 34,95 | 19,84 | 3,5 | 4,5 | 2,1 |
| Pb | 19,35 | 4,85 | 12,8 | 1,06 | 16,18 | - | 17,8 | 9,0 |
| Sb | 1,58 | - | - | 4,98 | 0,18 | - | - | - |
| Sc | - | - | - | 7,06 | - | - | - | - |
| Se | 1,55 | - | - | 5,64 | - | - | - | - |
| Sn | - | - | - | 59,13 | - | - | - | - |
| V | 42,07 | - | 40,24 | 56,88 | 28,71 | 72,5 | 74,1 | - |
| Zn | 26,16 | 21,13 | 50,97 | 70,59 | 23,85 | 8,2 | 16,2 | 3,0 |

- Valor não determinado.

⁽¹⁾ (Moura, 2018); ⁽²⁾ (Cardoso et al, 2023); ⁽³⁾ (Moreira, 2014); ⁽⁴⁾ (Kano, 2020); ⁽⁵⁾ (Nascimento et al, 2021); ⁽⁶⁾ (Rebello et al, 2020); ⁽⁷⁾ (Fernandes et al, 2018); ⁽⁸⁾ (Santos; Alleoni, 2013).

A determinação dos VRQs para os elementos-traço nos solos de mangue do estado do CE foi realizado com base em amostras coletadas nos estuários dos rios Timonha, Coreaú, Aracati-Mirim e Ceará (Moreira, 2014). A coleta das amostras de solo no Ceará foi realizada durante maré baixa e em áreas de mangue, utilizando tubos de PVC para obter amostras da camada superficial (0-20 cm). A metodologia incluiu a caracterização física, química e mineralógica dos solos, além da determinação dos teores naturais dos elementos-traço Al, Ba, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, V e Zn (Tabela 4). Para a extração dos metais, foi utilizado

o método da EPA 3051A. Os VRQ foram definidos de acordo com o percentil 75 e 90. Na tabela 4, está expresso o percentil 75, que é mais restritivo.

Os VRQs para os solos do MA foram definidos a partir de amostras coletadas de 0 a 20 cm em 29 locais distribuídos em diferentes municípios e biomas do estado, abrangendo áreas com mínima interferência humana (Kano, 2020). Foram avaliados 13 elementos-traço (Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Sc, Se, Sn, V e Zn), cujas concentrações foram determinadas por espectrometria de emissão óptica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES) (Tabela 4). Os VRQs foram calculados utilizando o percentil 75, excluindo resultados discrepantes. Esses dados foram publicados apenas em um trabalho de conclusão de curso e, conforme informações fornecidas pelos autores, o projeto não teve andamento. O trabalho apresentou dados preliminares obtidos a partir das primeiras análises realizadas com base na coleta inicial. No entanto, para a conclusão adequada do estudo, seriam necessárias coletas adicionais ao longo de dois anos, contemplando as estações seca e chuvosa. Contudo, com a mudança de governo, o projeto perdeu apoio e foi descontinuado, impossibilitando a determinação dos VRQs conforme a metodologia proposta. O projeto foi interrompido e os VRQs não foram estabelecidos para o estado do Maranhão.

No PI, foram estabelecidos os VRQs de elementos terras raras (ETR). Foram coletadas 245 amostras de solo em áreas com mínima interferência antrópica (Landim, 2019). O processo de digestão ácida foi feito de acordo com a metodologia EPA 3051A. As concentrações de ETRs foram analisadas por espectroscopia de emissão óptica. Os resultados mostram concentrações mais altas em comparação com outros estados, ressaltando a necessidade de estabelecer VRQs regionais. Os VRQs definidos pelo percentil 75, em mg kg^{-1} , foram: Ce (Cério) (17,49), La (Lantânio) (7,58), Nd (Neodímio) (6,33), Pr (Praseodímio) (2,36), Sm (Samário) (1,27), Dy (Disprósio) (0,66), Gd (Gadolínio) (0,41), Er (Érbio) (0,29), Yb (Ítérbio) (0,24), Eu (Európio) (0,21), Tb (Térbio) (0,15) e Lu (Lutécio) (0,09). Para os demais elementos, não foram encontrados estudos publicados no estado. Foram determinados apenas os valores de referência geoquímica (VRG) em um estudo no Piauí (Santos, 2017). Os VRQ focam na qualidade ambiental e saúde pública, enquanto os VRG são parâmetros geológicos para caracterizar a composição natural do solo sem interferência humana. As 16 amostras de solos foram coletadas próximas ao rio Parnaíba, de 0 a 20 e de 20 a 40 cm. A digestão foi pelo método 3050B e a quantificação dos elementos Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb e Zn foi por absorção atômica.

Para o RN, foram coletadas 416 amostras de solos, na camada de 0-20 cm. Os elementos analisados foram Ag, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb, V e Zn. O método de digestão foi o EPA 3051A e a determinação foi via ICP-OES. Os autores compreendem que variação observada nos VRQs estabelecidos nos solos do Rio Grande do Norte em relação aos determinados nas diversas regiões do Brasil reflete a diversidade dos materiais de origem, fatores e processos de formação dos solos, bem como as características intrínsecas de cada classe de solo e metal analisado. Os dados do percentil 75 dos VRQs para os solos do RN estão descritos na Tabela 4 (Nascimento et al., 2021).

Para o estado do AM, foi realizada a caracterização de 30 amostras de solos não contaminados de diferentes regiões em camadas de 0-30 cm em uma microbacia, em três diferentes topografias, para 14 elementos (B, Ba, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Si, Sr, Ti, V e Zn) em solos da Amazônia Central. A digestão foi feita com ácido sulfúrico e peróxido de hidrogênio. Os elementos químicos presentes no extrato foram analisados por meio de espectrometria de absorção atômica com chama de ar/acetileno. Os resultados mostraram que os VRQs na Amazônia são geralmente mais baixos do que os estabelecidos em outras regiões brasileiras, refletindo as características naturais dos solos amazônicos e a baixa influência antrópica nas áreas estudadas (Rebêlo et al., 2020).

Para o estado do PA, foram coletadas amostras de 168 áreas da camada superficial (0-20 cm) em diversas regiões, com mínima intervenção antrópica, que compõem um banco de solos do estado. Os teores naturais dos elementos foram extraídos pelo método USEPA 3051 e determinados em ICP OES, onde foram definidos os VRQs para As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni e Pb (Fernandes et al., 2018a). O estudo recomendou a utilização do percentil 90 para o estado (Tabela 4), pois existe uma grande variedade de solos e esse limiar estabelece padrões adequados para o monitoramento ambiental e para a proteção da qualidade dos solos na Amazônia. Com essa ferramenta, os órgãos de proteção e monitoramento ambiental poderão implementar ações mais eficazes e direcionadas para a região amazônica.

Em estudo realizado em RO, foram utilizados os métodos da água régia e EPA 3051 para extração dos metais Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn. O estudo fez amostragem de 0-20 cm de 19 solos representativos da região. A água régia apresentou melhores recuperações entre os metais Co, Ni, Pb e Zn dos solos dessa região que tem como principal formação a Solimões (Santos; Alleoni, 2013). Os resultados do estudo para os elementos com o método EPA 3051 no percentil 75 estão na Tabela 4.

No estado do TO, um estudo conduzido por Ramos et al. (2020) relata que ainda não há VRQs definidos para o estado. Desde 2018, existe um plano de ação, solicitado pela Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos para um mapeamento da área para realizar a determinação dos VRQs bem como, estabelecer diretrizes para o gerenciamento ambiental. Este trabalho é desenvolvido em parceria um grupo de instituições, como Instituto Natureza do Tocantins, Universidade Federal do Tocantins, Fundação Universidade do Tocantins, Embrapa Pesca e Aquicultura, Secretaria de Desenvolvimento da Agricultura e Pecuária entre outros, porém os dados ainda não foram publicados.

Não foram encontrados estudos publicados na Paraíba (PB) na região nordeste. Já na região norte, no Acre (AC) e Roraima (RR) não foram encontradas publicações sobre a definição dos VRQ. Os VRQ para solos do Amapá também ainda não foram definidos, especialmente para elementos-traço e outros poluentes. Os estudos realizados em outras regiões da Amazônia indicam que os valores de referência podem variar significativamente de acordo com as características locais, como a geologia e a ocupação do solo. Isso é fundamental para evitar a contaminação e garantir a qualidade ambiental. Assim, a definição desses valores é um passo importante para o monitoramento ambiental, especialmente nas áreas de expansão agrícola e uso de recursos naturais (Fernandes et al., 2018b).

Desafios na definição dos VRQs para solos brasileiros

A definição dos VRQ depende da implementação de estudos regionais detalhados, o que pode ser mais desafiador em estados com menos infraestrutura ou recursos destinados à gestão ambiental. A ausência de definição dos VRQ em alguns estados pode ser resultado de uma combinação de limitações de recursos, complexidade técnica e priorização de outras questões ambientais. Os estudos demandam recursos financeiros consideráveis para coleta de amostras, análises laboratoriais, contratação de especialistas e aquisição de equipamentos. Definir VRQ de forma adequada exige uma equipe técnica qualificada. Estados com menos infraestrutura ou menor tradição em pesquisa ambiental podem não ter capacidade técnica local para conduzir esses estudos (Brasil, 2009). Alguns podem precisar de parcerias com universidades e centros de pesquisa, o que nem sempre é fácil de estabelecer.

Além disso, o Brasil possui uma enorme diversidade geológica e pedológica, o que faz com que a definição de VRQ seja um processo bastante complexo. Cada estado tem solos com

características específicas e não é possível aplicar um valor genérico para todas as regiões. Isso demanda uma análise cuidadosa e detalhada, levando em conta as variações de solo e clima em cada território. Em alguns estados, essa complexidade acaba resultando em um processo mais demorado. A criação de normas ambientais, como a definição dos VRQ, depende de processos burocráticos que envolvem a realização de consultas públicas, revisões técnicas e aprovações por órgãos estaduais de meio ambiente. Em muitos casos, esses processos são demorados e podem encontrar entraves políticos ou administrativos, atrasando a implementação. Em alguns estados pode haver menos pressão econômica ou social para definir esses valores (Brasil, 2009).

Além dessas questões, a metodologia de digestão para a extração de elementos-traço recomendada pela Resolução CONAMA nº 420 de 2009 (Brasil, 2009) sugere o uso dos métodos 3050 e 3051 da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) para a análise de substâncias inorgânicas, exceto o Hg. O método 3050B utiliza um sistema aberto de extração, com chapa de aquecimento, micro-ondas aberto ou bloco digestor. O tempo de digestão é longo e podem ocorrer perdas por volatilização. Já o método 3051A trabalha com o sistema fechado de digestão, como o micro-ondas e utiliza o método de digestão com HNO₃ ou com a água régia invertida. Esse método tem como vantagens o fato de ter menos perdas e menos riscos. Existe, ainda, considerável incerteza quanto à qualidade e à segurança das informações, alguns estados não utilizaram metodologia padrão e nem materiais de referência certificados para assegurar a confiabilidade dos resultados.

É importante destacar que o tipo de solo também influencia as diferenças entre os métodos. No estado de São Paulo, os elementos Ag, Al, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Zn e V apresentaram maiores valores de extração pelo método 3051A (CETESB, 2001) (SBCS, 2013). Já um estudo realizado em Santa Catarina, mostrou que a concentração do NIST 2709A se manteve sem diferença significativa para os teores de níquel (Ni) nos métodos 3050B e 3051A (Madeira et al., 2013). O problema é que a metodologia da CONAMA permite utilizar os dois métodos da USEPA e os valores obtidos podem variar para alguns elementos. Os diferentes valores em relação às concentrações detectadas podem ser influenciados pelas condições de análise, como tipo de equipamento, temperatura, pressão, tempo de digestão e reagentes. Além da composição do solo que também pode influenciar no resultado dessas análises.

No entanto, à medida que mais estados avançam com seus estudos e implementações, há a expectativa de que esse processo se torne mais acessível e generalizado no país, garantindo a proteção adequada dos solos em todas as regiões.

Conclusões

- A definição dos VRQs para solos nos estados do Brasil, conforme a Resolução CONAMA nº 420 de 2009, ainda está em processo de desenvolvimento e implementação. Embora a resolução tenha estabelecido a obrigatoriedade de os estados definirem seus VRQs, a maioria dos estados não concluíram esse processo até o prazo estipulado. Cada estado precisa realizar estudos locais para determinar as concentrações naturais dos elementos químicos no solo, levando em consideração a composição geológica, tipos de solos e influências antrópicas.
- A ausência de estudos foi mais evidente em estados das regiões norte e nordeste, com menor infraestrutura e recursos destinados à gestão ambiental. Por outro lado, estados como São Paulo apresentaram maior sucesso na definição e uso de VRQs, com processos mais consolidados e uniformidade nas metodologias empregadas. No entanto, na maioria dos estados brasileiros há desafios persistentes, como a necessidade de revisão periódica e ajustes metodológicos para garantir a precisão e confiabilidade dos resultados. Alguns estados apresentaram os estudos com metodologias não padronizadas e não regulamentaram após a publicação inicial.
- A definição dos VRQs é essencial para o gerenciamento de áreas contaminadas e a preservação da qualidade ambiental e da saúde pública. Ainda há muito a evoluir em relação à legislação ambiental no Brasil, principalmente no que tange aos VRQs. É de grande importância para a conservação dos recursos naturais que os estados realizem estudos com embasamento legal e científico para estabelecer os valores orientadores de acordo com as características pedogeoquímicas de cada região.

Referências Bibliográficas

Abrahão, W. A. P., & Marques, J. J. (2013). *Coleta de solos para valores de referência de qualidade no estado de Minas Gerais*. Fundação Estadual do Meio Ambiente.

- Ali, H., Khan, E., & Ilahi, I. (2019). Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: Environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal of Chemistry*, 2019, Article 6730305. <https://doi.org/10.1155/2019/6730305>
- Alloway, B. J. (2013). Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability. In *Heavy metals in soils* (pp. 7–28). Springer.
- Bocardi, J. M. B., Campos, P., Costa, A. F. S., Costa, A. N., & Fernandes, A. R. (2020). Quality reference values for heavy metals in soils developed from basic rocks under tropical conditions. *Journal of Geochemical Exploration*, 217, 106591. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2020.106591>
- Brasil. (1981). *Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981*. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente.
- Brasil. (1988). *Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*.
- Brasil. (2009). *Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009*. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas. Brasília, DF.
- Brasil. (2013). *Resolução nº 460, de 30 de dezembro de 2013*.
- Campos, P., Bocardi, J. M. B., Fernandes, A. R., & Costa, A. F. S. (2020). Biochar amendment increases bacterial diversity and vegetation cover in trace element-polluted soils: A long-term field experiment. *Soil Biology and Biochemistry*, 150, 108014. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.108014>
- Cardoso, K. M., Alves, M. C., Amorim, C. M., & Souza, L. G. (2023). Watershed-scale assessment of environmental background values of soil potential toxic elements from the Caatinga and Atlantic forest ecotone in Brazil. *Chemosphere*, 338, 139394. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139394>
- CEMA-SE. (2019). *Resolução nº 01/2019 de 27 de fevereiro de 2019*. Dispõe sobre os critérios e valores de referência da qualidade do solo.
- CETESB. (2001). *Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo*. Governo do Estado de São Paulo.

- CETESB. (2005). *Decisão de Diretoria n° 195/2005/E, de 23 de novembro de 2005.*
- CETESB. (2014a). *Decisão de Diretoria n° 045/2014/E/C/I, de 20 de fevereiro de 2014.*
- CETESB. (2014b). *Decisão de Diretoria n° 330/2014/E/C/I, de 5 de novembro de 2014.*
- COPAM. (2011). *Resolução COPAM n° 166, de 29 de junho de 2011.*
- Costa, A. F. S., & Costa, A. N. (n.d.). *Valores orientadores de qualidade de solos no Espírito Santo.*
- CPRH. (2014). *Instrução Normativa CPRH n° 7, de 7 de julho de 2014.* Pernambuco.
- De Matos Rebêloa, A. G., Silva, E. C., Fernandes, A. R., & Santos, J. N. (2020). Valores de referência da concentração de metais pesados em solos na Amazônia Central. *Química Nova*, 43(5), 534–539. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170534>
- De Mattos, A. G., Landim, J. S. P., & Silva, M. A. C. (2018). Multivariate analyses to establish reference values for soils in Médio Paraíba, state of Rio de Janeiro, Brazil. *Revista Ciência Agronômica*, 49(1), 1–10. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20180001>
- Fabricio Neta, A. de B., Campos, P., & Fernandes, A. R. (2018). Natural concentrations and reference values for trace elements in soils of a tropical volcanic archipelago. *Environmental Geochemistry and Health*, 40(1), 163–173. <https://doi.org/10.1007/s10653-017-9905-z>
- FEPAM. (2014). *Portaria FEPAM n° 85/2014.*
- Fernandes, A. R., Costa, A. N., & Campos, P. (2018a). Quality reference values and background concentrations of potentially toxic elements in soils from the Eastern Amazon, Brazil. *Journal of Geochemical Exploration*, 190, 453–463. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2018.04.004>
- Fernandes, A. R., Costa, A. N., & Campos, P. (2018b). Quality reference values and background concentrations of potentially toxic elements in soils from the Eastern Amazon, Brazil. *Journal of Geochemical Exploration*, 190, 453–463. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2018.04.004>
- IMA-SC. (2021). *Portaria n° 45/2021, de 19 de março de 2021.*

- Kano, R. S. (2020). O estabelecimento dos VRQ para metais pesados nos solos de mangue do estado do CE foi realizado com base em amostras coletadas nos estuários dos rios Timonha, Coreaú, Aracati-Mirim e Ceará. *Engenharia Química*.
- Landim, J. S. P. (2019). *Teor natural e valores de referência de qualidade de elementos terras raras em solos do Piauí* [Tese de doutorado, Universidade Federal do Piauí].
- Lehmann, J., Bossio, D. A., Kögel-Knabner, I., & Rillig, M. C. (2020). The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(10), 544–553. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-0>
- Madeira, M. M., Miquelutti, D. J., & Campos, M. L. (2013). *Determinação de teores naturais de níquel em solos do estado de Santa Catarina* [Monografia de graduação, UDESC].
- Marrugo-Negrete, J., & Pinedo-Hernández, J. (2017). Assessment of heavy metal pollution, spatial distribution and origin in agricultural soils along the Sinú River Basin, Colombia. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 154, 380–388. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.02.063>
- Moreira, C. C. L. (2014). *Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos de mangue do estado do Ceará: Subsídios para gestão da zona costeira* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Maranhão].
- Moura, A. B. (2018). *Valores de referência de qualidade (VRQs) de metais pesados para os principais tipos de solos de Alagoas* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Alagoas].
- Nascimento, C. W. A. do, Souza, L. M. N., & Oliveira, D. M. (2021). Geopedology–climate interactions govern the spatial distribution of selenium in soils: A case study in northeastern Brazil. *Geoderma*, 399, 115119. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115119>
- Pedrotti, A., Fernandes, A. R., & Costa, A. N. (2018). Biological activity as an indicator of soil quality under different cultivation systems in Northeastern Brazil. *Journal of Experimental Agriculture International*, 22(3), 1–13. <https://doi.org/10.9734/JEAI/2018/42310>
- Perez, D. V., Abrahão, W. A. P., Marques, J. J., & Silva, M. A. C. (2022). *Determinação de valores de referência de qualidade para solos do estado do Mato Grosso do Sul*.

- Pierangeli, M., Silva, E. C., & Fernandes, A. R. (2013). Valores de referência de elementos-traço em solos do estado de Mato Grosso: Estudo preliminar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37(4), 911–921. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000400004>
- Ramos, M. R., Costa, A. N., & Lima, E. M. (2020). Contaminação por metais pesados em áreas agrícolas no estado do Tocantins. *Tecno-Lógica*, 24(2), 166–178. <https://doi.org/10.17058/tecnolog.v24i2.14096>
- Rocha, O. G. F., Abrahão, W. A. P., & Marques, J. J. (2013). *Manual de procedimentos analíticos para determinação de VRQ de elementos-traço em solos do estado de Minas Gerais*. Fundação Estadual do Meio Ambiente.
- Santos, S. N. dos, & Alleoni, L. R. F. (2013). Reference values for heavy metals in soils of the Brazilian agricultural frontier in Southwestern Amazônia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(7), 5737–5748. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2970-5>
- Santos, J. N. (2017). *Valores de referência geoquímicos do solo nos estados do Piauí e Maranhão: A nova fronteira agrícola brasileira* [Tese de doutorado, Universidade Estadual do Oeste do Paraná].
- Sociedade Brasileira de Ciência do Solo [SBCS]. (n.d.). *SBCS: Solos contaminados no Brasil – O desafio de definir valores de referência*. <https://issuu.com/boletimsbcs/docs/130521121653-791b9793eab84f3dbd8e0f9c1eac4c15>
- Soares, M. R., Sarkis, J. E. de S., & Alleoni, L. R. F. (2021). Proposal of new distribution coefficients (Kd) of potentially toxic elements in soils for improving environmental risk assessment in the State of São Paulo, southeastern Brazil. *Journal of Environmental Management*, 285, 112044. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112044>
- Suppi, I. M., Santos, J. N., & Costa, A. N. (2022). Trace elements reference values for soils from Santa Catarina, Brazil. *Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, 26(3), 328–337. <https://doi.org/10.17921/1415-6938.2022v26n3p328-337>
- VROM. (1988). *Premises for risk management: Annex to the Dutch Environmental Policy Plan* (pp. 21–23). Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment.

Wang, X., Zhao, J., & Liu, Q. (2020). Contamination, ecological and health risks of trace elements in soil of landfill and geothermal sites in Tibet. *Science of the Total Environment*, 715, 136639. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136639>

Xie, T., Li, Y., & Zhu, L. (2017). A system dynamics approach to understanding the One Health concept. *PLoS ONE*, 12(9), e0184430. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184430>

Publisher: Universidade Federal de Jataí. Instituto de Geografia. Programa de Pós-graduação em Geografia. Publicação no Portal de Periódicos UFJ. As ideias expressadas neste artigo são de responsabilidade de seus autores, não representando, necessariamente, a opinião dos editores ou da universidade.

Contribuições dos autores: Daniely Neckel Rosini: análise dos dados, organização dos dados e tabelas, escrita e discussão; Luiz Paulo Rauber: validação, escrita e revisão; Mari Lucia Campos: orientação, análise formal de dados e revisão da escrita. Declaramos ainda ciência das Diretrizes Gerais da Geoambiente On-line.

Financiamento: Bolsa de pós-graduação nível Doutorado do Programa de Bolsas Universitárias de Santa Catarina (UNIEDU-SC). À Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) e ao Instituto de Meio Ambiente de Santa Catarina (IMA-SC) pelo apoio financeiro fundamental para o desenvolvimento da pesquisa.

Conflito de interesse: Os autores declaram que não possuem interesses financeiros ou não financeiros relevantes relacionados a este trabalho.