



PAULO HENRIQUE BRITO JUNIOR

**AVALIAÇÃO DAS REGULAMENTAÇÕES LEGAIS QUANTO
À PROTEÇÃO DO SOLO NO BRASIL E HOLANDA**

LAVRAS-MG

2025

PAULO HENRIQUE BRITO JUNIOR

**AVALIAÇÃO DAS REGULAMENTAÇÕES LEGAIS QUANTO À PROTEÇÃO DO
SOLO NO BRASIL E HOLANDA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Tecnologias e Inovações Ambientais, área de concentração Solo e sua interface com o ambiente, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. João José Granate de Sá e Melo Marques
Orientador

**LAVRAS-MG
2025**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Junior, Paulo Henrique Brito.

Avaliação das regulamentações legais quanto à proteção do
solo no Brasil e Holanda / Paulo Henrique Brito Junior. - 2021.
55 p. : il.

Orientador(a): João José Marques Granate de Sá e Melo
Marques.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de
Lavras, 2021.

Bibliografia.

1. Solos. 2. Legislação ambiental. 3. Áreas contaminadas. I.
Marques, João José Marques Granate de Sá e Melo. II. Título.

PAULO HENRIQUE BRITO JUNIOR

**AVALIAÇÃO DAS REGULAMENTAÇÕES LEGAIS QUANTO À PROTEÇÃO DO
SOLO NO BRASIL E HOLANDA**

**ASSESSMENT OF LEGAL REGULATIONS REGARDING SOIL PROTECTION IN
BRAZIL AND THE NETHERLANDS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Tecnologias e Inovações Ambientais, área de concentração Solo e sua interface com o ambiente, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADO em 30 de julho de 2021.

Dr. João José Granate de Sá e Melo Marques UFLA

Dr. Guilherme Lopes UFLA

Dr(a). Shirlei Almeida Assunção

Prof. Dr. João José Granate de Sá e Melo Marques
Orientador

**LAVRAS-MG
2025**

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha sincera gratidão à CAPES, FAPEMIG, e CNPq pelo apoio financeiro e pela viabilização deste trabalho. Agradeço também à Universidade Federal de Lavras (UFLA), em especial ao meu orientador, Prof. Dr. João José Granate de Sá e Melo Marques, pela orientação, paciência e dedicação ao longo de toda a pesquisa. Sem o seu apoio, este trabalho não teria sido possível. Agradeço ainda aos meus familiares e amigos pelo apoio constante e pela motivação durante toda essa jornada acadêmica

RESUMO

Devido ao crescimento das populações e das necessidades de consumo, as indústrias cresceram consideravelmente em número, áreas de atuação, variedade de produtos e necessidade de exploração dos recursos naturais. Entretanto, a preocupação com o meio ambiente não acompanhou imediatamente este desenvolvimento socioeconômico, resultando em diversos impactos ambientais. Com o surgimento dos impactos ambientais inúmeros pensamentos começaram a se desenvolver com o intuito de criar políticas ambientais relativas à qualidade do ar, água e solo. Nas últimas décadas a Holanda foi precursora no desenvolvimento de políticas ambientais para proteção de solo e água subterrânea, sendo o primeiro país a formalizar um programa nacional para avaliação de contaminação e estabelecimento de níveis de intervenção, considerando para o solo sua multifuncionalidade, ou seja, as funções de agricultura, ecologia, transporte, suprimento de água potável dentre outros. Visando proteger as funções dos solos e águas subterrâneas a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) propôs valores orientadores para solos e águas subterrâneas em 2001, com base na metodologia desenvolvida na Holanda. Em 2009, o Brasil estabeleceu a regulamentação federal (Resolução CONAMA nº 420/2009) considerando a necessidade de prevenção da contaminação do solo visando à manutenção de sua funcionalidade e a proteção da qualidade das águas superficiais. O presente estudo visa analisar os aspectos técnicos e legais que justificam as regulamentações quanto proteção do solo, resgatar e analisar os aspectos técnicos que justificam ou embasam o estabelecimento da proteção do solo, analisando separadamente: Conceito, definição e importância dos solos; Metais pesados presentes no solos; Políticas Ambientais Brasileiras; Evolução das políticas ambientais quanto a proteção do solo; Aspectos técnicos e legais quanto a proteção do solo na Holanda e Brasil. O presente estudo seguiu à seguinte classificação de pesquisa, com relação a natureza, esta pesquisa é considerada aplicada. Com relação aos seus objetivos, esta pesquisa é exploratória, do qual o conhecimento das questões técnicas e legais sobre as políticas de proteção do solo envolvendo o levantamento bibliográfico de normas jurídicas e de trabalhos técnicos. Com relação aos procedimentos técnicos, é uma pesquisa bibliográfica e documental, elaborada a partir do levantamento e estudo do arranjo legal que trata da instituição das políticas de proteção do solo na Holanda e Brasil.

Palavras-chave: Solos. Áreas contaminadas. Políticas ambientais. Gerenciamento de áreas contaminadas. Proteção do solo.

ABSTRACT

Due to the growth of populations and consumption needs, industries have grown considerably in number, areas of activity, variety of products and need for exploitation of natural resources. However, the concern with the environment did not immediately accompany this socioeconomic development, resulting in several environmental impacts. With the emergence of environmental impacts countless thoughts began to develop in order to create environmental policies related to air, water and soil quality. In recent decades the Netherlands has been a forerunner in the development of environmental policies for soil and groundwater protection, being the first country to formalize a national program for contamination assessment and establishment of intervention levels, considering for the soil its multifunctionality, that is, the functions of agriculture, ecology, transportation, supply of drinking water among others. In order to protect the functions of soils and groundwater, the Environmental Company of the State of São Paulo (CETESB) proposed guiding values for soils and groundwater in 2001, based on the methodology developed in the Netherlands. In 2009, Brazil established federal regulations (CONAMA Resolution N° 420/2009) considering the need to prevent soil contamination in order to maintain its functionality and protect surface water quality. This study aims to analyze the technical and legal aspects that justify the regulations regarding soil protection, rescue and analyze the technical aspects that justify or underpin the establishment of soil protection, analyzing separately: Concept, definition and importance of soils; Heavy metals present in soils; Brazilian Environmental Policies; Evolution of environmental policies regarding soil protection; Technical and legal aspects regarding soil protection in the Netherlands and Brazil. The present study followed the following research classification, with respect to nature, this research is considered applied. With regard to its objectives, this research is exploratory, from which the knowledge of technical and legal issues about soil protection policies involving the bibliographic survey of legal norms and technical work. With regard to technical procedures, it is a bibliographic and documentary research, elaborated from the survey and study of the legal arrangement that deals with the establishment of soil protection policies in the Netherlands and Brazil.

Keywords: Soils. Contaminated Areas. Environmental Policies. Contaminated Area Management. Soil Protection.

INDICADORES DE IMPACTO

O estudo quantificou impactos sociais, tecnológicos e culturais, destacando avanços na saúde pública e novas tecnologias de remediação de solos. Apresentou caráter extensionista ao envolver parceiros e comunidades externas, beneficiando diretamente gestores e populações impactadas. O território abrange Brasil e Holanda, com impacto na área temática de meio ambiente. A pesquisa alinha-se ao ODS 11, promovendo cidades e comunidades sustentáveis, fortalecendo a sustentabilidade global.

IMPACT INDICATORS

The study quantified social, technological, and cultural impacts, highlighting advancements in public health and new soil remediation technologies. It demonstrated an extensionist approach by involving partners and external communities, directly benefiting managers and impacted populations. The territory covers Brazil and the Netherlands, focusing on the thematic area of the environment. The research aligns with SDG 11, promoting sustainable cities and communities and strengthening global sustainability.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	11
2.1	Objetivo geral.....	11
2.2	Objetivos específicos.....	11
3	METODOLOGIA.....	12
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
4.1	Solos	13
4.2	Qualidade do solo.....	14
4.3	Metais pesados	17
4.4	Holanda - Aspectos legais e normativos da proteção do solo	19
4.5	Holanda - Aspectos técnicos para a identificação e gerenciamento de áreas contaminadas	23
4.5.1	Passo a passo para avaliação de risco- Remediação do solo Circular 2013	24
4.5.1.1	Etapa 1: Determinar um caso de contaminação grave	26
4.5.1.2	Etapa 2: Avaliação de risco padrão	27
4.5.1.3	Etapa 3: Avaliação de risco específica do local.....	28
4.6	Políticas Ambientais Brasileiras como instrumento de proteção ambiental.....	28
4.7	Brasil - Aspectos legais e normativos da proteção do solo.....	30
4.8	Brasil - Aspectos técnicos para a identificação e gerenciamento de áreas contaminadas	35
4.8.1.1	Etapa 1: Avaliação Preliminar	39
4.8.1.2	Etapa 2: Investigação confirmatória.....	40
4.8.1.3	Etapa 3: Avaliação de risco.....	41
5	CONCLUSÃO.....	46
	REFERÊNCIAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento das populações e da necessidade de consumo, as indústrias cresceram consideravelmente em número, áreas de atuação, variedade de produtos e necessidade de exploração dos recursos naturais. Entretanto, a preocupação com o meio ambiente não acompanhou imediatamente este desenvolvimento socioeconômico, resultando em diversos impactos ambientais.

Com o surgimento dos impactos ambientais inúmeros pensamentos começaram a se desenvolver com o intuito de criar políticas ambientais relativas à qualidade do ar, água e solo. As políticas ambientais que abrangem a qualidade da água e do ar vêm sendo desenvolvidas desde meados do século XX, uma vez que a poluição química foi percebida como uma importante questão sociopolítica. O conceito de padrão de qualidade química, que pode ser entendido como a concentração máxima de um poluente químico que deveria ser permitido em uma amostra ambiental, foi desenvolvido para qualidade do ar e de corpos d'água há várias décadas. No entanto, as regulamentações de qualidade do solo foram desenvolvidas posteriormente, provavelmente porque as consequências dos solos poluídos geralmente levam períodos mais longos para se manifestar e também devido à dificuldade adicional relacionada à propriedade da terra. Contudo, nos últimos 20 a 30 anos, os países mais industrializados desenvolveram regulamentos relacionados à proteção do solo (RODRIGUEZ; LAFARGA, 2011).

Nas últimas décadas a Holanda foi precursora no desenvolvimento de políticas ambientais para proteção de solo e água subterrânea, sendo o primeiro país a formalizar um programa nacional para avaliação de contaminação e estabelecimento de níveis de intervenção, considerando para o solo sua multifuncionalidade, ou seja, as funções de agricultura, ecologia, transporte, suprimento de água potável dentre outros (CETESB, 2001).

Nesse sentido como segmento do empenho de desenvolvimento de políticas ambientais a Holanda estabeleceu, no ano de 1983, valores orientadores para solos de acordo com o princípio de multifuncionalidade. Esses valores orientadores foram apresentados em uma lista como guia de avaliação e remediação de locais contaminados. Esta lista de valores é frequentemente referida como a “Lista Holandesa” ou “Lista ABC”. Posteriormente em 1987 a Holanda estabeleceu a Lei de Proteção do Solo (Soil Protection Act) com o objetivo de fornecer melhor gerenciamento e desenvolvimento sustentável do uso do solo.

Com o avanço da Holanda em relação a proteção do solo, outros países começaram a seguir a tendência estabelecendo uma lista orientadora geral de valores de referência de

qualidade. Estas listas foram elaboradas com base nas análises de amostras de solo e de águas subterrâneas, nas quais foram criados os valores de alerta com caráter preventivo e os valores de intervenção com caráter de indicar alguma ação. Esses valores foram estabelecidos a partir de modelos matemáticos de avaliação de risco, utilizando-se diferentes cenários de uso e ocupação do solo previamente definidos, considerando-se diferentes vias de exposição e quantificando-se as variáveis toxicológicas (DIAS; CASARINI, 1996).

Os Estados Unidos da América, por meio da - Agência de Proteção Ambiental Americana, concebeu, em 1991, um estudo técnico que visaria identificar alternativas para acelerar o processo de remediação do solo nos locais selecionados como prioritários de acordo com a “National Priorities List” e com o “Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act” - CERCLA, mais conhecido como programa “Superfund”. Uma das propostas específicas deste estudo foi a de “avaliar meios de desenvolver padrões e valores guia para solos contaminados” (EPA, 1996).

No Brasil a partir da criação da Lei nº 6.938 de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) e institui o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), surgiram leis, decretos e resoluções que objetivaram a utilização racional, a conservação e a proteção efetiva dos recursos naturais (BORGES, 2008). A Constituição Federal outorgada em 1988 incorporou o conteúdo da Lei nº 6.938/1981 e efetuou a divisão de competências legislativas e administrativas dos entes da Federação.

Dessa forma, a Constituição Federal estabeleceu a proteção do meio ambiente e o combate à poluição em qualquer de suas formas como competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios. Com base na metodologia desenvolvida na Holanda e visando proteger as funções dos solos e águas subterrâneas, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) foi pioneira no Brasil em propor valores orientadores para solos e águas subterrâneas em 2001.

Nesse sentido o presente estudo teve o objetivo de apresentar um panorama geral das principais leis e regulamentações técnicas brasileiras e holandesas quanto ao gerenciamento de substâncias químicas no solo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente estudo visa analisar os aspectos técnicos e legais que justificam as regulamentações quanto proteção do solo.

2.2 Objetivos específicos

1. Analisar o arcabouço jurídico que trata da proteção do solo, bem como analisar os entraves da legislação para o entendimento e a instituições destas.
2. Resgatar e analisar os aspectos técnicos que justificam ou embasam o estabelecimento da proteção do solo, analisando separadamente:
 - Conceito, definição e importância dos solos;
 - Metais pesados presentes no solos;
 - Políticas Ambientais Brasileiras;
 - Evolução das políticas ambientais quanto a proteção do solo;
 - Aspectos técnicos e legais quanto a proteção do solo na Holanda e Brasil.

3 METODOLOGIA

O presente estudo seguiu à seguinte classificação de pesquisa, com relação a natureza, esta pesquisa é considerada aplicada, onde se busca a solução prática do problema por meio das justificativas técnicas e legais dirigidas ao entendimento da política de proteção solo, envolvendo interesses sociais e ambientais visando a sua importância e multifuncionalidade.

Com relação aos seus objetivos, esta pesquisa é exploratória, do qual o conhecimento das questões técnicas e legais sobre as políticas de proteção do solo, envolvendo o levantamento bibliográfico de normas jurídicas e de trabalhos técnicos que forneçam subsídios à compreensão, entendimento e análise das importância destas políticas.

Com relação aos procedimentos técnicos, é uma pesquisa bibliográfica e documental, elaborada a partir do levantamento e estudo do arranjo legal que trata da instituição das políticas de proteção do solo na Holanda e Brasil, e da análise de dissertações de mestrado, teses de doutorado, artigos científicos, livros e outros trabalhos publicados que definem os critérios técnicos julgados imprescindíveis para a proteção do solo, ou seja, quais são os subsídios técnicos de proteção dos solos encontrados na literatura brasileira.

Assim, a partir do levantamento e da análise dos pontos que classificam esta pesquisa, descritos acima, este trabalho está organizado da seguinte maneira:

- Conceito, definição e importância dos solos;
- Metais pesados presentes no solos;
- Políticas Ambientais Brasileiras;
- Evolução das políticas ambientais quanto a proteção do solo;
- Aspectos técnicos e legais quanto a proteção do solo na Holanda e Brasil.

Para a realização desta pesquisa utilizou-se das seguintes palavras-chaves: Solo(s), Soil, Qualidade do Solo, Soil Quality, Metal(ais) Pesado(s), Heavy metals, Trace Elements, Soil Protection Act, Soil Protection Act Netherlands, Soil, Protection Act USA, CETESB 2001, Resolução CONAMA 420/2009, COPAM nº 166/2011, Lei Estadual Paulista nº 13.577/2009, Legislação Ambiental Brasileira, Meio Ambiente, Soil Standard Value, Soil Quality Decree, COPAM/CERH nº 02/2010.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Solos

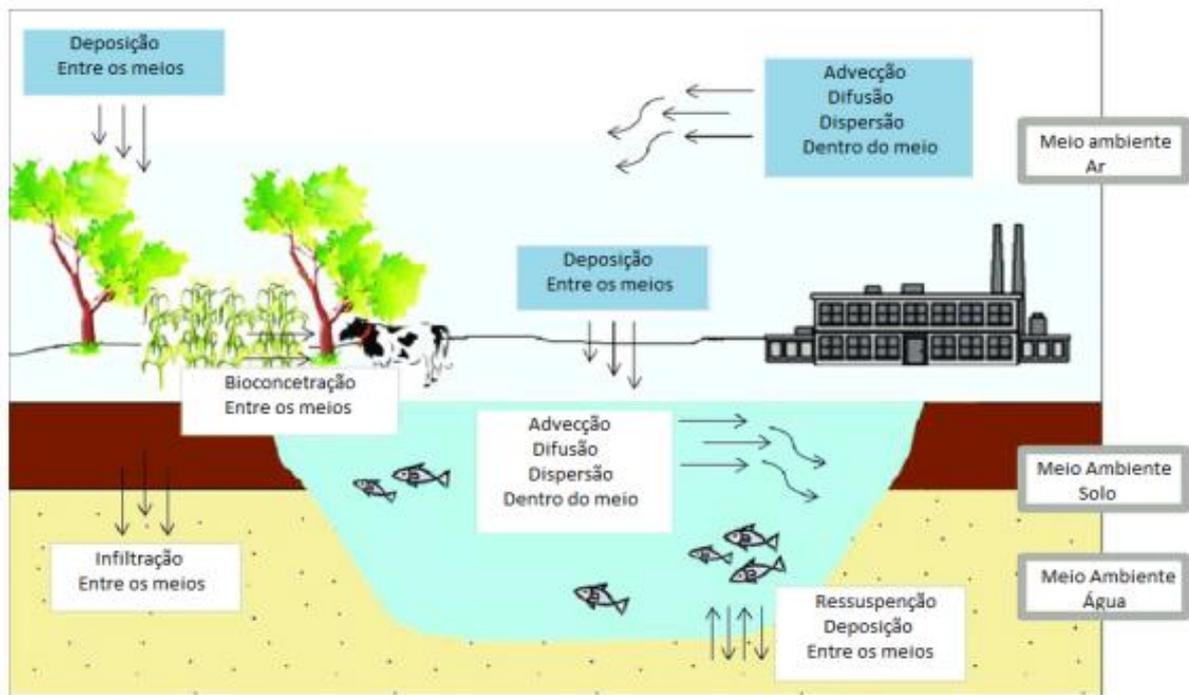
Considera-se solo como a coleção de corpos naturais que ocupam partes da superfície terrestre, os quais constituem um meio para o desenvolvimento de plantas que possuem propriedades resultantes do efeito integrado do clima e dos organismos vivos, agindo sobre o material de origem e condicionado pelo relevo durante certo período de tempo (USDA, 1951).

O solo é um recurso essencial para todos os organismos terrestres, incluindo o homem, sendo que suas funções permitem que ecossistemas e sociedades se desenvolvam e evoluam (PEREIRA, et al, 2019). De acordo com a Resolução CONAMA nº 420/2009 o solo é considerado um recurso valioso por cumprir as funções de servir como meio básico para a sustentação da vida e de habitat para pessoas, animais, plantas e outros organismos vivos; manter o ciclo da água e dos nutrientes; servir como meio para a produção de alimentos e outros bens primários de consumo; agir como filtro natural, tampão e meio de adsorção, degradação e transformação de substâncias químicas e organismos; proteger as águas superficiais e subterrâneas; servir como fonte de informação quanto ao patrimônio natural, histórico e cultural; constituir fonte de recursos minerais e servir como meio básico para a ocupação territorial, práticas recreativas e propiciar outros usos públicos e econômicos.

Ocupando a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta os solos são constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, sendo formados por materiais minerais e orgânicos (SBCS, 2018). A gênese do solo depende dos fatores descritos na equação fundamental de formação do solo, variando conforme às influências do clima, organismos, relevo, material parental e tempo (JENNY, 1941).

O solo atua frequentemente como um “filtro”, tendo a capacidade de depuração e imobilizando grande parte das impurezas nele depositadas. No entanto, essa capacidade é limitada, podendo ocorrer alteração da qualidade do solo, devido ao efeito cumulativo da deposição de poluentes atmosféricos, à aplicação de defensivos agrícolas e fertilizantes e à disposição de resíduos sólidos industriais, urbanos, materiais tóxicos e radioativos (MOREIRA; NODERMANN, 1987).

Figura 1. Meios de transporte de contaminantes.



Fonte: Inventário de áreas contaminadas do estado de Minas Gerais (FEAM/2020).

4.2 Qualidade do solo

A discussão sobre Qualidade do Solo (QS) intensificou-se no início dos anos 1990 quando a comunidade científica, consciente da importância do solo para a qualidade ambiental, começou a abordar, em publicações, a preocupação com a degradação dos recursos naturais, a sustentabilidade agrícola e a função do solo nesse contexto. No início dos anos 90, houve várias abordagens entre cientistas da ciência do solo a respeito do conceito de qualidade do solo e sua aplicação no manejo e uso da terra.

Pode se dizer de forma geral que qualidade do solo é a capacidade deste de funcionar dentro dos limites do ecossistema, seja este natural ou manejado, e interagir positivamente com o meio ambiente externo daquele ecossistema visando sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos homens (LARSON; PIERCE, 1994). De forma sucinta, é a capacidade do solo em exercer suas funções na natureza (DORAN; SARRANTONIO LIEBERG, 1997). A Sociedade Americana de Ciência do Solo conceitua a qualidade do solo como a capacidade de um dado solo funcionar, dentro de um sistema natural ou manejado de forma a manter a produtividade vegetal e animal, manter ou melhorar a qualidade da água e do ar e suportar a saúde humana e habitacional. (KARLEN et al., 1997).

Em linhas gerais, a qualidade do solo depende da extensão em que o solo funcionará para o benefício humano, da composição natural do solo, sendo que esta qualidade também está fortemente relacionada com as práticas intervencionistas do homem (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). Portanto, a qualidade do solo está relacionada com as funções que capacitam o solo a aceitar, estocar e reciclar água, nutrientes e energia (CARTER, 2001). Sendo que, de forma geral, as principais funções do solo são: meio para o crescimento das plantas; regular e compartimentalizar o fluxo de água no ambiente; estocar e promover a ciclagem de elementos na biosfera; e servir como tampão ambiental na formação, atenuação e degradação de compostos prejudiciais ao ambiente (LARSON; PIERCE, 1994; KARLEN et al., 1997).

As preocupações sobre a relação do manejo do solo e a sustentabilidade da agricultura se deram a partir dos números alarmantes de áreas degradadas física e quimicamente, contaminadas por agroquímicos. Sendo que a ênfase não está em maximizar a produção, mas sim em otimizar o uso do recurso e sustentar produtividade por um longo período (LAL; PIERCE, 1991).

Ao tratarmos de qualidade do solo o uso de indicadores é de extrema importância. Os indicadores de qualidade do solo são propriedades mensuráveis (quantitativas ou qualitativas) do solo ou da planta acerca de um processo ou atividade e que permitem caracterizar, avaliar e acompanhar as alterações ocorridas num dado ecossistema (KARLEN et al., 1997).

A utilização de indicadores de qualidade do solo, relacionados à sua funcionalidade, constitui uma maneira indireta de mensurar a qualidade dos solos, sendo úteis para o monitoramento de mudanças no ambiente. Neste caso, as características de funcionalidade do solo estão relacionadas, basicamente, àquelas exercidas pela pedosfera no sistema solo-planta, quais sejam: regulação de processos bióticos, tais como o suprimento de minerais e água para as plantas; regulação e controle do fluxo de bioelementos (ciclagem de nutrientes); regulação das trocas gasosas entre a atmosfera; condução e distribuição da água em vários fluxos hidrológicos (KARLEN; STOTT, 1994).

As causas da redução na qualidade do solo podem ser classificadas em três grandes categorias sendo estas: redução da qualidade do solo devido a concentrações inaceitáveis de contaminantes; redução na qualidade do solo que limita a função do solo (que provavelmente incluirá a contaminação, mas também outros limites à função do solo, como acidificação, salinização e erosão); e, solo como fonte de contaminantes (principalmente preocupado com a lixiviação e perdas por escoamento de soluto, materiais em suspensão e particulados para outras partes da paisagem) (PIERZYNSKI; FIMS; VANCE, 1994).

Torna-se aparente que uma consideração chave ao avaliar a qualidade do solo é a necessidade de considerar as funções reais e potenciais do solo. Na Europa, há uma sugestão de que a qualidade dos solos deve ser considerada não com relação a uma única função, mas com relação a todas essas funções e, possivelmente mais, sua multifuncionalidade (VEGTER; ROELS; BAVINCK, 1988). O axioma central dessa abordagem é que a maneira como o local é usado no momento, não deve afetar sua adequação a todos os tipos de uso possíveis, dadas as condições naturais do solo. Por exemplo, os holandeses, ao desenvolver políticas nacionais de proteção do solo, enfatizaram a necessidade de preservar e proteger o solo como um recurso essencial para o futuro e de evitar quaisquer ações humanas que reduzam a qualidade do solo. A base de sua estrutura de proteção do solo é o conceito de multifuncionalidade, que é definido como: o solo deve preservar o potencial para desempenhar todas as suas funções possíveis. Para tal, devem ser protegidas as características funcionais do solo essenciais para as diferentes funções (VIM, 1983; NORTCLIFF, 2002). Embora a multifuncionalidade tenha um forte apelo, um pensamento relativamente pequeno foi dado à complexidade de seu significado e quase nenhuma atenção em como poderíamos analisar o solo para avaliar sua capacidade de suportar funções diferentes.

O solo possui importantes funções quando se trata de seu uso pelos seres humanos contemplando funções tanto ecológicas como também hidrológicas e culturais. Dentre suas funções, o solo oferece a possibilidade de construir sobre ele e extrair águas subterrâneas, fornece matérias-primas e serve como base na produção de culturas (MOEN et al., 1986; VEGTER; ROELS; BAVINCK, 1988). Blum e Santelises (1994) ao descrever o conceito de sustentabilidade do solo identificaram a necessidade de considerar as funções ecológicas do solo (por exemplo, o solo como um reator de transformações, como habitat biológico e como reserva genética) e as funções relacionadas à atividade humana (por exemplo, o solo como base para atividades humanas, como fonte de matérias-primas, e como parte do patrimônio cultural).

O conceito de multifuncionalidade reconhece que os solos variam em sua capacidade de desempenhar diferentes funções, mas o uso desse conceito na definição de padrões ou valores indicativos em relação ao uso atual do solo prevê que o uso do solo não deve afetar negativamente a capacidade do solo de realizar toda a gama de funções. Em relação à definição de padrões para a limpeza do solo, o conceito de multifuncionalidade encapsula o conceito de que há necessidade de limpar o solo para que ele seja capaz de realizar uma ampla gama de funções, não apenas a função em relação ao uso atual antecipado (NORTCLIFF, 2002).

4.3 Metais pesados

Os metais pesados são os elementos de um grupo heterogêneo com metais, ametais e semi-metais. Ao tratar-se de metais pesados comumente se utiliza alguns sinônimos, como elementos-traço ou metais-traço, entretanto esses sinônimos não são adequados, pois o quantitativo traço na química analítica designa concentrações ou teores de quaisquer elementos que não podem, por muito baixos, serem quantificados pelos métodos empregados para sua determinação (TAVARES, 2008).

A característica principal destes elementos é de possuírem peso específico maior do que 6 g cm^{-3} (alguns autores aceitam 5 g cm^{-3}) ou número atômico maior do que 20 (ALLOWAY, 2012). Segundo Garcia et al. (1990), considera-se $4,5 \text{ g cm}^{-3}$ a densidade mínima para que um elemento seja considerado metal pesado.

Uma importante característica biológica destes metais é que todos possuem potencial para tornarem-se tóxicos quando alcançam valores acima das concentrações limites (ALLOWAY; AYERS, 1996). Como os metais pesados não são biodegradáveis, o aumento em suas concentrações pode ser potencialmente tóxico para a vida na terra. Humanos, plantas e animais são todos igualmente afetados por níveis elevados de metais pesados. Até mesmo os microrganismos nos solos estão ameaçados, visto que os metais pesados dificultam suas atividades biológicas, acumulando-se em suas células e tecidos (AHMAD; NABI; ASHRAF, 2011).

A concentração natural dos metais pesados potencialmente tóxicos no solo varia muito com o tempo de intemperismo e a composição química do material de origem. A composição elementar total no solo tem utilidade limitada, mas é importante conhecê-la para se ter ideia de seu teor no ambiente, tanto em estudos de contaminação e poluição, como em estudos pedológicos (CAMARGO, et al., 2001).

Genericamente, atribui-se a denominação de metal pesado a todo e qualquer elemento tóxico às plantas e animais. Esses elementos encontram-se distribuídos por toda a natureza e apresentam vários papéis nos sistemas biológicos, desde reguladores de processos biológicos até importantes componentes da estrutura das proteínas. Os metais pesados podem ser agrupados em classes essenciais e não essenciais. O grupo de metais pesados essenciais incluem os elementos Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) e são considerados micronutrientes essenciais, mas tornam-se malévolos quando em excesso. Enquanto o grupo dos metais pesados não essenciais incluem

o Chumbo (Pb), Cádmio (Cd), Mercúrio (Hg) e Arsênio (As), sendo estes altamente tóxicos para organismos vivos (ASHRAF et al., 2019).

Entre os metais pesados não essenciais, o Cd é mais biodisponível e bioacumulado devido à sua alta solubilidade. Em solo contaminado com metais pesados, o Cd geralmente está presente em conjunto com o Zn, micronutriente essencial (ASHRAF et al., 2019). Em alta concentração, o Zn causa toxicidade nas plantas, enquanto o Cd raramente causa fitotoxicidade, porém este elemento tem o potencial de suprimir as atividades de enzimas antioxidantes, principalmente glutatona redutase (WU et al., 2017; RYZHENKO et al., 2017). No estudo realizado por Perrier et al., (2016) entre as culturas trigo e milho, o mais alto nível de Cd e Zn foram encontrados no milho.

A remoção de chumbo em solos contaminados é difícil. A capacidade do solo de se ligar ao Pb aumenta com o aumento do pH, da capacidade de troca de cátions, do teor de matéria orgânica e de fosfato (ASHRAF et al., 2019). O solo contaminado por Pb com concentração maior do que 300 mg/kg afeta a sobrevivência das plantas (ROSEN, 2002; CHANDRASEKHAR; RAY, 2019). No solo, o Pb se precipita como Pb-fosfato e, assim, torna-se indisponível para plantas (ZENG et al., 2017).

O mercúrio é singular como o único metal líquido e frequentemente é um subproduto do processamento de minérios. No ambiente, o mercúrio pode assumir várias formas. Por exemplo, o mercúrio alquilado é volátil e solúvel em água, e sua toxicidade está associada à sua forte afinidade com compostos que contêm enxofre, como enzimas e proteínas (ASHRAF et al., 2019).

O zinco também é micronutriente necessário para a saúde humana, e sua deficiência pode causar defeitos congênitos (WANG et al., 2015). Devido ao aumento das emissões antrópicas, o Zn acumulou-se no solo e sistemas de água. Este acúmulo representa grande problema, já que o Zn em excesso é fitotóxico e apenas algumas plantas têm capacidade para sobreviver em solo contaminado com este elemento (PENCE et al., 2000; RYZHENKO et al., 2017).

Entre os metais pesados, o cobalto é o menos tóxico e forma diferentes compostos inorgânicos e orgânicos. Em sistemas biológicos, o Co funciona como cofator de diferentes enzimas. No entanto, em maior concentração, é perigoso para a saúde humana (TCHOUNWOU et al., 2012; LEYSSSENS et al., 2017).

O níquel é considerado elemento essencial, mas em concentrações altas causa efeitos adversos na saúde e, afeta o crescimento microbiano em solos contaminados com este elemento (ASHRAF et al., 2019).

O cromo é produto da indústria de mineração e é encontrado no meio ambiente como cromo trivalente (Cr^{3+}) e hexavalente (Cr^{6+}) (SMITH et al., 1995; MANDAL et al., 2017; COETZEE et al., 2018). O cromo trivalente é um oligoelemento essencial e cofator para muitas enzimas (DAVIS; VINCENT, 1997). Em condições aeróbicas, o cromo existe como Cr^{6+} e sob condições anaeróbicas, a matéria orgânica converte Cr^{6+} em Cr^{3+} . Em solos com pH baixo, o Cr^{3+} é dominante (CHROSTOWSKI et al., 1991; GAUTAM et al., 2016).

O cobre é amplamente utilizado na agricultura pois é metal essencial como micronutriente para plantas e animais. Em humanos, o cobre é importante para a produção de hemoglobina, enquanto nas plantas é importante para a regulação da água e produção de sementes. Solo contaminado com cobre pode causar ameaças diretas e indiretas às plantas e aos seres humanos (BJUHR J., 2007; JAISWAL et al., 2018). No solo, a concentração de cobre iônico na solução é muito baixa pois este irá formar complexos com a matéria orgânica (ASHRAF et al., 2019). Sua toxicidade está relacionada com a sua propriedade de formar radical hiperóxidos, os quais interagem com compostos tiol na membrana celular (NIES, 2003).

O arsênio é o metalóide mais abundante na natureza podendo ser encontrado em diferentes formas, tais como arsenato (As^{5+}) e arsenito (As^{3+}). O arsenato é dominante sob condições aeróbicas enquanto o arsenito é dominante em condições anaeróbicas. O arsenato se comporta como fosfato podendo entrar nas células microbianas, impedindo os processos de produção de energia dependente de fosfato, impossibilitando assim, a fosforilação oxidativa (ASHRAF et al., 2019).

De acordo com a United Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), a poluição por metal pesado causou problemas de saúde em cerca de 10 milhões de seres humanos em todo o mundo (USEPA, 2016).

4.4 Holanda - Aspectos legais e normativos da proteção do solo

Uma série de ameaças de alta intensidade afetam os solos da Holanda tais como compactação, ocupação do solo, declínio da matéria orgânica, vedação, contaminação e perda de biodiversidade. Além dos instrumentos promovidos a nível europeu, a Holanda tem outras medidas regulatórias para limitar a degradação (RONCHI et al, 2019).

Nas últimas décadas a Holanda realizou esforços consideráveis no desenvolvimento de política ambiental para proteção de solo e água subterrânea. Como resultado, o país foi o primeiro a formalizar um programa nacional para avaliação de contaminação e

estabelecimento de níveis de intervenção, considerando para o solo sua multifuncionalidade, ou seja, as funções de agricultura, ecologia, transporte, suprimento de água potável dentre outros (CETESB, 2001).

Inicialmente na Holanda se desenvolveu as políticas ambientais relativas à qualidade do ar e da água, uma das razões para isso poder ter ocorrido pode ser porque os efeitos da má qualidade do ar e da água são claramente visíveis, ao passo que os efeitos da poluição do solo podem permanecer despercebidos por um longo período de tempo. Na maioria dos casos os efeitos de um solo “ruim” ou mesmo perigoso tornam-se aparentes apenas durante alguma mudança significativa do uso do solo. Apesar de que alguma consciência do acúmulo de substâncias tóxicas e degradação do solo sempre esteve presente na Holanda, a proteção do solo como aspecto legal teve suas primeiras tentativas em 1971 (VEGTER, 1995).

Proteger as funções do solo já era objeto da legislação da Holanda em 1987, quando foi promulgada a Lei de Proteção do Solo “Soil Protection Act” (VROM, 1988). Porém as verdadeiras mudanças deram início quando houve reclamações de moradores de áreas recentemente urbanizadas que foram construídos em antigos depósitos de resíduos, como na cidade "Lekkerkerk" em 1980 (VEGTER, 1995).

Como parte do esforço de desenvolvimento de valores orientadores e de acordo com o princípio de multifuncionalidade, a Holanda formulou uma lista como guia de avaliação e remediação de locais contaminados. Esta lista de valores é frequentemente referida como a “Lista Holandesa” ou “Lista ABC”, estabelecida em 1983 (CETESB, 2001).

As preocupações públicas preparam o terreno para uma grande operação de “limpeza” de solo, que tem sua base na Lei de Limpeza do Solo (ato provisória), o ato provisório foi elaborado para dar um legal base para a “limpeza” do solo que precisavam ser realizadas. Entretanto somente com a Lei de proteção do solo em 1987 que se deu início a política de proteção do solo na Holanda (VEGTER, 1995).

A Lei de proteção do solo, em vigor desde 1987, é o enquadramento nacional para a qualidade do solo e proteção que passou a fazer parte do Sistema Integrado Ambiental e Lei de planejamento em 2019. A lei visa limitar as mudanças no uso da terra e regular a aplicação de resíduos, água contaminada ou lamas no solo (RONCHI et al, 2019).

O Ministério da Habitação, Planejamento e Meio Ambiente da Holanda (em holandês Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu” - VROM) publicou, em 1994, em atendimento à Lei de Proteção de Solo a primeira circular com os novos valores de orientação, derivados com base em conhecimentos científicos, incluindo a modelagem de

avaliação de risco e considerando a variação da porcentagem de matéria orgânica e argila no solo (VROM, 2000; CETESB, 2001).

O Instituto Nacional de Saúde Pública e Meio Ambiente da Holanda (em holandês Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu - RIVM), realizou uma avaliação ecotoxicológica e de risco toxicológico humano dessas substâncias determinando valores de intervenção para solo/sedimentos e para as águas subterrâneas. Estes novos valores foram denominados STI (em holandês Streefwaarde, Toetsingswaarde e Interventiewaarde), estabelecendo três níveis de qualidade para os solos e a águas subterrâneas:

Valor de Referência - Streefwaarde (S), que indica o nível de qualidade para “solo limpo”, atendendo ao conceito de multifuncionalidade;

Valor de Alerta - Toetsingswaarde (T), que representa a média entre o valor S e o valor I, o qual indica uma alteração das propriedades funcionais do solo e, quando excedido, pode requerer investigações detalhadas e monitoramento;

Valor de Intervenção - Interventiewaarde (I), que indica o limite de qualidade, acima do qual existe risco à saúde humana e ao ambiente. Se este valor for excedido, em média, em um volume de 25 m³ de solo/sedimento ou em 100 m³ de água subterrânea, existe uma séria contaminação e a remediação é necessária (VROM, 2000; CETESB, 2001).

Atualmente na Holanda utiliza-se da ferramenta *Sanscrit*[®] para auxiliar no cálculo dos riscos de contaminação do solo, a ferramenta permite ajudar nas decisões fornecendo: medições específicas do local, avaliação do risco a saúde, risco ecológico e risco devido a migração de contaminantes, avaliação de todas as situações para diferentes terrenos, e gerar um relatório padrão que deve submetido ao órgão responsável. Na Tabela 1 são apresentados alguns destes limites para exemplificação.

Tabela 1. Valores orientadores para solo.

Substancias	VRQ*	MV (mg/kg)**		
		Residencial	Industrial	Intervenção
Arsênio	20	27	76	76
Cádmio	0.6	1.2	4.3	13
Chumbo	50	210	530	530
Mercúrio	0.15	0.83	4.8	36

Fonte: Adaptado RIVM (2017).

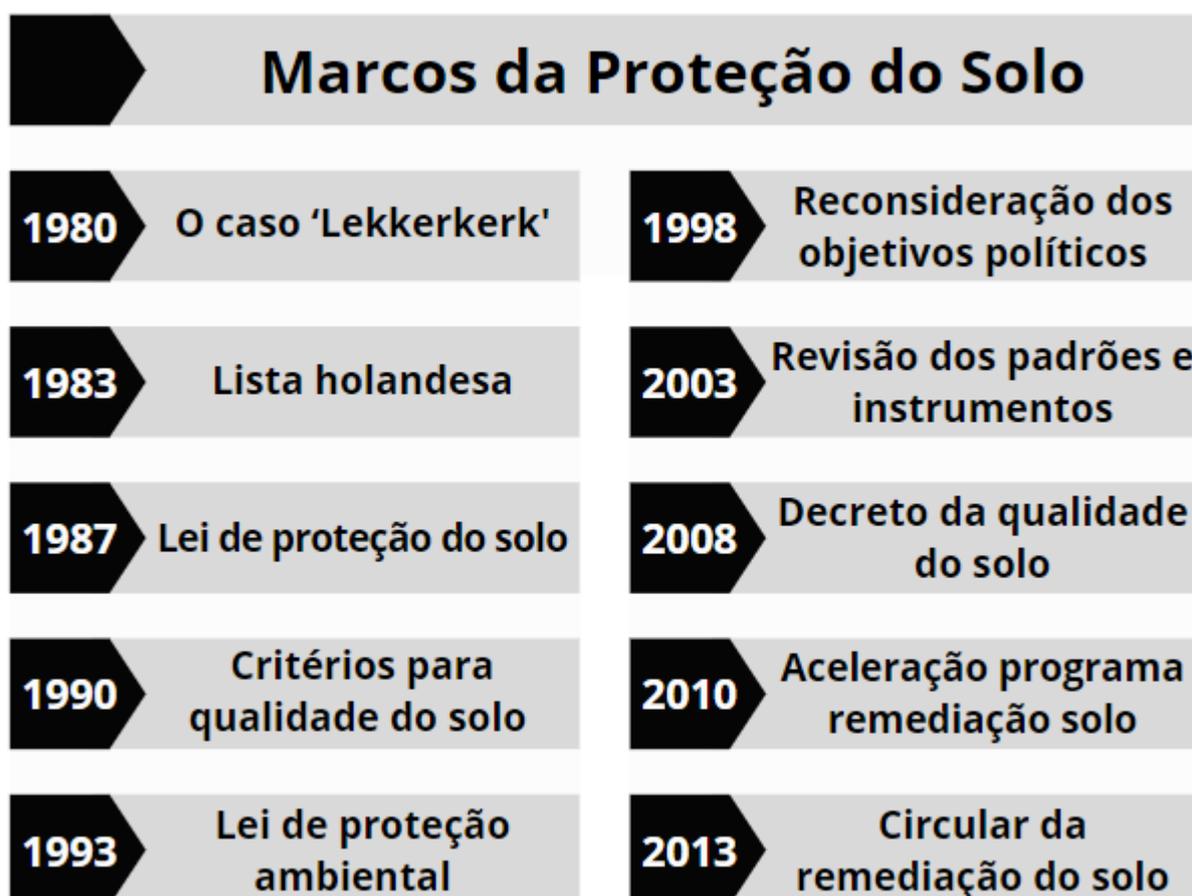
* VRQ= Valor de Referência de Qualidade

** VM = Valor Máximo

Além disso, a partir de 2008, o Decreto de Qualidade do Solo (Besluit bodemkwaliteit) foi adotado com o objetivo de superar tais problemas dentro da legislação existente e para garantir um equilíbrio entre os aspectos socioeconômicos finalidades e proteção do solo. O Decreto de Qualidade do solo está dividido em três partes: requisito mínimo de qualidade do solo, regulamentação do uso e reutilização ambientalmente seguros de materiais de construção pedregosos e critérios para execução de atividades de dragagem de lodo (RONCHI et al, 2019).

Atualmente a Holanda detém diversas leis e regulamentos, dentre estas as mais importantes que servem de base política de solo holandesa são a Lei de Proteção do Solo (Soil Protection Act) e a Lei de Proteção Ambiental (Environmental Protection Act). A Lei de Proteção do Solo dispõe regras gerais para prevenir a contaminação do solo, já a Lei de Proteção Ambiental estabelece que as licenças devem ser obtidas de forma previa as atividades a serem exercidas. Em termos práticos para a política de solo, a Lei de Proteção Ambiental determina que as licenças devem estabelecer até que ponto as empresas devem tomar medidas para proteger o meio ambiente e o solo (RIJKSWATERSTAAT, 2021).

Figura 2. Marcos históricos da política do solo Holandesa.



Fonte: Do autor (2021).

A legislação Holandesa passou por diversos momentos históricos importantes cabendo ressaltar em ordem cronológica conforme a Figura 2, os seguintes acontecimentos: O caso 'Lekkerker' em 1980, a Lista Holandesa de valores orientadores em 1983, a Lei de Proteção do solo em 1987, os critérios para qualidade do solo em 1990, a Lei de Proteção ambiental em 1993, a reconsideração dos objetivos políticos em 1998, a revisão dos padrões e instrumentos em 2003, o Decreto de Qualidade de Solo em 2008, a aceleração do programa de remediação em 2010, e pôr fim a Circular de Remediação do solo em 2013.

4.5 Holanda - Aspectos técnicos para a identificação e gerenciamento de áreas contaminadas

O artigo 37 da Lei de Proteção do Solo determina que se existem riscos inaceitáveis associados ao uso atual ou futuro, deve se realizar a remediação. Em 2009, ocorreu uma importante mudança neste artigo, alterando a forma de tratar um caso de contaminação. O 'antigo' artigo 37 da Lei de Proteção do Solo pretendia garantir a priorização na abordagem dos casos de contaminação, sendo que quando verificada a urgência deveria remediar em uma única vez a totalidade do caso. Já o atual artigo 37 da Lei de Proteção do Solo determina para remover riscos em tempo hábil, permitindo uma abordagem flexível, assim se um caso de contaminação grave for identificado existe um risco potencial, e deve se iniciar alguma forma de remediação ou gerenciamento (VROM, 1988; VROM 2013).

Nesse sentido em 2013, como suplemento a Lei de Proteção do Solo e ao Decreto de Qualidade do Solo, foi publicado a Circular de Remediação do Solo com objetivo de estabelecer regras gerais tanto para o critério de remediação quanto para o objetivo da remediação.

Os riscos estão associados ao uso na função presente ou futura, no caso de existir riscos inaceitáveis para a saúde ambiental é fundamental que medidas sejam tomadas o mais rápido possível. Estas medidas a serem tomadas têm como objetivo principal neutralizar suficientemente os riscos que ocorrem. Isso não significa, portanto, que todo o caso deva ser remediado com urgência. Os riscos que podem dar origem a uma remediação urgente dividem-se em: riscos para os humanos, riscos para o ecossistema e riscos de propagação da contaminação (VROM, 2013).

Existe um risco inaceitável para os seres humanos, com o uso atual ou pretendido do local, quando houver uma situação em que podem ocorrer efeitos negativos crônicos ou

agudos para a saúde. Se a presença de contaminação do solo durante o uso atual levar a um incômodo demonstrável para os humanos (devido à irritação da pele e ao odor, entre outros sintomas), a remediação também deve ser realizada com urgência.

Existem riscos inaceitáveis para o ecossistema, com o uso atual ou pretendido do local nas seguintes situações quando a biodiversidade pode ser afetada (proteção de espécies), quando as funções circulares podem ser interrompidas (proteção de processos) e quando houver bioacumulação e envenenamento secundário.

Existe um risco inaceitável de propagação da contaminação nas seguintes situações quando o uso do solo pelo homem ou pelo ecossistema é ameaçado pela disseminação da contaminação das águas subterrâneas, em decorrência da qual objetos vulneráveis são prejudicados e a situação se torna incontrolável. Esse risco se manifesta nos seguintes casos: Quando uma camada flutuante está presente e pode se deslocar devido a atividades e processos no solo, permitindo assim a propagação da contaminação; Quando existe uma bolsa de contaminação que pode se movimentar devido a atividades e processos no solo, também contribuindo para a disseminação da contaminação; Quando a propagação já resultou em uma contaminação significativa das águas subterrâneas e ainda está em curso (VROM, 2013).

O passo a passo para a avaliação de risco, depende do método de trabalho e do critério de remediação, que determina se existem riscos inaceitáveis para os seres humanos, ecossistema ou a propagação da contaminação.

4.5.1 Passo a passo para avaliação de risco- Remediação do solo Circular 2013

Se houver suspeita de contaminação do solo, os locais são examinados a qualquer momento para determinar se há um caso de contaminação grave. Para esse efeito, deve ser realizada uma investigação mais aprofundada de acordo com NTA (Normas e Especificações Técnicas Holandesas) de qualidade do solo, NTA-5755.

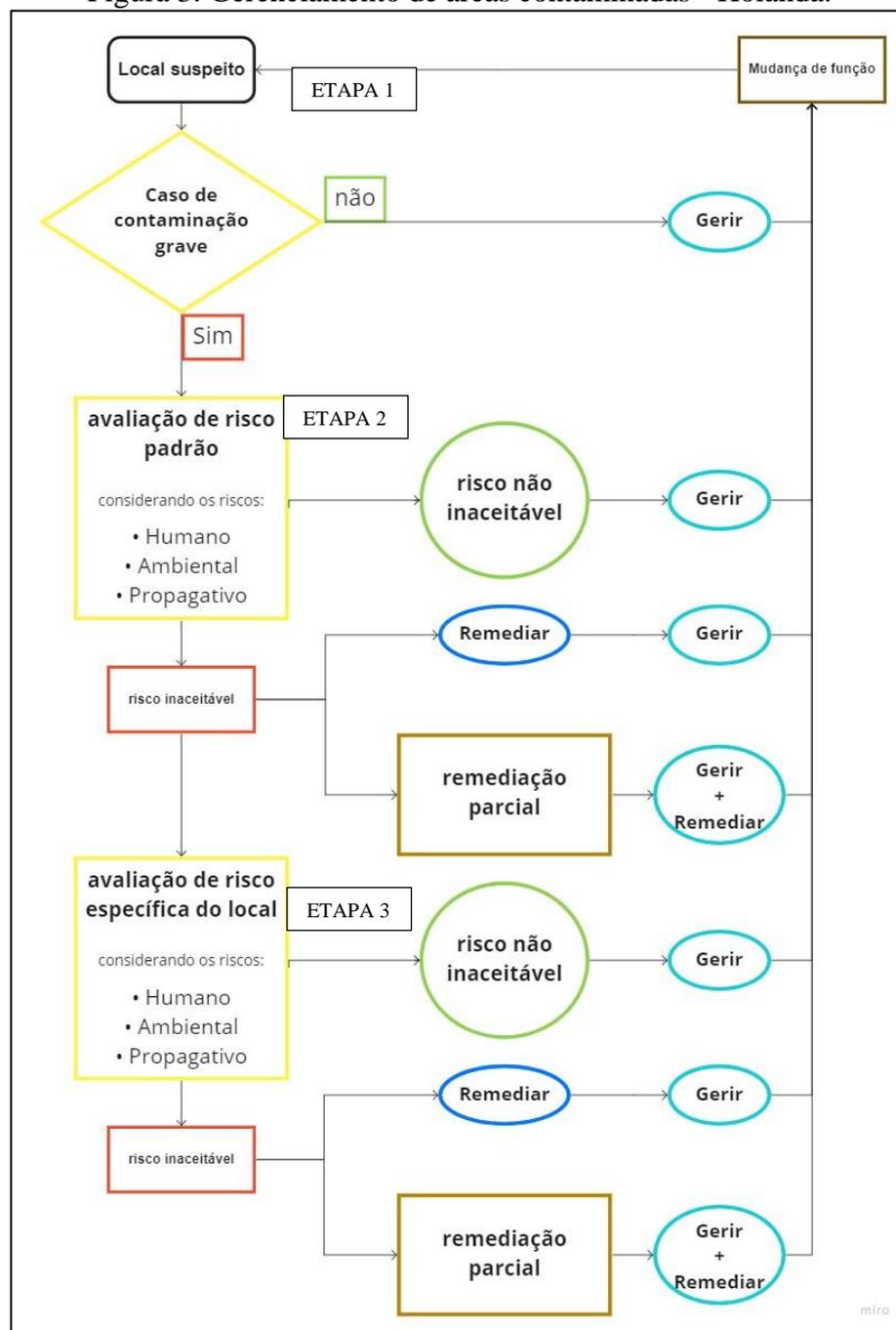
Em casos de contaminação grave, a urgência da remediação deve ser determinada. Isso é feito com base em uma avaliação de risco. Para auxiliar no cálculo dos riscos de contaminação do solo, é utilizada a ferramenta *Sanscrit*[®]. Onde os riscos são inicialmente determinados por meio de uma avaliação de risco padrão. Esta avaliação de risco é uma tradução técnica dos princípios do critério de remediação, no qual um modelo genérico é usado para isso, em que os cálculos podem ser ajustados dependendo da situação e das circunstâncias prevaletentes. Este sistema praticamente pode ser usado para todos os locais (com exceção de solos ou bancos de massas de água de superfície) na Holanda. A

classificação é genérica e como ponto de partida na maioria dos casos essa avaliação de risco padrão será suficiente.

No entanto, em situações mais complexas, uma avaliação mais abrangente dos riscos pode ser realizada levando em consideração as condições específicas do local. Como uma avaliação de risco específica do local se concentra no local e pode usar medições em vez de cálculos, uma imagem mais detalhada dos riscos é obtida. Uma vez realizada uma avaliação específica do local, a tomada de decisão deve se basear nela.

A avaliação de risco ocorre em três etapas, sendo que as etapas 1 e 2 sempre devem ser obrigatoriamente executadas, já a etapa 3 não é obrigatória, mas pode ser executada se o responsável ou a autoridade competente o considerar recomendado. A Figura 3 mostra as etapas de avaliação de risco, bem como remediação e gerenciamento de forma esquemática.

Figura 3. Gerenciamento de áreas contaminadas - Holanda.



Fonte: Adaptado VROM (2013).

4.5.1.1 Etapa 1: Determinar um caso de contaminação grave

O objetivo da etapa 1 é determinar se há um caso de contaminação grave no local, a etapa 1 pode levar aos seguintes resultados:

- Não é um caso de contaminação grave;
- Caso de contaminação grave - etapa 2: avaliação de risco padrão.

Se não houver nenhum caso de contaminação grave, não é necessário verificar se existem riscos inaceitáveis em decorrência da contaminação. Se houver um caso de contaminação grave, a seguinte etapa sempre segue: realizar uma avaliação de risco padrão (etapa 2).

4.5.1.2 *Etapa 2: Avaliação de risco padrão*

O objetivo da etapa 2 é determinar se existem riscos inaceitáveis no caso de contaminação grave, ou parte dela. Um método padrão de avaliação de risco é usado para testar se a contaminação presente no uso atual e / ou futuro apresenta riscos que são inaceitáveis para humanos (humanos), para o ecossistema (ecológico) ou do ponto de vista de propagação da contaminação.

O uso futuro é determinado pelo responsável ou a autoridade competente, mas deve caber no espaço fornecido pelo plano de zoneamento. O método de avaliação de risco é genérico com parâmetros escolhidos visando a segurança, a etapa 2 pode levar aos seguintes resultados:

- Risco não inaceitável;
- Risco inaceitável - remediar rapidamente;
- Risco inaceitável - etapa 3: avaliação de risco específica do local.

Se o resultado da avaliação de risco padrão determinar que a contaminação do solo presente não apresenta nenhum risco inaceitável durante o uso atual ou futuro, não é necessário remediar com urgência. Porém, é necessário fazer um registro de restrição, que se refere ao desvio do valor de intervenção no solo. Além disso, pode ser necessária alguma forma de gestão, a critério da autoridade competente da Lei de Proteção do Solo.

Caso o resultado da avaliação de risco padrão determinar que a contaminação do solo presente apresenta riscos inaceitáveis no uso atual ou futuro, a parte do caso de contaminação grave deve ser corrigida rapidamente (remediação imediata).

Ao analisar os resultados da avaliação de risco padrão e concluir que a contaminação atual ou futura apresenta riscos inaceitáveis, é importante considerar a possibilidade de que os riscos estimados na metodologia utilizada na segunda etapa possam ter sido superestimados. Isso sugere a necessidade de uma avaliação mais específica do risco. O responsável pode optar por realizar essa avaliação de risco específica do local (etapa 3) de acordo com a avaliação de risco padrão. Ressaltando que a autoridade competente também pode indicar que

deve ser realizada uma avaliação específica do local, se o responsável pela avaliação considerar necessário para a tomada de decisões.

4.5.1.3 *Etapa 3: Avaliação de risco específica do local*

O objetivo da etapa 3 é testar para o caso de contaminação grave, ou para a parte relevante dela, se o resultado da avaliação de risco padrão na etapa 2 ('risco inaceitável') por uma investigação específica do local leva a uma diferente conclusão ou se o resultado da etapa 2 é confirmado e posteriormente substanciado. O resultado da etapa 3 também pode levar a um melhor dimensionamento das medidas de remediação. A etapa 3 pode levar aos seguintes resultados:

- Risco não inaceitável;
- Risco inaceitável.

Se o resultado da avaliação de risco específica do local determinar que a contaminação do solo presente no uso atual ou futuro não apresenta nenhum risco inaceitável, a remediação imediata não é necessária. Porém, é necessário um registro de restrição, que se refere ao desvio do valor de intervenção no solo. Além disso, pode ser necessária alguma forma de gestão, a critério da autoridade competente da Lei de Proteção do Solo.

Se a avaliação de risco específica do local chegar à mesma conclusão que a avaliação de risco padrão na etapa 2, confirmando que há partes da contaminação do solo que representam riscos inaceitáveis para o uso presente ou futuro, a remediação imediata dessa área de contaminação grave se torna essencial.

4.6 Políticas Ambientais Brasileiras como instrumento de proteção ambiental

A Constituição Federal, em seu art. 225, refere-se do meio ambiente como um direito coletivo, de qual a preservação é dever do poder público e da coletividade. No Capítulo VI (Do Meio Ambiente) o art. 225 da Constituição Federal determina que:

Art. 225 - Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 1988).

A Constituição Federal promulgada em 1988 incorporou as disposições da Lei nº 6.938/1981 e delineou a distribuição de responsabilidades legislativas e administrativas entre os diferentes níveis da Federação. Nesse sentido, estabeleceu-se como uma competência compartilhada entre a União, Estados, Distrito Federal e Municípios, a obrigação de "proteger o meio ambiente e combater a poluição em todas as suas formas". Além disso, atribuiu-se à União, Estados e Distrito Federal a prerrogativa de legislar de forma concorrente sobre questões relacionadas a "*florestas, caça, pesca, fauna, conservação da natureza, defesa do solo e dos recursos naturais, proteção do meio ambiente e controle da poluição*", com a União responsável por estabelecer apenas normas gerais dentro desse âmbito legislativo compartilhado (PEREIRA, 2007).

A partir da criação da Lei nº 6.938 de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) e institui o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), surgiram leis, decretos e resoluções que objetivaram a utilização racional, a conservação e a proteção efetiva dos recursos naturais (BORGES, 2008).

A política nacional do meio ambiente tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento socioeconômico. Esse equilíbrio consiste na conciliação da proteção do meio ambiente, de um lado, com a garantia do desenvolvimento socioeconômico, de outro, objetivando assegurar condições necessárias ao progresso industrial, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana (BRASIL, 1981). Além dos objetivos da política ambiental a Lei nº 6.938 de 1981 determinou toda a sistemática necessária para a aplicação desta (conceitos básicos, objeto, princípios, diretrizes, instrumentos, órgãos, responsabilidade objetiva etc.) (SIRVINSKAS, 2018).

Com suporte da PNMA foram apresentados com maior clareza os passos que devem ser seguidos para uma conduta ambientalmente sustentável, referindo aos princípios, aos objetivos e aos instrumentos da política ambiental brasileira (BORGES, 2008).

Em relação a proteção do solo a Lei Federal nº 6.938/1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, evidencia que são responsáveis legais e solidários pela remediação de uma área contaminada: o causador da contaminação e seus sucessores; o proprietário da área; o superficiário; o detentor da posse efetiva; e quem dela se beneficiar direta ou indiretamente (BRASIL, 1981).

4.7 Brasil - Aspectos legais e normativos da proteção do solo

Visando proteger as funções dos solos e águas subterrâneas a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) propôs valores orientadores para solos e águas subterrâneas em 2001, com base na metodologia desenvolvida na Holanda, confeccionou o relatório que apresentou as metodologias utilizadas e a lista de Valores de Referência de Qualidade, Alerta e Intervenção para 37 substâncias (CETESB, 2001).

Em 2005, foi publicada a revisão e ampliação dos valores orientadores para 84 substâncias (DD nº 195-2005-E, de 23.11.2005), em que foram definidos três valores orientadores para solo e água subterrânea: Valor de Referência de Qualidade (VRQ), Valor de Prevenção (VP) e Valor de Intervenção (VI) (CETESB, 2021).

Somente em 2009 que o Brasil estabeleceu a regulamentação federal considerando a necessidade de prevenção da contaminação do solo visando à manutenção de sua funcionalidade e a proteção da qualidade das águas superficiais. A Resolução CONAMA nº 420/2009, 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. Esta norma define diferentes valores orientadores de qualidade do solo, sendo eles: os Valores de Referência de Qualidade (VRQ), Valores de Prevenção (VP) e os Valores de Investigação (VI), estabelecendo níveis de qualidade para os solos e a águas subterrâneas:

Valor de Referência de Qualidade (VRQ): é a concentração de determinada substância que define a qualidade natural do solo, sendo determinado com base em interpretação estatística de análises físico-químicas de amostras de diversos tipos de solos;

Valor de Prevenção (VP): é a concentração de valor limite de determinada substância no solo, tal que ele seja capaz de sustentar as suas funções principais;

Valor de Investigação (VI): é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando o cenário de exposição padronizado (BRASIL, 2009).

A norma estabelece limites para estes valores para cada elemento existente. Na Tabela 2 são apresentados alguns destes limites para exemplificação.

Tabela 2. Valores orientadores para solo.

Substancias	VRQ*	VP (mg/kg)**	VI (mg/kg)***		
			Agrícola	Residencial	Industrial
Arsênio	-	15	35	55	150
Bário	-	150	300	500	750
Cádmio	-	1.3	3	8	20
Chumbo	-	72	180	300	400
Cobalto	-	25	35	65	90
Cobre	-	60	200	400	600
Cromo	-	75	150	300	400
Mercurio	-	0,5	12	36	70
Níquel	-	30	70	100	130
Zinco	-	300	4500	1000	2000

Fonte: Adaptado da Resolução CONAMA nº 420 (2009).

* VRQ = Valor de Referência de Qualidade

** VP = Valor de Prevenção

*** VI = Valor de Investigação

Em 2009, o estado de São Paulo publicou a legislação estadual nº 13.577, que dispõe sobre as diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas. O objetivo desta lei é garantir o uso sustentável do solo, protegendo-o contaminações e prevenindo alterações nas suas características e funções (SÃO PAULO, 2009).

A Lei Estadual nº 13.577/2009, estabeleceu importantes definições utilizadas no gerenciamento de áreas contaminadas para o estado de São Paulo, apresentou também instrumentos para implantação do sistema de proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas. Dentre os capítulos da lei paulista, cabe ressaltar também a definição das responsabilidades, em que são considerados os responsáveis legais e solidários pela prevenção, identificação e remediação de uma área contaminada. Além disso, toda ação ou omissão contrária às disposições da Lei Estadual nº 13.577/2009 e seu regulamento será considerada infração administrativa ambiental classificada em leve, grave ou gravíssima, levando-se em conta a intensidade do dano, efetivo ou potencial; as circunstâncias atenuantes ou agravantes; e os antecedentes do infrator.

Dentro dos instrumentos estabelecidos pela lei paulista, vale ressaltar à implantação do sistema de proteção da qualidade do solo e ao gerenciamento de áreas contaminadas: Cadastro

de Áreas Contaminadas, Disponibilização de informações e Plano Diretor e legislação de uso e ocupação do solo (PADILHA; MENEZES, 2016).

O Cadastro de Áreas Contaminadas, é formado por informações detalhadas sobre todos os empreendimentos e atividades que: sejam potencialmente poluidores; no passado abrigaram atividades passíveis de provocar qualquer tipo de contaminação do solo, estejam sob suspeita de estarem contaminados; e demais casos pertinentes à contaminação do solo, tendo que ser publicado no Diário Oficial do Estado e na página da internet da Secretaria do Meio Ambiente (PADILHA; MENEZES, 2016).

O Plano Diretor, é estabelecido pela Lei Federal nº 10.257, e define as exigências fundamentais de ordenação da cidade assegurando o atendimento das necessidades dos cidadãos quanto à qualidade de vida, à justiça social e ao desenvolvimento das atividades econômicas. Nesse sentido, e de acordo com o artigo 48 da Lei Estadual nº 13.577/2009, torna-se obrigatório a consideração das áreas com potencial ou suspeita de contaminação e áreas contaminadas nos Planos Diretores Municipais e respectivas legislações de uso e ocupação do solo (BRASIL, 2001; SÃO PAULO, 2009; PADILHA; MENEZES, 2016).

Em Minas Gerais, foi instituído o Programa Estadual de Gestão de Áreas Contaminadas, por meio da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010 e pela Deliberação Normativa Copam - MG nº 166/2011, que estabeleceram as diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas (MINAS GERAIS, 2010; MINAS GERAIS, 2011).

A Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010, refere-se especificamente à proteção da qualidade do solo no estado de Minas Gerais, contra alterações nocivas por contaminação, por meio da definição de responsabilidades, identificação e cadastramento de áreas contaminadas e possíveis remediações das mesmas, de forma a tornar seguros seus usos atuais e futuros. Dentro de seus instrumentos, cabe ressaltar quatro específicos à implantação do sistema de proteção da qualidade do solo e ao gerenciamento de áreas contaminadas: Inventário Estadual de Áreas Suspeitas de Contaminação e Contaminadas, Plano de Reabilitação de Área Contaminada (PRAC), Lista de Valores Orientadores para solos e água subterrânea e Plano Diretor e legislação de uso e ocupação do solo.

O Inventário de Áreas Contaminadas é um conjunto de informações sobre as áreas contaminadas e reabilitadas localizadas no Estado de Minas Gerais, sendo um instrumento para o gerenciamento dessas áreas, subsidiando a elaboração do Programa Estadual de Gestão

das Áreas Contaminadas, a partir da geração e disponibilização de informações técnicas no apoio à tomada de decisão (FEAM, 2020).

O Plano de Reabilitação de Área Contaminada (PRAC) é o instrumento de gestão ambiental formado pelo conjunto de informações técnicas, projetos e ações visando à intervenção para a reabilitação de uma área contaminada por substâncias químicas. O responsável por uma Área Contaminada sob Intervenção (ACI) deve submeter ao órgão ambiental competente o Plano de Reabilitação de Área Contaminada (PRAC) a ser executado sob sua responsabilidade e expensas. O PRAC será implantado mediante avaliação do órgão ambiental, caso o órgão ambiental competente não se manifeste no prazo de 6 meses, o PRAC será considerado aprovado, sem prejuízo de qualquer complementação ou alteração que venha a ser eventualmente solicitada (MINAS GERAIS, 2010).

Para elaboração do PRAC deve-se considerar: as ações institucionais, as medidas de controle ou eliminação das fontes de contaminação; a caracterização do uso do solo atual e futuro da área objeto e sua circunvizinhança; os resultados da avaliação de risco à saúde humana; avaliação técnica e econômica das alternativas de intervenção em função da massa de contaminantes existentes e suas consequências, da eficiência e dos prazos envolvidos na implementação das ações de intervenção propostas para atingir as metas estabelecidas; o projeto da alternativa de intervenção selecionada; o programa de monitoramento das ações executadas; a necessidade de medidas de restrição quanto ao uso (MINAS GERAIS, 2010).

Em consonância com a Resolução Nº 420, de 28 de dezembro de 2009, do CONAMA, que determina que todos os Estados do território nacional possuam seus próprios valores de referência de qualidade de substâncias químicas no solo, a Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM) iniciou em 2008, em parceria com o Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e a Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (Cetec), o Programa Solos de Minas, que tem como meta principal a obtenção de valores de referência para os solos do estado de Minas Gerais.

Os valores orientadores foram inicialmente publicados de acordo com a Lista de Valores Orientadores da CETESB, publicada na Decisão de Diretoria nº 195-2005- E, de 23 de novembro de 2005, e posteriormente os Valores de Referência de Qualidade foram estabelecidos pela Deliberação Normativa COPAM Nº 166/2011.

Para o estado de Minas Gerais tem se Valor de Referência de Qualidade (VRQ), Valor de Prevenção (VP) e Valor de Investigação (VI) como: Os Valores de Referência de Qualidade (VRQ) são utilizados para caracterizar a ocorrência natural de substâncias químicas, considerando a política de prevenção e controle das funções do solo. Os Valores de

Prevenção (VP) são utilizados para indicar alterações da qualidade do solo que possam prejudicar sua funcionalidade e disciplinar a introdução de substâncias químicas no solo. Os Valores de Investigação (VI) são utilizados para desencadear e definir ações de investigação e controle, indicando a necessidade de ações para resguardar os receptores de risco (MINAS GERAIS, 2010).

Tabela 3. Valores orientadores para solo.

Substancias	VRQ*	VP (mg/kg)**	VI (mg/kg)***		
			Agrícola	Residencial	Industrial
Arsênio	8	15	35	55	150
Bário	93	150	300	500	750
Cádmio	<0,4	1.3	3	8	20
Chumbo	19,5	72	180	300	400
Cobalto	6	25	35	65	90
Cobre	49	60	200	400	600
Cromo	75	75	150	300	400
Mercúrio	0,05	0,5	12	36	70
Níquel	21,5	30	70	100	130
Zinco	46,5	300	4500	1000	2000

Fonte: Adaptado Resolução COPAM n^o 166 (2011).

A legislação Brasileira passou por diversos momentos históricos importantes cabendo ressaltar em ordem cronológica conforme a Figura 4, os seguintes acontecimentos: a criação da Política Nacional de Meio Ambiente em 1981, a elaboração da Constituição Federal em 1988, a concepção dos valores orientadores para solos e águas subterrâneas pela CESTESB em 1995, a Lista de Valore Orientadores da CESTESB em 2001, a nova lista de Valores Orientadores da CESTESB em 2005, a elaboração da Resolução CONAMA n^o 420/2009, a Lei paulista n^o 13.577/2009 e a Lei mineira DN COPAM/CERH-MG n^o 02/2010.

Figura 4. Marcos históricos da política do solo Brasileira.



Fonte: Do autor (2021).

4.8 Brasil - Aspectos técnicos para a identificação e gerenciamento de áreas contaminadas

No gerenciamento da qualidade de solos e das águas subterrâneas, tanto em caráter preventivo quanto corretivo, as seguintes questões devem ser respondidas: “O que é solo “limpo”? O que é uma área suspeita de contaminação? A área está contaminada? A área requer uma intervenção? A intervenção é urgente? Quando deve começar a intervenção? Qual o objetivo da intervenção?” (CETESB, 2001).

Ao analisarmos as sete perguntas que o relatório da CESTEB apresenta como orientação podemos dividir essas perguntas em informações relacionadas ao solo do local e a ações necessárias para o objetivo da intervenção.

Em relação as informações do solo do local, considera-se um solo como “limpo” quando a concentração de um elemento ou substância de interesse ambiental é menor ou igual ao valor de ocorrência natural. Ressaltando que a concentração foi denominada como valor de referência de qualidade e estes números não são fixados como padrões na legislação. Segundo

o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB, 1999), uma área suspeita de contaminação é aquela na qual, após a realização de uma avaliação preliminar, foram observadas indicações que induzem a suspeitar de contaminação. A área será considerada contaminada se, entre outras situações, as concentrações de elementos ou substâncias de interesse ambiental estiverem acima de um dado limite denominado valor de intervenção (CETESB, 2001).

Em relação as ações necessárias para intervenção devem se avaliar a urgência da intervenção que pode ser baseada em uma avaliação de fluxo e transporte de massa de poluentes, por meio de modelagem matemática e por meio de avaliação de risco específica para as condições do local. O início da intervenção na área e a execução de todas as etapas posteriores devem ser acordadas entre o responsável pela remediação e as autoridades competentes, estabelecendo-se um cronograma executivo que deverá ser subsidiado pelas informações obtidas na avaliação da área contaminada. Portanto, após identificado a contaminação deve se determinar a necessidade de uma avaliação detalhada ou a utilização de uma lista orientadora de valores de qualidade e valores de intervenção. A investigação detalhada utiliza a aplicação de modelos de avaliação de risco caso a caso, necessitando de grande especialização e envolvendo altos custos. Já a utilização de uma lista de valores orientadores tem com vantagem de possibilitar ao poluidor a alternativa de utilizar os recursos disponíveis para a remediação. Os objetivos da intervenção são definidos caso a caso, por exemplo se a intervenção recomendada seja uma remediação, propõe-se que o alvo a ser atingido, ou seja, a concentração do contaminante após o término da remediação, tendo como valor orientador o valor de alerta (CETESB, 2001).

De acordo com a Resolução CONAMA nº 420/2009 para o gerenciamento de áreas contaminadas, o órgão ambiental competente deverá instituir procedimentos e ações de investigação e de gestão, que contemplem as seguintes etapas: Identificação, Diagnóstico e Intervenção.

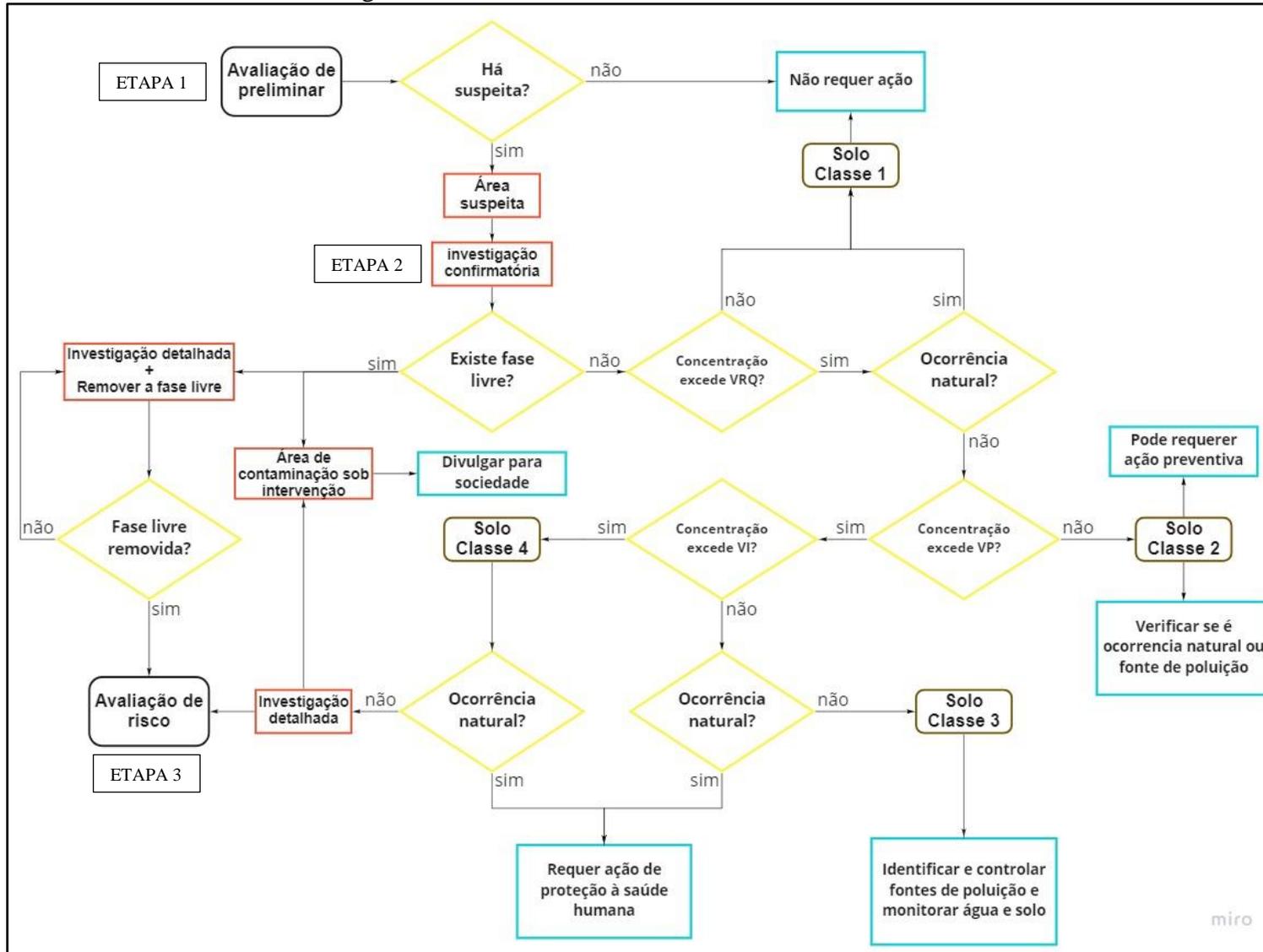
I - Identificação: etapa em que serão identificadas áreas suspeitas de contaminação com base em avaliação preliminar, e, para aquelas em que houver indícios de contaminação, deve ser realizada uma investigação confirmatória, as expensas do responsável, segundo as normas técnicas ou procedimentos vigentes.

II - Diagnóstico: etapa que inclui a investigação detalhada e avaliação de risco, as expensas do responsável, segundo as normas técnicas ou procedimentos vigentes, com objetivo de subsidiar a etapa de intervenção, após a investigação confirmatória que tenha identificado substâncias químicas em concentrações acima do valor de investigação.

III - Intervenção: etapa de execução de ações de controle para a eliminação do perigo ou redução, a níveis toleráveis, dos riscos identificados na etapa de diagnóstico, bem como o monitoramento da eficácia das ações executadas, considerando o uso atual e futuro da área, segundo as normas técnicas ou procedimentos vigentes.

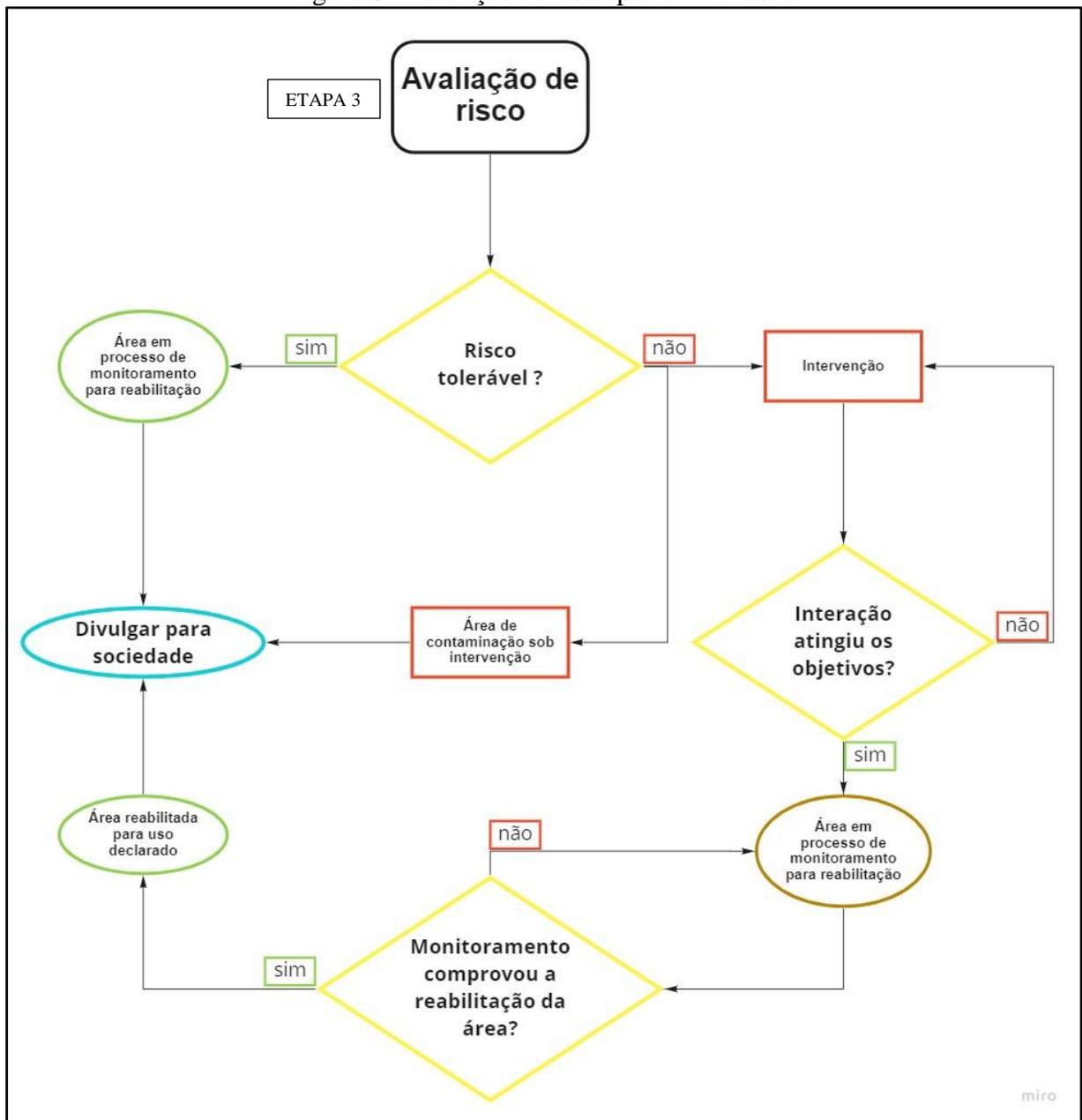
De forma a ilustrar as etapas necessárias pode se utilizar os seguintes fluxograma (figura 5) como guia.

Figura 5. Gerenciamento de áreas contaminadas - Brasil.



Fonte: Adaptado da Resolução CONAMA nº 420 (2009).

Figura 6. Avaliação de risco padrão - Brasil.



Fonte: Adaptado da Resolução CONAMA nº 420 (2009).

4.8.1.1 Etapa 1: Avaliação Preliminar

O objetivo da etapa 1 é a avaliação inicial, realizada com base nas informações históricas disponíveis e inspeção do local, com a finalidade principal de encontrar evidências, indícios ou fatos que permitam suspeitar da existência de contaminação na área, a etapa 1 pode levar aos seguintes resultados:

- Não é um caso de contaminação;
- Suspeita de contaminação - etapa 2: Investigação confirmatória.

Se não houver nenhum caso de contaminação de suspeita de contaminação, não é necessário verificar se existem riscos inaceitáveis em decorrência da contaminação. Se houver um caso de suspeita de contaminação, a área será considerada uma Área Suspeita de Contaminação (AS), e a seguinte etapa sempre segue: realizar uma investigação confirmatória (etapa 2).

4.8.1.2 *Etapa 2: Investigação confirmatória*

O objetivo da etapa 2 é confirmar ou não a existência de substâncias de origem antrópica nas áreas suspeitas, no solo ou nas águas subterrâneas, em concentrações acima dos valores de investigação, a etapa 2 pode levar aos seguintes resultados:

- Concentração excede VRQ;
- Concentração excede VP;
- Concentração excede VI;
- Existência de fase livre.

Quando a concentração de uma substância for reconhecida pelo órgão ambiental competente como de ocorrência natural, a área não será considerada contaminada sob investigação, entretanto quando a ocorrência não for natural pode ser necessária à implementação de ações específicas de proteção à saúde humana pelo poder público competente.

Caso o resultado da investigação confirmatória determinar que a contaminação com concentrações de substâncias no solo ou nas águas subterrâneas estão acima dos valores de investigação, a área será declarada Área Contaminada sob Investigação (AI), pelo órgão ambiental competente. Quando a área é declarada com AI deve se realizar a Investigação detalhada, etapa do processo de gerenciamento de áreas contaminadas, que consiste na aquisição e interpretação de dados em área contaminada sob investigação, a fim de entender a dinâmica da contaminação nos meios físicos afetados e a identificação dos cenários específicos de uso e ocupação do solo, dos receptores de risco existentes, dos caminhos de exposição e das vias de ingresso. A avaliação de risco (etapa 3) deverá ser efetuada após a investigação detalhada.

Em caso de identificação de fase livre, deve se realizar a investigação detalhada e a remoção da fase livre. A avaliação de risco (etapa 3) deverá ser efetuada após eliminação da fase livre ou redução a níveis mínimos estabelecidos a critério do órgão ambiental

competente, com base nos recursos tecnológicos disponíveis, sem prejuízo à implementação das etapas de gerenciamento das outras fontes de contaminação da área.

4.8.1.3 *Etapa 3: Avaliação de risco*

O objetivo da etapa 3 é identificar, avaliar e quantificar os riscos à saúde humana ou a bem de relevante interesse ambiental a ser protegido. O resultado da etapa 3 também pode levar a um melhor dimensionamento das medidas de remediação. A etapa 3 pode levar aos seguintes resultados:

- Risco não tolerável;
- Risco tolerável.

Se o resultado da avaliação de risco específica do local determinar que a contaminação do solo presente no uso atual ou futuro apresenta risco tolerável, a área entra em processo de monitoramento e reabilitação, e as informações devem ser divulgadas a sociedade.

Caso a avaliação de risco específica do local levar conclusão que o risco não é tolerável, a área será declarada como Área Contaminada sob Intervenção (ACI), pelo órgão ambiental competente, seja por presença de substâncias químicas em fase livre ou for comprovada a existência de risco à saúde humana.

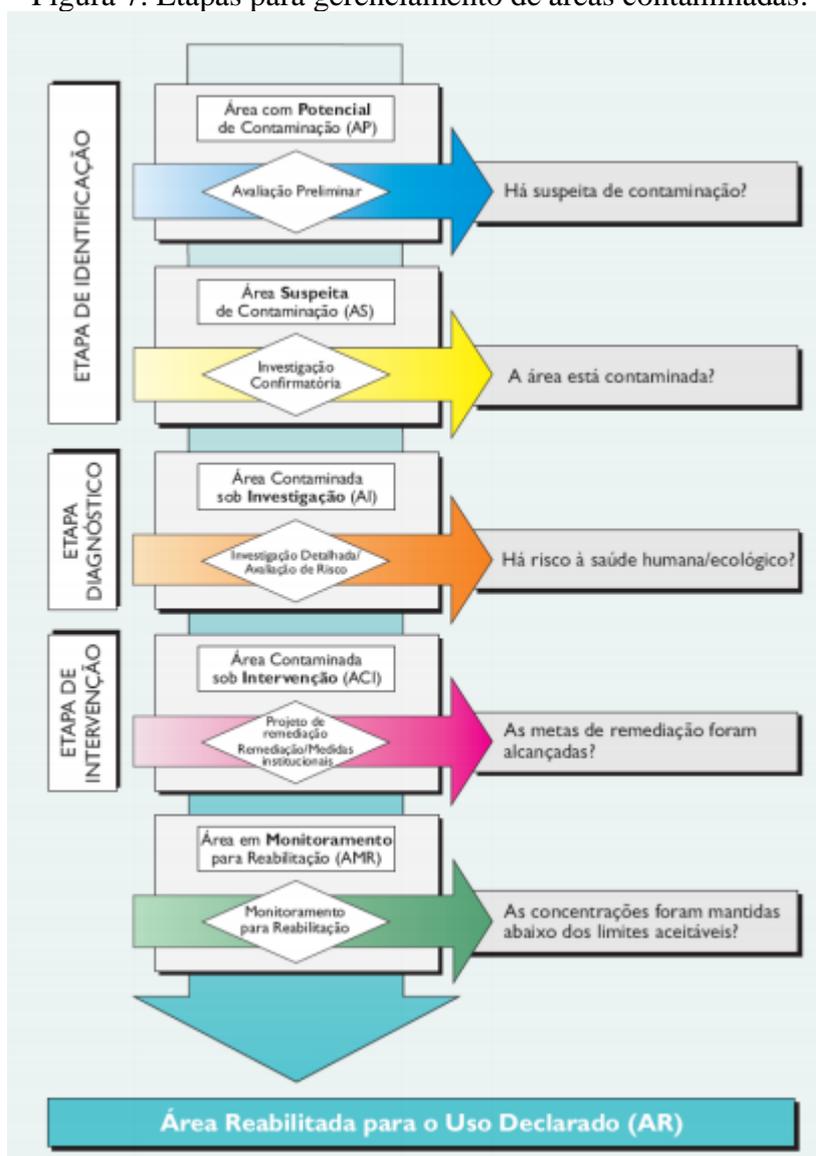
Para os casos de ACI deve se realizar a intervenção até essa atingir seus objetivos, quando a área atingir os objetivos da intervenção esta entra em processo de monitoramento e reabilitação. E por fim quando o monitoramento comprovar a reabilitação da área para o uso declarado a informação deve ser divulgada a sociedade.

Em Minas Gerais o processo de gerenciamento de áreas contaminadas considera as áreas com potencial de contaminação, as áreas com suspeita de contaminação e as áreas contaminadas. De forma sucinta as áreas com potencial de contaminação são os locais onde foram ou estão sendo exercidas atividades com potencial de poluição do solo e águas subterrâneas, tais como as atividades minerárias, industriais, de infraestrutura e de serviços e comércio atacadista listadas na Deliberação Normativa COPAM Nº 217/2017. Já as áreas suspeitas de contaminação são aquelas em que, após avaliação preliminar, foram observados indícios de contaminação. Por fim as áreas contaminadas são aquelas em que as concentrações das substâncias ou compostos químicos de interesse estejam acima dos Valores de Investigação estabelecidos pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº

02/2010, indicando a existência de potencial risco à saúde humana e ao meio ambiente (FEAM, 2020).

O gerenciamento de áreas contaminadas constitui-se em ações ou estratégias sequenciais necessárias à identificação e caracterização dos impactos associados à contaminação, incluída a estimativa dos riscos; decisões quanto às formas de intervenção mais adequadas, quando aplicável; intervenção que assegure a minimização de riscos e eventuais danos a pessoas, ao meio ambiente ou outros bens a proteger; e monitoramento – medições periódicas dos meios atingidos. A sequência das ações permite que as informações obtidas em cada etapa sejam a base para a execução da etapa posterior (Figura 7).

Figura 7. Etapas para gerenciamento de áreas contaminadas.



Fonte: Inventário de Áreas Contaminadas de Minas Gerais (FEAM/2020).

A avaliação preliminar consiste da etapa do gerenciamento em que é realizada a avaliação inicial, com base nas informações históricas disponíveis e inspeção do local, com o objetivo principal de encontrar evidências, indícios ou fatos associados a suspeita de contaminação. A Investigação Confirmatória tem como objetivo principal confirmar ou não a existência de substâncias de origem antrópica nas áreas suspeitas, por meio de sondagens, amostragens e medições no solo ou nas águas subterrâneas. A Investigação Detalhada consiste na aquisição e interpretação de dados da área, com o objetivo de compreender e explicitar a dinâmica da contaminação nos meios físicos afetados, delimitar a(s) pluma(s) de contaminação e propor modelo conceitual por meio dos cenários específicos de uso e ocupação do solo, dos receptores existentes, dos caminhos de exposição e das vias de ingresso (FEAM, 2020).

A partir de 2007, a FEAM passou a manter um banco de dados com informações sobre as áreas contaminadas e rehabilitadas cadastradas no Estado de Minas Gerais. Dessa forma, o inventário de áreas contaminadas cumpre importante papel de tornar pública as informações pertinentes às áreas contaminadas, dando transparência às medidas adotadas pelos responsáveis pelas áreas contaminadas e o acompanhamento no gerenciamento empreendidas pelo Estado (FEAM, 2020).

De acordo com a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010 o inventário de áreas contaminada do estado de Minas Gerais faz parte da etapa do gerenciamento do qual a área se encontra, sendo classificado as áreas sob suspeita de contaminação/contaminadas em: Áreas com Potencial de Contaminação (AP), Áreas Suspeitas de Contaminação (AS), Áreas Contaminadas sob Investigação (AI), Áreas Contaminadas sob Intervenção (ACI), Áreas em Processo de Monitoramento para Reabilitação (AMR) e Áreas Rehabilitadas para Uso Declarado (AR). Tais áreas podem ser definidas como segue:

Área com Potencial de Contaminação (AP): área em que ocorrer atividades com características que sejam capazes de ocasionar contaminação. Sendo inerente à atividade econômica desenvolvida, ou seja, independentemente da existência ou não de indícios ou fatos associados à possível contaminação.

Área Suspeita de Contaminação (AS): área em que por meio de avaliação preliminar, for confirmada a existência de indícios de contaminação.

Área Contaminada sob Investigação (AI): área em que for comprovadamente constatada, mediante estudo de Investigação Confirmatória, a ocorrência de concentrações de

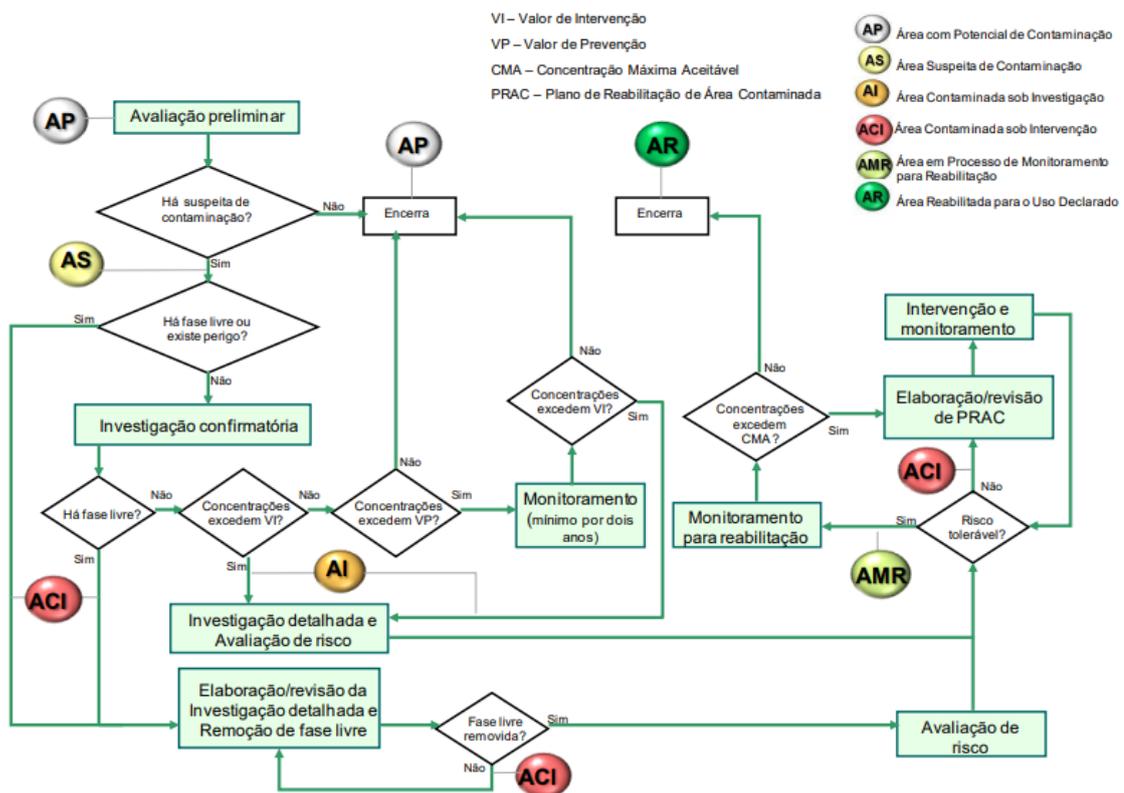
determinadas substâncias ou compostos no solo ou nas águas subterrâneas acima dos valores de investigação (VI) constantes da legislação vigente.

Área Contaminada sob Intervenção (ACI): área que apresentar substâncias ou compostos em fase livre ou cuja execução de Investigação Detalhada e de Avaliação de Risco comprovar risco não tolerável à saúde humana ou ao bem a proteger.

Área em Monitoramento para Reabilitação (AMR): área que for alcançada a redução do risco aos níveis toleráveis, de acordo com as metas estipuladas na avaliação de risco ou parâmetros legais. Nesta etapa, o monitoramento é realizado para constatar se há ou não a manutenção das concentrações de contaminantes abaixo das concentrações máximas aceitáveis definidas para a área, sendo executado por, no mínimo, dois anos e com periodicidade semestral.

Área Reabilitada para Uso Declarado (AR): área em que, após o período de monitoramento para reabilitação e, desde que confirmada a eliminação do perigo ou a redução dos riscos a níveis toleráveis, seja considerada reabilitada para o uso declarado (FEAM, 2020). O gerenciamento de áreas contaminadas em Minas Gerais é apresentado pelo fluxograma a seguir (Figura 8).

Figura 8. Fluxograma para gerenciamento de áreas contaminadas em Minas Gerais.



Fonte: Inventário de Áreas Contaminadas de Minas Gerais (FEAM/2020).

Conforme fluxograma do gerenciamento de áreas contaminadas apresentado e com base na legislação aplicável, demonstra-se que o responsável por área contaminada deve, independente de manifestação da FEAM, dentre outras obrigações, sempre divulgar para os atores envolvidos a identificação, o diagnóstico e a intervenção em área contaminada, caso verificada alguma situação dessa.

O gerenciamento de áreas contaminadas no estado de Minas Gerais segue de forma similar as etapas descritivas na Resolução CONAMA nº 420/2009. Primeiramente deve se providenciar a Avaliação Preliminar, se houver área com potencial de contaminação sob sua responsabilidade. Em caso identificada área com suspeita de contaminação, devese proceder com à Investigação Confirmatória e declará-la a partir do preenchimento do formulário de cadastro eletrônico disponibilizado no sítio eletrônico da FEAM. Para os casos que exista a confirmação da área contaminada, deve-se informar imediatamente ao órgão ambiental, declarando-a a partir do preenchimento do formulário de cadastro eletrônico disponibilizado no sítio eletrônico da FEAM. Após o envio do formulário e documentos referentes deve se providenciar os estudos/investigações sequenciais, conforme o fluxograma (figura 8).

Caso identificado risco ou perigo (caracterizada principalmente pela ocorrência de fase livre), providenciar medidas emergenciais e estudos sequenciais, conforme o fluxograma (figura 8), sendo estes reavaliar e atualizar o diagnóstico, sempre que necessário e elaborar e implantar o Plano de Reabilitação de Área Contaminada - PRAC, sempre que exigível (o PRAC ou projeto de remediação deve ser aprovado pela FEAM no prazo de 6 meses, passado esse prazo o responsável deve executar o Plano ou Projeto independente da manifestação da FEAM).

Concluído as de investigação inicia-se as intervenções e monitoramento da área no qual deve se observar os prazos legais aplicáveis, que incluem de 6 (seis) a 12 (doze) meses para remoção de fase livre, totalizando 6 (seis) anos para a reabilitação desde a classificação da área como AI – área contaminada sob investigação – pelo órgão ambiental competente, incluídos 2 (dois) anos do processo de monitoramento para reabilitação.

Durante a fase de reabilitação deve se informar ao órgão ambiental as datas de desativação da remediação e de início do monitoramento, monitorar a área no decorrer do gerenciamento e apresentar os respectivos relatórios ao órgão ambiental, propor uso futuro pretendido para a área, que deve estar de acordo com os cenários identificados na avaliação de risco. Ao concluir a fase de reabilitação deve se solicitar o encerramento do gerenciamento ao órgão ambiental, caso cumpridas as exigências mínimas conforme legislação.

5 CONCLUSÃO

A Holanda foi pioneira ao tratar de políticas ambientais para a proteção de solo e água subterrânea, como resultado o país hoje é referência mundial quanto a metodologias e técnicas para a identificação e gerenciamento de áreas contaminadas. A Lei de Proteção do Solo, em vigor desde 1987, ainda é a regulamentação nacional holandesa utilizada até os dias de hoje em conjunto com a Lei Ambiental, sendo ambas de grande importância na política atual do solo para lidar com a poluição do solo e garantir o manejo consciente e sustentável do solo.

A identificação e gerenciamento de áreas contaminadas na Holanda é determinado pelo artigo 37 da Lei de Proteção do solo, que estipula remover os riscos em um tempo hábil, de tal forma a permitir abordagens flexíveis dependendo do caso de contaminação. Dessa forma, como suplemento a Lei de Proteção do Solo, é utilizado o Decreto de Qualidade do Solo, que tem como objetivo estabelecer regras gerais tanto para o critério de remediação quanto para o objetivo da remediação. Hoje na Holanda se houver suspeita de contaminação do solo, os locais são examinados para determinar se há um caso de contaminação grave. Para esse efeito, deve ser realizada uma investigação mais aprofundada de acordo com NTA (Normas e Especificações Técnicas Holandesas) de qualidade do solo, NTA-5755. Para auxiliar no cálculo dos riscos de contaminação do solo, é utilizada a ferramenta Sanscrit®, que resulta em uma classificação genérica com resultados satisfatórios para ser usado como ponto de partida para o gerenciamento desta área.

No Brasil, o estado de São Paulo, por meio da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), foi pioneiro no estabelecimento Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. A CETESB, em 2001, publicou o relatório que continha as metodologias utilizadas e a lista de Valores de Referência de Qualidade, Alerta e Intervenção para 37 substâncias no estado.

Considerando a necessidade de se estabelecer de procedimentos e critérios integrados entre os órgãos da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios em conjunto com a sociedade, para o uso sustentável do solo, de forma a precaver alterações prejudiciais que possam resultar em perda de sua funcionalidade em 2009 o Brasil estabeleceu a regulamentação federal considerando a necessidade de prevenção da contaminação do solo e visando à manutenção de sua funcionalidade por meio da Resolução CONAMA nº 420/2009, tornando-se um marco para o país no que diz respeito a proteção e qualidade dos solos nacionais.

Em Minas Gerais, foi instituído o Programa Estadual de Gestão de Áreas Contaminadas, por meio da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010 e pela Deliberação Normativa Copam - MG nº 166/2011, cumprindo o papel do estado em regulamentar a proteção do solo. Dentre os instrumentos estabelecidos pela COPAM ressalta-se à implantação do sistema de proteção da qualidade do solo e ao gerenciamento de áreas contaminadas: Inventário Estadual de Áreas Suspeitas de Contaminação e Contaminadas, Etapas para o gerenciamento de áreas contaminadas, Lista de Valores Orientadores para solos e água subterrânea e Plano Diretor e legislação de uso e ocupação do solo. Sendo esses instrumentos de extrema importância para o gerenciamento de áreas contaminadas no estado de Minas Gerais, permitindo uma maior transparência das informações, garantindo uma melhor gestão das áreas contaminadas e determinando ações integradas que incrementem a gestão da qualidade do solo e de áreas contaminadas no estado.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, P. ; NABI, G. ; ASHRAF, M. Cadmium-induced oxidative damage in mustard *Brassica juncea* (L.) Czern. & Coss. plants can be alleviated by salicylic acid. **South African Journal of Botany**. v. 77, p. 36-44, 2011.
- ALGHOBAR, M.A.; SURESHA, S. Evaluation of metal accumulation in soil and tomatoes irrigated with sewage water from Mysore city, Karnataka, India. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**. v. 16 n. 1, p. 49–59, 2017.
- ALLOWAY, B.J., **Heavy metals in soils - Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability**. 3 ed. London: Springer, 2012.
- ALLOWAY, B.J; AYERS, D. C. **Chemical principles of environmental pollution**. 2 ed. CRC Press. 395 p.1996.
- ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I.; FERREIRA, A. C; BONNET, B.R.P.; PEGORINI, E. S. A. **Gestão dos Biossólidos Gerados em Estações de Tratamento de Esgoto Doméstico**. Curitiba: Engenharia e Construção, n. 24, 1998.
- ASHRAF S., et al. Phytoremediation: Environmentally sustainable way for reclamation of heavy metal polluted soils **Ecotoxicology and Environmental Safety** v. 174, p. 714–727, 2019.
- ATALAY, A., et al. Nutrient and microbial dynamics in biosolids amended soils following rainfall simulation. **Soil Sedim. Contam** v. 16, p. 209–219. 2007.
- AYANGBENRO, A.S. ; BABALOLA, O.O. A new strategy for heavy metal polluted environments: a review of microbial biosorbents. **International Journal. Environ. Res. Public Health** v.14, n.1, p. 94. 2017.
- BJUHR J. **Trace metals in soils irrigated with waste water in a periurban area downstream Hanoi City, Vietnam**. P. 7, 2007;
- BLUM, W.E.H., SANTELISES A.A. A concept of sustainability and resilience based on soil functions. **Soil resilience and sustainable land use**. CAB International, Wallingford. p. 535-542, 1994.
- BORGES, L.A.C. Aspectos técnicos e legais que fundamentam o estabelecimento das áreas de preservação permanente (APP). **Tese de Doutorado do curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras (UFLA)**, 2008.
- BRASIL, Lei 6.983, de 13 de agosto de 1981. Dispões sobre a política nacional do meio ambiente. Brasília, DF, Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm>. acesso em: 25 jun. 2021.
- BRASIL, Do meio ambiente: artigo 225, **Constituição Federal de 1988**. Brasília, DF, Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm>. acesso em: 25 jun. 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução do CONAMA N° 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.

Diário Oficial da União, Brasília, p. 1-20, dez. 2009. Disponível em:
<<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em: 05 dez 2018.

BROFAS, G.; MICHPOULOS, P.; ALIFRAGIS, D. Sewage sludge as an amendment for calcareous bauxite mine spoils reclamation. **Journal of Environment Quality**, v.29, p.811-816, 2000.

BU-OLAYAN, A.H. ; THOMAS, B.V., Translocation and bioaccumulation of trace metals in desert plants of Kuwait Governorates. **Research Journal of Environmental Sciences**. v. 3, n. 5, 2009.

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F.; CASAGRANDE, J.C.; Reações dos micronutrientes e elementos tóxicos no solo. Ed. CNPq/ FAPESP/ POTAFOS, Jaboticabal, p. 599, 2001.

CARTER, M.R. Organic matter and sustainability. In: REES, B.C.; BALL, B.C.; CAMPBELL, C.D. & WATSON, C.A., eds. **Sustainable management of soil organic**. Wallingford, CAB International, 2001. p.9-22.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Definição das atividades industriais e comerciais potencialmente contaminadoras do solo e das águas subterrâneas. **Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas**, Cap. 3100, p. 1-8, 1999.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Relatório de estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo, p. 1-246, 2001.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Disponível em:
<<https://cetesb.sp.gov.br/solo/valores-orientadores-para-solo-e-agua-subterranea/2021>>,
Acesso em: 15 de jun., 2021

CHANDRASEKHAR, C. ; RAY, J.G. Lead accumulation, growth responses and biochemical changes of three plant species exposed to soil amended with different concentrations of lead nitrate. **Ecotoxicology and Environmental Safety**., v. 171, p. 26–36, 2019.

CHROSTOWSKI, P. ; DURDA, J.L. ; EDELMANN, K.G. The use of natural processes for the control of chromium migration. **Remediation**, v.2, n. 3, p. 341–351, 1991.

COETZEE, J.J. ; BANSAL, N. ; CHIRWA, E.M., Chromium in environment, its toxic effect from chromite-mining and ferrochrome industries, and its possible bioremediation. **Exposure and Health**, p. 1–12, 2018.

DAVIS, C.M. ; VINCENT, J.B. Chromium oligopeptide activates insulin receptor tyrosine kinase activity. **Biochemistry**, v. 6, p. 4382–4385, 1997.

- DIAS, C.L.; CASARINI, D.C.P. Gerenciamento da qualidade de solos e águas subterrâneas. **Relatório técnico de viagem à Holanda**, p. 1-50, 1996.
- DORAN, J.W., SARRANTONIO, M., LIEBERG, M.A. Soil health and sustainability. p. 1-54, 1996.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de Métodos de Análises de solo**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Rio de Janeiro: Embrapa solos, p. 212, 1997.
- FEAM, Fundação Estadual do Meio ambiente. Inventário de contaminadas do Estado de FEAM, 2020. **Fundação Estadual do Meio Ambiente**. Disponível em: http://www.FEAM.br/images/stories/2021/AREAS_CONTAMINADAS/Invent%C3%A1rio_2020_-_Final1.pdf. Acesso em: 15 jul. 2021.
- GARCIA, C.; HERNANDEZ, T.; COSTA, F. The influence of composting and maturation process on the heavy-metal extractability from some organic wastes”. **Biological Wastes**, v.31, p. 291 – 301, 1990.
- GAUTAM, P.K., et al. Heavy metals in the environment: fate, transport, toxicity and remediation technologies. **Nova Science Publishers**. v. 60, p. 101–130, 2016.
- HADIA-E-FATIMA, AHMED, A. Heavy metal pollution -A mini review. **J. Bacteriol. Mycol.** v. 6, n. 3, p. 179–181, 2018.
- EPA, Environmental Protection Agency. Soil screening guidance: thecnical background document, **Office of Solid Waste and Emergency Response**, v.2 p.1-49, 1996.
- JENNY, H. 1941. Factors of soil formation – a system of quantitative pedology. unabridged edition, **Dover Publications NYC**, 1994
- JAISWAL, A. ; VERMA, A. ; JAISWAL, P. Detrimental effects of heavy metals in soil, plants, aquatic ecosystem as well as in humans. **Journal of Environmental Pathology, Toxicology**. v. 37, n. 3, p. 183–197, 2018.
- JAN, A.T., et al. Heavy metals and human health: mechanistic insight into toxicity and counter defense system of antioxidants. **International Journal Molecular. Sciences**. v. 16 n. 12. 2015.
- KARLEN, D.L., STOTT, D.E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. **Defining soil quality for a sustainable environment**. ed. 35, p 53-72, 1994.
- KARLEN, D.L.; et al. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society America Journal*, v.61, n.1, p.4-10, 1997.
- KIM, K. –R; OWENS, G. Potential for enhanced phytoremediation of landfills using biosolids – a review. **Journal of Environmental Management**, v. 91, n. 4, p. 791-797, 2010.
- LAL, R., PIERCE, F.J. The vanishing resource. Soil management for sustainability. **Soil Water Conservation Society**, p. 1-5, 1991.

- LARSON, W.E., PIERCE, FJ. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. **Defining soil quality for a sustainable environment. Soil Sci Soc. Am. Special Pub.** ed. 35, p. 37-51, 1994.
- LEYSSSENS, L., et al. Cobalt toxicity in humans-a review of the potential sources and systemic health effects. **Toxicology**, v. 387, p. 43–56, 2017.
- MADEJÓN, E., PÉREZ DE MORA, A., FELIPE, E., BURGOS, P., CABRERA, F., Soil amendments reduce trace element solubility in a contaminated soil and allow regrowth of natural vegetation. **Environ. Pollut.** v. 139, p 40–52. 2006.
- MADEJÓN, P. et al. Do amended, polluted soils require re-treatment for sustainable risk reduction?: evidence from field experiments. **Geoderma**, v. 159, n 1-2, p 174-181, 2010.
- MANDAL, P., An insight of environmental contamination of arsenic on animal health. **Emerging Contaminants**. v. 3, n. 1, p. 17–22, 2017.
- MINAS GERAIS, Deliberação Normativa COPAM nº 02, de 08 de setembro de 2010. Institui o Programa Estadual de Gestão de Áreas Contaminadas, que estabelece as diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por substâncias químicas. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=14670>>. Acesso em: 15 jul. 2021.
- MINAS GERAIS, Deliberação Normativa COPAM nº 116, de 27 de junho de 2008. Dispõe sobre a declaração de informações relativas à identificação de áreas suspeitas de contaminação e contaminadas por substâncias químicas no Estado de Minas Gerais. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=7974>. Acesso em: 15 jul. 2020.
- MOEN, J.E.T., et al. Soil protection and remedial actions: criteria for decision making and standardisation of requirements. **Contaminated soil** p. 441- 448, 1986.
- MOREIRA-NODERMANN, L.M. A Geoquímica e o meio ambiente. *Geochimica Brasiliensis*, v.1, n.1, p.89-107, 1987.
- MONNI, S.; SALEMAA, M. ; MILLER, N. The Tolerance of *Empetrum nigrum* to Copper and Nickel. **Environmental Pollution - Journal**. v. 109, p. 221–229, 2000.
- NAVAS, A.; MACHÍN, J.; NAVAS, B. Use of biosolids to restore the natural vegetation cover on degraded soils in the badlands of Zaragoza (NE Spain). **Bioresource Technology**, v.69, p.199-205, 1999.
- NIES, D.H. Efflux-mediated heavy metal resistance in prokaryotes. **FEMS Microbiology Reviews**. V. 27, p. 313–339, 2003.
- NORTCLIFF, S. Standardisation for Soil Quality Attributes. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 8, cap. 8, p 161-168, 2002.

PADILHA, A. F. R., MENEZES, D. B. análise da gestão urbana e ambiental de atividades potencialmente contaminantes e áreas contaminadas do município de são carlos – SP, **Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável- Pluris**, 2016.

PENCE, N.S., et al. The molecular physiology of heavy metal transport in the Zn/Cd hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, p. 4956–4960, 2000.

PEREIRA, et al. Formação e caracterização de solos. **Formação, Classificação e Cartografia dos Solos**. Editora: Atena, capítulo 1, p. 1-20, 2019.

PEREIRA, **Legislação Brasileira sobre Poluição do Ar**. Câmara dos Deputados de Brasília

et al. Formação e caracterização de solos. **Formação, Classificação e Cartografia dos Solos**. Editora: Atena, capítulo 1, p. 1-20, 2019.

PÉREZ·DE-MORA, A., et al. Microbial community structure and function in a soil contaminated by heavy metals: effect of plant growth and different amendments. **Soil Biology and Biochemistry** v. 38, p.327-341, 2006.

PERRIER, F. et al. Variability in grain cadmium concentration among durum wheat cultivars: impact of aboveground biomass partitioning. **Plant Soil**, v. 404, n. 1–2, p. 307–320, 2016.

PIERZYNSKI, G.M., FIMS, J.T., VANCE, G.F. *Soils and environmental quality*, 1994.

PRIETO, M.J. ; ACEVEDO, S.O.A. ; PRIETO, G.F. Phytoremediation of soils contaminated with heavy metals. **International Journal of Biodiversity**. v. 2, n.4, p. 362–376, 2018.

RIBEIRO, A. R. **Mecanização no preparo de solo em áreas degradadas por mineração na floresta nacional do Jamari (Rondônia - BR)**. 172f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Setor de Máquinas Agrícolas, Universidade Federal de Campinas, São Paulo, 2005.

RIJKSWATERSTAAT, Ministry of Infrastructure and Water Management. Disponível em: <<https://rwsenvironment.eu/subjects/soil/legislation-and>>. Acesso em: 10 jan., 2021.

RIVM, **National Institute for Public Health and the Environment**. Soil and groundwater screening values.. p. 1-58, 2017.

RODRIGUEZ, M.D.F.; LAFARGA J.V.T., Soil Quality Criteria for Environmental Pollutants. **Encyclopedia of Environmental Health (Second Edition)**, v.5, p 736-752, 2011.

ROIG, N.; SIERRA, J.; MARTÍ, E.; NADAL, M.; SCHUHMACHER, M.; DOMINGO, J. L. Long-term amendment of Spanish soils with sewage sludge: **Effects on soil functioning. Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 158, p. 41-48, 2012.

RONCHI, et al. Policy instruments for soil protection among the EU member states: A comparative analysis. **Land Use Policy**. v.82, p. 763-780, 2019.

ROSEN, C.J. **Lead in the Home Garden and Urban Soil Environment**. Communication and Educational Technology Services, Department of Soil, Water and Climate of University of Minnesota Extension. p. 1-4, 2002.

RYZHENKO, N.O. ; KAVETSKY, S.V. ; KAVETSKY, V.M. Cd, Zn, Cu, Pb, Co, Ni phytotoxicity assessment. **Polish Journal of Soil Science**. v. 50, n. 2, p. 197–215, 2017.

SAIF, S. ; KHAN, M.S. Assessment of heavy metals toxicity on plant growth promoting rhizobacteria and seedling characteristics of *Pseudomonas putida* SFB3 inoculated greengram. **Acta Scientiarum Agronomy**. v. 1, p. 47–56. 2017.

SALLA, V. ; HARDAWAY, C.J. ; SNEDDON, J. Preliminary investigation of *Spartina alterniflora* for phytoextraction of selected heavy metals in soils from Southwest Louisiana. **Microchemical Journal**, v. 97, n. 2, p. 207–212, 2011.

SANDEEP, G. ; VIJAYALATHA, K.R. ; ANITHA, T. Heavy metals and its impact in vegetable crops. **International Journal of Chemical Studies**. v. 7, n.1, p. 1612–1621, 2019.

SARMA, H. Metal hyperaccumulation in plants: a review focusing on phytoremediation technology. **Environ. Sci. Technol.** v. 4, p. 118–138, 2011.

SÃO PAULO, Lei nº 13.577/2009. Legislação que dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2009/lei-13577-08.07.2009.html>> Acesso em: 13 jun. 2021.

SIRVINSKAS, Luís Paulo. **Manual de direito ambiental**. 16ª ed. São Paulo: Saraiva, p. 163, 2018.

SHI, W.; LIU, C.; DING, D.; LEI, Z.; YANG, Y.; FENG, C.; ZHANG, Z. Immobilization of heavy metals in sewage sludge by using subcritical water technology. **Bioresource Technology**, v. 137, n. 6, p. 18-24, 2013.

SMITH, L.A., MEANS, J.L., CHEN, A. Remedial Options for Metals-Contaminated Sites. **Lewis Publishers**, Boca Raton, Florida, USA, 1995.

SBCS, Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, rev. e ampl., ed. 5, - Brasília, DF : Embrapa, 2018.

TAVARES, J. M. **Metais nos sedimentos superficiais da plataforma continental entre Itacaré e Olivença, sul da Bahia, Brasil**. Tese de Doutorado em Geologia da Universidade Federal da Bahia. Salvador - BA, 2008.

TCHOUNWOU, P.B. ; YEDJOU, C.G. ; PATLOLLA, A.K. ; SUTTON, D.J. Heavy metal toxicity and the environment. In: Luch, A. (Ed.), **Molecular, Clinical and Environmental Toxicology**. Basel, Springer, p. 133–164, 2012.

- UL-HASSAN, Z. et al. Role of zinc in alleviating heavy metal stress. In: Naeem, M., Ansari, A.A., Gill, S.S. (Eds.), *Essential Plant Nutrients: Uptake, Use Efficiency, and Management*. **Springer International Publishing**, Switzerland, p. 351–366, 2017.
- USEPA, United States Environmental Protection Agency (USEPA). **Health Effects Assessment Summary Tables (HEAST)** Annual Update. United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA (2016).
- USDA, United States Department of Agriculture. Soil Survey Manual. **Bureau of Plant Industry, Soils, and Agriculture Engineering**, p. 1-230, 1951
- VEGTER J.J. - Soil Protection in The Netherlands. **Heavy Metals. Environmental Science**, 1995.
- VEGTER, J.J., ROELS, J.M., BAVINCK, H.P. Soil quality standards: science or science fiction? **Contaminated soil**. ed. 88. p. 309-316, 1988.
- VEZZANI F.M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de ciência do solo**, p. 1-14 , 2009.
- VIM, Voorlopig Indicatief Meerjarenprogramma. **Tweede Kamer zitting 1982-1983**, 1983.
- VROM, Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment. **Premises for risk management: annex to the Dutch Environmental Policy Plan**, 1988.
- VROM, Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment. Soil Remediation Circular 2013. **Circulaire bodemsanering**, 2013.
- VROM, Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment. **Intervention values and target values: soil quality standards.**, p. 19, 1994.
- VROM, Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment. Dutch Target and Intervention Values, 2000 (the New Dutch List), **Circular on target values and intervention values for soil remediation**. p. 1-51, 2000.
- WANG, H., et al. Maternal zinc deficiency during pregnancy elevates the risks of fetal growth restriction: a population-based birth cohort study. **Scientific Reports**. v. 5, p. 1–10, 2015.
- WU, Z. et al. Comparative responses to silicon and selenium in relation to antioxidant enzyme system and the glutathione-ascorbate cycle in flowering Chinese cabbage (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* var. *utilis*) under cadmium stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 133, p. 1–11, 2017.
- ZENG, G., et al. Precipitation, adsorption and rhizosphere effect: the mechanisms for phosphate-induced Pb immobilization in soils—a review. **Journal of Hazardous Materials**. p. 339, 2017.