

**A importância da avaliação da concentração natural de Pb em solos do Estado de Minas Gerais**

**The importance of the assessment of natural concentration of Pb in soils of the State of Minas Gerais**

**La importancia de evaluar la concentración natural de Pb en suelos en el Estado de Minas Gerais**

Recebido: 28/05/2020 | Revisado: 20/06/2020 | Aceito: 25/06/2020 | Publicado: 07/07/2020

**Rômulo César Soares Alexandrino**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4500-7399>

Fundação Estadual do Meio Ambiente /

Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Brasil

E-mail: [romuloalexandrino@yahoo.com.br](mailto:romuloalexandrino@yahoo.com.br)

**João José Granate de Sá e Melo Marques**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2354-433X>

Universidade Federal de Lavras, Brasil

E-mail: [jmarques@dcs.ufla.br](mailto:jmarques@dcs.ufla.br)

**Sérgio Henrique Godinho Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2750-5976>

Universidade Federal de Lavras, Brasil

E-mail: [sergio.silva@ufla.br](mailto:sergio.silva@ufla.br)

**Fúlvio Rodriguez Simão**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2750-5976>

Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Brasil

E-mail: [fulvio@epamig.br](mailto:fulvio@epamig.br)

**Resumo**

O aumento das concentrações de elementos-traços no solo pode ocorrer tanto em razão de atividades antropogênicas quanto por processos naturais. O objetivo deste trabalho foi investigar a concentração natural de chumbo (Pb) nos solos de Minas Gerais em comparação aos valores orientadores preconizados na Resolução CONAMA nº 420 de 2009. Este trabalho pode ser utilizado para o gerenciamento do metal no Estado de Minas e informar a população em geral os riscos prováveis que estão subordinadas. Para subsidiar este trabalho foram

utilizados o Mapa de Solos de Minas Gerais e o Mapa Geológico de MG. Em Minas Gerais há maior ocorrência de áreas não antropizadas com concentração de Pb abaixo do VRQ; e apenas seis áreas apresentaram potencial de contaminação natural, justificadas pela geologia e pela classe de solo de cada região.

**Palavras-chave:** Chumbo; Valores orientadores; Gestão de áreas contaminadas; Metal pesado.

### **Abstract**

The increase in the concentrations of trace elements in soil can occur either due to anthropogenic activities or due to natural processes. The aim of this study was to investigate the natural concentration of lead (Pb) in soils in the Minas Gerais State and compare with the guiding values advocated in CONAMA Resolution No. 420, 2009. This work can be used for managing the Stat's Metal Mines and inform the public of the likely risks that are subordinate. To support this work were used the Soil Map of Minas Gerais and the MG Geological Map. In Minas Gerais, there is not a prevalence of disturbed areas with Pb below the VRQ, and only six areas showed potential for natural contamination, justified by geology and soil class in each region.

**Keywords:** Lead; Guiding Values; Management of contaminated sites; Heavy metal.

### **Resumen**

El aumento en las concentraciones de oligoelementos en el suelo puede ocurrir tanto por actividades antropogénicas como por procesos naturales. El objetivo de este trabajo fue investigar la concentración natural de plomo (Pb) en el suelo de Minas Gerais en comparación con los valores guía recomendados en la Resolución CONAMA N° 420 de 2009. Este trabajo se puede utilizar para el manejo del metal en el Estado de Minas e informar al población general los riesgos probables que están subordinados. Para apoyar este trabajo, se utilizaron el Mapa de Suelos de Minas Gerais y el Mapa Geológico de MG. En Minas Gerais hay una mayor incidencia de áreas no humanizadas con una concentración de Pb por debajo del VRQ; y solo seis áreas mostraron potencial de contaminación natural, justificadas por la geología y la clase de suelo de cada región.

**Palabras clave:** Plomo; Valores guía; Gestión de áreas contaminadas; Metales pesados.

## 1. Introdução

Diante dos riscos prováveis que uma população está exposta a substâncias químicas em meios de seu convívio natural se faz necessário à efetivação do gerenciamento de áreas contaminadas para prevenir, remediar, e garantir o desenvolvimento sustentável de uma região.

Metais pesados normalmente estão associados à poluição, à contaminação e à toxidez a seres vivos, incluindo alguns elementos essenciais aos seres vivos, quando em pequenas concentrações (Alloway, 1990). A disponibilidade de metais pesados pode ser aumentada tanto em razão de atividades antropogênicas quanto por processos naturais (Guilherme, et al., 2004).

A Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG) destaca Minas como o Estado palco de atividades mineraria, o qual apresenta riquezas e reservas minerais (CODEMIG, 2020) e ao mesmo tempo tem sido relatado que algumas classes de solos do Estado apresentam metais em sua constituição, tidos como contaminantes (Caires, 2009; FEAM, 2013a).

Diversos autores atribuem ao material de origem o componente principal na distribuição dos metais pesados no solo (Mitchell, 1964; Nalovic, 1969; Ferreira et al., 1994; Fernandes et al., 2015), este exerce papel importante no conteúdo de grande parte dos metais pesados nos solos, definindo níveis característicos e representativos dos materiais que deram origem ao solo. Entretanto, segundo o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) (2013) raramente é encontrado no seu estado natural de origem, mas em combinações com outros elementos nas formas minerais, tais como PbS (galena), PbCO<sub>3</sub> (cerussita), PbTe (altaíta), PbFe<sub>4</sub>O<sub>7</sub> (plumboferrita), PbSO<sub>4</sub> (anglesita), e Pb(MoO<sub>4</sub>) (wulfenita)., o cobre (Cu), zinco (Zn), antimônio (Sb) e ouro (Au), são outros metais que também aparecem associados ao chumbo (Pb). O enxofre é o elemento que possui maior afinidade ao Pb, a junção Pb-S, forma a galena (sulfeto de chumbo, S = 13,4%) e Pb = 86,6%, galena é a mais importante fonte comercial de Pb.

Teores de chumbo superiores aos reportados na literatura têm sido observados em alguns fertilizantes e corretivos agrícolas (Valle, 2012) em Minas Gerais (MG). Em compostos de Lixo urbano (Cravo et al., 1998) e em biossólidos (Langenbach et al., 1994) também foram encontrados elevados teores de Pb.

Geralmente, os horizontes superficiais dos solos têm grande afinidade para acumular Pb, devido à sua baixa solubilidade e forte adsorção que a matéria orgânica e o solo

promovem nos primeiros centímetros de profundidade (Johnson, 1998, Malavolta 1994 & Organização para a cooperação e desenvolvimento (OECD) (1993)), sendo as fontes prováveis de deposição de Pb as atividades industriais. Como consequência, teores altos quanto 3.916 mg kg<sup>-1</sup> de Pb, em regiões agrícolas, ou 135.000 mg kg<sup>-1</sup> de Pb, em regiões industriais, têm sido reportados (Kabata-Pendias & Pendias, 1992).

A questão da Saúde Pública é bastante relevante quando se trata do Pb, pois este apresenta riscos considerados graves, devido a sua gama de utilização e as influências ambientais e na saúde pública associada a sua exposição. A cadeia produtiva do Pb e dos artefatos que contém este elemento têm merecido atenção após a ocorrência de acidentes graves e episódios de manuseio e exposição deste material, que afetaram significativamente a saúde pública e o ambiente. Diversos tipos de acidentes ocorridos com o Pb atingiram populações, muitos deles com vítimas fatais, ou que carregam consigo as marcas da exposição a este elemento. Entre os estudos sobre contaminação ambiental e humana por Pb realizados no Brasil destacam-se os casos de Santo Amaro da Purificação (Bahia) por Carvalho et al., 2003, Vale do Ribeira (Paraná e São Paulo) e Bauru (São Paulo) por Cordeiro et al., 2005.

O Conselho Nacional de Meio Ambiente – (CONAMA) em âmbito Nacional e, a Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM) em âmbito Estadual, são órgãos do governo que gerenciam os riscos ambientais e à saúde humana. Uma das ferramentas utilizadas é a adoção de valores orientadores para subsidiar decisões, não só visando a proteção da qualidade dos solos e das águas subterrâneas, mas também o controle da poluição nas áreas já contaminadas e/ou suspeitas de contaminação.

A Resolução Conama nº 420 de 2009 disponibiliza os valores orientadores para a avaliação de áreas contaminadas, oportuno para a prevenção e funcionalidade da contaminação do solo e da água subterrânea. A Conama 420 define contaminação como “a presença de substância(s) química(s) no solo, água ou ar, decorrentes de atividades antrópicas, em concentrações que restrinjam a utilização desse meio para os usos atual ou pretendido, definidas com base em avaliação de risco à saúde humana, assim como aos bens a proteger, em cenário de exposição padronizado ou específico;” “Os Valores Orientadores de Qualidade são derivados em três: Valor de Referência de Qualidade ou background (VRQ), Valor de Prevenção (VP) e Valor de Investigação (VI)”.

Os Valores de Referência de Qualidade (VRQ) são utilizados para caracterizar a ocorrência natural de substâncias químicas no solo; os Valores de Prevenção (VP) para indicar alterações da qualidade do solo que possam prejudicar sua funcionalidade e monitorar a introdução de substâncias químicas; e os Valores de Investigação (VI) para definir ações de

investigação e controle, indicando a necessidade de ações para resguardar os receptores de risco.

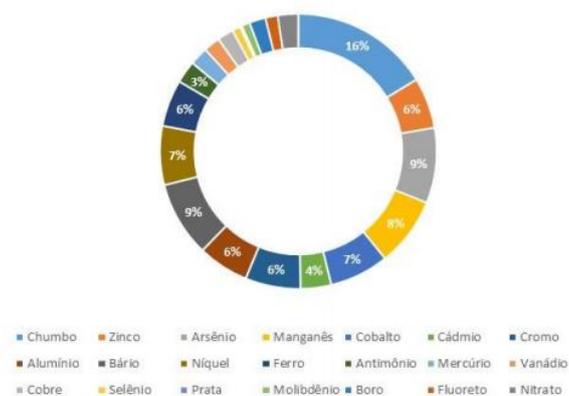
O Pb por ser um elemento tóxico não essencial que acumula no organismo e afeta virtualmente todos os órgãos (Moreira & Moreira, 2004a) foi o metal escolhido para ser avaliado neste trabalho. O objetivo deste trabalho foi investigar a concentração de Pb nos solos de Minas Gerais como subsídio para compará-los com os valores orientadores, para que seja útil ao gerenciamento do metal em Minas Gerais e informar a população se está correndo risco à saúde em algum ponto de sua cidade, bem como para informar a concentração natural de Pb natural do solo para uso do solo de diversidades atividades tais como disposição de resíduos, revolvimento do solo e contato com o solo superficial.

### 1.1. Fundamentação Teórica

A Fundação Estadual de Meio Ambiente - FEAM disponibiliza o relatório do Inventário de áreas contaminadas e a lista de áreas contaminadas a cada ano, apresentadas pelos nomes dos responsáveis pela contaminação e pelo endereço da área contaminada, com as informações da classificação da área, etapa de gerenciamento, fonte de contaminação, meio impactado e o contaminante.

A contaminação do solo e da água subterrânea tem crescido cada vez mais no Estado de Minas Gerais (Alexandrino et al., 2010). No Inventário de áreas contaminadas de Minas Gerais consta mudança de 56 para 670 áreas contaminadas nos respectivos anos 2007 a 2019. Dentre os elementos inorgânicos o Pb foi constado como o metal presente na maioria das áreas contaminadas em 2019 (Figura 1).

**Figura 1.** Porcentagem de metais pesados nas áreas contaminadas do estado de Minas Gerais.



Fonte: FEAM (2019).

É possível observar (Figura 1) os elementos químicos inorgânicos que contaminaram o solo do estado de Minas Gerais até o ano 2019, Pb foi o elemento com maior porcentual (19%), seguido de Arsênio (9%) e Cobre (9%).

Segundo informações da Agência de Substâncias Tóxicas e Registro de Doenças (ASTDR) (2005) a exposição exagerada ao Pb pode ser perigosa pelas diversas formas de inserção no corpo humano, (o Pb pode ser admitido pela boca, nariz ou pele e atingir pulmões, estômago intestinos e entrar na corrente sanguínea). O corpo normalmente elimina o Pb através das fezes e urina, quando em quantidades toleráveis, como a que ocorre nos alimentos e no ar que respiramos. Segundo o Programa Internacional sobre segurança química (ICPS) (1995) se esta quantidade for superior a capacidade de eliminação do corpo, começam os problemas de saúde, podendo causar dano cerebral ou mesmo a morte e doenças como o Saturnismo, além de problemas como anemia, fadiga, dores de cabeça, perda de peso e constipação.

Um dos principais efeitos tóxicos do Pb é causado pela interferência do Pb no funcionamento das membranas celulares e enzimas, pois é capaz de formar complexos estáveis com ligantes que contêm enxofre, fósforo, nitrogênio ou oxigênio (grupamentos -SH, -H<sub>2</sub>PO<sub>3</sub>, -NH<sub>2</sub>, -OH) que funcionam como doadores de elétrons. Pb pode combinar rapidamente com grupos tióis, levando à depleção de glutatona (GSH) (um antioxidante celular) e ruptura do equilíbrio pró-oxidantes - antioxidantes celulares (Halliwell 2007 & Gurer-Orhan et al., 2004).

Pb é uma toxina crônica, sendo observados poucos efeitos após uma exposição aguda a níveis relativamente baixos. As principais vias de exposição a este elemento traço são a oral, inalatória e cutânea. A ingestão é a via de exposição de maior relevância para a população em geral, sendo as crianças as mais suscetíveis aos efeitos toxicológicos do Pb, justificado pelo sistema nervoso ainda em formação e ao metabolismo mais acelerado; a exposição das crianças, mesmo a níveis baixos de Pb, pode ao longo do tempo provocar redução do QI, dificuldades de aprendizagem ou problemas de comportamento. Destaca-se que em pH ácido (~1,5), assim na faixa de pH estomacal do homem, muitas espécies de Pb são solúveis, e por isto a ingestão de solos ou poeiras contaminadas pode resultar na absorção de Pb (Bosso,ENZWEILER 2008 & CORDEIRO, 2005).

No caso da exposição ocupacional; a via de maior importância é a inalação. Entretanto, os efeitos tóxicos são os mesmos, qualquer que seja a via de exposição. A via cutânea tem apenas um papel importante na exposição ao Pb orgânico. Outra via de exposição que pode influenciar os níveis de Pb na corrente sanguínea é a endógena; uma vez absorvido,

o Pb pode ser armazenado no tecido mineralizado (ossos e dentes) por longos períodos. O tempo de residência do Pb no sangue é de menos de um mês e a tendência é dele se acumular nos ossos, de onde pode ser liberado novamente. Pb inorgânico ataca com maior intensidade os ossos, enquanto o Pb orgânico, por ser mais lipossolúvel que o anterior, causa distúrbios de ordem neurológica (Moreira & Moreira, 2004 a, b). Pb tem a capacidade de inibir ou imitar a ação do cálcio e interagir com proteínas, quando o organismo necessita de cálcio, esse Pb que foi acumulado pode ser novamente libertado na corrente sanguínea; isto acontece principalmente na gravidez lactação e osteoporose e é especialmente perigoso para o feto em desenvolvimento (Hu et al., 2006).

Objetivando gerir os riscos causados com substâncias químicas presentes no solo e na água subterrânea, os órgãos ambientais sejam eles nacionais ou internacionais, utilizam de análises técnicas e valores orientadores para tomada de decisão para garantir a funcionalidade dos solos e da água. A Resolução Conama 420 de 2009 estabelece que a avaliação da qualidade do solo, quanto à presença de substâncias químicas deve ser efetuada com base em valores orientadores.

Valores orientadores são concentrações de substâncias químicas que fornecem orientação sobre a qualidade e as alterações do solo e da água subterrânea (Conama, 2009). A Resolução Conama nº 420 de 2009, estabelece que a avaliação da qualidade do solo, quanto à presença de substâncias químicas deve ser efetuada com base em valores orientadores, os quais são conceituados da seguinte forma:

Valor Orientador de Referência de Qualidade (VRQ): também conhecido como background geoquímico, é baseado na avaliação dos teores naturais de substâncias inorgânicas presente nos solos, sem a influência de atividade humana.

Valor de Prevenção (VP): Valor situado entre o VRQ e o valor de investigação (VI), é o valor limite, que não compromete as funções do solo: sustentador da diversidade biológica e dos ciclos biogeoquímicos, meio para a produção de alimentos e matéria prima, regulador da dispersão de substâncias contaminantes no solo mediante sua atuação como filtro e tampão ambiental, além de meio para a ocupação territorial e área para utilizações recreativas, dentre outros. Ultrapassado o valor de VP será requerido o monitoramento e avaliação do motivo deste alto valor, o que possibilita a extinção de possíveis fontes de contaminação na área, ou constatação da existência de concentrações naturais.

Valor de Investigação (VI): é o valor acima do qual a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea possibilita existir riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado (agrícola,

residencial e industrial). Uma vez observado um valor acima do VI, em área de população exposta ao contaminante, serão necessárias ações específicas para o gerenciamento da contaminação de forma a remediar a área e reduzir o risco de poluição.

No Estado de Minas Gerais, os valores orientadores para solo e água subterrânea são regulamentados pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 02, de 08-09-2010 e pela Deliberação Normativa Copam-MG nº 166, de 29-06-2011. Minas Gerais via Fundação Estadual de Meio Ambiente – FEAM e convênio com Universidades mineiras (Universidade Federal de Lavras, Universidade Federal de Viçosa, Universidade Federal de Ouro Preto e Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais) foi o segundo Estado a estabelecer VRQ. Minas Gerais, até o momento, regulamentou a Deliberação Normativa nº 166 de 2011 estabelecendo valores de referência de qualidade (VRQ) para substâncias inorgânicas, e em consonância publicou o novo mapa de solos do Estado de Minas Gerais (FEAM, 2010).

Os resultados obtidos para os VRQs na estrutura geológica do Estado de Minas Gerais: quadrilátero ferrífero e triângulo mineiro tiveram elementos traços acima dos Valores de Prevenção e Investigação estabelecidos na Resolução Conama nº 420 de 2009.

Minas Gerais é detentor de significativas e diversificadas reservas minerais, é o Estado minerador mais importante do país. O Estado é responsável por aproximadamente 53% da produção brasileira de minerais metálicos e 29% de minérios em geral. (CODEMIG, 2020).

Em geral na mineralogia dos solos de Minas Gerais, o Pb é encontrado no seu estado em combinações com outros elementos, e sendo que os mais importantes minerais de minério são: galena, cerussita, anglesita, piromorfita, vanadinita, crocoíta e a wulfenita (Vettori, 1976).

Os principais pequenos depósitos e ocorrências Pb – Zn - Ag- CaF<sub>2</sub>, hoje desativados, são associados ao Grupo Bambuí e agrupam-se ao longo do vale do Rio São Francisco, perto das localidades de Januária (MG), Itacarambi (MG), Montalvânia (MG) e Serra do Ramalho (BA). (Oliveira & Costa, 2004)

Todos eles ocupam a mesma posição litoestratigráfica e aparecem associados a um horizonte de dolomito rosado sacaroidal, regionalmente anômalo em Pb e Zn. Esse horizonte dolomítico situa-se na parte superior do primeiro ciclo carbonático regressivo do Grupo Bambuí, na zona cratônica (Dardenne, 1978, 1979).

Atualmente, a produção de minério de Pb no país é restrita a mina de Morro Agudo em Paracatu, Minas Gerais, um subproduto rentável da lavra de minério de zinco sulfetado (Misi et al., 2004)

O quadrilátero ferrífero é uma estrutura geológica cuja forma se assemelha a um quadrado, perfaz uma área de aproximadamente 7000 km<sup>2</sup> e estende-se entre Ouro Preto a sudeste, e Belo Horizonte a noroeste. Nesta estrutura geológica, são encontradas uma diversidade de minerais, mais de cento e cinquenta minerais puderam ser identificados nas vizinhanças diretas de Ouro Preto. Entre eles os mais comuns são plagioclásio, feldspato, alcalino, quartzo, micas, anfibólios e piroxênios. Há minerais mais raros como cinábrio, estraulita, cianita, almandina e pedras preciosas como ouro e topázio. Além disso, ocorrem os elementos do grupo da platina, e raridades de paládio (Pd) como atheneita, estibiopalladinita. (Roeser & Roeser, 2010).

No mundo 90% do Pb é utilizado para a produção de baterias Pb-ácidas. A reciclagem do Pb nas baterias é um modo sustentável de diminuir a extração de Pb na forma mineral. De modo a gerir a atividade via licenciamento ambiental de fábricas de baterias, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), publicou em 20 de dezembro de 2010 a Decisão de Diretoria Nº 387/2010/P.

Outros produtos contendo Pb, são comercializados, o Pb está presente em produtos químicos, cabos, ligas, sais de uso em laboratórios, soldas, e para muitos outros fins. O uso do Pb como aditivo antidetonante na gasolina tem sido eliminado nos países desenvolvidos, de modo a reduzir a poluição atmosférica. Atividades de extração de minérios, deposição de rejeitos industriais, lodo de estação de tratamento são fontes potenciais de ocorrência de Pb.

O Pb tem sido usado desde os tempos antigos, ocasionando exposição ocupacional, é um elemento não biodegradável; a poluição ambiental causada é persistente e generalizada, afetando a população em geral (Patrick, 2006 & Spivey, 2007) e diversos são os meios que podem absorver Pb, como o ar, água, solos, sedimentos, plantas e alimentos.

## **2. Metodologia**

A metodologia de trabalho foi desenvolvida conforme recomendado por Pereira et al., 2018, e descrito conforme as normas APA. O trabalho adotou a pesquisa qualitativa, via estudos, documentos normativos, anais de congressos e relatórios técnicos, abordagem quantitativa por meio da pesquisa bibliográfica e experimental por meio da estatística. De modo qualitativo utilizou de legislação do estado de Minas Gerais, do relatório de inventário de áreas contaminadas do estado, mapa de solos do estado, mapa geológico do estado, considerado os estudos exploratórios. Na abordagem de pesquisa quantitativa foram realizadas, citações de artigos científicos e teses de doutorado, de modo experimental foi

utilizada a análise estatística para comparação dos dados. A interpolação dos dados quantitativos, qualitativos e experimental, possibilitou alcançar o objetivo do trabalho.

Os pontos estudados foram obtidos a partir do Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais (FEAM, 2010). Foram selecionadas as localidades que apresentaram concentração de Pb abaixo do Valor de Referência de Qualidade (VRQ); entre o VRQ e o Valor de Prevenção (VP) e entre VP e o Valor de Investigação (VI) num total de 409 pontos de amostras compostas da camada superficial do solo (0 – 20 cm) em áreas não antropizadas. A metodologia da coleta dos solos e as coordenadas de onde foram amostrados os solos encontram-se disponível no manual de coleta de solos para Valores de Referência de Qualidade no Estado de Minas Gerais (FEAM, 2013a).

As coordenadas geográficas dos pontos em que foram ultrapassados o Valor de Prevenção (VP) para Pb foram sobrepostas ao mapa geológico de Minas Gerais do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) (2004). Para tentar explicar tal efeito, utilizou-se nesse procedimento, o software ArcGIS 9.3 (ESRI). As coordenadas geográficas utilizadas estavam no Datum WGS84 (Figura 1).

A concentração de Pb foi determinada pelo método 3051A da Agência de Proteção Ambiental dos EUA (USEPA) (1998) utilizando a técnica de absorção atômica com atomização eletrotérmica em forno de grafite. O método analítico encontra-se disponível no manual de procedimentos analíticos para determinação de VRQ de elementos-traço em solos do Estado de Minas Gerais (FEAM, 2013b).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC). Os resultados de valores médios das cinco repetições de amostras de solos foram submetidos a teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa Sisvar (Ferreira, 2000).

### **3. Resultados e Discussão**

A Tabela 1 apresenta os valores orientadores para Pb nos solos de Minas Gerais, preconizados na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 02, de 08-09-2010. O estado de Minas Gerais publicou estes valores para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por substâncias químicas.

**Tabela 1.** Valores orientadores para Pb no solo em Minas Gerais (mg/kg de peso seco).

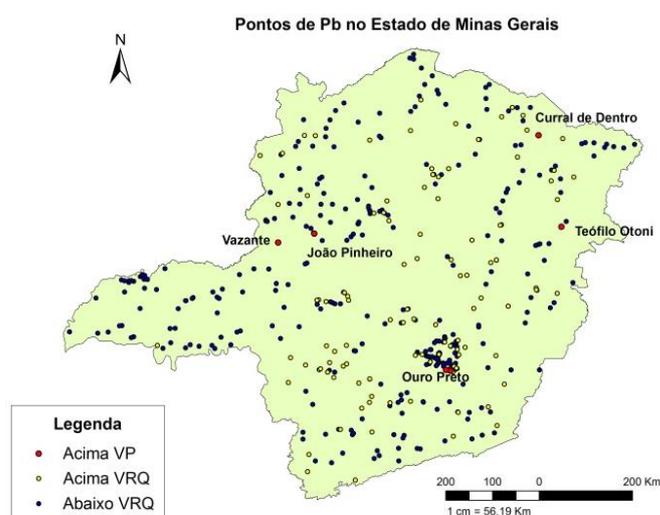
VRQ	VP	VI		
		Agrícola	Residencial	Industrial
19,5	72	180	300	900

Fonte: Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 02, de 08-09-2010.

O valor de referência de qualidade (VRQ= 19,5 mg/kg) reflete a concentração natural média dos elementos, indicando situações de não contaminação. O valor de prevenção (VP=72 mg/kg) indica uma possível alteração prejudicial à qualidade dos solos, sendo utilizado em caráter preventivo e, quando excedido no solo, deverá ser exigido o monitoramento dos impactos decorrentes; já o valor de intervenção (VI) dividido para os cenários agrícola, residencial e industrial, com valores mais restritivos as áreas agrícolas por ser considerada áreas de solo sem proteção, indicam o limite de contaminação acima do qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana e, quando excedido, a área será classificada contaminada sob investigação, indicando a necessidade de ações de intervenção segundo a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 02, de 08 de setembro de 2010 e a Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009.

A Figura 2 apresenta a distribuição das 409 amostras de Pb do mapa de Solos de Minas Gerais e as correlaciona com os valores orientadores do Estado de MG, quanto ao: VRQ, VP e VI.

**Figura 2.** Localização das amostras comparadas com os valores orientadores para Pb.

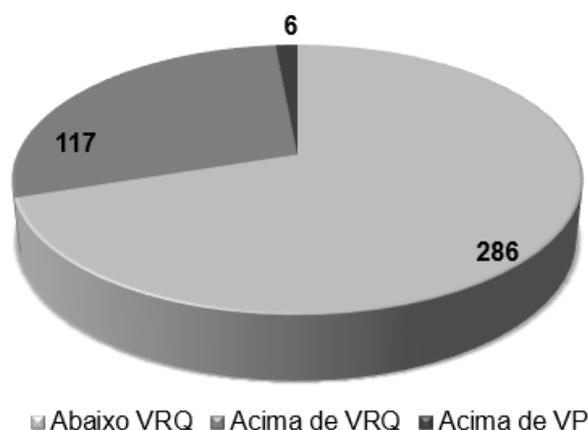


Fonte: Autores (2020).

Os pontos em vermelho, representam os locais de áreas naturais, não antropizadas, que apresentaram concentração de Pb acima do VP (72 mg/kg), os pontos em amarelo representam amostras de solos que obtiveram valores acima do VRQ (19,5 mg/kg) mg/kg), em azul são os pontos onde o solo apresentou concentração abaixo do VRQ.

A Figura 3 apresenta a divisão dessas áreas quanto ao número de pontos encontrados entre os valores orientadores.

**Figura 3.** Relação do número de amostras de solo com os valores orientadores para Pb.



Fonte: Autores (2020).

Das 409 amostras de Pb do mapa de Solos de Minas Gerais, 6 apresentaram valores acima do VP, 117 acima do VRQ e 286 abaixo do VRQ.

Os resultados mostram a não existência de solos em áreas naturais com concentrações de Pb acima de VI, o que demonstra não existirem áreas naturais que requerem ações para resguardar os receptores de risco para a saúde humana por Pb.

Em Minas Gerais o maior número de pontos encontram-se abaixo de VRQ, demonstrando que a maioria do Estado está resguardado de contaminações naturais oriundas de Pb. E revela que o VRQ preconizado na Deliberação Normativa 02/2010 vai ao encontro das condições naturais de MG.

A Tabela 2, apresenta a localização por coordenadas geográficas das 6 amostras de solo que apresentaram concentração de Pb, acima do valor de prevenção, estas concentrações são comparadas por meio de teste estatístico (Tabela 3).

**Tabela 2.** Localização geográfica das seis amostras que apresentaram concentrações de Pb acima de VP e abaixo de VI.

Localidade	Coordenadas Geográficas	
	Latitude	Longitude
João Pinheiro	-17,8072	- 46,2015
Curral de Dentro	-15,9894	-41,8517
Vazante	-17,9772	- 46,8993
Ouro Preto 1	-20,4423	- 43,5714
Teófilo Otoni	-17,6716	- 41,4297
Ouro Preto 2	-20,4246	- 43,6565

Fonte: Autores (2020).

**Tabela 3.** Valores médios de concentração de Pb no solo, acima do VP nas diferentes localidades de Minas Gerais.

Localidade	Concentração (mg/kg)
João Pinheiro	76,03 a
Curral de Dentro	77,45 b
Vazante	83,17 c
Ouro Preto 1	109,33 d
Teófilo Otoni	111,71 e
Ouro Preto 2	145,57 f
<b>Valor de Prevenção</b>	<b>72 mg/kg</b>

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: Ferreira, D.F. (2000).

Dos 409 pontos investigados, foram encontrados seis (1,5%) pontos em áreas não antropizadas com concentrações de Pb entre VP e VI (Tabelas 2 e 3), o que demonstra a existência de áreas com potencial de contaminação natural.

De acordo com o Artigo 8 da Deliberação Normativa nº 02 de 2010, os solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior que o VP e menor ou igual que ao VI, será requerida: a identificação e controle das fontes potenciais de contaminação; a avaliação da ocorrência natural da substância e o monitoramento da qualidade do solo e da água subterrânea, com apresentação de relatório técnico ao órgão ambiental competente. Logo, a população que reside nestes locais e, empreendimentos instalados nestas áreas devem maximizar a atenção à legislação ambiental; às características físicas e químicas do solo e aos potenciais riscos de contaminação, a fim de prevenir riscos futuros; devem evitar a disposição de materiais ou resíduos que contenha Pb de modo a minimizar ou aumento da concentração de Pb no solo e se tornar uma área contaminada.

Conforme apresentado na Tabela 3, as concentrações de Pb no solo acima de VP diferem entre si, possuindo as amostras de solo de Ouro Preto 2 maior concentração de Pb, sendo esta concentração próxima do valor de intervenção (180 mg/kg) para o uso agrícola, o que requer atenção no Uso e Ocupação do Solo.

As concentrações de Pb acima de VP podem ser justificadas pelas classes de Solo e Geologia da região (Tabela 4).

**Tabela 4.** Classes de solo, eras e períodos geológicos das seis amostras acima de VP.

Localidade	Classe de solo	Formação/Grupo
João Pinheiro	RLe	Neoproterosoico/ Criogenoico
Curral de Dentro	*	Cenozoico/ Quaternario
Vazante	LVe	Neoproterosoico/ Mesoproterosoico
Ouro Preto 1	CXb	Paleoproterozoico/ Riaciano
Teófilo Otoni	LVAAd	Neoproterosoico/ Neoproterozoico III
Ouro Preto 2	CXb	Paleoproterosoico Riaciano

RLe (Neossolo Litólico eutrófico), LVe (Latosolo Vermelho eutrófico), CXb (Cambissolo Háplico), LVAAd (Latosolo Vermelho Amarelo distrófico). \* (Não Classificado). Fonte: Autores (2020).

Os seis pontos em sua maioria são derivados de Rochas Metamórficas do Proterozoico, pertencentes aos litotipos Calcáreos Dolomíticos e rochas Metapelídicas. Silva (1985), observou que as reservas de Pb onde estão localizadas as mineradoras brasileiras tiveram metagênese no Proterozoico, sendo esta a geologia que possui alto teor de Pb natural.

O ponto em João Pinheiro está localizado em um Neossolo Litólico. Resende et al., (2007) verificou que este tipo de solo possui minerais primários facilmente intemperizáveis em maior quantidade, os quais são fonte de elementos-traço para o solo.

Os dois pontos em Ouro Preto estão localizados em Cambissolos, os quais possuem composição variada de minerais, e assim apresentam teores de elementos-traço intermediários (Abreu et al., 2012).

Já os Latossolos podem apresentar minerais resistentes ao intemperismo e que disponibilizaram elementos-traços ao solo no decorrer do tempo. Pierangeli et al., (2001) ao estudar diferentes tipos de Latossolos verificou que esta classe de solo apresenta alta capacidade de retenção de Pb.

No ponto onde não foi possível classificar o solo, há evidências que seja uma área de várzea, justificado pela geologia da região e pelo alto teor de matéria orgânica (16 dag/kg) (FEAM, 2013b). Os teores de Pb aí identificados podem ser oriundos de uma contaminação recente: nos últimos 500 anos.

#### 4. Considerações Finais

Os resultados encontrados neste estudo visam manter a população do estado de Minas Gerais informadas sobre a concentração natural de Pb no solo e dos riscos à saúde que estão submetidos decorrente do Pb.

Os dados obtidos deste trabalho podem ser úteis para identificar áreas onde há disponibilidade de Pb.

Os valores de referência de qualidade (VRQ) para Pb nos solos de Minas Gerais refletem a realidade do Estado.

As classes de solos que apresentaram maiores concentrações de Pb foram Latossolo e Cambissolo.

Existem solos em áreas não antropizadas em Minas Gerais com potencial de contaminação que requerem atenção quanto ao Uso e Ocupação do Solo a fim de prevenir riscos prováveis. Destaca-se que os solos que apresentaram valores acima dos valores orientadores são de pontos específicos de amostras de solos georreferenciados no mapa de solos do Estado de Minas Gerais e não reflete toda a área do município.

Outros metais pesados de potencial risco toxicológico ou carcinogênico podem ser avaliados em estudos futuros de modo a manter a população prevenida dos riscos associados.

#### Referências

Abreu. B. L. Araújo. E. F., Curi. N., Marques. J. J. (2012). Determinação do teor total de elementos-traço em solo sob eucalipto na depressão central, Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira. Agrociência de Pelotas*, 18, (1-4),33-43.

Agência de Substâncias Tóxicas e Registro de Doenças (2005). Chemical and physical information. Acesso em 20 janeiro, 2020. Disponível em:  
<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp13-c4.pdf>.

Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. Method 3051 A. (1998). Acesso em 28 janeiro, 2020, de <http://www.epa.gov/SW-846/3051a.pdf>.

Alexandrino, R. C. S., Santos, C. G., Fernandes, P. R. M., Cruz, L. O. M., Ferreira, I. L., Rezende, H. J. A., & Gurgel, R. M. (2010). Interação das áreas contaminadas e o direito de

uso da água no Estado de Minas Gerais. Anais do XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. Acesso em 02 de dezembro, 2019, de <http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23170/15283>.

Alloway, B.J. Heavy metals in soils. New York. John Wiley & Sons, 1990. 339p.

Bosso, T. S., Enzweiler, J. (2008). Ensaio para determinar a (Bio) Disponibilidade de chumbo em Solos Contaminados: Revisão. *Química Nova*, 31(2). 394-400.

Caires, S. M. (2009). Determinação dos teores naturais de metais pesados em solos do Estado de Minas Gerais como subsídio ao estabelecimento de valores de referência de qualidade. Univ. Federal de Viçosa. Tese de Doutorado, 304p

Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais. Minas Gerais em números. Acesso em 03 janeiro, 2020, em: <http://www.codemig.com.br/site/content/acodemig/codemig.asp>

Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Acesso em 10 janeiro, 2020, em <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>

Conselho Estadual de Política Ambiental; CERH/MG. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG 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. Acesso em 6 janeiro, 2020, em <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=14670>

Conselho Estadual de Política ambiental, Deliberação Normativa Copam Nº 166, DE 29 de junho de 2011. Altera o Anexo I da Deliberação Normativa Conjunta COPAM CERH nº 2 de 6 de setembro de 2010, estabelecendo os Valores de Referência de Qualidade dos Solos.

Acesso em 5 janeiro, 2020, em

<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=18414>

Cordeiro, R. Sakate, M. Paula, A., et al. (2005). Subnotificação de acidentes do trabalho não fatais em Botucatu, SP. *Revista de Saúde Pública*, 39, 254-260.

Dardenne, M. A. (1978). Geologia da região de Morro Agudo (MG). Bol. Núcleo Centro-Oeste, SBG, 7-8, 68-94.

Dardenne, M. A. (1979). Les minéralisations de plomb, zinc, fluor du Proterozoïque Supérieur dans le Brasil Central. Univ. Paris VI, Tese de Doutorado, 251p

Fernandes, M. M; Freitas, V. L. O; Martins, L.O; Santos, C.G; Cordeiro, P. F; Freitas, M. A. F. P. P.(2015). Qualidade dos Solos em Quatro Regiões de Minas Gerais. Anais do XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Acesso em 04 de maio, 2020, de <https://www.sbcs.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/11.pdf>

Fundação Estadual de Meio Ambiente. Inventário de Áreas Contaminadas do Estado de Minas Gerais. (2019). Acesso em 09 janeiro, em [http://www.feam.br/images/stories/2019/GEST%C3%83O AREAS CONTAMINADAS/Invent%C3%A1rio\\_de\\_%C3%A1reas\\_contaminadas\\_2019.pdf](http://www.feam.br/images/stories/2019/GEST%C3%83O%20AREAS%20CONTAMINADAS/Invent%C3%A1rio_de_%C3%A1reas_contaminadas_2019.pdf)

Fundação Estadual de Meio Ambiente. (2010). Mapa de Solos de Minas. Acesso em 05 janeiro de 2020, em <http://www.feam.br/banco-de-noticias/949-mapas-de-solo-do-estado-de-minas-gerais>

Fundação Estadual de Meio Ambiente. (2013a). Manual de coleta de solos para valores de referência de qualidade no Estado de Minas Gerais. Acesso em 04 janeiro, 2020, de [http://www.feam.br/images/stories/solo/manual\\_de\\_procedimentos\\_analiticos\\_para\\_vrqs\\_projeto\\_solos\\_de\\_minas\\_feam.pdf](http://www.feam.br/images/stories/solo/manual_de_procedimentos_analiticos_para_vrqs_projeto_solos_de_minas_feam.pdf)

Fundação Estadual de Meio Ambiente (2013b). Manual de Procedimentos Analíticos para determinação de VRQ de elementos-traço em solos do Estado de Minas Gerais. Acesso em 07 janeiro, 2020, em

[http://www.feam.br/images/stories/solo/manual\\_de\\_procedimentos\\_analiticos\\_para\\_vrqs\\_projeto\\_solos\\_de\\_minas\\_feam.pdf](http://www.feam.br/images/stories/solo/manual_de_procedimentos_analiticos_para_vrqs_projeto_solos_de_minas_feam.pdf)

Ferreira, D. F. (2000). Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows 4.0. Anais da Reunião Anual Brasileira de Sociedade Internacional de Biometria 45, São Carlos. Universidade Federal de São Carlos. 255-258.

Ferreira, S. A. D., Santana, D. P., Fabris, J. D., Curi, C., Nunes Filho, E., & Coey, J. M. D. (1994). Relações entre magnetização, elementos traços e litologia de duas seqüências de solos do estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 18, 167-174.

Guilherme, L. R. G., Marques, J. J., Pierangeli, M. A. P., et al. (2005). Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos. *Tópicos em ciências do solo*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.4

Gurer-Orhan, H., Sabir, H. U., & Ozgumes, S. H. (2004). Correlation between clinical indicators of lead poisoning and oxidative stress parameters in controls and lead-exposed workers. *Toxicology*, 195, 147-154.

Halliwell, B. Biochemistry of oxidative stress (2007). *Biochemical Society Transactions*. 35, 1147-1150.

Hu, H., Téllex, R. M. M., Bellinger, D., Smith, D., Etinger, A.S., Figueroa, H.L, Schwartz, J., Schnas, L., Garcia, A. M., & Avila, M. H. (2006) Fetal Lead Exposure at Each Stage of Pregnancy as a Predictor of Infant Mental Development. *Environmental Health*. 114, 1730-1735.

Kabata-Pendias, A.; Pendias H. (1992) .Trace elements in soils and plant. London: CRC Press.

Malavolta, E. (1994). Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificação e fatos. São Paulo: Produquímica.

Langenbach, T., Pfeifer, W., Freire, L. R., Sarpa, M., & Paim, S. (1994). Heavy metals in sludge from the sewage treatment plant of Rio de Janeiro. *Environ. Technol.* 15,997-1000.

Moreira, F. R., Moreira, J. C. (2004a). A cinética do chumbo no organismo humano e sua importância para a saúde. *Ciências e Saúde Coletiva*, 9, 167-181.

Moreira, F. R., Moreira, J. C. (2004b). A importância da análise de especificação do chumbo em plasma para avaliação dos riscos à saúde. *Quim. Nova*, 27, 251-260.

Misi, A, Iyer, S. S., Tassinari, C. C. G., Rocha Franca, W. J. S., Coelho. C. E. S., Cunha, I. A., Gome, A. S, R. (2004). Dados isotópicos de chumbo em sulfetos e a evolução metalogenética dos depósitos de zinco e chumbo das coberturas neoproterozóicas do cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*. 34(2):263-274

Mitchell, R. L. (1964). Trace elements in soils. *Chemistry of the soil*. New York, Reinhold. 320- 368

Nalovic, L. (1969). Étude spectrographique des éléments traces et leur distribution dans quelques types de sols de Madagascar. *Cah. Orstom, Sér. Pédol.* II, 16-31,11-17.

Organização para a cooperação e desenvolvimento (1993). Lead Background and National Experience with reducing risk. *Distribution*, 1, 295p.

Oliveira, T. S., & Costa, L. M. Metais pesados em solos de uma topolitossequência do triângulo mineiro. (2004). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28, 785-796.

Patrick, L. (2006). Lead toxicity, a review of the literature. Part 1: Exposure, evaluation, and treatment. *Altern. Med. Rev*, 11, 2-22.

Pereira A.S., et al. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Disponível em:  
[https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic\\_Computacao\\_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1).

Pierangeli, M. A. P., Guilherme. L. R. G., Curi. N., Silva, M. L. N., Oliveira, L. R., Lima, J. M. (2001). Revista Brasileira de Ciência do Solo. 25, 279-288.

Programa internacional sobre segurança química (1995). Inorganic lead. Geneva, *Environmental Health Criteria*. 165. Acesso em 2 dezembro, 2019, em <http://www.who.int/ipcs/en/>

Resende, M., Curi, N., Resende, S. B., Corrêa, G. F. (2007). Pedologia: base para distinção de ambientes. 5ª ed. rev. Lavras: Editora UFLA, 322.

Roeser, H. M. P., & Roeser, P. A. (2010). O quadrilátero ferrífero – MG, Brasil: Aspectos sobre sua história, seus recursos minerais e problemas ambientais relacionados. *Geonomos*. 18(1), 33 – 37

Serviço Geológico do Brasil. Ministério de Minas e Energia, (2004). Mapa Geológico de Minas Gerais. Belo Horizonte; Folha SE.23.

Serviço Geológico do Brasil. (2013). Depósitos Minerais no Tempo Geológico e Épocas Metalogenéticas. Acesso em 08 de janeiro, 2020, em [http://www.cprm.gov.br/publique/media/cap\\_VII\\_b.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/cap_VII_b.pdf)

Silva, R. B. (1985). Considerações sobre domínios metálicos de Pb, Zn e F do Brasil. *Rev. Inst. Geol. (online)*. 6(1-2), 49-68. ISSN 0100-929X.

Spivey, A. (2007). The weight of lead - Effects add up in adults. *Environmental Health Perspectives*. 115, 30-36

Vettori, L. (1976). Ferro “livre” por cálculo. Anais do Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.15, 127-128.

Valle, L. A. R. (2012). Avaliação de elementos-traço em fertilizantes e corretivos. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Lavras. UFLA. 75p

**Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Rômulo César Soares Alexandrino – 40 %

João José Granate de Sá e Melo Marques – 30 %

Sérgio Henrique Godinho Silva – 15 %

Fúlvio Rodriguez Simão – 15 %