



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOLOS E QUALIDADE DE
ECOSSISTEMAS
CURSO DE MESTRADO

METAIS PESADOS NO SOLO E EM PLANTAS NATIVAS E
CULTIVADAS EM UM GOSSAN NO PLATÔ DE IRECÊ, BAHIA

ADAILTON LIBERATO DO NASCIMENTO JUNIOR

CRUZ DAS ALMAS - BAHIA

ABRIL – 2012

METAIS PESADOS NO SOLO E EM PLANTAS NATIVAS E CULTIVADAS EM UM GOSSAN NO PLATÔ DE IRECÊ, BAHIA

ADAILTON LIBERATO DO NASCIMENTO JUNIOR

Engenheiro Agrônomo
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2009

Dissertação submetida à Câmara de Ensino de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Solos e Qualidade de Ecossistemas.

Orientador: Prof. Dr. Luciano da Silva Souza
Co-Orientador: Prof. Dr. Arlicélio de Queiroz Paiva

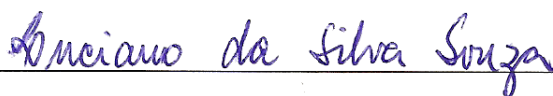
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
MESTRADO EM SOLOS E QUALIDADE DE ECOSSISTEMAS
CRUZ DAS ALMAS - BAHIA – 2012

FICHA CATALOGRÁFICA

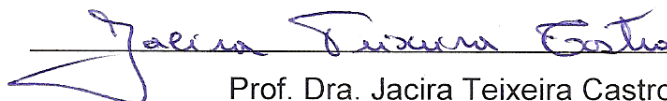
N244	<p>Nascimento Junior, Adailton Liberato do. Metais pesados no solo e em plantas nativas e cultivadas em um gossan no platô de Irecê, Bahia / Adailton Liberato do Nascimento Junior._ Cruz das Almas, BA, 2012. 116f.; il.</p> <p>Orientador: Luciano da Silva Souza. Coorientador: Arlicélio de Queiroz Paiva.</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas.</p> <p>1.Solo-química-Irecê-BA. 2.Metais pesados. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD: 631.4</p>
------	--

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
SOLOS E QUALIDADE DE ECOSISTEMAS

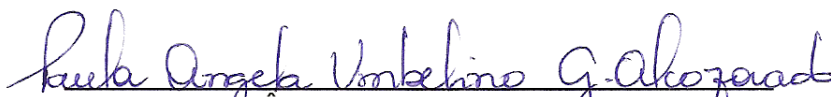
COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE
ADAILTON LIBERATO DO NASCIMENTO JUNIOR



Prof.Dr. Luciano da Silva Souza
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB
(Orientador)



Prof. Dra. Jacira Teixeira Castro
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB



Prof. Dra. Paula Ângela Umbelino Guedes Alcoforado
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB

Dissertação homologada pelo Colegiado de Curso de Mestrado em Solos e
Qualidade de Ecossistemas em, conferindo o Grau de
Mestre em Solos e Qualidade de Ecossistemas em
.....

Ao meu Deus, a minha mãe Haidê Mendes da Silva Nascimento, meu pai Adailton Liberato do Nascimento, minha esposa Maria Jeane de Jesus Vasconcelos, meu irmão Anderson da Silva Nascimento, minha irmã Patrícia da Silva Xavier e meus sobrinhos Gabriel e Victória, pela formação moral que se consolida no profissional que sou, por todo o incentivo, perseverança, na certeza de que o apoio de vocês foi fundamental para a concretização desta etapa em minha vida,

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha existência, inteligência suprema e causa primeira de tudo que existe.

À minha família, em especial meus pais, Adailton e Haidê, pela vida, amor, caráter e respeito pelo meu semelhante e por tudo que sou.

À minha esposa Jeane, pelo amor, dedicação e apoio principalmente nas horas mais difíceis da nossa caminhada.

À minha irmã Patrícia e meu irmão Anderson, pelo apoio, confiança e admiração que sempre depositaram em mim, aos meus sobrinhos Gabriel e Victória, que tanto amo, e ao meu cunhado Railton.

Ao meu filhinho que está por vir, pela imensa felicidade da espera.

Aos meus orientadores, Dr. Luciano da Silva Souza e Dr. Arlicélio de Queiroz Paiva, que acompanharam cada passo desta trajetória, por compartilhar seus conhecimentos, pelas críticas, pelo carinho e principalmente pela atenção e amizade.

Aos Pesquisadores Dr. Eugênio Ferreira Coelho, ao Professor Dr. Joelito de Oliveira Rezende, Professor Dr. José Fernandez e a professora Paula Ângela, pela amizade, ensinamentos, incentivo, sugestões e orientações.

Aos estagiários e funcionários dos Laboratórios de Solos da UFRB, em especial aos amigos e amigas, pela amizade e valiosa contribuição no desenvolvimento dos trabalhos.

Aos meus amigos de Salvador, em especial Moacir Duarte, Anderson Oliveira, Roseni, Bárbara, aos meus amigos de Cruz das Almas em especial, Valda, que me incentivaram e torceram por mim.

A todos que contribuíram de alguma forma para a elaboração desta dissertação e para minha formação.

Meu muito obrigado!

SUMÁRIO

	Página
Introdução	1
Referências bibliográficas	3
 Capítulo 1	
METAIS PESADOS NO SOLO EM UM GOSSAN NO PLATÔ DE IRECÊ, BAHIA	5
Introdução	11
Material e Métodos	13
Resultados e Discussão	17
Conclusões	36
Referências bibliográficas	36
 Capítulo 2	
RELAÇÃO ENTRE METAIS PESADOS NO SOLO E EM DIFERENTES PARTES DE PLANTAS NATIVAS E CULTIVADAS, EM ÁREA DE INFLUÊNCIA DE UM GOSSAN NO PLATÔ DE IRECÊ, BAHIA	40
Introdução	47
Material e Métodos	49
Resultados e Discussão	54
Conclusões	78
Referências bibliográficas	78
 CONSIDERAÇÕES FINAIS	 84
 ANEXOS	 86

METAIS PESADOS NO SOLO E EM PLANTAS NATIVAS E CULTIVADAS EM UM GOSSAN NO PLATÔ DE IRECÊ, BAHIA

Autor: Adailton Liberato do Nascimento Júnior

Orientador: Prof. Dr. Luciano da Silva Souza

Co-Orientador: Prof. Dr. Arlicélio de Queiroz Paiva

RESUMO: Na região de Irecê, Bahia, existem faixas alongadas de formação superficial em forma de crosta laterítica conhecidas como gossans. Em um deles foi detectada a presença de Pb, Zn, Cr e Mn em perfis de solo. Este estudo objetivou quantificar a ocorrência de metais pesados no solo e em diferentes partes de plantas nativas e cultivadas, em área mais abrangente no mesmo gossan. Amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, em uma malha com cinco transecções distanciadas de 1.000 m e perpendiculares ao gossan. Em cada transecção foram coletadas amostras de solo em distâncias de 25, 50, 100, 200 e 400 m a partir do centro do gossan e para ambos os lados do mesmo. As amostras de plantas foram coletadas apenas na distância de 25 m. Foram analisados As, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Ti e Zn em extratos de solo e planta. Com relação ao solo, o Pb e o As apresentaram teores médios acima dos valores de prevenção mas uma pequena dispersão na área. O Zn apresentou teor médio acima do valor de prevenção e dispersão maior que a dos demais metais, sendo o que requer maior preocupação na área avaliada. Os demais metais pesados avaliados (Cr, Cu, Ni, Fe, Mn e Ti) não suscitaram maiores preocupações. Quanto à planta, o As e Cd não foram encontrados nas plantas avaliadas. O Pb, Fe e Ti concentraram-se nas raízes de várias das plantas avaliadas, com ênfase em capim buffel (Pb e Fe), milho (Fe e Ti) e pinhão-branco (Fe e Ti). No caso do Pb, evidenciou-se um mecanismo de proteção das plantas, não o translocando para a parte aérea. O Zn e o Mn distribuíram-se em todas as partes das plantas avaliadas. Os teores de Cu obtidos ficaram bem abaixo dos níveis considerados fitotóxicos.

Palavras-chave: Arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês, níquel, titânio e zinco.

HEAVY METALS IN SOIL AND IN NATIVE AND CULTIVATED PLANTS IN A GOSSAN AT IRECÊ PLATEAU, BAHIA, BRAZIL

Author: Adailton Liberato do Nascimento Junior

Adviser: Prof. Dr. Luciano da Silva Souza

Co-Adviser: Prof. Dr. Arlicélio de Queiroz Paiva

ABSTRACT: In the region of Irecê, Bahia, Brazil, are superficial elongated strips in form of lateritic crust known as gossans. In one of them was detected the presence of Pb, Zn, Cr, and Mn in soil profiles. This study aimed to quantify heavy metals occurrence in soil and in different parts of native and cultivated plants, in wider area in the same gossan. Soil samples were collected at depths of 0-0.20 and 0.20-0.40 m, following a grid with 1,000 m spaced five transects perpendicular to gossan. In each transect samples were collected at 25, 50, 100, 200, and 400 m from the center of gossan and both sides thereof. Plant samples were collected only at the distance of 25 m. Were analyzed As, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Ti, and Zn in soil and plant extracts. With respect the soil, Pb and As presented average contents above prevention values but showed small dispersion in the area. Zinc showed average content above prevention value and higher dispersion than the other metals, requiring greater care in evaluated area. Others heavy metals evaluated (Cr, Cu, Ni, Fe, Mn, and Ti) not raised major concern. With respect the plant, As and Cd were not found in the plants evaluated. Pb, Fe, and Ti were concentrated in the roots of various plants evaluated, with emphasis on buffel grass (Pb and Fe), corn (Fe and Ti) and white pinion (Fe and Ti). In the case of Pb, there was a protective mechanism of plants, not translocating it to the shoots. Zn and Mn were distributed in all parts of the plants evaluated. Values of Cu obtained were very below phytotoxic levels.

Keywords: Arsenic, cadmium, lead, copper, chromium, iron, manganese, nickel, titanium and zinc.

INTRODUÇÃO

A região de Irecê está localizada no centro norte do Estado da Bahia, sendo considerada um dos principais pólos de produção agrícola do Nordeste; é composta por 19 municípios que se encontram totalmente inseridos no semi-árido baiano, apresentando temperatura média anual de 23,5 °C e precipitação anual média de 650 mm (SEI, 2003). A altitude varia de 500 a 800 m e o relevo apresenta feição plana, quase uniforme (SEPLANTEC, 1974). Os solos apresentam elevado teor de nutrientes e baixa acidez e a vegetação nativa é formada por caatinga hiperxerófila (SILVA *et al.*, 1993).

Existem registros da ocorrência de mineralizações sulfetadas na Bacia de Irecê, originadas da ação de fluidos hidrotermais formando faixas alongadas, porém descontínuas. O termo gossan é usado para definir a cobertura superficial dessas mineralizações e os principais tipos de minerais sulfetados que ocorrem na bacia calcária de Irecê são pirita (Fe), esfalerita (Zn) e galena (Pb), segundo Oliveira *et al.* (1993).

Paiva (2010) avaliou os teores de alguns metais pesados em uma seqüência de solos (P4-Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico câmbico, P5-Cambissolo Háplico Tb eutrófico latossólico, P6-Cambissolo Háplico Tb eutrófico latossólico e P7-Cambissolo Háplico Ta eutrófico latossólico) desenvolvidos e dispostos em alinhamento leste-oeste ao longo de um gossan no Platô de Irecê, Bahia. Os resultados obtidos mostraram que o gossan analisado apresentou solos com teores totais dentro da faixa dos valores de investigação, considerado pela legislação ambiental brasileira, para Zn (perfis P4, P5 e P6), Pb (perfis P4, P5, P6 e P7) e Cr (perfis P5 e P6); o Cambissolo Háplico Tb eutrófico latossólico (P6) apresentou forte anomalia para Zn, Pb e Cr, que pode levar ao comprometimento da qualidade desse solo e apresentar riscos potenciais para o homem e para o meio ambiente; os teores totais de Mn foram maiores para solos dentro da área do gossan, demonstrando que o intemperismo das mineralizações sulfetadas pode ter contribuído com o aporte desse elemento no solo.

Os metais pesados que se encontram nessas áreas são motivo de preocupação em função da possibilidade de aumento de sua concentração em plantas desenvolvidas nas mesmas, podendo interferir no seu crescimento e na

saúde de animais e de seres humanos que se alimentam dessas plantas (BERTI & JACOBS, 1996).

No entanto, no que se refere aos efeitos sobre as plantas e a cadeia alimentar, é necessário o conhecimento das concentrações fitodisponíveis (LESCHBER *et al.*, 1985). Alguns desses elementos são essenciais para várias funções fisiológicas nos seres vivos, como Fe, Cu, Zn e Mn, enquanto outros, como Cd, Pb e Hg, não têm funções biológicas conhecidas.

Os níveis tóxicos dos metais pesados para as plantas estão em constante estudo. Kabata-Pendias & Pendias (1984) têm sido sugerido concentrações de alguns metais pesados considerados tóxicos no tecido vegetal, porém esses valores são muito amplos, variáveis e totalmente desconhecidos para plantas não-cultivadas. Os metais pesados não apenas exercem efeitos negativos sobre o crescimento das plantas (VALSECCHI *et al.*, 1995), mas interferem nas funções do ecossistema, com conseqüências ao meio ambiente e à saúde pública. Cada vez mais países desenvolvidos vêm discutindo a presença e os efeitos dos metais pesados no ambiente (AMARAL SOBRINHO, 1996).

Assim, assumiu-se a hipótese de que as mineralizações sulfetadas, principalmente de pirita (Fe), esfalerita (Zn) e galena (Pb), formando faixas alongadas (gossans) no Platô de Irecê, promoveram naturalmente concentrações elevadas de vários metais pesados em solos localizados ao longo de todo o gossan, ocorrendo ainda a redistribuição lateral desses metais em função de processos pedogenéticos ou antrópicos, possibilitando a sua ocorrência em diferentes partes de plantas nativas e cultivadas que se desenvolvem sobre o gossan e em áreas de influência do mesmo.

Considerando que a avaliação realizada por Paiva (2010) ocorreu pontualmente em perfis localizados em distâncias próximas uns dos outros, e considerando que essas áreas vêm sendo utilizadas há décadas para a produção de feijão, milho, mamona e outras culturas e para a criação de pequenos animais, decidiu-se continuar e detalhar aquele estudo por meio deste trabalho, com o objetivo de quantificar e mapear a ocorrência e dispersão de metais pesados no solo e em diferentes partes de plantas nativas e cultivadas, em uma área mais abrangente distribuída ao longo e perpendicular ao mesmo gossan pesquisado, analisando os teores obtidos com base em valores de referência e limites de tolerância definidos pela legislação ambiental brasileira, enfatizando as

implicações ambientais decorrentes do uso agrícola.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; COSTA, L.M.; OLIVEIRA, C.; VELLOSO, A.C.X. Metais pesados em alguns fertilizantes e corretivos. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v.16, p.271-276, 1992.

BERTI, W.R.; JACOBS, L.W. Chemistry and phytotoxicity of soil trace elements from repeated sewage sludge applications. **Journal of Environmental Quality**, v.25, p.1025-1032, 1996.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. Boca Raton: CRC, 1984. 315p.

LESCHBER, R.; DAVIES, R.D.; L'HERMITE, P. **Chemical methods for assessing bioavailability metals in sludge and soils**. London: Elsevier, 1985. 96p.

OLIVEIRA, S.M.B.; MAGAT, Ph.; BLOT, A. O gossan de Irecê – Lapão (BA). **Geochim. Brasil**, v.2, p.131-149, 1993.

PAIVA, A. de Q. Ocorrência natural de metais pesados em solos anômalos desenvolvidos ao longo de um gossan no Platô de Irecê, BA. In: PAIVA, A. de Q. **Solos carbonático-fosfáticos do Platô de Irecê, BA: gênese, mineralogia e geoquímica**. 2010. 184f, f.110-133. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

SEI. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (Salvador, BA). Dinâmica sócio-demográfica da Bahia: 1980-2002. **Série Estudos e Pesquisas**, Salvador, v.2, p.60, 2003.

SEPLANTEC. Secretária de Ciência e Tecnologia (Salvador, BA). **Programa de desenvolvimento integrado da MRP-12 – Irecê**. Resumo do diagnóstico, estratégia, programação indicativa. Salvador: Seplantec, 1974. s.p.

SILVA, F.B.R.; RICHÉ, G.R.; TONNEAU, J.P.; SOUZA NETO, N.C. de; BRITO, L.T. de L.; CORREIA, R.C.; CAVALCANTI, A.C.; SILVA, F.H.B.B. da; SILVA, A.B. da; ARAÚJO FILHO, J.C. de; LEITE, A.P. **Zoneamento agroecológico do Nordeste**: diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico. Petrolina:

Embrapa-CPATSA; Recife: Embrapa/CNPS/Coordenadoria Regional Nordeste, 1993. 2v, 89p., 387p.

VALSECCHI, G.; GIGLIOTI, C.; FARINI, A. Microbial biomass, activity, and organic matter accumulation in soils contaminated with heavy metals. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.20, p.253-259, 1995.

CAPÍTULO 1

METAIS PESADOS NO SOLO EM UM GOSSAN NO PLATÔ DE IRECÊ, BAHIA⁽¹⁾

⁽¹⁾Artigo a ser ajustado para submissão ao Comitê Editorial do periódico científico Revista Brasileira de Ciência do Solo.

METAIS PESADOS NO SOLO EM UM GOSSAN NO PLATÔ DE IRECÊ, BAHIA

Autor: Adailton Liberato do Nascimento Júnior

Orientador: Prof. Dr. Luciano da Silva Souza

Co-Orientador: Prof. Dr. Arlicélio de Queiroz Paiva

RESUMO: Na região de Irecê, Bahia, encontram-se faixas alongadas de formação superficial em forma de crosta laterítica derivadas de intemperismo hidrotermal de mineralizações sulfetadas conhecidas como gossans. Estudo anterior diagnosticou forte anomalia em relação a Pb, Zn, Cr e Mn em perfis de solo localizados no maior gossan da região. Dessa forma, desenvolveu-se estudo com o objetivo de quantificar e mapear a ocorrência de metais pesados no solo, numa área mais abrangente no mesmo gossan, confrontando os teores obtidos com valores de referência e limites de tolerância definidos pela legislação ambiental brasileira. Amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, seguindo uma malha com cinco transecções distanciadas de 1.000 m e perpendiculares ao gossan. Em cada transecção foram coletadas amostras em distâncias de 25, 50, 100, 200 e 400 m a partir do centro do gossan e para ambos os lados do mesmo. Foram analisados os metais As, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Ti e Zn em extratos de solo obtido após ataque ácido em bloco digestor, conforme procedimento analítico SW 846-3050A da Usepa. A dosagem dos elementos foi obtida por espectrometria de emissão óptica com plasma de argônio indutivamente acoplado (ICP OES). O Pb e o As, embora tenham apresentado teores médios acima dos valores de prevenção, em contrapartida apresentaram pequena dispersão na área. O Zn apresentou, ao mesmo tempo, teor médio acima do valor de prevenção e dispersão maior que a dos demais metais, sendo o metal pesado que requer maior preocupação na área avaliada. Os demais metais pesados avaliados (Cr, Cu, Ni, Fe, Mn e Ti) não suscitaram maiores preocupações. Não foi observada a distribuição dos metais pesados avaliados ao longo de todo o gossan, como se esperava.

Palavras-chave: Arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês, níquel, titânio e zinco.

SOIL HEAVY METALS IN A GOSSAN AT IRECÊ PLATEAU, BAHIA, BRAZIL

Author: Adailton Liberato do Nascimento Junior

Adviser: Prof. Dr. Luciano da Silva Souza

Co-Adviser: Prof. Dr. Arlicélio de Queiroz Paiva

ABSTRACT: In the region of Irecê, Bahia, Brazil, are superficial elongated strips in form of lateritic crust derived from hydrothermal weathering of sulfide mineralization known as gossans. A previous study found strong abnormality in relation to Pb, Zn, Cr, and Mn in soil profiles located at the greater gossan of region. Thus, the study was developed aiming to quantify and to map heavy metals occurrence in soil, in a wider area in the same gossan. Values obtained were compared with reference values and tolerance limits set by Brazilian environmental legislation. Soil samples were collected at depths of 0 to 0.20 and 0.20-0.40 m, following a grid with 1,000 m spaced five transects perpendicular to Gossan. In each transect samples were collected at 25, 50, 100, 200, and 400 m from the center of gossan and both sides thereof. Were analyzed metals As, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Ti, and Zn in soil extract obtained with analytical procedure SW 846-3050A of the USEPA. Elements dosage was obtained by optical emission spectrometry with inductively coupled argon plasma (ICP OES). Pb and As presented average contents above prevention values, but showed small dispersion in the area. Zinc showed average content above prevention value and higher dispersion than the other metals, requiring greater care in evaluated area. Others heavy metals evaluated (Cr, Cu, Ni, Fe, Mn, and Ti) not raised major concern. There was no distribution of heavy metals over entire gossan area, as expected.

Keywords: Arsenic, cadmium, lead, copper, chromium, iron, manganese, nickel, titanium and zinc.

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Propriedades físicas de solos predominantes na área estudada	14
Tabela 2. Coordenadas geográficas (UTM) dos pontos de amostragem de solo na área de influência do gossan avaliado, no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA	15
Tabela 3. Valores de referência de qualidade adotados pela legislação brasileira, para metais pesados no solo	17
Tabela 4. Estatísticas descritivas e teste de Shapiro-Wilk para teores de metais pesados no solo ao longo e perpendicular a um gossan localizado no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA	18
Tabela 5. Sumário interpretativo para teores de metais pesados no solo ao longo e perpendicular a um gossan localizado no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA	35

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Localização do gossan avaliado, no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA	13
Figura 2. Arsênio, chumbo e zinco no solo (mg kg^{-1}), nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40m, ao longo e perpendicular a um gossan localizado no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA	20
Figura 3. Cromo, cobre, ferro, manganês e níquel no solo (mg kg^{-1}), nas profundidades de 0-0,20m, ao longo e perpendicular a um gossan localizado no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA.....	22
Figura 4. Cromo, cobre, ferro, manganês e níquel no solo (mg kg^{-1}), nas profundidades de 0,20-0,40m, ao longo e perpendicular a um gossan localizado no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA.....	23
Figura 5. Titânio no solo (mg kg^{-1}), nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40m, ao longo e perpendicular a um gossan localizado no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA	24
Figura 6. Distribuição de freqüência para teores de arsênio no solo, nas profundidades de ,0-0,20 e 0,20-0,40 m, ao longo e perpendicular a um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA	25
Figura 7. Distribuição de freqüência para teores de chumbo no solo, nas profundidades de ,0-0,20 e 0,20-0,40 m, ao longo e perpendicular a um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA	27
Figura 8. Distribuição de freqüência para teores de cromo no solo, nas profundidades de ,0-0,20 e 0,20-0,40 m, ao longo e perpendicular a um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA	28
Figura 9. Distribuição de freqüência para teores de cobre no solo, nas profundidades de ,0-0,20 e 0,20-0,40 m, ao longo e perpendicular a um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA	29

Figura 10. Distribuição de freqüência para teores de ferro no solo, nas profundidades de ,0-0,20 e 0,20-0,40 m, ao longo e perpendicular a um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA	30
Figura 11. Distribuição de freqüência para teores de manganês no solo, nas profundidades de ,0-0,20 e 0,20-0,40 m, ao longo e perpendicular a um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA	31
Figura 12. Distribuição de freqüência para teores de níquel no solo, nas profundidades de ,0-0,20 e 0,20-0,40 m, ao longo e perpendicular a um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA	32
Figura 13. Distribuição de freqüência para teores de titânio no solo, nas profundidades de ,0-0,20 e 0,20-0,40 m, ao longo e perpendicular a um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA	33
Figura 14. Distribuição de freqüência para teores de zinco no solo, nas profundidades de ,0-0,20 e 0,20-0,40 m, ao longo e perpendicular a um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA	34

INTRODUÇÃO

Vários elementos, denominados de elementos traço, presentes na litosfera em concentrações menores que 0,1%, podem ser tóxicos para os organismos vivos; dentre eles destacam-se os metais pesados, que são constituintes naturais de rochas e solos. Os metais pesados são aqueles elementos que apresentam número atômico maior do que 20 e peso específico maior que $6,0 \text{ kg dm}^{-3}$. Alguns dos metais pesados mais tóxicos são o chumbo (Pb), cádmio (Cd), cobre (Cu) e níquel (Ni), sendo os dois primeiros particularmente tóxicos para animais superiores e os dois últimos sendo mais tóxicos para plantas do que para animais. O zinco (Zn) apresenta baixa-média toxicidade para plantas e animais, enquanto que a toxicidade do Cd, Cr, Cu, Ni e Pb é média a alta (COSTA *et al.*, 2008).

Esses metais surgem naturalmente no solo a partir do seu material de origem, como resultado dos processos de evolução pedogeomorfológica (BARBIER, 1996). Nesse processo inclui-se o intemperismo de minerais e rochas, como é o caso daquelas ricas em sulfetos, óxidos, silicatos, fosfatos e carbonatos (CAMPOS *et al.*, 2005). Para Alcarde (2003) e Nascimento *et al.* (2004), esses elementos podem surgir também pela deposição atmosférica ou por meio de ações antropogênicas envolvendo a aplicação de agrotóxicos, resíduos orgânicos ou inorgânicos urbanos e industriais, lodo de esgoto, fertilizantes e corretivos.

Os teores de metais pesados presentes no solo e disponíveis às plantas são fundamentais na avaliação do risco de entrada desses elementos potencialmente tóxicos na cadeia alimentar (FERREIRA *et al.*, 2001). A maioria dos metais pode sofrer enriquecimento por bioacumulação na cadeia alimentar, desde as plantas aquáticas e invertebrados até os peixes e os mamíferos (AZEVEDO *et al.*, 2003).

Quando se pretende avaliar a extensão da poluição de uma área, normalmente são comparados os teores totais de metais pesados no solo com aqueles sob condições naturais (não poluídos) ou valores de referência (VR). Nesse sentido, as agências de proteção ambiental propõem o estabelecimento de valores orientadores que permitam identificar áreas poluídas ou contaminadas e, concomitantemente, avaliar o potencial de risco ao meio ambiente e à saúde humana.

O CONAMA (2009), por meio da Resolução CONAMA nº 420/2009, 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; são propostos valores de prevenção para vários metais pesados no solo, que se referem à concentração acima da qual podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo, bem como valores de investigação, que representam a concentração acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana. Esse órgão de controle ambiental ainda orienta a forma de definição de valores de referência de qualidade, que dizem respeito à concentração de determinado metal pesado que define a qualidade natural do solo.

No Brasil, a CETESB (2005) propõe valores de referência de qualidade para metais pesados em solos do Estado de São Paulo, enquanto Paye (2010) propõe esse valores para solos do Espírito Santo. Fadigas *et al.* (2002), Campos *et al.* (2003), Caires (2009) e Biondi (2010) têm realizado levantamentos dos teores naturais de metais pesados em solos, tentando estabelecer valores orientadores para outros Estados do Brasil.

Paiva (2010) avaliou os teores de alguns metais pesados em uma seqüência composta por quatro perfis de solos dispostos dentro da área de um gossan no Platô de Irecê, Bahia, comparando com um perfil localizado fora da área do gossan. Os resultados obtidos indicaram teores totais de Zn, Pb e Cr dentro da faixa dos valores de investigação considerados pela legislação ambiental brasileira. A forte anomalia para Zn, Pb e Cr apresentada por um dos perfis avaliados pode levar ao comprometimento da qualidade desse solo e apresentar riscos potenciais para o homem e para o meio ambiente. Os teores totais de Mn foram maiores para solos dentro da área do gossan, demonstrando que o intemperismo das mineralizações sulfetadas pode ter contribuído com o aporte desse elemento no solo. O perfil de solo localizado em área externa ao gossan e utilizado como referência também apresentou valores elevados de Zn, Pb e Cr, indicando que ocorreu uma redistribuição lateral do material do gossan na paisagem.

Considerando que a avaliação realizada por Paiva (2010) ocorreu pontualmente em perfis localizados a pequenas distâncias, e considerando que

essas áreas vêm sendo utilizadas há décadas para a produção de feijão, milho, mamona e outras culturas e para a criação de pequenos animais (caprinos, ovinos e galináceos), decidiu-se continuar e detalhar aquele estudo por meio deste trabalho, com o objetivo de quantificar e mapear a ocorrência e dispersão de metais pesados no solo em uma área mais abrangente, distribuída ao longo e perpendicular ao mesmo gossan, confrontando os teores obtidos com valores de referência e limites de tolerância determinados pela legislação ambiental brasileira.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização da área

O estudo foi desenvolvido no Município de Lapão, que pertence à unidade geoambiental Platô de Irecê-BA, em uma área sob influência de um gossan identificado com base no mapa de amostragem geoquímica para prospecção de metais e fosfatos, elaborado por Bahia (1997). O gossan avaliado está localizado nas proximidades do povoado de Tanquinho, com altitude média de 740 m; de acordo com Bomfim *et al.* (1985), a área de estudo constitui o principal gossan em extensão da região, com comprimento de 13,5 km e largura média de 0,5 km (Figura 1).

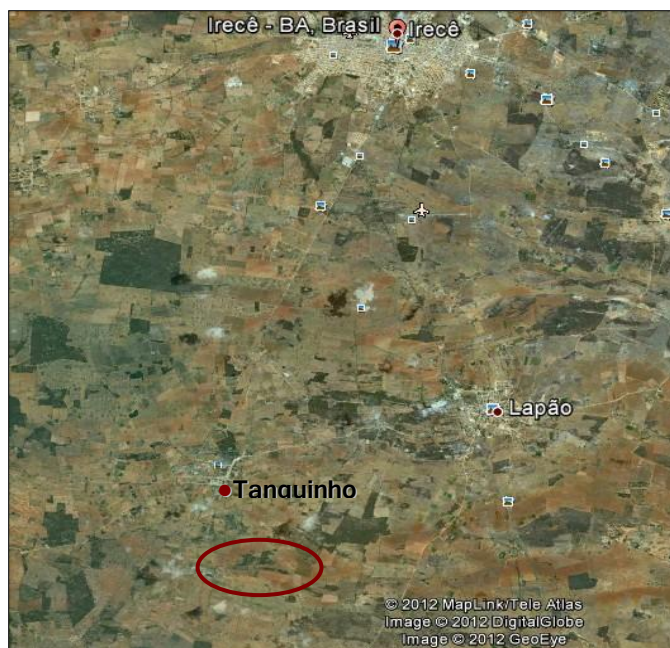


Figura 1. Localização do gossan avaliado, no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA.

De acordo com Paiva (2010), os solos predominantes nessa área são Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico câmbico, Cambissolo Háplico Tb eutrófico latossólico e Cambissolo Háplico Ta eutrófico latossólico, com teores de argila variando de 510 a 650 g kg⁻¹ e classes texturais entre argilosa e muito argilosa; os teores de silte variam de 150 a 200 g kg⁻¹ (Tabela 1).

Tabela 1. Propriedades físicas de solos predominantes na área avaliada.

Perfil	Horizonte	AG ⁽¹⁾	AF	AT	SIL	ARG	ADA	GF
		----- g kg ⁻¹ -----						
Latossolo Vermelho-Amarelo eutrófico câmbico	Bi2 (0,30-0,50 m)	110	130	240	160	600	66	89
	Bw2 (0,80-1,10 m)	90	90	180	170	650	85	87
Cambissolo Háplico Tb eutrófico latossólico	Ap (0-0,10 m)	150	120	270	180	550	77	86
	Bwc (0,45-1,00 m)	150	70	220	150	630	120	81
	BCc (1,00-1,50 m)	200	60	260	180	560	90	84
Cambissolo Háplico Ta eutrófico latossólico	Bw1 (0,15-0,35 m)	120	170	290	200	510	46	91
	BCc (0,90-1,40 m)	120	140	260	190	550	88	84

⁽¹⁾AG = areia grossa; AF = areia fina; AT = areia total; SIL = silte; ARG = Argila; ADA = argila dispersa em água; e GF = grau de floculação.

Fonte: Paiva (2010).

É importante ressaltar que nenhum dos solos recebeu qualquer tipo de fertilização ou corretivo; com isso, os metais pesados neles encontrados são assumidos como exclusivamente de ocorrência natural.

Amostragem de solos

As amostras de solo foram coletadas em cinco transeções perpendiculares ao gossan, com distância de 1.000 m entre elas, totalizando assim 4.000 m de comprimento no sentido Oeste-Leste do gossan.

Em cada um das transeções foi amostrado um ponto sobre o gossan e, partindo deste, foram coletadas mais dez amostras de solo, sendo cinco no sentido Norte e cinco no sentido Sul, distantes 25, 50, 100, 200 e 400 m do referencial, totalizando assim 800 m de largura no sentido Norte-Sul.

Em cada ponto amostral foram amostradas as profundidades de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m, totalizando 110 amostras de solo, sendo 55 para cada camada.

Cada ponto amostral foi devidamente georreferenciado (Tabela 2), de modo a possibilitar a localização e o mapeamento da área, para os vários metais pesados avaliados.

Tabela 2. Coordenadas geográficas (UTM) dos pontos de amostragem de solo na área de influência do gossan avaliado, no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA.

NORTE (N)					CENTRO	SUL (S)				
DISTÂNCIA DO CENTRO (m)						DISTÂNCIA DO CENTRO (m)				
400	200	100	50	25		25	50	100	200	400
Transeção 5										
0189904	0189904	0189904	0189904	0189904	0189904	0189904	0189904	0189904	0189904	0189904
8736710	8736510	8736410	8736360	8736335	8736310	8736285	8736260	8736210	8736110	8735910
Transeção 4										
0188904	0188904	0188904	0188904	0188904	0188904	0188904	0188904	0188904	0188904	0188904
8736710	8736510	8736410	8736360	8736335	8736310	8736285	8736260	8736210	8736110	8735910
Transeção 3										
0187904	0187904	0187904	0187904	0187904	0187904	0187904	0187904	0187904	0187904	0187904
8736710	8736510	8736410	8736360	8736335	8736310	8736285	8736260	8736210	8736110	8735910
Transeção 2										
0186904	0186904	0186904	0186904	0186904	0186904	0186904	0186904	0186904	0186904	0186904
8736710	8736510	8736410	8736360	8736335	8736310	8736285	8736260	8736210	8736110	8735910
Transeção 1										
0185904	0185904	0185904	0185904	0185904	0185904	0185904	0185904	0185904	0185904	0185904
8736710	8736510	8736410	8736360	8736335	8736310	8736285	8736260	8736210	8736110	8735910

As amostras foram acondicionadas em sacos de polietileno devidamente identificados, secas ao ar e passadas em peneira com malha de 2,00 mm.

Teores pseudototais

A digestão das amostras de solo foi feita em triplicata em bloco digestor, utilizando uma modificação do método SW 846-3050A (USEPA, 2007), incluindo provas em branco.

Subamostras de solo de 0,5 g previamente trituradas em almofariz de ágata e passadas em peneira com abertura de malha de 60 mesh foram colocadas em tubos de digestão, adicionando-se 5 mL de ácido nítrico (HNO₃) concentrado (65%, V/V) e aquecendo-se a 95°C por uma hora. Após o resfriamento das amostras por cerca 20 minutos, adicionou-se peróxido de hidrogênio (30%, V/V) em alíquota de 1 mL e aqueceu-se a 95°C; esse processo

foi repetido até que a reação de efervescência diminuiu ou a aparência da amostra não sofreu alteração, tendo-se o cuidado para não adicionar mais de 10 mL de peróxido de hidrogênio no total. Após a adição da última alíquota de peróxido de hidrogênio (30%, V/V) as amostras foram resfriadas por 20 minutos, acrescentando-se, em seguida, 5 mL de ácido clorídrico (HCl) concentrado (65%, V/V), com posterior aquecimento a 95°C. A temperatura foi mantida até que houvesse evaporação de modo a atingir aproximadamente 5 mL de solução. Em seguida, a amostra foi resfriada por cerca de 30 minutos e submetida à filtração lenta, com papel de filtro de faixa azul, coletando-se todo o filtrado (solução de extração mais a de lavagem dos frascos) em balão volumétrico de 25 mL, sendo o volume completado com água deionizada.

Procedeu-se a leitura de As, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Ti e Zn por espectrometria de emissão óptica com plasma de argônio indutivamente acoplado (ICP OES).

Análise estatística

Inicialmente foram calculadas estatísticas descritivas para os dados (média, coeficiente de variação, mínimo e máximo), sendo também aplicado o teste de Shapiro-Wilk para avaliar se eles seguiam a distribuição de frequência normal. Para tanto, utilizou-se o aplicativo Statistica, versão 7,0.

Em seguida procedeu-se o mapeamento da área para cada um dos metais avaliados, utilizando-se o aplicativo Surfer, versão 7,0.

Além disso, os teores obtidos foram comparados com valores de referência de qualidade adotados pela legislação brasileira (CETESB, 2005; CONAMA, 2009), apresentados na tabela 3.

Tabela 3. Valores de referência de qualidade adotados pela legislação brasileira, para metais pesados no solo.

Metais pesados	Valores de		
	Referência de qualidade ⁽¹⁾	Prevenção ⁽²⁾	Investigação ⁽²⁾
	----- mg kg ⁻¹ -----		
Arsênio	3,5	15	35
Cádmio	<0,5	1,3	3
Chumbo	17	72	180
Cobre	35	60	200
Cromo	40	75	150
Ferro	-	-	-
Manganês	-	-	-
Níquel	13	30	70
Zinco	60	300	450
Titânio	-	-	-

⁽¹⁾Baseado em CETESB (2005). ⁽²⁾Baseados em CONAMA (2009).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estatísticas descritivas

Os coeficientes de variação obtidos para os metais pesados avaliados foram maiores do que 50% (Tabela 4), sendo assim considerados como muito altos (GOMES, 1984), indicando uma alta variabilidade para todos eles na área estudada. Os altos coeficientes de variação já eram esperados, em função da ausência de distribuição normal dos dados. Os menores coeficientes de variação foram observados para o Fe e os maiores para o Pb, indicando assim a menor e a maior variabilidade, respectivamente.

Os valores obtidos para o teste de Shapiro-Wilk foram todos significativos (Tabela 4), indicando que os dados observados para todos os metais no solo não seguiram a distribuição normal. É importante lembrar que a análise estatística clássica ou tradicional pressupõe ou baseia-se na distribuição normal. Assim, dados que seguem uma distribuição diferente da normal devem ser transformados antes da aplicação da análise da variância e dos testes de significância entre médias. Além disso, sabe-se que a média não é uma boa medida descritiva para

dados que não seguem a distribuição normal (GOMES, 1984). Esse último aspecto será considerado na discussão dos dados relativa a cada um dos metais pesados avaliados, quando será priorizada a distribuição de frequência dos dados, ao invés da média.

Tabela 4. Estatísticas descritivas e teste de Shapiro-Wilk para teores de metais pesados no solo ao longo e perpendicular a um gossan localizado no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. (n=55)

Metal pesado	Média	C.V. ⁽¹⁾	Mínimo	Máximo	Shapiro-Wilk
	- mg kg ⁻¹ -	-- % --	--- mg kg ⁻¹ ---		
Profundidade de 0-0,20 m					
As	9,0	162	<LD ⁽²⁾	79	0,511 ^{**} (3)
Cd	<LD	-	<LD	< LD	-
Pb	68,6	240	2	1.055	0,781 ^{**}
Cu	5,2	184	<LD	45	0,617 ^{**}
Cr	30,7	107	<LD	126	0,819 ^{**}
Fe	13.378,6	51	5.183	27.505	0,647 ^{**}
Mn	381,9	81	11	1.228	0,848 ^{**}
Ni	5,7	155	<LD	24	0,862 ^{**}
Ti	174,4	67	36	432	0,860 ^{**}
Zn	165,9	120	<LD	876	0,409 ^{**}
Profundidade de 0,20-0,40 m					
As	9,0	138	<LD	72	0,586 ^{**}
Cd	<LD	-	<LD	0	-
Pb	68,4	230	4	993	0,800 ^{**}
Cu	5,3	173	<LD	40	0,644 ^{**}
Cr	30,6	103	1	102	0,822 ^{**}
Fe	13.632,3	51	5.905	28.948	0,647 ^{**}
Mn	368,9	87	6	1.463	0,842 ^{**}
Ni	6,1	154	<LD	26	0,863 ^{**}
Ti	179,5	70	49	442	0,848 ^{**}
Zn	166,0	116	<LD	785	0,419 ^{**}

⁽¹⁾C.V. = coeficiente de variação. ⁽²⁾<LD = abaixo do limite de detecção. ⁽³⁾** = significativo a 1%.

Distribuição espacial dos metais pesados na área avaliada

Arsênio (As), chumbo (Pb) e zinco (Zn)

A distribuição espacial de As, Pb e Zn na área avaliada mostrou um ponto de maior concentração no centro da transeção 3 (Tabela 2), que também pode ser considerado como o ponto central da área avaliada, para ambas as profundidades amostradas (Figura 2). É importante considerar que esse ponto está bastante próximo do local dos quatro perfis de solo amostrados por Paiva (2010), cujas coordenadas UTM de referência são 187935 e 8736346. A partir desse ponto central houve uma distribuição dos três metais principalmente em direção à parte inferior da área (direção Oeste), sendo essa dispersão maior no Zn, intermediária no As e menor no Pb, o qual se concentrou em torno do ponto central citado. Observou-se ainda grande homogeneidade na distribuição desses metais nas duas profundidades amostradas.

Essa concentração de As, Pb e Zn em torno do ponto central da área avaliada felizmente não confirmou a hipótese do trabalho, de que haveria uma distribuição ao longo de todo o gossan, o que seria preocupante tendo em vista que, conforme informa Paiva (2010), tais áreas vêm sendo utilizadas há décadas para a produção de feijão, milho, mamona e outras culturas e para a criação de pequenos animais.

Cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e níquel (Ni)

O Cr, Cu, Fe, Mn e Ni também apresentaram elevada concentração no ponto central da transeção 3 (Tabela 2), que também foi o ponto de maior concentração de As, Pb e Zn; no entanto, o Cr, Cu, Fe, Mn e Ni apresentaram um segundo ponto de maior concentração localizado na transeção 2, distando 1.000 m do outro ponto, em direção à parte inferior da área (direção Oeste), como se observa nas figuras 3 e 4, para ambas as profundidades avaliadas. Portanto, conforme já observado para o As, Pb e Zn, manteve-se a maior dispersão dos metais na direção Oeste, a partir das proximidades do local dos quatro perfis de solo amostrados por Paiva (2010). A dispersão dos metais a partir dos dois

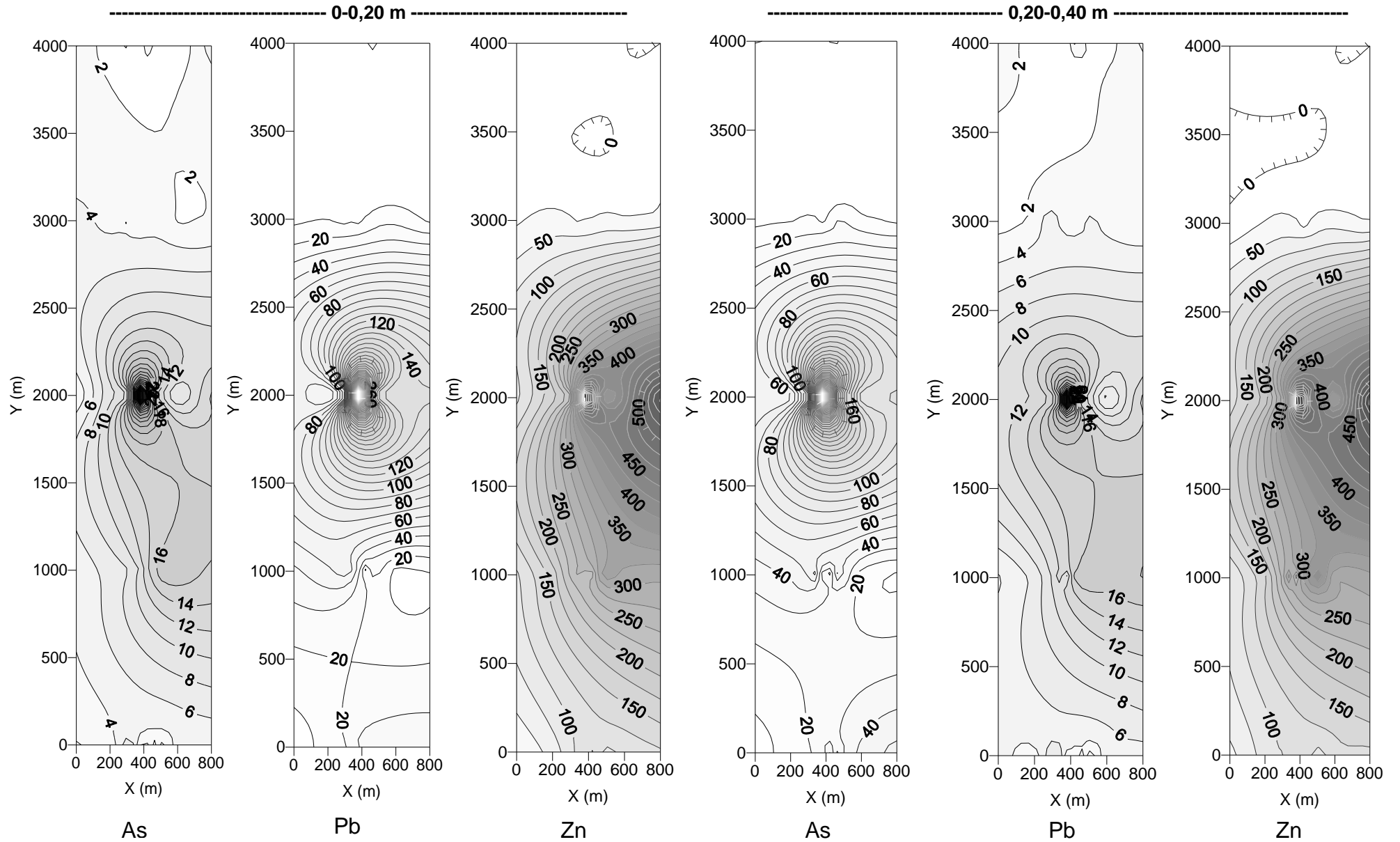


Figura 2. Arsênio, chumbo e zinco no solo (mg kg^{-1}), nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, ao longo e perpendicular a um gossan localizado no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA.

pontos de concentração foi bem menor para o Cu e Ni maior para o Cr, maior ainda para o Mn e bem maior para o Fe (Figuras 3 e 4), neste caso atingindo toda a área avaliada. Este último fato era esperado pois, segundo Paiva (2010), os solos originados do gossan foram os que apresentaram os maiores valores de Fe_2O_3 , dentre todos os que foram avaliados por esse autor no Platô de Irecê-BA. No caso dos metais considerados também se observou grande homogeneidade na sua distribuição nas duas profundidades amostradas.

Como já considerado em relação a As, Pb e Zn, pode-se também admitir que, felizmente, não se confirmou a hipótese do trabalho, principalmente em relação a Cu, Ni e Cr, de que haveria uma distribuição ao longo de todo o gossan.

Titânio (Ti)

Diferentemente do que foi relatado para os demais metais pesados avaliados, o Ti apresentou o ponto de maior concentração na transeção 2 (Tabela 2), daí se dispersando para toda a área amostrada, com um segundo ponto de maior concentração na transeção 3, portanto na direção Leste (Figura 5).

Considerando a maior concentração do Ti em parte da área, com grande redução em ambas as extremidades (Leste e Oeste), pode-se também admitir a não confirmação da hipótese de distribuição de metais pesados ao longo de todo o gossan.

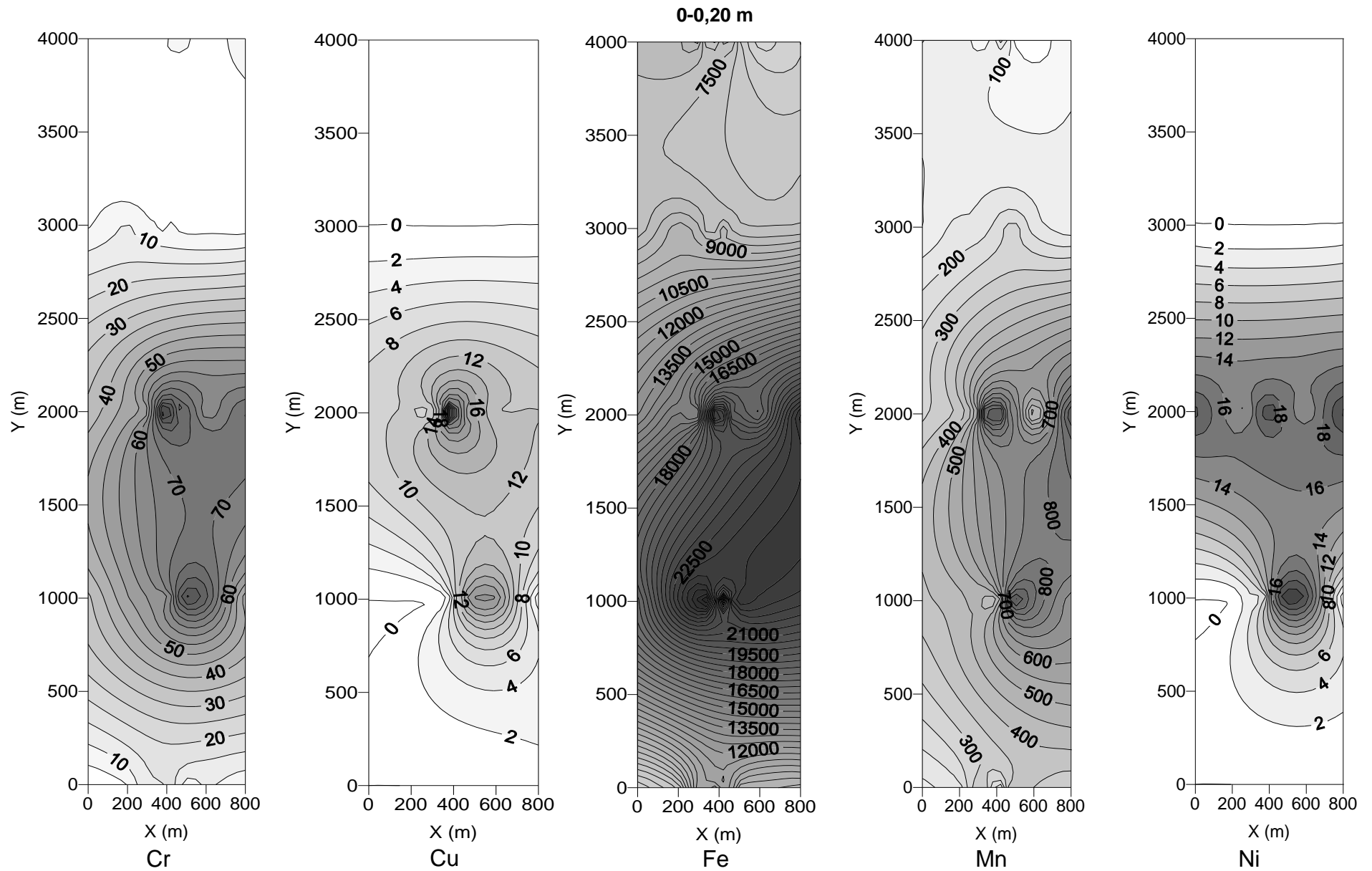


Figura 3. Cromo, cobre, ferro, manganês e níquel no solo (mg kg^{-1}), na profundidade de 0-0,20 m, ao longo e perpendicular a um gossan localizado no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA.

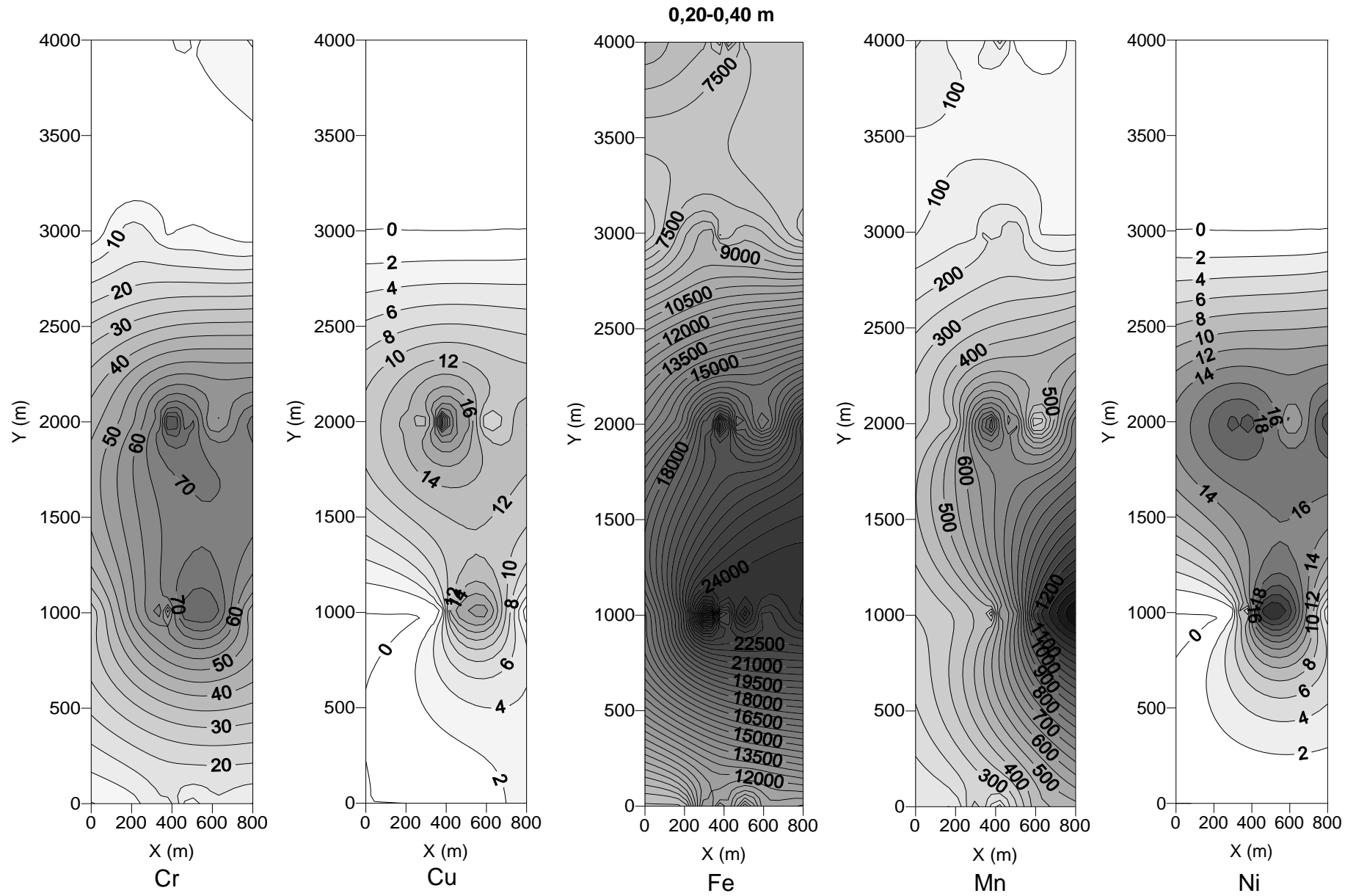


Figura 4. Cromo, cobre, ferro, manganês e níquel no solo (mg kg^{-1}), na profundidade de 0,20-0,40 m, ao longo e perpendicular a um gossan localizado no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA.

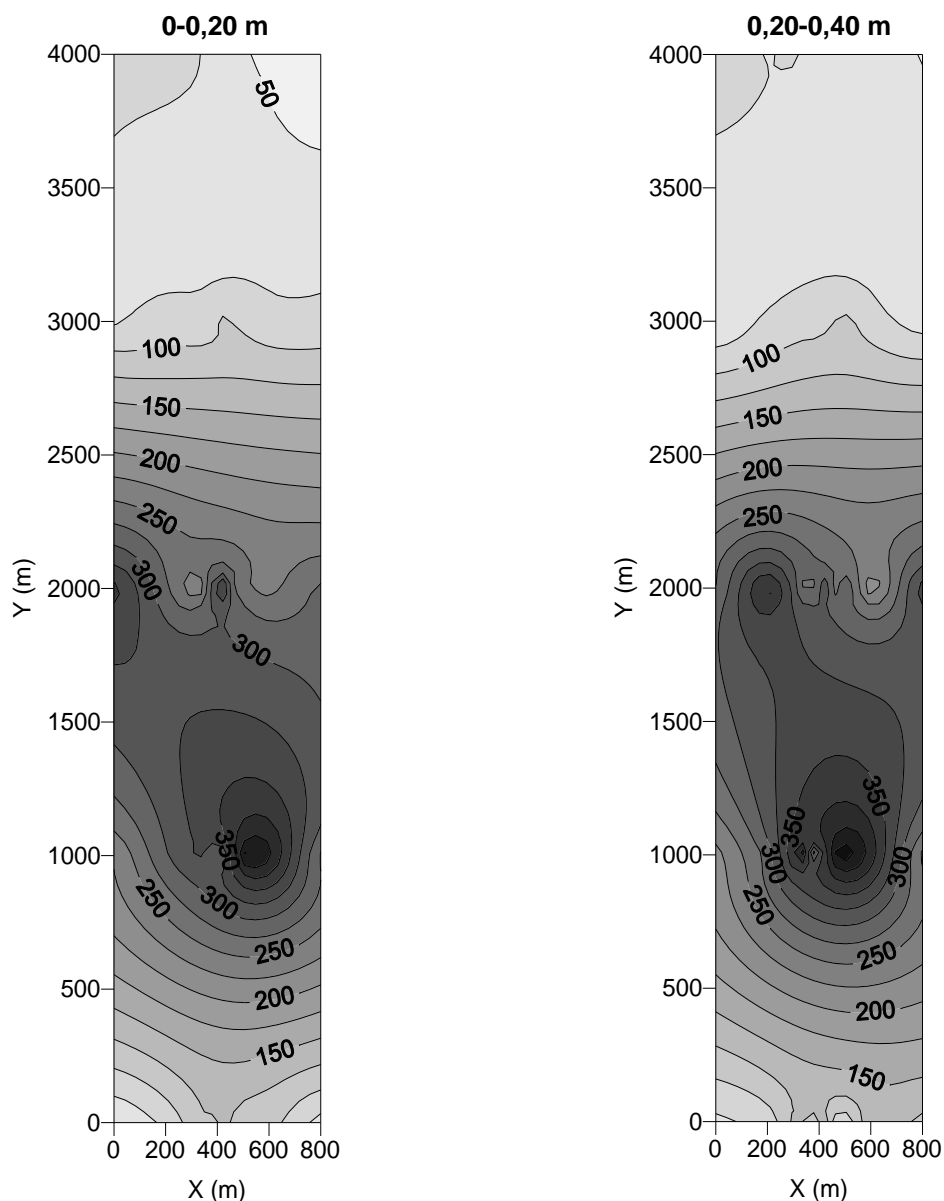


Figura 5. Titânio no solo (mg kg^{-1}), nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, ao longo e perpendicular a um gossan localizado no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA.

Comparação dos dados obtidos para cada metal pesado, com valores de referência de qualidade adotados pela legislação brasileira.

Arsênio (As)

Embora na área estudada tenham sido detectados pontos amostrais sem a presença de As (Figura 6), foram também obtidos resultados acima dos valores de prevenção (15 mg kg^{-1}) e de investigação (35 mg kg^{-1}), segundo o CONAMA (2009). Na profundidade de 0-0,20 m, 41 dos 55 dados obtidos encontravam-se

na faixa de 0 a 10 mg kg⁻¹, sendo superior ao valor de referência de qualidade (3,5 mg kg⁻¹) definido para o Estado de São Paulo (CETESB, 2005), 10 dos dados entre 10 e 20 mg kg⁻¹, 2 entre 20 e 30 mg kg⁻¹ e 2 entre 70 e 80 mg kg⁻¹. Distribuição semelhante ocorreu na profundidade de 0,20-0,40 m (Figura 6). Paye (2008) encontrou valores de referência de qualidade para solos do Espírito Santo na faixa de 12,83 a 14,28 mg kg⁻¹. Portanto, apesar da pequena dispersão do As na área avaliada (Figura 2), os valores observados são de certa forma preocupantes.

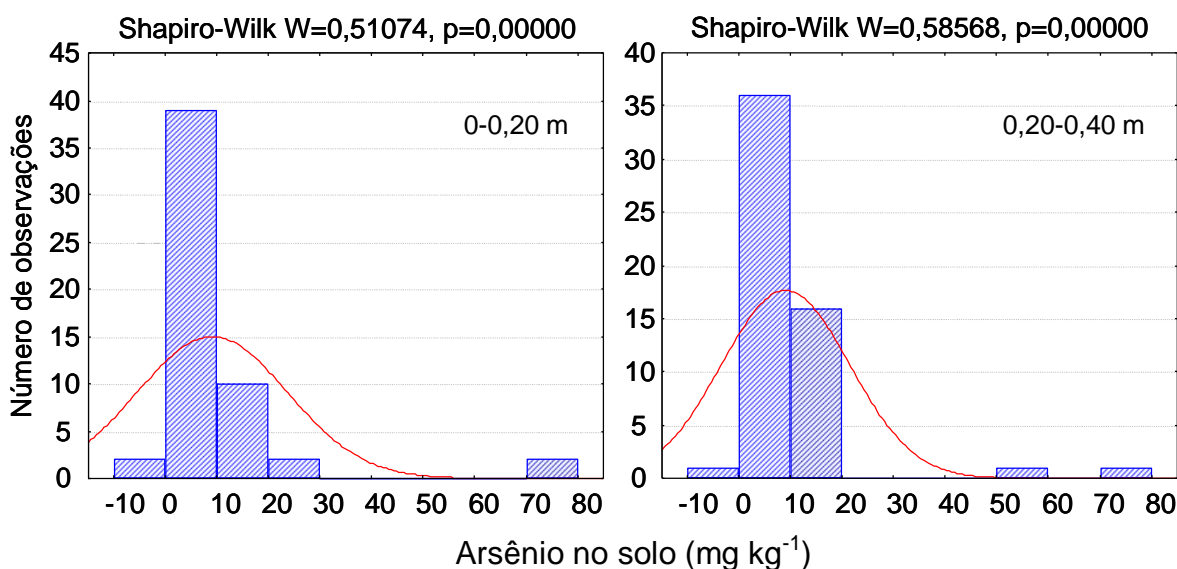


Figura 6. Distribuição de freqüência para teores de arsênio no solo, nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, ao longo e perpendicular a um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA.

Os valores de As para a área do gossan foram superiores aos reportados para solos de Minas Gerais, que variaram de 3,8 a 50,6 mg kg⁻¹ (CAIRES, 2009) e de Pernambuco, que variaram de 0,25 a 0,52 mg kg⁻¹ (BIONDI, 2010), enquanto que Paiva (2010) obteve valores bastante anômalos em um dos perfis de solo avaliados nesse mesmo gossan, variando de 25,9 a 256,4 mg kg⁻¹. No Brasil, teores elevados de As no solo têm sido verificados predominantemente em áreas de mineração de Au, Fe, Mn, Pb, Zn e Ag, estando associados às atividades de beneficiamento desses metais, que resultam na exposição deste elemento presente em minerais como a pirita e arsenopirita (FIGUEIREDO *et al*, 2010).

Cádmio (Cd)

Não foi encontrado Cd na área avaliada (Tabela 4), em ambas as profundidades (0-0,20 e 0,20-0,40 m), possivelmente por encontrar-se em teores abaixo do limite de detecção do método de análise empregado. Paiva (2010), em quatro perfis localizados próximo ao ponto central da área avaliada, encontrou teores de Cd variando de 0,1 a 2,9 mg kg⁻¹, teores dentro da faixa de referência de qualidade e prevenção (CETESB, 2005; CONAMA, 2009). Caires (2009), em solos do Estado de Minas Gerais, encontrou teores de 0,36 mg kg⁻¹ para Latossolos, 0,47 mg kg⁻¹ para Argissolos e 0,68 mg kg⁻¹ para Cambissolos. Campos *et al.* (2003) obteve teor médio de Cd de 0,66 mg kg⁻¹ em Latossolos brasileiros, enquanto que Biondi (2010) observou teores variando de 0,06 a 1,08 mg kg⁻¹ em solos do Estado de Pernambuco. Paye (2008) considerou teores menores do que 0,13 mg kg⁻¹ como valores de referência de qualidade para solos do Espírito Santo.

A não detecção de Cd na área avaliada é bastante positiva, considerando que a toxicidade desse metal para plantas e animais é média a alta (COSTA *et al.*, 2008).

Chumbo (Pb)

O Pb foi o metal pesado que apresentou a maior variabilidade na área, dentre todos os avaliados, com coeficiente de variação de 240% e 230% nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, respectivamente (Tabela 4).

Pode se observar que, dentre todos os metais avaliados, o Pb foi o que apresentou a maior anomalia na área estudada, em função da proporção entre os valores mínimo e máximo (Tabela 4). Os valores máximos obtidos foram de 1.055 mg kg⁻¹ para a profundidade de 0-0,20 m e 993 mg kg⁻¹ para 0,20-0,40 m (Tabela 4), e aproximadamente 18% dos pontos amostrais apresentaram teores acima do valor prevenção (72 mg kg⁻¹) e 7% acima do valor de investigação (180 mg kg⁻¹), ambos propostos pelo CONAMA (2009), como se observa na figura 7. Um ponto favorável e que minimiza esses aspectos é que o Pb apresentou pequena dispersão na área avaliada (Figura 3).

Campos *et al* (2003) observaram valor de 39 mg kg^{-1} em Latossolos brasileiros, enquanto RAPHAEL *et al.* (2007) obtiveram valores variando de 8,33 a $275,41 \text{ mg kg}^{-1}$ em solos agrícolas do Estado de Minas Gerais. O valor médio encontrado na área estudada, de aproximadamente 70 mg kg^{-1} , foi superior a alguns destes citados, mas inferior aos encontrados por Marques *et al.*, (2004) na região dos Cerrados, onde solos formados a partir de gnaiss apresentaram teores de Pb de $134 \pm 320 \text{ mg kg}^{-1}$, enquanto os desenvolvidos de basalto e de rocha sedimentar possuíam teores inferiores a 15 mg kg^{-1} .

Embora o valor máximo encontrado tenha atingido 1.055 mg kg^{-1} , ele ainda foi inferior ao reportado por Borges Júnior *et al.* (2008), que analisaram solos desenvolvidos sobre uma forte anomalia geológica em Vazante-MG, onde os teores totais de Pb variaram de 52.936 a $129.768 \text{ mg kg}^{-1}$.

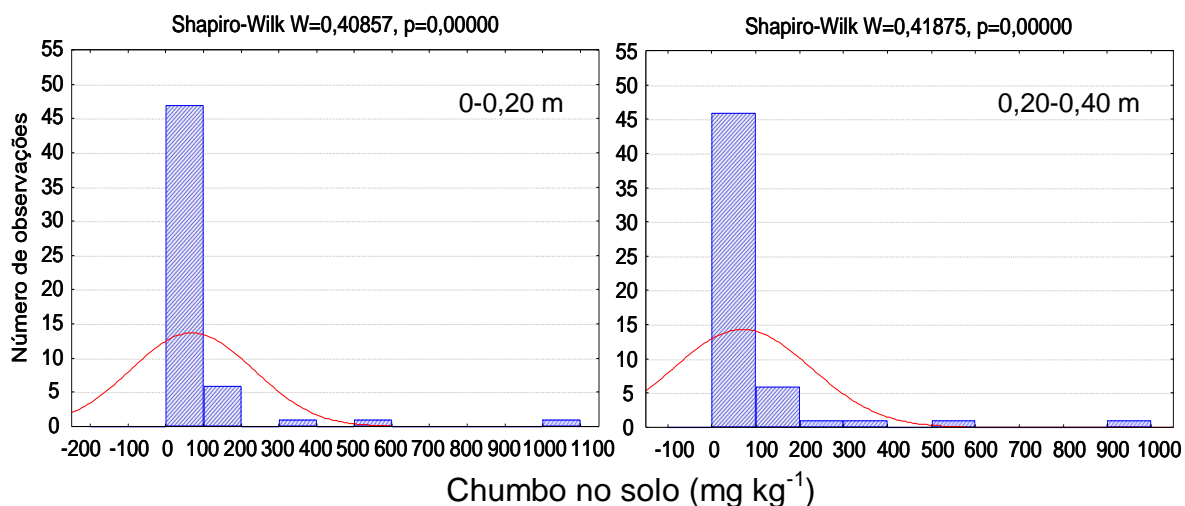


Figura 7. Distribuição de freqüência para teores de chumbo no solo, nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, ao longo e perpendicular a um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA.

Cromo (Cr)

Os valores de Cr praticamente não variaram entre as duas profundidades avaliadas (Figuras 3 e 4), com concentrações médias de $30,7$ e $30,6 \text{ mg kg}^{-1}$ (Tabela 4), portanto abaixo do valor de referência de qualidade de 40 mg kg^{-1} (CETESB, 2005).

No entanto, a alta variabilidade para o metal na área avaliada mostrou que, apesar de a maioria dos teores de Cr situar-se abaixo do valor de referência de qualidade (40 mg kg^{-1}), foram detectados muitos deles acima desse valor (Figura

8), inclusive entre os valores de prevenção (75 mg kg^{-1}) e de investigação (150 mg kg^{-1}), já que foram observados teores máximos de 126 mg kg^{-1} para a camada de 0-0,20 m e de 102 mg kg^{-1} de 0,20-0,40 m (Tabela 4). Esses valores máximos estão acima daqueles reportados por FADIGAS *et al.* (2006).

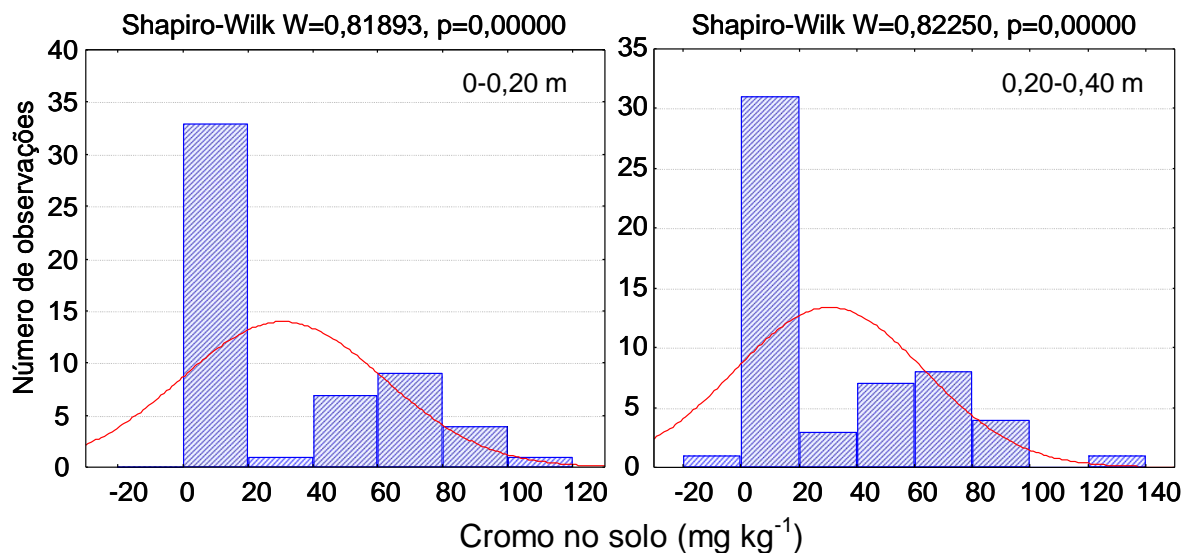


Figura 8. Distribuição de frequência para teores de cromo no solo, nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, ao longo e perpendicular a um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA.

Paiva (2010), em perfis de solo amostrados na mesma área, encontrou teores de Cr entre $94,8$ e $535,1 \text{ mg kg}^{-1}$, portanto acima do valor de prevenção e chegando a mais de três vezes o valor de investigação. Biondi (2010) encontrou teores de Cr variando de $23,49$ a $75,88 \text{ mg kg}^{-1}$ em solos do Estado de Pernambuco, enquanto que Paye (2008) considerou valores de referência de qualidade para solos do Espírito Santo variando de $54,13$ a $68,81 \text{ mg kg}^{-1}$.

Cobre (Cu)

Os teores de Cu na região estudada podem ser considerados baixos, em comparação a solos de outras regiões do país (Tabela 4). Por exemplo, Campos *et al.* (2003), analisando 19 Latossolos de diferentes regiões do país e desenvolvidos a partir de vários materiais de origem, observaram teores de Cu variando entre 3 e 238 mg kg^{-1} , com os maiores teores em solos derivados de rochas máficas. Paiva (2010), em perfis de solo localizados no mesmo gossan,

encontrou teores de Cu variando de 19,9 a 182,8 mg kg⁻¹. Os valores obtidos aproximaram-se daqueles citados por Biondi (2010) para solos do Estado de Pernambuco (2,30 a 11,77 mg kg⁻¹), e dos valores de referência de qualidade (5,91 a 10,78 mg kg⁻¹) definidos por Paye (2008) para solos do Espírito Santo.

Considerando todos os resultados obtidos nas duas profundidades avaliadas, nenhum valor alcançou o limite de prevenção de 60 mg kg⁻¹, com cerca de 96% deles inferiores ao valor de referência de qualidade de 35 mg kg⁻¹ (Figura 9).

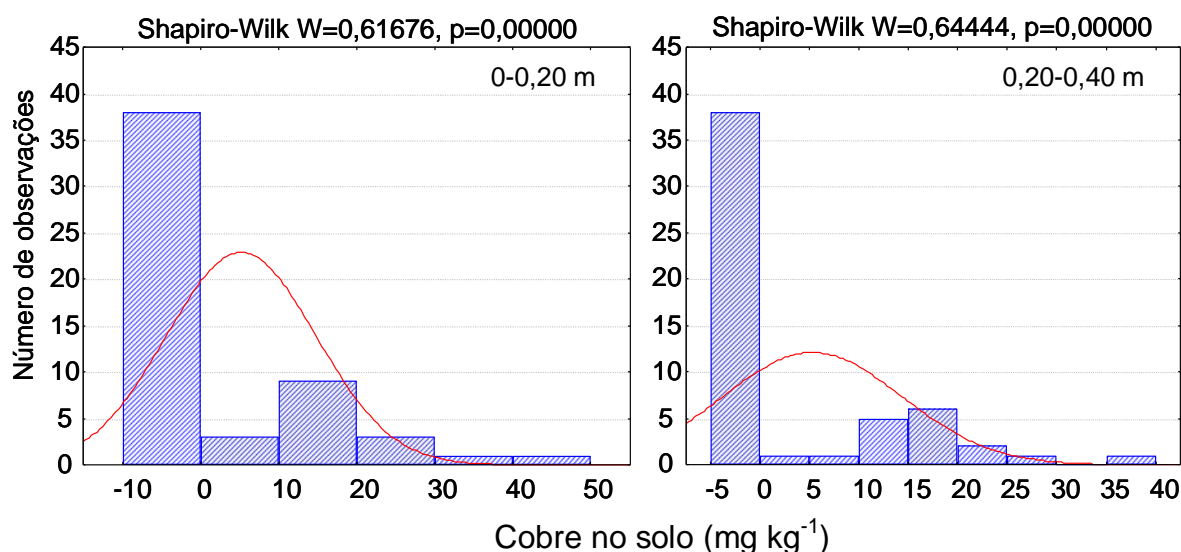


Figura 9. Distribuição de frequência para teores de cobre no solo, nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, ao longo e perpendicular a um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA.

Deve-se enfatizar que, além dos baixos teores de Cu na área avaliada, esse metal foi o que apresentou menor dispersão na mesma (Figuras 3 e 4), possivelmente devido à sua forte adsorção aos colóides orgânicos e inorgânicos do solo.

Ferro (Fe)

Ainda não existem valores orientadores de qualidade para Fe no solo definidos pela CETESB (2005) e CONAMA (2009), como se observa na tabela 3.

O Fe foi o metal pesado que apresentou a menor variabilidade na área, dentre todos os avaliados, com coeficiente de variação de 51% em ambas as profundidades (Tabela 4), embora esse valor ainda seja considerado muito alto

(GOMES, 1984). Os teores médios obtidos foram 13.378,6 (0-0,20 m) e 13.632,3 mg kg^{-1} (0,20-0,40 m), sendo bem superiores àqueles obtidos por Caires (2009) para solos de Minas Gerais, da ordem de 34,63 mg kg^{-1} para Argissolos, 38,35 mg kg^{-1} para Cambissolos e 79,07 mg kg^{-1} para Latossolos. Biondi (2010) encontrou teores de Fe variando de 10.810 a 38.730 mg kg^{-1} em solos do Estado de Pernambuco, enquanto que Paye (2008), cita dados de Fe variando de 1.465 a 46.602 mg kg^{-1} em solos do Espírito Santo.

Cerca de 63% dos pontos amostrais apresentam teores de Fe menores que 15.000 mg kg^{-1} , em ambas as profundidades avaliadas (Figura 10). Os teores máximos foram de 27.505 e 28.948 mg kg^{-1} nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, respectivamente (Tabela 4), além de que o Fe, dentre todos os metais pesados avaliados, foi o que apresentou maior dispersão na área estudada (Figuras 3 e 4).

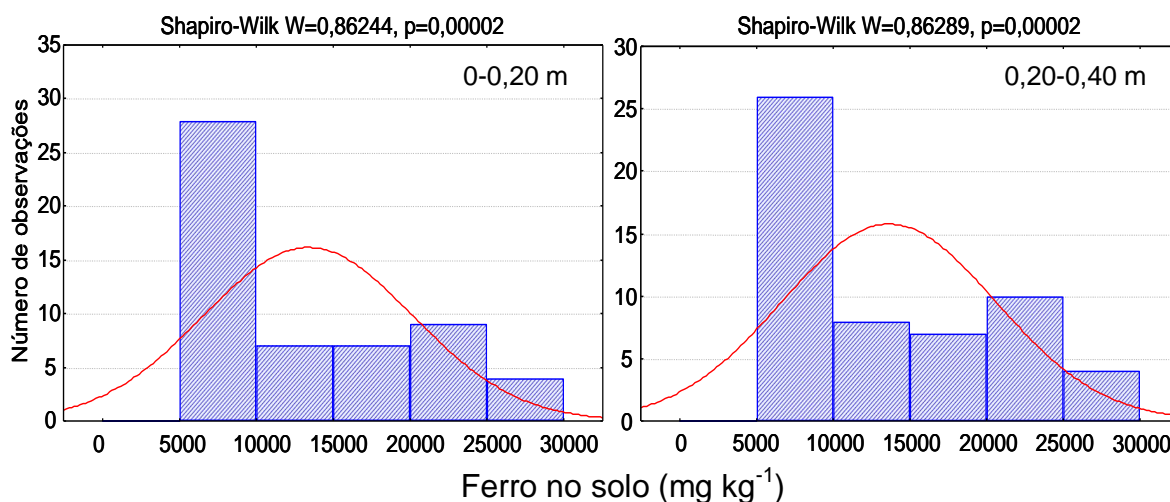


Figura 10. Distribuição de freqüência para teores de ferro no solo, nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, ao longo e perpendicular a um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA.

Manganês (Mn)

Ainda não existem valores orientadores de qualidade para Mn no solo definidos pela CETESB (2005) e CONAMA (2009), como se observa na tabela 3. Paye (2008) considerou como valores de referência de qualidade para solos do Espírito Santo a faixa de 137,80 a 253,01 mg kg^{-1} .

De todos os pontos amostrais, cerca de 31% na profundidade de 0-0,20 m e 27% de 0,20-0,40 m apresentaram teores de Mn entre 200 a 400 mg kg^{-1} .

(Figura 11). Os valores foram superiores não apenas àqueles propostos por Paye (2008) como referência de qualidade, mas também aos encontrados por Caires (2009) em Minas Gerais para Argissolos ($248,67 \text{ mg kg}^{-1}$), mas próximos em relação a Cambissolos ($386,48 \text{ mg kg}^{-1}$) e Latossolos ($387,50 \text{ mg kg}^{-1}$). Biondi (2010) encontrou teores de Mn variando de 16,70 a $217,30 \text{ mg kg}^{-1}$ em solos do Estado de Pernambuco. Estranhamente, Paiva (2010) havia obtido teores de Mn em quatro perfis de solo avaliados nesse mesmo gossan variando de 156,7 a $5.530,5 \text{ mg kg}^{-1}$. Os valores médios obtidos foram 381,9 e $368,9 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente nas profundidades de 0-0,20 m e 0,20-0,40m.

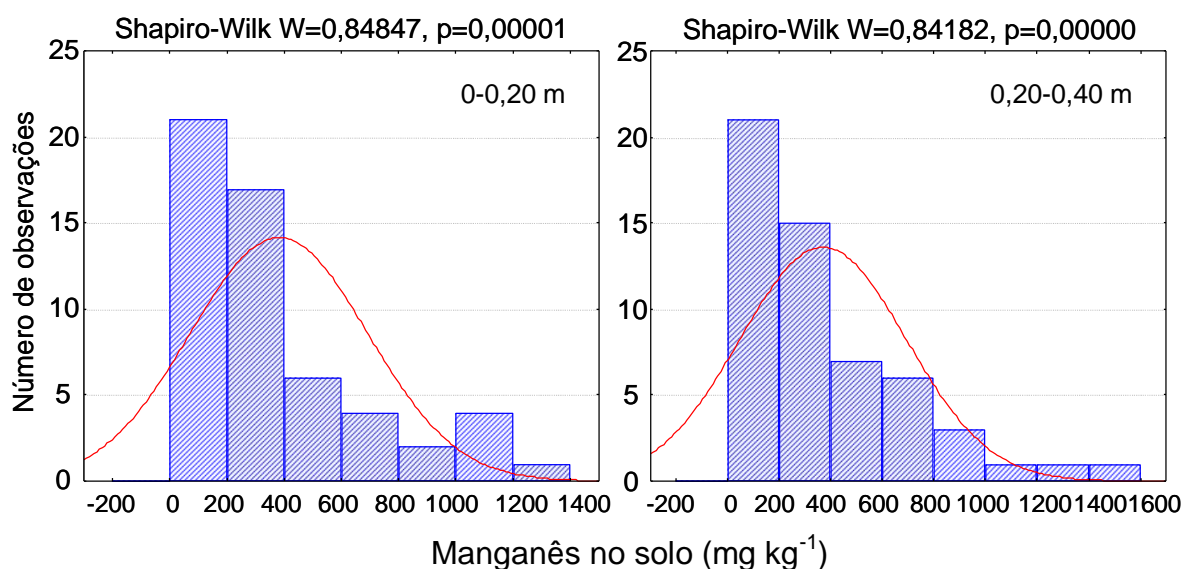


Figura 11. Distribuição de frequência para teores de manganês no solo, nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, ao longo e perpendicular a um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA.

Níquel (Ni)

Cerca de 70% dos pontos amostrais nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m apresentaram teores de Ni abaixo de 5 mg kg^{-1} (Figura 12), portanto inferiores ao valor de referência de qualidade de 13 mg kg^{-1} (CETESB, 2005). Os valores máximos observados foram 24 e 26 mg kg^{-1} para as duas profundidades citadas, portanto abaixo do valor de prevenção de 30 mg kg^{-1} (CONAMA, 2009) e diferentemente do encontrado por Paiva (2010) no mesmo gossan, o qual observou que os solos avaliados apresentaram valores variando de 25,8 a $46,8 \text{ mg kg}^{-1}$ e acima do valor de prevenção. CAMPOS *et al.* (2003) observaram o valor

de 18 mg kg^{-1} em alguns Latossolos brasileiros, enquanto que Caires (2009) obteve teores de 25,07, 27,47 e $53,48 \text{ mg kg}^{-1}$ para Argissolos, Cambissolos e Latossolos do Estado de Minas Gerais. Os teores de Ni em solos do Estado de Pernambuco variaram de 5,13 a $8,74 \text{ mg kg}^{-1}$ (BIONDI, 2010). Em solos do Espírito Santo, Paye (2008) obteve valor médio de $6,65 \text{ mg kg}^{-1}$, com teores de $4,35 \text{ mg kg}^{-1}$ para Argissolo; $7,97 \text{ mg kg}^{-1}$ para Cambissolo; $11,19 \text{ mg kg}^{-1}$ para Gleissolo; $8,75 \text{ mg kg}^{-1}$ para Espodossolo; $4,24 \text{ mg kg}^{-1}$ para Neossolo e $6,46 \text{ mg kg}^{-1}$ para Latossolo.

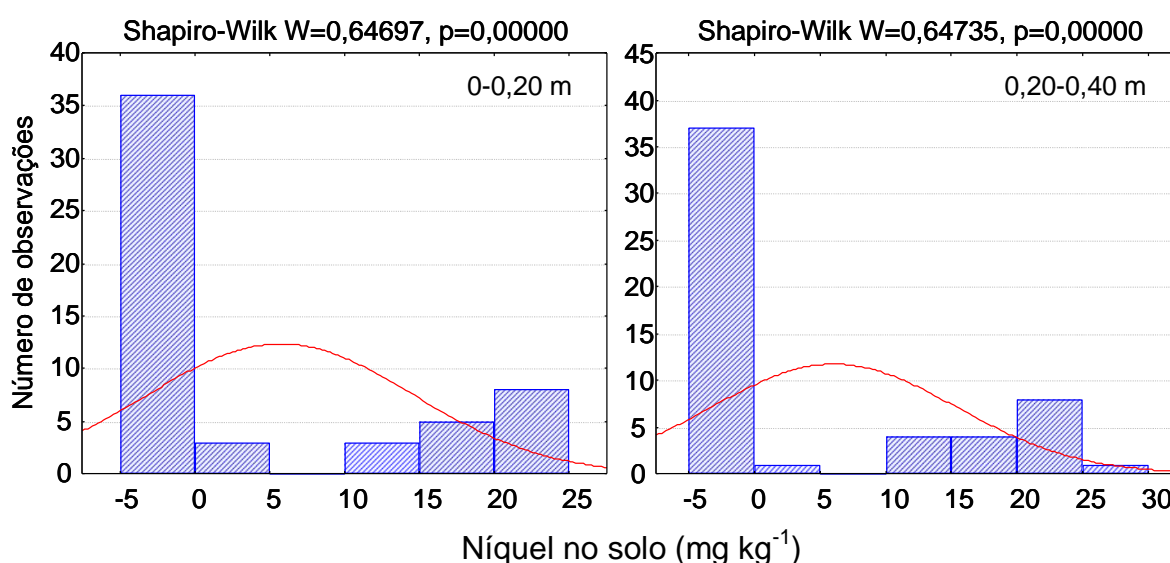


Figura 12. Distribuição de freqüência para teores de níquel no solo, nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, ao longo e perpendicular a um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA.

É importante lembrar que o Ni, além de apresentar teores baixos, depois do Cu foi o metal que apresentou a menor dispersão na área avaliada (Figuras 3 e 4).

Titânio (Ti)

Ainda não existem valores orientadores de qualidade para Ti no solo definidos pela CETESB (2005) e CONAMA (2009). Paye (2008) obteve valores de qualidade entre 8.776 e $10.189 \text{ mg kg}^{-1}$ para solos do Espírito Santo.

Na área avaliada os teores médios e máximos de Ti foram 174,4 e 179,5 e 432 e 442 mg kg^{-1} para as profundidades de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m,

respectivamente (Tabela 4), portanto bastante inferiores aos apresentados por Paye (2008). Além disso, aproximadamente 60% das 55 amostras analisadas apresentaram teor de Ti inferior a 150 mg kg⁻¹ (Figura 13). Um ponto a ressaltar foi a dispersão de Ti observada em toda a área avaliada (Figura 5).

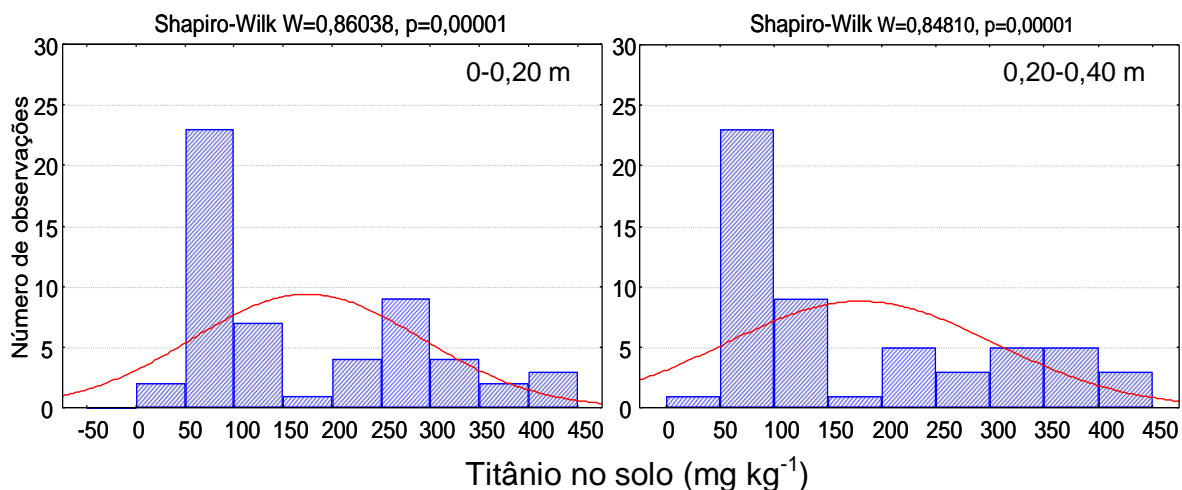


Figura 13. Distribuição de freqüência para teores de titânio no solo, nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, ao longo e perpendicular a um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA.

Zinco (Zn)

Embora os valores médios de Zn (165,9 e 166,0 mg kg⁻¹ para as profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, respectivamente) tenham ficado abaixo do valor de prevenção 300 mg kg⁻¹ (Tabela 3), e apesar de aproximadamente 75% das amostras analisadas encontrarem-se abaixo desse limite (Figura 14), cerca de 10% das amostras analisadas apresentaram valores superiores ao valor de investigação (450 mg kg⁻¹), com os valores máximos obtidos inclusive aproximando-se de duas vezes esse valor (Tabela 4).

Os valores obtidos são bem superiores aos citados por vários autores, como Fadigas *et al.* (2006), que encontrou valores entre 6 a 79 mg kg⁻¹ para solos brasileiros. Caires (2009) obteve valores de 1,35, 0,42 e 37,42 respectivamente para Argissolos, Cambissolos e Latossolos do Estado de Minas Gerais. Biondi (2010) em solos de Pernambuco e Paye (2008) em solos do Espírito Santo também encontraram valores bem inferiores. Portanto, os teores totais de Zn encontrados neste trabalho confirmam a anomalia geológica presente na área estudada, em relação ao Zn.

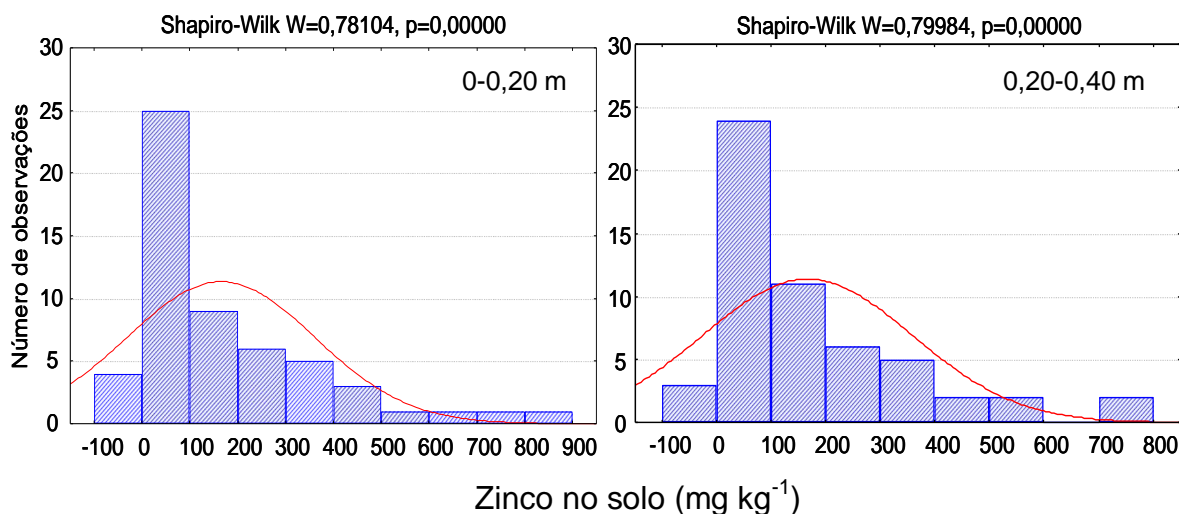


Figura 14. Distribuição de frequência para teores de zinco no solo, nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, ao longo e perpendicular a um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA.

Um fato que, de certa forma, minimiza esses aspectos observados para o Zn é que a sua dispersão na área avaliada foi pequena (Figura 2) em relação a outros metais como Fe, Mn e Ti (Figuras 3, 4 e 5).

Sumário interpretativo

Numa tentativa de sumarizar os resultados e facilitar a compreensão da ocorrência dos metais na área estudada foram atribuídos pesos para cada metal, onde o metal que teve menor variabilidade e/ou menor dispersão recebeu peso 1 (um), e com maior variabilidade e/ou maior dispersão recebeu peso 9 (nove), como pode ser visto na tabela 5. No caso da dispersão baseou-se na observação visual das figuras 2 a 5 (Páginas 17, 19, 20 e 21).

O Fe, Ti e Mn foram os elementos que apresentaram as menores variabilidades avaliadas por meio do coeficiente de variação, mas a maior dispersão na área estudada. Ainda não existem valores orientadores de qualidade para Fe, Ti e Mn no solo definidos pela CETESB (2005) e CONAMA (2009), como se observa na tabela 3, mas os valores observados no presente trabalho são semelhantes aos citados na literatura, para outras regiões do Brasil, pelo que não devem ser objeto de maiores preocupações.

Tabela 5. Sumário interpretativo para teores de metais pesados no solo ao longo e perpendicular a um gossan localizado no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA.

Metal pesado	C.V.	Variabilidade	Dispersão	Teores médios ⁽¹⁾	Valores de referência de qualidade ⁽²⁾	Valores de prevenção ⁽³⁾
	- % -	----- Peso -----		----- mg kg ⁻¹ -----		
As	150	7	2	9,0	3,5	15
Cd	-	-	-	-	< 0,5	1,5
Pb	235	9	1	68,5	17	72
Cu	179	8	3	5,3	35	60
Cr	105	4	5	30,7	40	75
Fe	51	1	9	13.505,45	-	-
Mn	84	3	7	375,4	-	-
Ni	155	6	4	5,9	13	30
Ti	118	2	8	177,0	-	-
Zn	120	5	6	166,0	60	300

⁽¹⁾Médias dos valores obtidos, para as duas profundidades avaliadas (0-0,20 e 0,20-0,40 m).

⁽²⁾Baseado em CETESB (2005), representa a concentração de determinado metal pesado ou substância que define a qualidade natural do solo. ⁽³⁾Baseado em CONAMA (2009). O valor de prevenção é a concentração de valor limite de determinado metal pesado ou substância no solo, de forma que este seja capaz de sustentar as suas funções principais.

Por outro lado, o Pb, Cu e As apresentaram os maiores coeficientes de variação, mas a menor dispersão na área estudada, concentrando-se no centro do gossan. Os valores médios encontrados para o Pb e As ficaram acima dos respectivos valores de referência de qualidade (VRQ) propostos pela CETESB (2005), sendo que o valor médio para o Pb ficou próximo do valor de prevenção (VP) proposto pelo CONAMA (2009). O valor médio para o Cu foi menor do que o VRQ.

Quanto ao Zn, o seu teor médio foi cerca de 2,8 vezes maior do que o VRQ e a sua dispersão na área recebeu peso 6, revelando assim um valor preocupante e uma dispersão acima da média.

Os valores médios encontrados para os demais metais pesados avaliados (Cr e Ni) ficaram abaixo dos respectivos VRQ, além de que sua dispersão na área foi relativamente baixa.

Do ponto de vista ambiental, pode-se inferir que os valores obtidos para o Pb e As, embora fiquem acima dos VRQs e próximos dos VPs, a sua baixa dispersão significa menor raio de ação na área estudada, o que viabilizaria o controle e monitoramento do metal pela facilidade e menor custo. Diferentemente

foi encontrado para o Zn, que teve valor também próximo do VP, mas sua dispersão na área foi bem superior à do As e Pb, tornando o seu monitoramento mais difícil e com custo mais alto.

Não foi confirmada a hipótese do trabalho, de que haveria uma distribuição dos metais avaliados ao longo de todo o gossan, o que seria preocupante tendo em vista que as áreas de influência do mesmo vêm sendo utilizadas há décadas para a produção de alimentos e criação de pequenos animais.

CONCLUSÕES

1. Todos os metais pesados avaliados apresentaram valores médios na área avaliada abaixo dos valores de investigação considerados pela legislação ambiental brasileira.
2. O Pb e o As, embora tenham apresentado teores médios acima dos valores de prevenção, em contrapartida apresentaram pequena dispersão na área.
3. O Zn apresentou, ao mesmo tempo, teor médio acima do valor de prevenção e dispersão maior que a dos demais metais, sendo assim o metal pesado que requer maior preocupação na área avaliada.
4. Os demais metais pesados avaliados (Cr, Cu, Ni, Fe, Mn e Ti) não suscitaram maiores preocupações.
5. Não foi observada a distribuição dos metais pesados avaliados ao longo de todo o gossan, como se esperava.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCARDE, J.C.; RODELLA, A.A. Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S.; ALVAREZ VENEGAS, V.H. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3, p.291-334.

AZEVEDO, F.A.; CHASIN, A.A.M. **Metais**: gerenciamento da toxicidade. São Paulo: Atheneu, 2003. 554p.

BAHIA. Secretaria da Indústria, Comércio e Mineração. **Mapa de amostragem geoquímica da área alvo Tanquinho-Lapão**: projeto metais-base e fosfato da

bacia de Irecê 2ª fase. Salvador: CBPM, 1997. 1 mapa cópia heliográfica. Anexo 8.

BARBIER, J.L. Commentaire e explications pour une meilleures exploitation des données. Note technique n° HYDRT/NT/96/078 du BRGM, 1996, 51 p.

BIONDI, C.M. **Teores naturais de metais pesados nos solos de referência do Estado de Pernambuco**. 2010. 58f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

BOMFIM, L.F.C.; ROCHA, A.J.D.; PEDREIRA, A.J.; MORAIS FILHO, J.C.; GUIMARÃES, J.T.; TESCH, N.A. **Projeto bacia de Irecê** – relatório final, texto. Salvador: CBPM, 1985. v.1, 149p.

BORGES JUNIOR, M.; MELLO, J.W.V. de; SCHAEFER, C.E.G.R.; DUSSIN, T.M.; AMIM JUNIOR, J. Distribuição e formas de ocorrência de zinco em solos do Município de Vazante-MG. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.32, p.2183-2194, 2008.

CAIRES, S.M. de. **Determinação dos teores naturais de metais pesados em solos do Estado de Minas Gerais como subsídio ao estabelecimento de valores de referência de qualidade**. 2009. 304f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

CAMPOS, M.L.; PIERANGELI, M.A.P.; GUILHERME, L.R.G.; MARQUES, J.J.; CURI, N. Baseline concentration of heavy metals in Brazilian Latosols. **Comm. Soil Sci. Plant. Anal.**, v.34, p.547-557, 2003.

CAMPOS, M.L.; SILVA, F.N.; NETO, A.E.F.; GUILHERME, L.R.G.; MARQUES, J.J.; ANTUNES, A.S.. Determinação de cádmio, cobre, cromo, níquel, chumbo e zinco em fosfatos de rocha. **Pesq. agropec. Bras.**, Brasília, v.40, p.361-367, 2005.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Decisão da Diretoria n° 195/2005, de 23/11/2005. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf Acesso em: 02 abr. 2012.

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução CONAMA n° 420/2009, de 28/12/2009. Disponível em:

<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>. Acesso em: 20 mar. 2012.

COSTA, C.N.; MEURER, E.J. BISSANI, C.A.; SELBACH, P.A. Contaminantes e poluentes do solo e do ambiente. In: MEURER, E.J. (Ed.). **Fundamentos de química do solo**. 3.ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008. cap. 8, p. 213-250.

FADIGAS, F.S.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; MAZUR, N.; ANJOS, L.H.C.; FREIXO, A.A. Proposição de valores de referência para a concentração natural de metais pesados em solos brasileiros. **R. Bras. Eng. Agric. Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.3, p.699–705, 2006.

FADIGAS, F.S.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; MAZUR, N.; ANJOS, L.H.C.; FREIXO, A.A. Concentrações naturais de metais pesados em algumas classes de solos brasileiros. **Bragantia**, Campinas, v.61, p.151-159, 2002.

FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; RAIJ, B. van; ABREU, C.A. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq; Fapesp; Potafos, 2001.

FIGUEIREDO, B.R.; BORBA, R.P.; ANGÉLICA, R.S. **Arsênio no Brasil e exposição humana**. Geologia médica no Brasil. p.64-70. Disponível em <http://www.cprm.gov.br/publique/media/geo_med10.pdf> Acessado em março de 2012.

GOMES, F.P. **A estatística moderna na pesquisa agropecuária**. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1984. 160p.

KABATA-PENDIAS, A. PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3.ed. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1984. 315p.

MARQUES, M.O.; MELO, W.J.; BELLINGIERI, P.A.; MARRETO, G.H.; KANESIRO, M.A.B.; MARQUES, T.A.; CHELLI, R.A.; LEITE, S.A.S. Heavy metals in soil and sugarcane as affected by sewage sludge. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 16., 2004, Montpellier. **Anais...**

NASCIMENTO, C.W.A.; BARROS, D.A.S.; MELO, E.E.C.; OLIVEIRA, A.B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijão pós-aplicação de lodo de esgoto. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.28, p.385-392, 2004.

PAIVA, A. de Q. Ocorrência natural de metais pesados em solos anômalos desenvolvidos ao longo de um gossan no Platô de Irecê, BA. In: PAIVA, A. de Q. **Solos carbonático-fosfáticos do Platô de Irecê, BA: gênese, mineralogia e geoquímica.** 2010. 184f, f.110-133. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

PAYE, H. de S. **Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos no Estado do Espírito Santo.** 2008. 55f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

RAPHAEL B. A. FERNANDES, WALCRISLEI V. LUZ, MAURÍCIO P. F. FONTES & LUIZ E. F. Fontes. Avaliação da concentração de metais pesados em áreas olerícolas no Estado de Minas Gerais. **R. Bras. Eng. Agric. Ambiental, Campina Grande**, v.11, n.1, p.81–93, 2007.

USEPA -United States Environmental Protection Agency. Method 3051a – Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. 1998. Revision 1 Feb 2007. 30p. Disponível em <<http://www.epa.gov/epawaste/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3051a.pdf>> acessado em 14 de março de 2012.

CAPÍTULO 2

RELAÇÃO ENTRE METAIS PESADOS NO SOLO E EM DIFERENTES PARTES DE PLANTAS NATIVAS E CULTIVADAS, EM ÁREA DE INFLUÊNCIA DE UM GOSSAN NO PLATÔ DE IRECÊ, BAHIA⁽²⁾

⁽²⁾Artigo a ser ajustado para submissão ao Comitê Editorial do periódico científico Revista Brasileira de Ciência do Solo.

RELAÇÃO ENTRE METAIS PESADOS NO SOLO E EM DIFERENTES PARTES DE PLANTAS NATIVAS E CULTIVADAS, EM ÁREA DE INFLUÊNCIA DE UM GOSSAN NO PLATÔ DE IRECÊ, BAHIA

RESUMO: Além dos nutrientes considerados com essenciais, as plantas podem absorver outros não essenciais como Al, Ag, Cd, Cr, Hg e Pb. Na região de Irecê, Bahia, encontram-se faixas alongadas de formação superficial em forma de crosta laterítica derivadas de intemperismo hidrotermal de mineralizações sulfetadas conhecidas como gossans. Estudo anterior diagnosticou forte anomalia em relação a Pb, Zn, Cr e Mn em perfis de solo localizados no maior gossan da região. Essa área vem sendo utilizada há muito tempo para a produção de diversas culturas alimentares e criação de pequenos animais. Dessa forma desenvolveu-se na mesma estudo com o objetivo de quantificar a ocorrência de metais pesados em plantas nativas e cultivadas e avaliar sua relação com teores encontrados no solo. Amostras de diferentes partes de plantas nativas e cultivadas e de solo foram coletadas em cinco transeções distanciadas de 1.000 m e perpendiculares ao gossan. Em cada transeção foram coletadas amostras na distância de 25 m do centro do gossan e em ambos os lados do mesmo. Foram analisados os metais As, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Ti e Zn em extratos de planta e solo obtidos após ataque ácido em bloco digestor. A dosagem dos elementos foi obtida por espectrometria de emissão óptica com plasma de argônio indutivamente acoplado (ICP-AES). O As e Cd não foram encontrados nas plantas avaliadas. O Pb, Fe e Ti concentraram-se nas raízes de várias das plantas avaliadas, com ênfase em capim buffel (Pb e Fe), milho (Fe e Ti) e pinhão-branco (Fe e Ti). No caso do Pb, evidenciou-se um mecanismo de proteção das plantas, não o translocando para a parte aérea. O Zn e o Mn distribuíram-se em todas as partes das plantas avaliadas. Os teores de Cu obtidos ficaram bem abaixo dos níveis considerados fitotóxicos.

Palavras-chave: Arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês, níquel, titânio e zinco.

RELATIONSHIP BETWEEN HEAVY METALS IN SOIL AND IN DIFFERENT PARTS OF NATIVE AND CULTIVATED PLANTS IN A GOSSAN INFLUENCE AREA AT IRECE PLATEAU, BAHIA, BRAZIL

Author: Adailton Liberato do Nascimento Junior

Adviser: Prof. Dr. Luciano da Silva Souza

Co-Adviser: Prof. Dr. Arlicélio de Queiroz Paiva

ABSTRACT: In addition to essential nutrients, plants can absorb other non-essential as Al, Ag, Cd, Hg, and Pb. In the region of Irecê, Bahia, Brazil, are superficial elongated strips in form of lateritic crust derived from hydrothermal weathering of sulfide mineralization known as gossans. A previous study found strong abnormality in relation to Pb, Zn, Cr, and Mn in soil profiles located at the greater gossan of region. This area has long been used for food crops production and small livestock. Thus, the study was developed in the same area aiming to quantify heavy metals occurrence in native and cultivated plants and too their relationship with levels in the soil. Samples from different parts of native and cultivated plants and soil were collected at 1,000 m spaced five transects perpendicular to Gossan. In each transect samples were collected at 25 m from the center of gossan and both sides thereof. Were analyzed metals As, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Ti, and Zn in plant and soil extracts. Elements dosage was obtained by optical emission spectrometry with inductively coupled argon plasma (ICP-AES). As and Cd were not found in the plants evaluated. Pb, Fe, and Ti were concentrated in the roots of various plants evaluated, with emphasis on buffel grass (Pb and Fe), corn (Fe and Ti) and white pinion (Fe and Ti). In the case of Pb, there was a protective mechanism of plants, not translocating it to the shoots. Zn and Mn were distributed in all parts of the plants evaluated. Values of Cu obtained were very below phytotoxic levels.

Keywords: Arsenic, cadmium, lead, copper, chromium, iron, manganese, nickel, titanium, and zinc.

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Nomes comuns e científicos e coordenadas geográficas das plantas amostradas	51
Tabela 2. Estatística descritiva e teste de Shapiro-Wilk para teores de metais pesados em diferentes partes de plantas nativas e cultivadas amostradas em área de influência de um gossan localizado no Município de Lapão, Platô de Irecê, Bahia	55
Tabela 3. Coeficiente de correlação linear de Spearman entre teores médios de metais pesados nas diferentes partes das plantas e nas duas profundidades de solo avaliadas	76
Tabela 4. Teores médios de metais pesados em diferentes partes de plantas nativas e cultivadas e coeficiente de correlação com os teores no solo na profundidade de 0-0,20 em um gossan localizado no Município de Lapão, Platô de Irecê, Bahia	77

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Localização do gossan avaliado, no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA	49
Figura 2. Distribuição de Fe, Mn, Zn e Pb na raiz, caule, folha e fruto de angico em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. R = raiz; C = caule; F = folha e Fr = fruto	56
Figura 3. Distribuição de Cr, Cu, Fe, Mn, Zn e Ti na raiz, caule, folha e fruto de aroeira em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. R = raiz; C = caule; F = folha e Fr = fruto	56
Figura 4. . Distribuição de Fe Mn, Zn e Ti na raiz, caule, folha e fruto de bananeira em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. R = raiz; C = caule; F = folha e Fr = fruto	57
Figura 5. Distribuição de Cr, Cu, Fe, Mn, Zn, Pb e Ti na raiz, caule, folha e fruto de capim buffel em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. R = raiz; C = caule; F = folha e Fr = fruto	57
Figura 6. Distribuição de Cu, Fe, Mn, Zn,Pb e Ti na raiz, caule, folha e fruto de feijão <i>Phaseolus</i> em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. R = raiz; C = caule; F = folha e Fr = fruto	58
Figura 7. Distribuição de Fe, Mn, Zn, Pb e Ti na raiz, caule, folha e fruto de mamona em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. R = raiz; C = caule; F = folha e Fr = fruto	58
Figura 8. Distribuição de Fe, Mn, Zn, Pb e Ti na raiz, caule, folha e fruto de mamona em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. R = raiz; C = caule; F = folha e Fr = fruto.....	60
Figura 9. Distribuição de Fe, Mn e Zn na raiz, caule, folha e fruto de mandacaru em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. R = raiz; C = caule; F = folha e Fr = fruto.....	60
Figura 10. Distribuição de Cr, Cu, Fe, Mn, Zn, Pb e Ti na raiz, caule, folha e fruto de milho em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. R = raiz; C = caule; F = folha e Fr = fruto	61
Figura 11. Distribuição de Fe, Mn e Zn na raiz, caule, folha e fruto de mucambo em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. R = raiz; C = caule; F = folha e Fr = fruto.....	61

Figura 12. Distribuição de Fe, Mn, Zn, Pb e Ti na raiz, caule, folha e fruto de palma forrageira em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. R = raiz; C = caule; F = folha e Fr = fruto	62
Figura 13. . Distribuição de Fe, Mn, Zn, Pb e Ti na raiz, caule, folha e fruto de pinhão-branco em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. R = raiz; C = caule; F = folha e Fr = fruto	63
Figura 14. . Distribuição de Fe, Mn, Zn e Pb na raiz, caule, folha e fruto de pinha em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. R = raiz; C = caule; F = folha e Fr = fruto	64
Figura 15. Distribuição de Fe, Mn e Zn na raiz, caule, folha e fruto de quebra-facão em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. R = raiz; C = caule; F = folha e Fr = fruto	64
Figura 16. . Distribuição de Cu, Fe, Mn, Zn, Pb e Ti na raiz, caule, folha e fruto de seriguela em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. R = raiz; C = caule; F = folha e Fr = fruto	64
Figura 17. Distribuição de Fe, Mn e Zn na raiz, caule, folha e fruto de umbú-cajá em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. R = raiz; C = caule; F = folha e Fr = fruto	64
Figura 18. Distribuição de Fe, Mn e Zn na raiz, caule, folha e fruto de umburaninha em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. R = raiz; C = caule; F = folha e Fr = fruto	65
Figura 19. Distribuição de freqüência para teores de Cr na raiz, caule, folha e fruto de plantas nativas e cultivadas em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. Cr-R = cromo na raiz; Cr-C = cromo no caule; Cr-F = cromo na folha e Cr-Fr = cromo no fruto	68
Figura 20. Distribuição de freqüência para teores de Cu na raiz, caule, folha e fruto de plantas nativas e cultivadas em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. Cu-R = cobre na raiz; Cu-C = cobre no caule; Cu-F = cobre na folha e Cu-Fr = cobre no fruto	69
Figura 21. Distribuição de freqüência para teores de Fe na raiz, caule, folha e fruto de plantas nativas e cultivadas em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. Fe-R = ferro na raiz; Fe-C = ferro no caule; Fe-F = ferro na folha e Fe-Fr = ferro no fruto	70
Figura 22. Distribuição de freqüência para teores de Mn na raiz, caule, folha e fruto de plantas nativas e cultivadas em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. Mn-R = manganês na raiz; Mn-C = manganês no caule; Mn-F = manganês na folha e Mn-Fr = manganês no fruto	72
Figura 23. Distribuição de freqüência para teores de Pb na raiz, caule	

e folha de plantas nativas e cultivadas em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. Pb-R = chumbo na raiz; Pb-C = chumbo no caule; Pb-F = chumbo na folha e Pb-Fr = chumbo no fruto 73

Figura 24. Distribuição de freqüência para teores de Zn na raiz, caule, folha e fruto de plantas nativas e cultivadas em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. Zn-R = zinco na raiz; Zn-C = zinco no caule; Zn-F = zinco na folha e Zn-Fr = zinco no fruto 74

Figura 25. Distribuição de freqüência para teores de Ti na raiz, caule e folha de plantas nativas e cultivadas em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. Ti-R = titânio na raiz; Ti-C = titânio no caule; e Ti-F = titânio na folha 75

INTRODUÇÃO

É do ar, do solo e da água que as plantas retiram todos os nutrientes minerais necessários para sua sobrevivência. Conforme a necessidade, quantidade e função para o completo crescimento das plantas, eles são denominados de macronutrientes (N, C, H, O, P, K, S, Ca, Mg), requeridos em maiores quantidades, ou micronutrientes (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Zn), que atuam geralmente como co-fatores de enzimas, daí serem requeridos em quantidades menores. Além desses elementos, a planta pode absorver outros não essenciais como Al, Ag, Cd, Cr, Hg e Pb (TSUTIYA, 1999), que são considerados metais pesados, por apresentarem número atômico maior do que 20 e peso específico maior que $6,0 \text{ kg dm}^3$ (COSTA *et al.*, 2008).

Os metais pesados são encontrados em pequenas concentrações ($<1000 \text{ mg kg}^{-1}$) nos organismos vivos, embora sua concentração varie consideravelmente. Eles afetam os processos biológicos de forma tanto positiva quanto negativa (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 2001).

Para Cheney & Swinehart (1998), Rose & Ghazi (1998) e Shokes & Möller (1999), o Zn, Cd, Ni, Cr e Pb são os microelementos que fazem parte das maiores fontes inorgânicas poluidoras do solo e da água.

Apesar de alguns micronutrientes serem considerados essenciais para os seres vivos, a sua tolerância a esses elementos é bastante baixa (YARON *et al.*, 1996; McBRIDE, 1994). As plantas que se desenvolvem nos solos com presença de metais pesados também podem absorver quantidades inadequadas desses elementos (PODLESÁKOVÁ *et al.*, 2001). Apesar da capacidade de algumas plantas em adaptar-se nos solos com altos teores de metais pesados, o seu acúmulo merece muita atenção, pois pode trazer riscos à saúde humana (KABATA-PENDIAS E PENDIAS, 2001).

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) adota como nível de toxidez o teor de metal pesado que provoque redução de 50% no crescimento de plantas (KING, 2001). Segundo a USEPA, dentre os 20 elementos mais perigosos, que devem ter um acompanhamento constante, encontram-se o Pb, Cd e Cr (GUILHERME, 1999).

O cádmio ocorre nos solos em teores totais variando de $0,01$ a $0,70 \text{ mg kg}^{-1}$; o cromo, de 5 a 1.000 mg kg^{-1} ; o níquel, de 5 a 500 mg kg^{-1} ; e o chumbo, de

2 a 200 mg kg⁻¹ (LAKE, 1987). Lake (1987) e Melo *et al.* (1997) estabeleceram níveis fitotóxicos para Cd de 2-10 mg kg⁻¹, Cr de e10-100 mg kg⁻¹, Ni de 11-100 mg kg⁻¹ e Pb de 35-400 mg kg⁻¹.

O acúmulo de metais pesados nas plantas podem causar sintomas de toxidez como anomalias no crescimento e desenvolvimento, redução na colheita e sintomas visíveis como clorose ou necrose (BECKETT, 1991).

Segundo MARQUES *et al.* (2002), as plantas possuem mecanismos de defesa que dificultam e/ou impedem a entrada e/ou o transporte de metais nos seus tecidos pelas células que fazem parte do endoderma. Por esse motivo, várias espécies de vegetais conseguem sobreviver em ambientes com alta concentração de metais pesados, não pela restrição da absorção mas evitando a sua translocação pelos seus tecidos (BAKER, 1981). Devido a diferentes características no xilema de plantas da mesma espécie, elas podem absorver e/ou distribuir de forma diferente os metais quando expostas a uma mesma concentração deles (SHAW, 1989).

Chaney (1988) definiu o conceito de barreira solo-plantas, como uma restrição feita pelas plantas à absorção e translocação de alguns metais; a produção de binucleado e o efluxo de malato e citrato em ambiente de raiz ou a produção de muco na superfície da raiz representam importante barreira de transferência de contaminantes pela cadeia trófica.

Segundo Kabata-Pendias & Pendias (2001), o Ni, Zn, Pb, Mn e Cu são encontrados no tecido vegetal em maiores quantidades, apesar de essa acumulação depender de cada espécie, variando também a parte da planta que mais acumula cada metal. O chumbo se concentra mais nas raízes e dificilmente é translocado para a parte aérea, enquanto o Zn, Ni e o Mn podem migrar livremente para qualquer parte da planta (MALAVOLTA, 1994).

Vários trabalhos têm sido desenvolvidos com o intuito de avaliar a disponibilidade de metais pesados no solo, principalmente daqueles que são nutrientes de plantas (BATAGLIA & RAIJ, 1989; MULCHI *et al.*, 1991). Porém, os estudos encontrados na literatura são bastante controversos.

Mulchi *et al.* (1991) encontraram coeficientes de correlação significativos entre os teores de Cd, Cu, Ni e Zn em plantas de tabaco e aqueles extraídos pelas soluções de Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA em dois solos que receberam biossólido; mas, esse extratores não foram eficazes na avaliação de Fe e Pb.

O objetivo deste trabalho foi quantificar a ocorrência de alguns metais pesados em diferentes partes de plantas nativas e cultivadas localizadas na área específica do estudo e avaliar sua relação com teores deles encontrados no solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização da área

O estudo foi desenvolvido no Município de Lapão-BA, que pertence à unidade geoambiental Platô de Irecê, em uma área sob influência de um gossan identificado com base no mapa de amostragem geoquímica para prospecção de metais e fosfatos, elaborado por Bahia (1997). A área avaliada está localizada nas proximidades do povoado de Tanquinho, com altitude média de 740 m. De acordo com Bomfim *et al.* (1985), a área do estudo constitui o principal gossan em extensão da região, sendo que os solos desenvolvidos a partir de gossan ocupam pequenas faixas pontuais em uma área com comprimento de 13,5 km e largura média de 0,5 km (Figura 1).

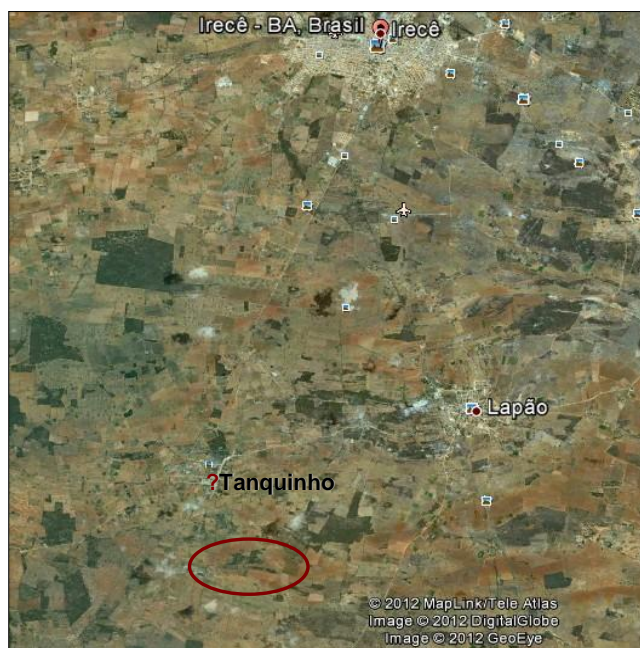


Figura 1. Localização do gossan avaliado no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA.

Os solos predominantes nessa área são Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico câmbico, Cambissolo Háplico Tb Eutrófico latossólico e Cambissolo Háplico Ta Eutrófico latossólico, com teores de argila variando de 510 a 650 g kg⁻¹ e classes texturais entre argilosa e muito argilosa; os teores de silte variam de 150 a 200 g kg⁻¹ (PAIVA, 2010).

A área estudada vem sendo cultivada há mais de 40 anos com feijão, milho, mamona, além de pastagem, palma forrageira e vegetação de caatinga; na área também são criados pequenos animais (caprinos, ovinos e galináceos).

É importante ressaltar que nenhum dos solos recebeu qualquer tipo de fertilização ou corretivo; com isso, os metais pesados neles encontrados são assumidos como exclusivamente de ocorrência natural.

Amostragem de plantas

Foram coletadas amostras de diferentes partes de plantas nativas e cultivadas, totalizando 102 amostras, localizadas no centro do gossan e a 25 m de distância dele nos sentidos Norte e Sul, procedendo-se também ao seu georreferenciamento (Tabela 1). Foram coletadas amostras de algumas plantas em vários estádios de desenvolvimento, não tendo sido possível seguir um único critério de amostragem para todas elas, no intuito de padronizar a coleta. Foram excluídas amostras de folhas cobertas de solo ou de poeira, aquelas danificadas mecanicamente ou por insetos ou as que apresentaram sintomas de doenças.

As amostras coletadas foram acondicionadas em sacos de papel e transportadas para o laboratório, onde se efetuou a limpeza para a retirada de impurezas da superfície, sendo então submetidas à secagem a 60°C em estufa com circulação de ar até atingirem peso constante, sendo então trituradas para as análises posteriores.

Amostragem de solo

Para este trabalho foram utilizadas as amostras de solo como consta no capítulo 1, coletadas nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m e nos pontos

Tabela 1. Nomes comuns e científicos e coordenadas geográficas das plantas amostradas.

Nome comum	Nome científico	Coordenadas geográficas (UTM)	Tipo de planta
Quebra-facão	<i>Hymenaea courberil</i>	0185904; 8736310	Nativa
Mucambo	<i>Balfourodendron riedelianum</i>	0185904; 8736335	Nativa
Pinha	<i>Annona squamosa</i>	0185904; 8736335	Cultivada
Pinhão-branco	<i>Jatropha spp.</i>	0185904; 8736285	Nativa
Jurema	<i>Balizia pedicellaria.</i>	0186904; 8736310	Nativa
Palma forrageira	<i>Opuntia ficus-indica</i>	0186904; 8736310	Cultivada
Aroeira	<i>Schinus molle</i>	0185904; 8736335	Nativa
Mandacaru	<i>Cereus giganteus</i>	0186904; 8736285	Nativa
Umburaninha	-	0186904; 8736710	Nativa
Seriguela	<i>Spondias purpurea</i>	0187904; 8736310	Cultivada
Pinha	<i>Annona squamosa</i>	0187904; 8736310	Cultivada
Angico	<i>Anadenthera colubrina</i>	0187904; 8736310	Nativa
Umbu-cajá	<i>Spondias spp.</i>	0187904; 8736310	Cultivada
Capim buffel	<i>Cenchrus ciliaris</i>	0187904; 8736335	Cultivada
Capim buffel	<i>Cenchrus ciliaris</i>	0187904; 8736285	Cultivada
Capim buffel	<i>Cenchrus ciliaris</i>	0187904; 8736360	Cultivada
Palma forrageira	<i>Opuntia ficus-indica</i>	0187904; 8736360	Cultivada
Feijão	<i>Phaseolus vulgaris</i>	0187904; 8736260	Cultivada
Mamona	<i>Ricinus communis</i>	0187904; 8736260	Cultivada
Feijão	<i>Phaseolus vulgaris</i>	0187904; 8736410	Cultivada
Milho	<i>Zea mays</i>	0187904; 8736410	Cultivada
Mamona	<i>Ricinus communis</i>	0187904; 8736210	Cultivada
Feijão	<i>Phaseolus vulgaris</i>	0187904; 8736210	Cultivada
Feijão	<i>Phaseolus vulgaris</i>	0187904; 8736510	Cultivada
Mamona	<i>Ricinus communis</i>	0187904; 8736110	Cultivada
Milho	<i>Zea mays</i>	0187904; 8736710	Cultivada
Feijão	<i>Phaseolus vulgaris</i>	0187904; 8736710	Cultivada
Banana	<i>Musa spp.</i>	0187904; 8735910	Cultivada
Mamona	<i>Ricinus communis</i>	0187904; 8735910	Cultivada
Milho	<i>Zea mays</i>	0188904; 8736310	Cultivada
Milho	<i>Zea mays</i>	0188904; 8736335	Cultivada
Capim buffel	<i>Cenchrus ciliaris</i>	0188904; 8736285	Cultivada
Mamona	<i>Ricinus communis</i>	0188904; 8736110	Cultivada
Capim buffel	<i>Cenchrus ciliaris</i>	0189904; 8736310	Cultivada
Capim buffel	<i>Cenchrus ciliaris</i>	0189904; 8736335	Cultivada
Capim buffel	<i>Cenchrus ciliaris</i>	0189904; 8736285	Cultivada

amostrais cujas coordenadas geográficas são apresentadas na tabela 1, que foram os mesmos utilizados para a coleta de plantas.

Análises de plantas

A digestão das amostras de plantas foi feita em triplicata em bloco digestor, utilizando uma modificação do método SW 846-3050A (USEPA, 2007), incluindo provas em branco.

Aproximadamente 0,5 g de amostras de plantas previamente trituradas foi colocada em tubos de digestão, adicionando-se 5 mL de ácido nítrico (HNO_3) concentrado (65%, V/V) e aquecendo-se a 95°C por uma hora. Após o resfriamento das amostras por cerca de 20 minutos, adicionou-se peróxido de hidrogênio (30%, V/V) em alíquota de 1 mL e aqueceu-se a 95°C; esse processo foi repetido até que a reação de efervescência diminuiu ou a aparência da amostra não sofreu alteração, tendo-se o cuidado para não adicionar mais de 10 mL de peróxido de hidrogênio (30%, V/V) no total. Após a adição da última alíquota de peróxido de hidrogênio as amostras foram resfriadas por 20 minutos, acrescentando-se, em seguida, 5 mL de ácido clorídrico (HCl) concentrado (65%, V/V) com posterior aquecimento a 95°C. A temperatura foi mantida até que houvesse evaporação de modo a atingir aproximadamente 5 mL de solução.

Em seguida, a amostra foi resfriada por cerca de 30 minutos e filtrada lentamente em papel de filtro de faixa azul; todo o filtrado (solução de extração mais a de lavagem dos frascos) foi coletado em balão volumétrico de 25 mL e o volume completado com água deionizada.

Procedeu-se a leitura de As, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Ti e Zn por espectrometria de emissão óptica com plasma de argônio indutivamente acoplado (ICP OES).

Análises de solo

Conforme descrito no capítulo anterior, a digestão das amostras de solo foi feita em triplicata em bloco digestor, utilizando uma modificação do método SW 846-3050A (USEPA, 2007), incluindo provas em branco.

Subamostras de solo de 0,5 g previamente trituradas em almofariz de ágata e passadas em peneira com abertura de malha de 60 mesh foram colocadas em tubos de digestão, adicionando-se 5 mL de ácido nítrico (HNO_3) concentrado (65%, V/V) e aquecendo-se a 95°C por uma hora. Após o resfriamento das amostras por cerca de 20 minutos, adicionou-se peróxido de hidrogênio (30%, V/V) em alíquota de 1 mL e aqueceu-se a 95°C; esse processo foi repetido até que a reação de efervescência diminuiu ou a aparência da amostra não sofreu alteração, tendo-se o cuidado para não adicionar mais de 10 mL de peróxido de hidrogênio no total. Após a adição da última alíquota de peróxido de hidrogênio (30%, V/V) as amostras foram resfriadas por 20 minutos, acrescentando-se, em seguida, 5 mL de ácido clorídrico (HCl) concentrado (65%, V/V), com posterior aquecimento a 95 °C. A temperatura foi mantida até que houvesse evaporação de modo a atingir aproximadamente 5 mL de solução. Em seguida, a amostra foi resfriada por cerca 30 minutos e filtrada lentamente em papel de filtro de faixa azul; todo o filtrado (solução de extração mais a de lavagem dos frascos) foi coletado em balão volumétrico de 25 mL e o volume completado com água deionizada.

Procedeu-se a leitura de As, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Ti e Zn por espectrometria de emissão óptica com plasma de argônio indutivamente acoplado (ICP OES).

Análise estatística

Inicialmente foram calculadas estatísticas descritivas para os dados (média, coeficiente de variação, mínimo e máximo), sendo também aplicado o teste de Shapiro-Wilk para avaliar se eles seguiam a distribuição de frequência normal. Para tanto, utilizou-se o aplicativo Statistica, versão 7,0.

Em seguida procedeu-se a análise de correlação entre dados de planta e de solo. Como os dados obtidos não seguiram a distribuição normal, no caso utilizou-se a correlação de Spearman, utilizando-se também o aplicativo Statistica, versão 7,0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 2 são apresentadas estatísticas descritivas para os dados de metais pesados obtidos nas diferentes partes das plantas avaliadas, registrando-se que não foram encontrados As e Cr em todas as partes das plantas, Ni na raiz, caule e fruto, Pb na folha e fruto e Ti no fruto, possivelmente por encontrarem-se em teores abaixo do limite de detecção do método de análise empregado.

Os valores obtidos para o coeficiente de variação foram a partir de 80%, sendo assim considerados como muito altos (GOMES, 1984), resultados já esperados pelo fato de estudar-se diferentes espécies de plantas, indicando uma alta variabilidade para todos eles nas partes das plantas avaliadas. O menor coeficiente de variação foi observado para o Mn na folha (80%) e o maior (753%) para o As no caule, indicando assim a menor e a maior variabilidade, respectivamente

Distribuição dos teores de metais pesados nas diferentes partes das plantas avaliadas

Os resultados referentes aos metais As, Cd e Ni não serão apresentados, pois estiveram abaixo do limite de detecção (<LD) do método analítico empregado.

Nas figuras 2 a 18 são apresentados os teores de metais pesados encontrados nas diferentes partes de cada uma das plantas avaliadas, merecendo destaque a concentração de Pb nas raízes do angico (Figura 2), do capim buffel (Figura 3), do milho (Figura 4), da palma forrageira (Figura 5), do pinhão-branco (Figura 6) e da seriguela (Figura 7). Embora o capim buffel tenha sido a planta que mais absorveu e acumulou Pb nas suas raízes, o valor foi de aproximadamente 25 mg kg^{-1} , o qual está abaixo dos valores de 30 a 300 mg kg^{-1} considerados tóxicos às plantas (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 2001).

Observa-se nas figuras 2 a 7 que não houve um padrão de distribuição do Pb na planta. De acordo com Alloway (1990), a translocação do Pb é influenciada pelo estado da planta; em boas condições de crescimento, o Pb precipita nas paredes celulares das raízes sob a forma de compostos poucos solúveis, sendo pouco transportado para as folhas e frutos.

Tabela 2. Estatística descritiva e teste de Shapiro-Wilk para teores de metais pesados em partes de plantas nativas e cultivadas em área de um gossan localizado no Município de Lapão, Irecê, Bahia.

Metal pesado	Média	C.V. ⁽¹⁾	Mínimo	Máximo	Shapiro-Wilk
	- mg kg ⁻¹ -	-- % --	--- mg kg ⁻¹ ---		
Raiz					
As-R	<LD ⁽²⁾	-	<LD	<LD	-
Cd-R	<LD	-	<LD	<LD	-
Cr-R	0,5	314	<LD	10,9	0,359** ⁽³⁾
Cu-R	0,2	404	<LD	4,3	0,267**
Fe-R	673,3	114	<LD	3.960,4	0,794**
Mn-R	26,8	129	<LD	206,5	0,654**
Ni-R	<LD	-	<LD	<LD	-
Pb-R	4,4	648	<LD	268,6	0,138**
Zn-R	31,8	269	<LD	720,8	0,386**
Ti-R	5,9	182	<LD	62,7	0,623**
Caule					
As-C	<LD	753	<LD	0,5	-
Cd-C	<LD	-	<LD	<LD	-
Cr-C	0,1	466	<LD	2,2	0,220**
Cu-C	0,3	428	<LD	7,0	0,250**
Fe-C	118,6	168	<LD	1.124,9	0,548**
Mn-C	22,0	100	<LD	86,5	0,845**
Ni-C	<LD	-	<LD	<LD	-
Pb-C	1,3	577	<LD	45,5	0,160**
Zn-C	43,6	136	<LD	240,4	0,752**
Folha					
As-F	<LD	< LD	<LD	<LD	-
Cd-F	<LD	< LD	<LD	<LD	-
Cr-F	0,7	653	<LD	33,4	0,137**
Cu-F	0,1	434	<LD	2,0	0,248**
Fe-F	319,5	113	<LD	1.493,7	0,797**
Mn-F	49,2	80	<LD	168,1	0,933**
Ni-F	0,2	711	<LD	10,1	0,121**
Pb-F	0,02	556	<LD	0,9	0,179**
Zn-F	34,1	94	<LD	137,0	0,891**
Ti-F	1,2	306	<LD	23,1	0,381**
Fruto					
As-Fr	<LD	-	<LD	<LD	-
Cd-Fr	<LD	-	<LD	<LD	-
Cr-Fr	0,5	278	<LD	7,1	0,420**
Cu-Fr	0,3	272	<LD	3,1	0,409**
Fe-Fr	53,7	171	<LD	294,3	0,624**
Mn-Fr	10,3	160	<LD	77,9	0,682**
Ni-Fr	<LD	-	<LD	<LD	-
Pb-Fr	<LD	-	<LD	<LD	-
Zn-Fr	22,3	153	<LD	114,7	0,691**
Ti-Fr	<LD	-	<LD	<LD	-

⁽¹⁾C.V. = coeficiente de variação. ⁽²⁾<LD= abaixo do limite de detecção. ⁽³⁾** = significativo a 1%.

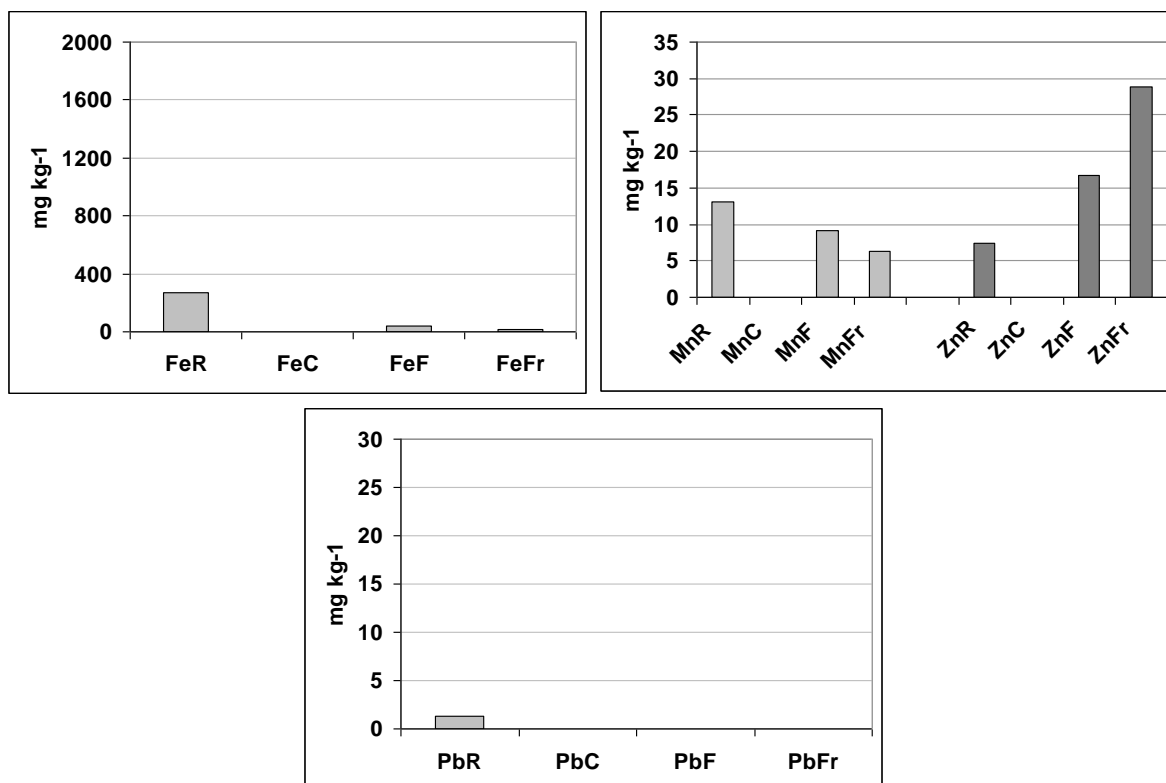


Figura 2. Distribuição de Fe, Mn, Zn e Pb na raiz, caule, folha e fruto de angico em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. R = raiz; C = caule; F = folha e Fr = fruto.

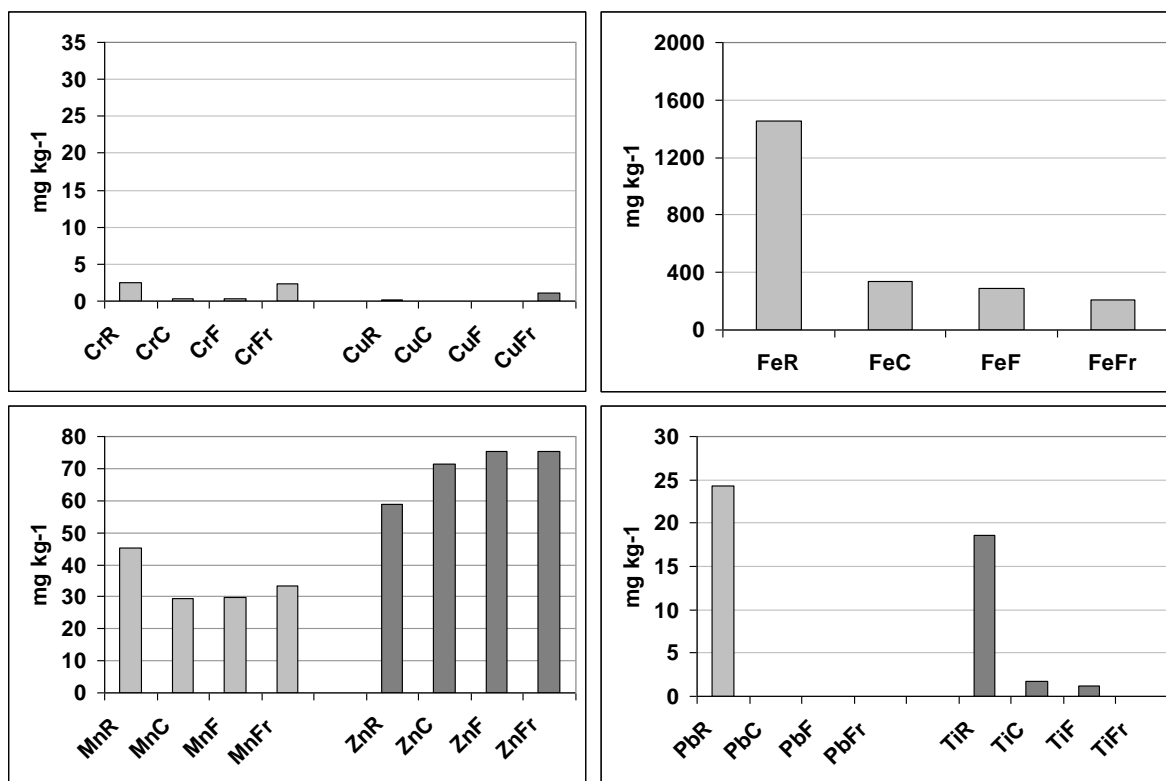


Figura 3. Distribuição de Cr, Cu, Fe, Mn, Zn, Pb e Ti na raiz, caule, folha e fruto de capim buffel em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. R = raiz; C = caule; F = folha e Fr = fruto.

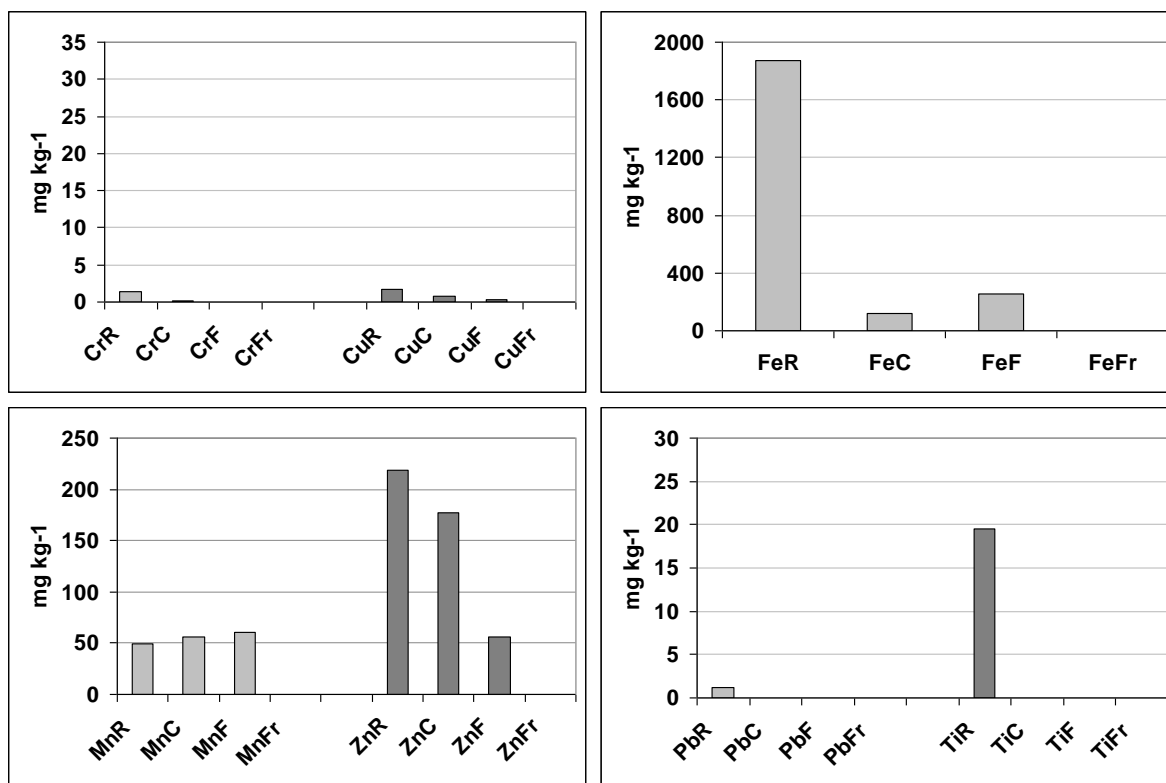


Figura 4. Distribuição de Cr, Cu, Fe, Mn, Zn, Pb e Ti na raiz, caule, folha e fruto de milho em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. R = raiz; C = caule; F = folha e Fr = fruto.

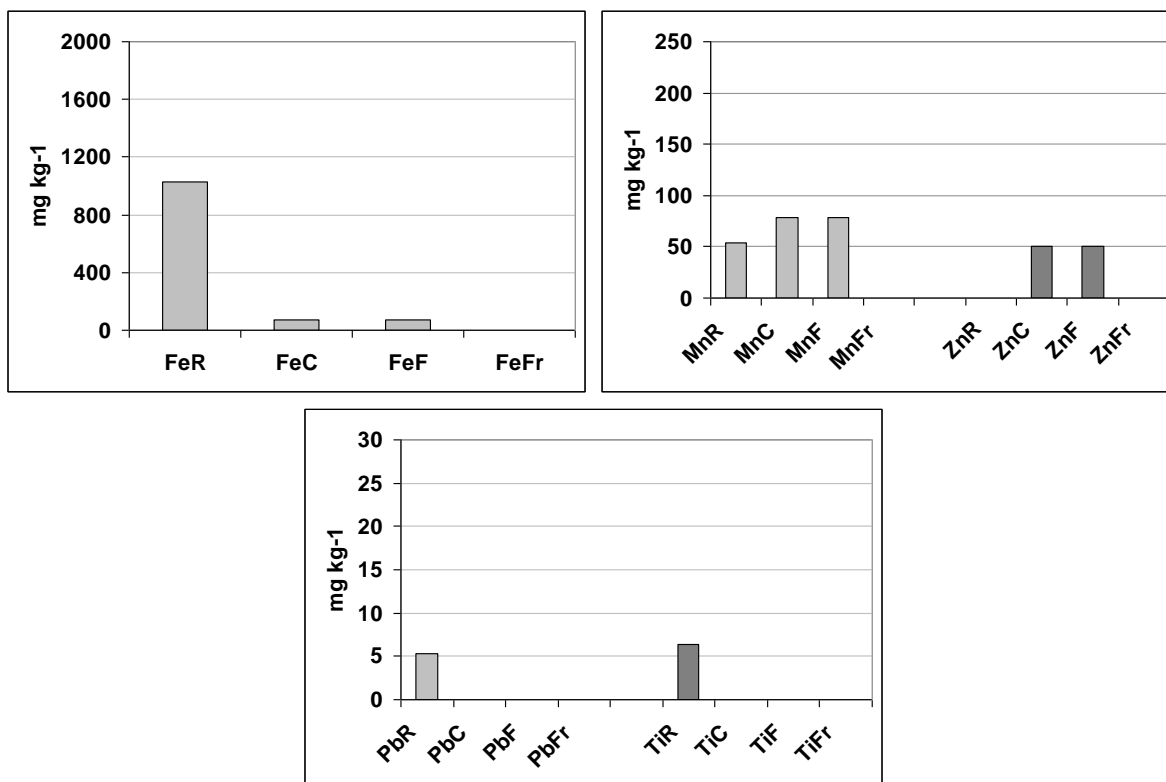


Figura 5. Distribuição de Fe, Mn, Zn, Pb e Ti na raiz, caule, folha e fruto de palma forrageira em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. R = raiz; C = caule; F = folha e Fr = fruto.

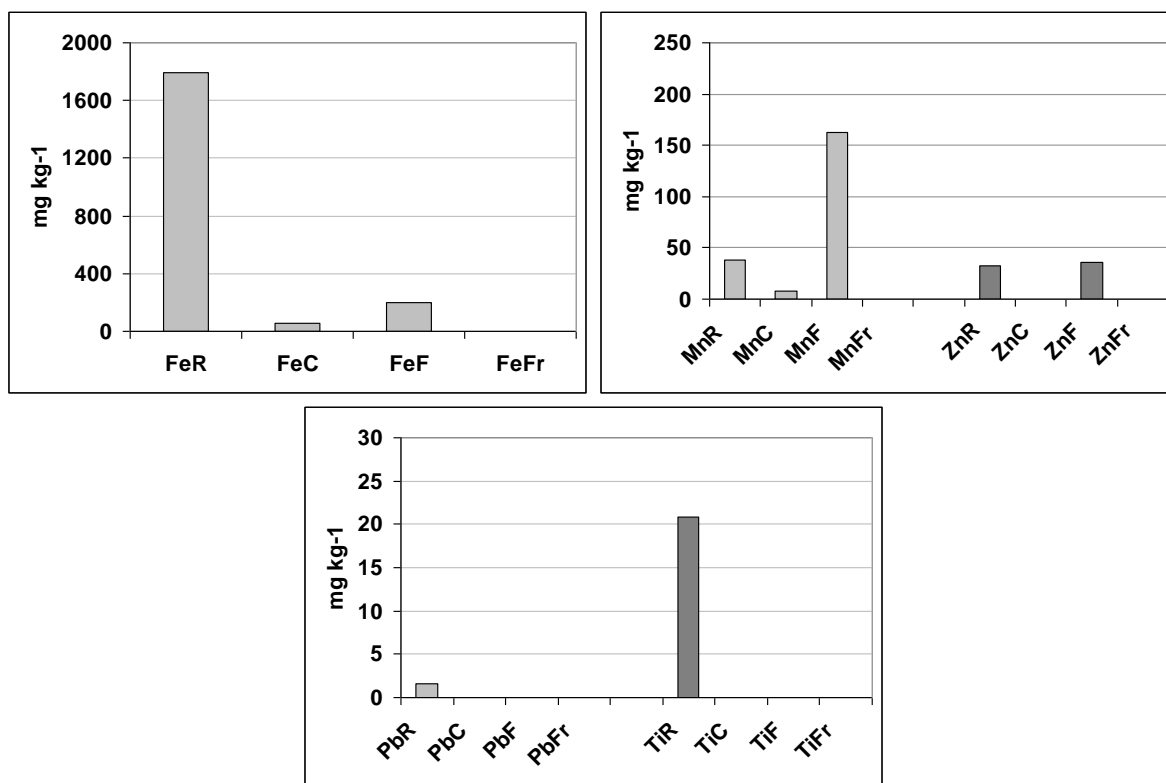


Figura 6. Distribuição de Fe, Mn, Zn, Pb e Ti na raiz, caule, folha e fruto de pinhão-branco em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. R = raiz; C = caule; F = folha e Fr = fruto.

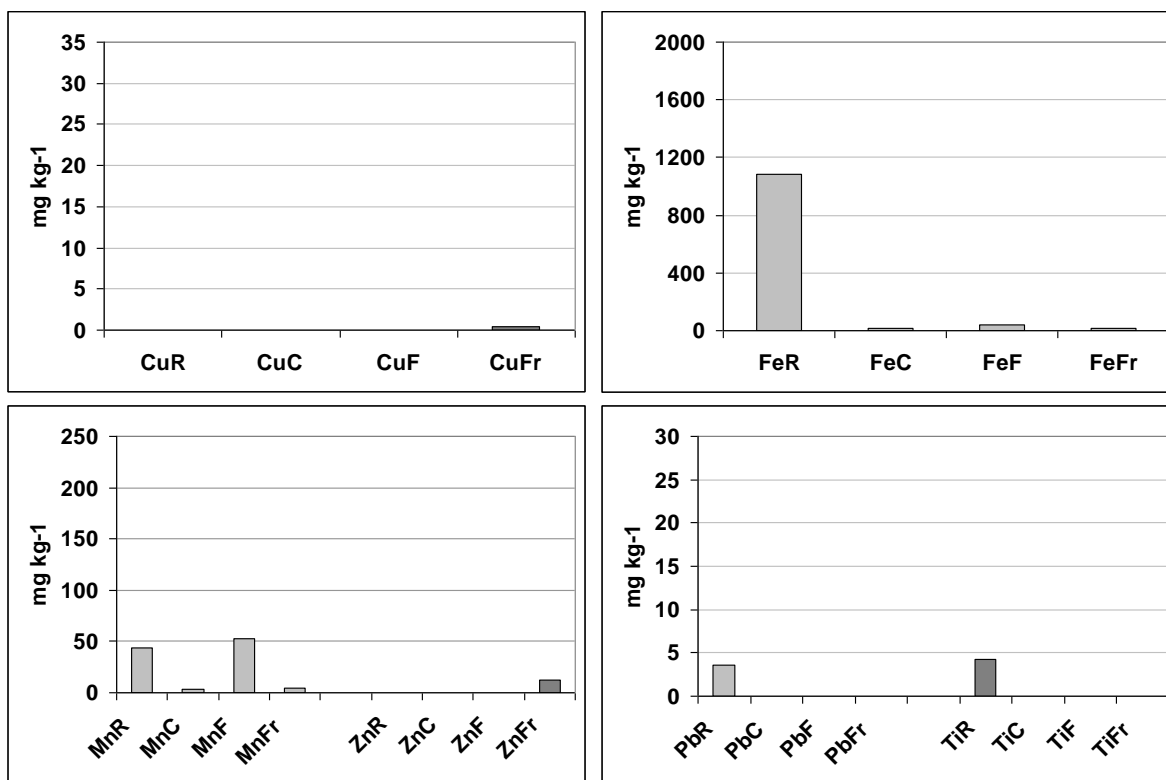


Figura 7. Distribuição de Cu, Fe, Mn, Zn, Pb e Ti na raiz, caule, folha e fruto de seriguela em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. R = raiz; C = caule; F = folha e Fr = fruto.

Alloway (1990) mencionou ainda que a absorção e a translocação do Pb para a parte aérea podem variar também em razão da estação do ano; no outono e inverno há maior translocação para a parte aérea do que nas outras estações.

Quanto ao Fe, pode-se observar um maior acúmulo nas raízes do angico (Figura 2), do capim buffel (Figura 3), do milho (Figura 4), da palma forrageira (Figura 5), do pinhão-branco (Figura 6), da aroeira (Figura 8), da jurema (Figura 9), do mandacaru (Figura 10) e da pinha (Figura 11). O maior acúmulo de Fe, semelhantemente ao Pb e Ti, ocorreu nas raízes, mostrando serem elas o principal órgão vegetativo acumulador de metais pesados (McBRIDE, 1994). Essa concentração de metais pesados na raiz, não os translocando para a parte aérea, tem o aspecto positivo de evitar ou minimizar a contaminação de seres vivos que consomem a parte aérea dessas plantas; diferentemente disso foi encontrado por SILVA *et al.* (2002), que observaram aumentos no teor de Fe em folhas de plantas de milho cultivadas em solo tratado com lodo de esgoto.

O Zn e o Mn distribuíram-se em todas as partes das plantas (Figuras 2 a 18), com o Zn apresentando teores mais elevados na raiz do milho com 220 mg kg^{-1} (Figura 4), e o Mn apresentando teores mais elevados na folha de pinhão-branco com 165 mg kg^{-1} (Figura 6) e na raiz da bananeira com 160 mg kg^{-1} (Figura 12). A estabilidade da ligação do Zn com a matéria orgânica é relativamente fraca, podendo ele ser facilmente liberado e absorvido e, conseqüentemente, persistir menos tempo no solo (JONES & JARVIS 1981). O valor máximo do Zn foi observado na raiz do milho (Figura 4) e está entre os níveis considerados fitotóxicos citados por Kabata-Pendias & Pendias (2001), que variam de 100 a 400 mg kg^{-1} . Os resultados obtidos estão de acordo com os citados por Dechen *et al.* (1991), que concluíram que as raízes concentram mais Zn do que a parte aérea.

Os teores de Zn obtidos nas demais plantas estudadas encontraram-se dentro do intervalo de $15\text{-}100 \text{ mg kg}^{-1}$ considerado adequado por Raji *et al.* (1996). Entretanto, se for considerado o intervalo de 15 a 50 mg kg^{-1} , proposto por Malavolta *et al.* (1989), os teores obtidos na raiz do capim buffel (Figura 3) já se encontraram entre os valores de fitotoxicidade observados para a maioria das espécies.

As análises dos tecidos vegetais no angico (Figura 2), capim buffel (Figura 3), milho (Figura 4), feijão (Figura 13) e mamona (Figura 14) mostraram teores de

Zn encontrados nas raízes, caule e folhas revelando intensa atividade de transporte na planta (MALAVOLTA, 1994; BERTON, 2000). Esses teores foram inferiores aos considerados adequados, ou seja, de 20 a 250 mg kg⁻¹ (SILVA, 1999).

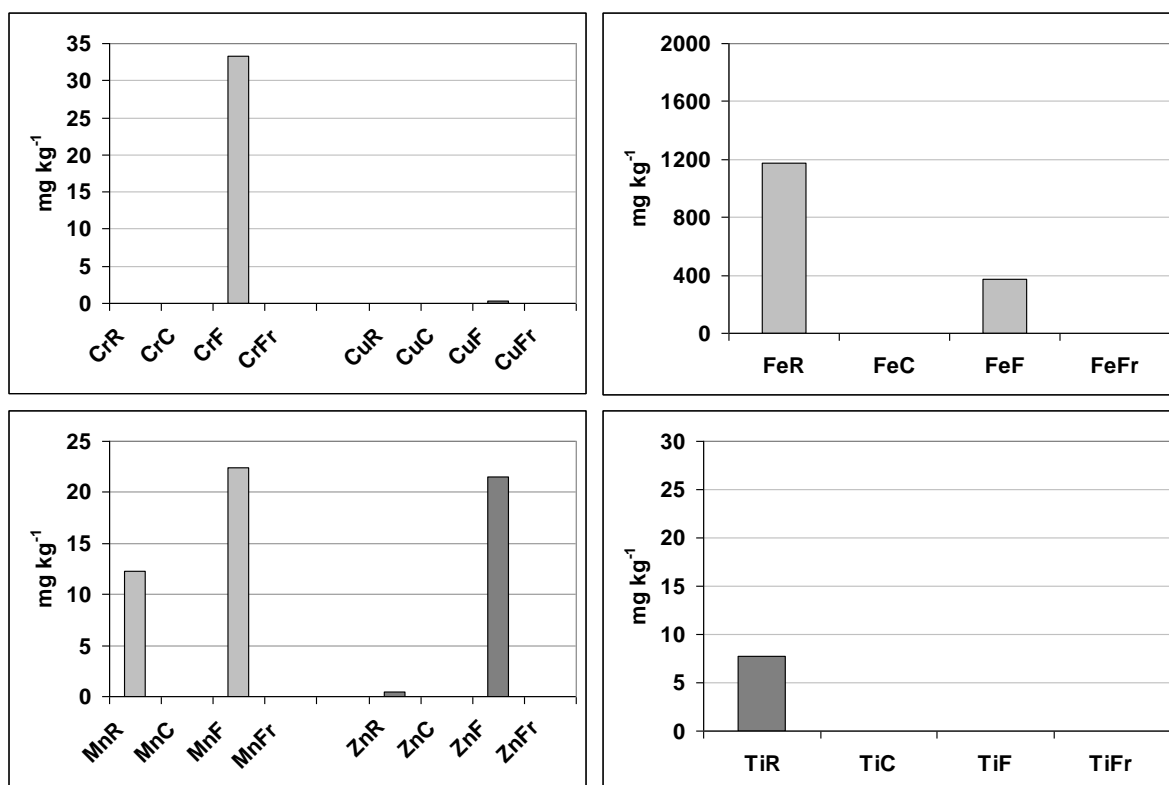


Figura 8. Distribuição de Cr, Cu, Fe, Mn, Zn e Ti na raiz, caule, folha e fruto de aroeira em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. R = raiz; C = caule; F = folha e Fr = fruto.

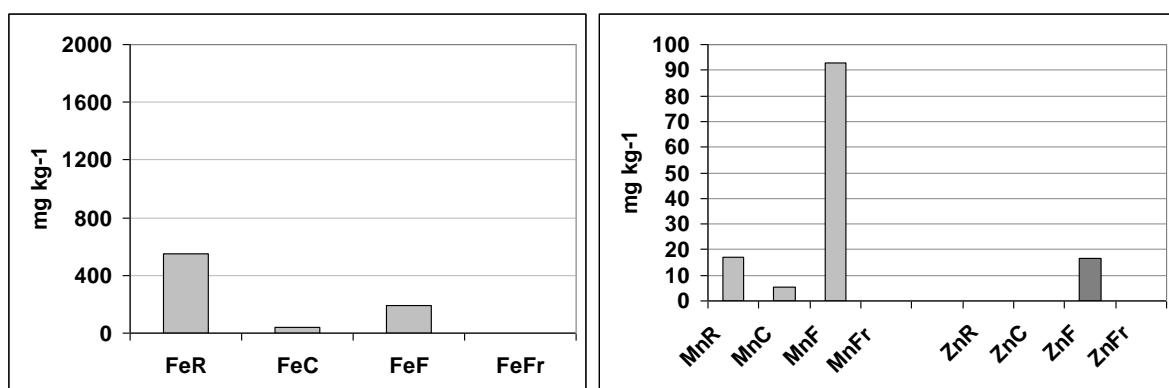


Figura 9. Distribuição de Fe, Mn e Zn na raiz, caule, folha e fruto de jurema em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. R = raiz; C = caule; F = folha e Fr = fruto.

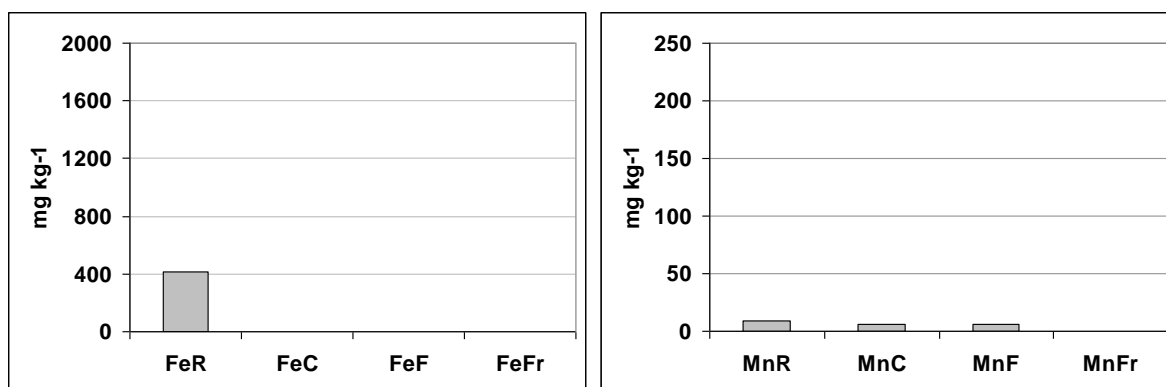


Figura 10. Distribuição de Fe e Mn na raiz, caule, folha e fruto de mandacaru em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. R = raiz; C = caule; F = folha e Fr = fruto.

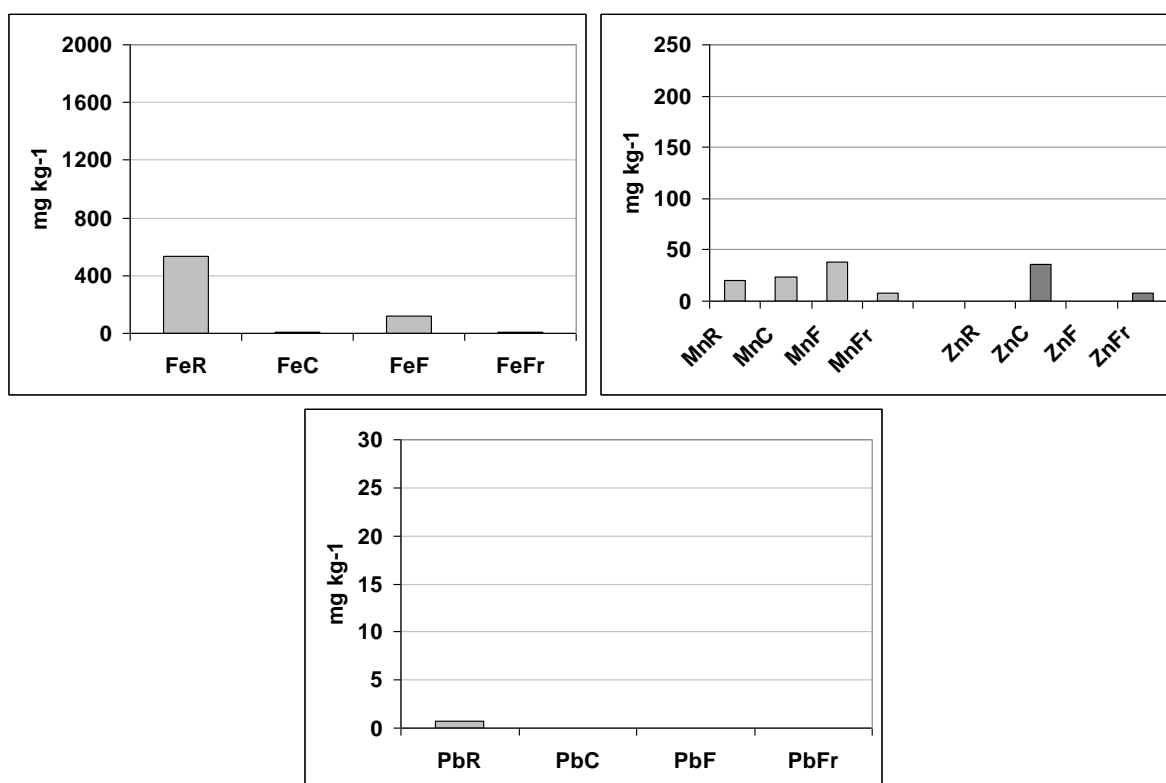


Figura 11. Distribuição de Fe, Mn, Zn e Pb na raiz, caule, folha e fruto de pinha em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. R = raiz; C = caule; F = folha e Fr = fruto.

Alguns autores consideram o Zn como altamente móvel nas plantas, enquanto outros o consideram ter mobilidade intermediária, distribuindo-se por todas as partes das plantas. O Zn é considerado um metal de fitotoxicidade baixa a moderada, sendo que a maioria das espécies estudadas é afetada por concentrações no tecido que variam de 100 a 400 mg kg⁻¹ (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 2001).

Embora o Mn seja um dos metais pesados mais abundantes na litosfera, seu teor comum em rochas varia de 350 a 2000 mg kg⁻¹ e a suas maiores concentrações estão geralmente associados às rochas máficas (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 2001).

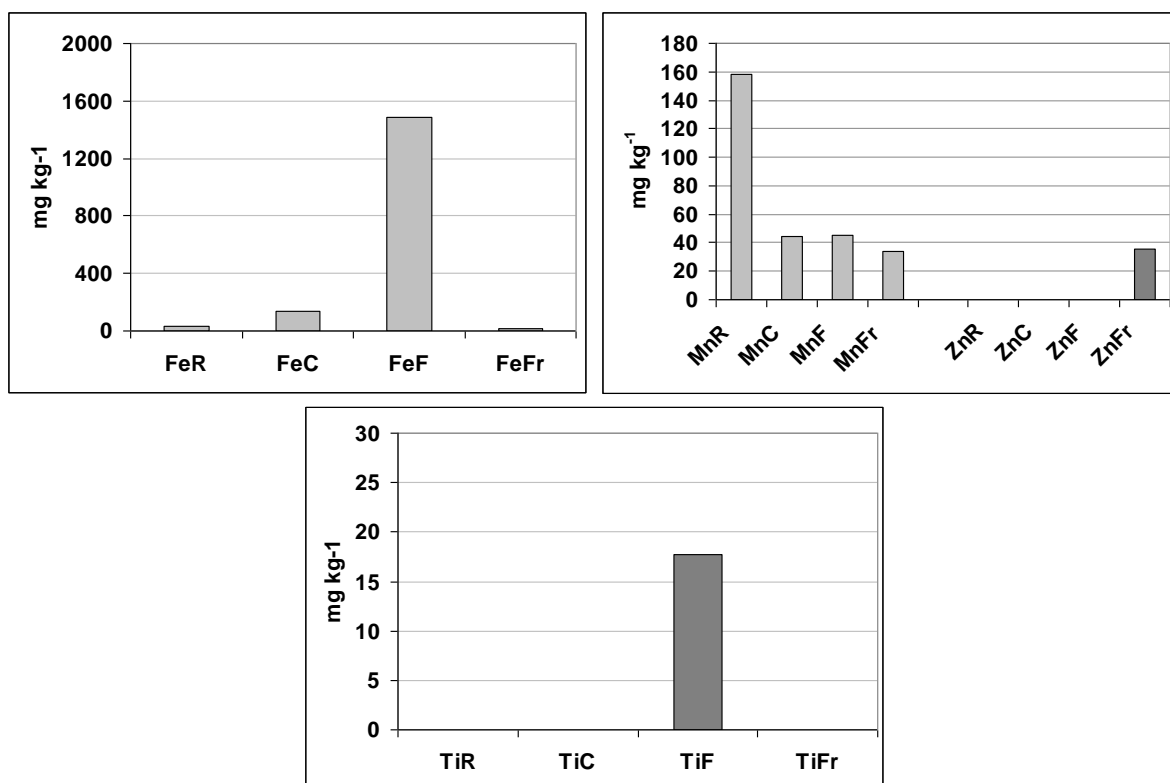


Figura 12. Distribuição de Fe Mn, Zn e Ti na raiz, caule, folha e fruto de bananeira em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. R = raiz; C = caule; F = folha e Fr = fruto.

O Mn foi o terceiro elemento em maior concentração encontrado nas plantas estudadas, principalmente nas raízes e folhas (Figuras 2 a 18), seguidas dos caules e menor nos frutos, mostrando a distribuição do elemento em todas as partes das plantas.

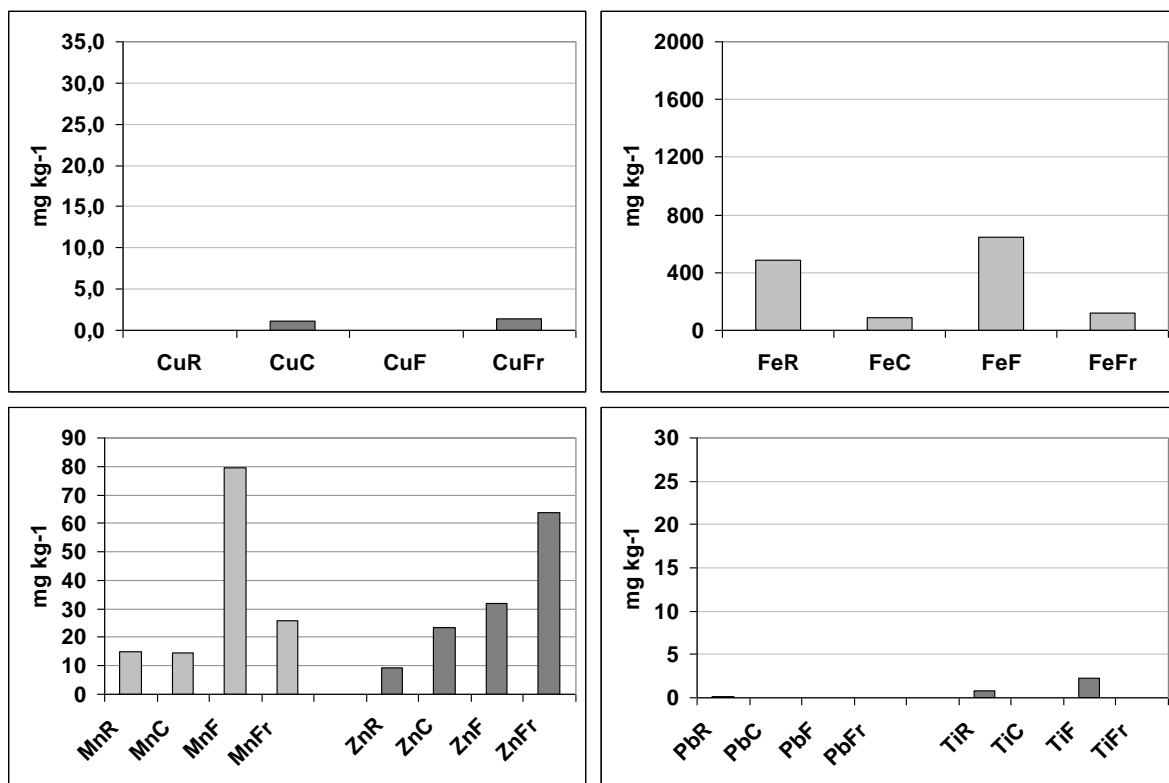


Figura 13. Distribuição de Cu, Fe, Mn, Zn, Pb e Ti na raiz, caule, folha e fruto de feijão *Phaseolus* em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. R = raiz; C = caule; F = folha e Fr = fruto.

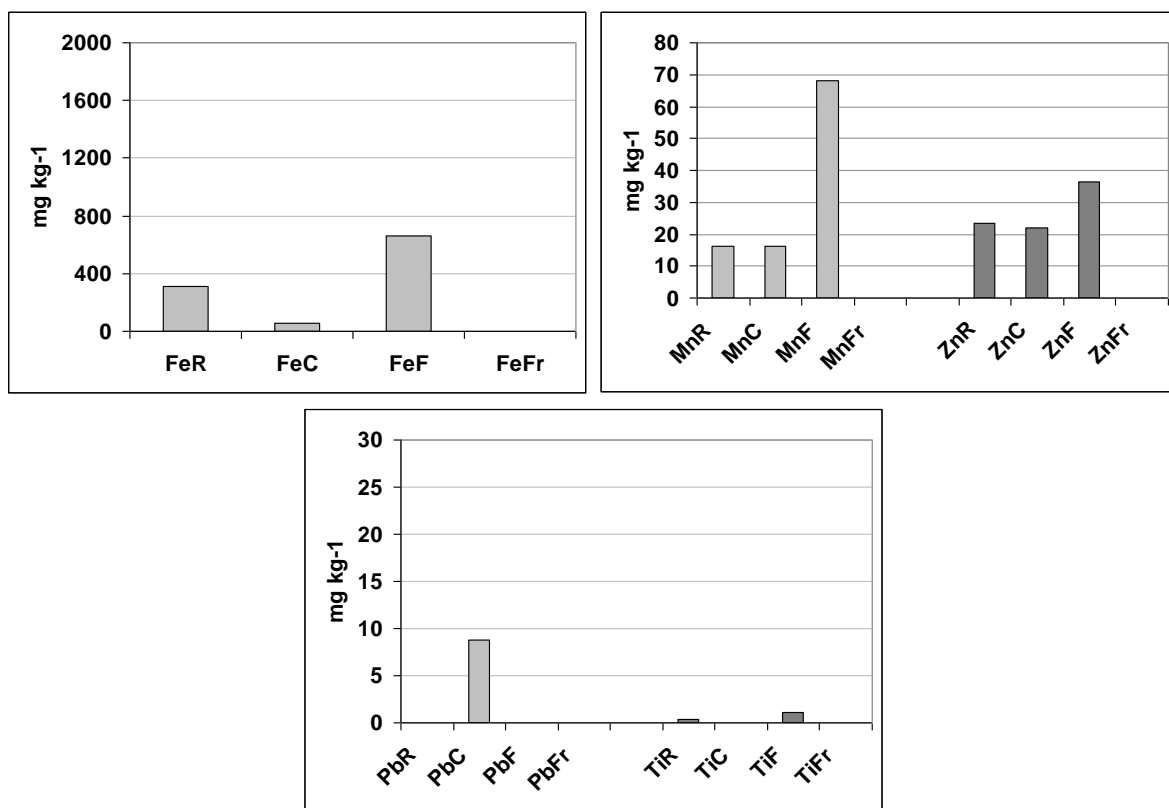


Figura 14. Distribuição de Fe, Mn, Zn, Pb e Ti na raiz, caule, folha e fruto de mamona em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. R = raiz; C = caule; F = folha e Fr = fruto.

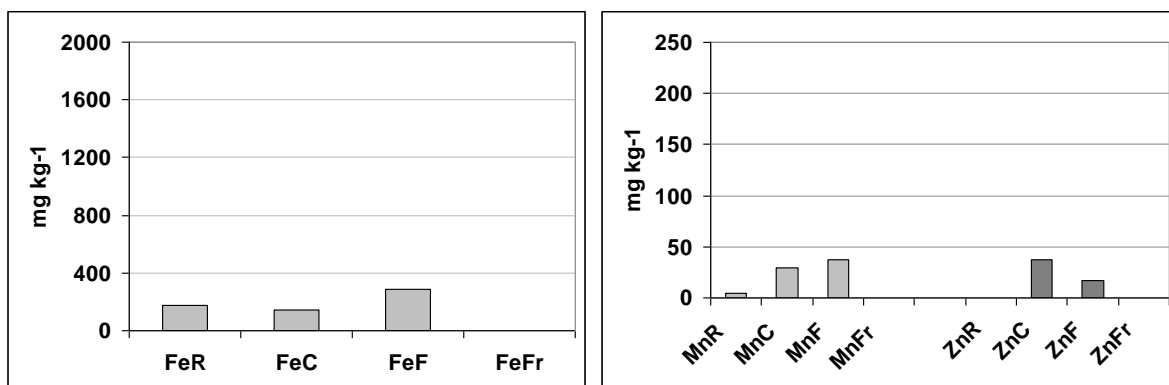


Figura 15. Distribuição de Fe, Mn e Zn na raiz, caule, folha e fruto de mucambo em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. R = raiz; C = caule; F = folha e Fr = fruto.

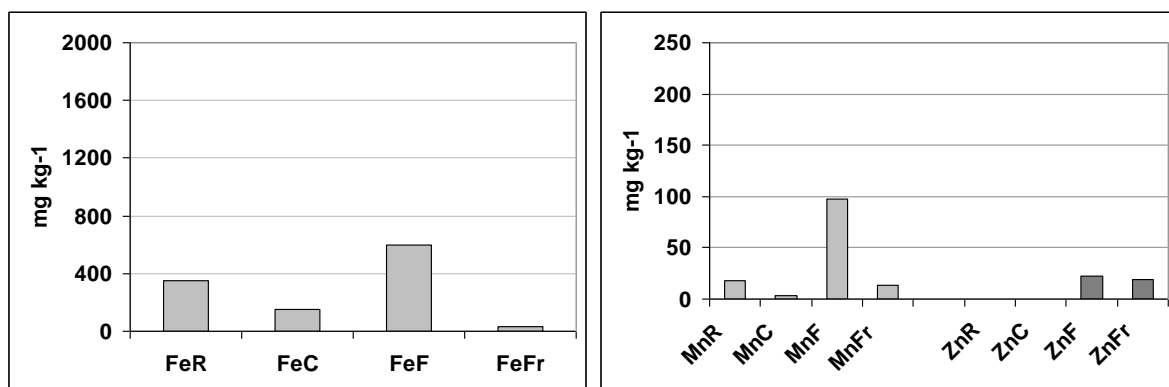


Figura 16. Distribuição de Fe, Mn e Zn na raiz, caule, folha e fruto de umburaninha em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. R = raiz; C = caule; F = folha e Fr = fruto.

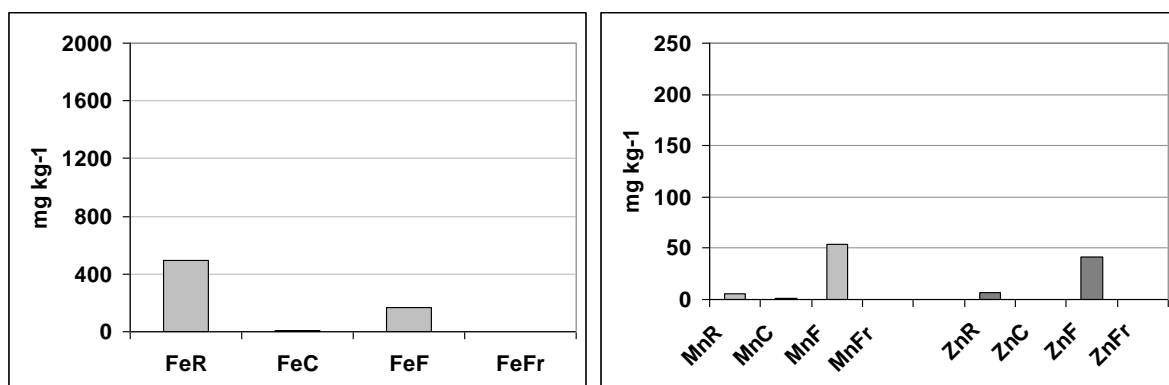


Figura 17. Distribuição de Fe, Mn e Zn na raiz, caule, folha e fruto de quebra-facão em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. R = raiz; C = caule; F = folha e Fr = fruto.

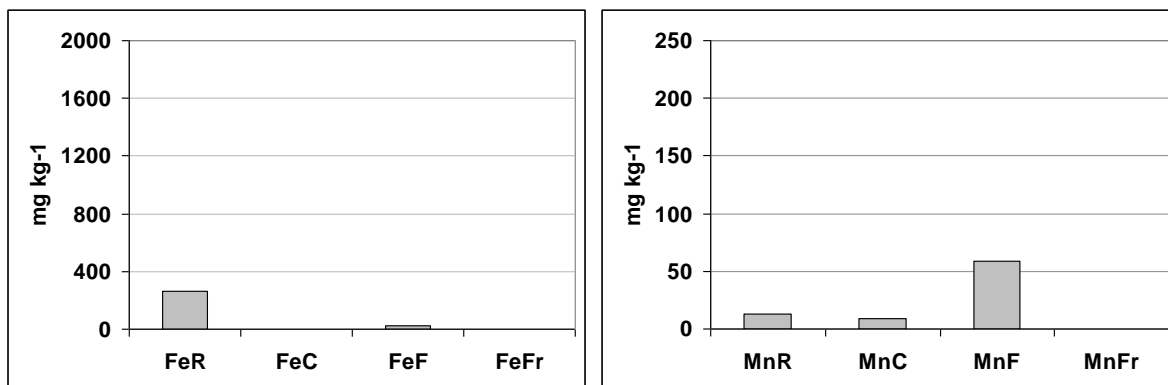


Figura 18. Distribuição de Fe e Mn na raiz, caule, folha e fruto de umbú-cajá em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. R = raiz; C = caule; F = folha e Fr = fruto.

Nas culturas cultivadas pode-se observar que os teores encontrados nas folhas e frutos estiveram abaixo ou próximos dos valores reportados por Kabata-Pendias & Pendias (2001) para alimentos vegetais, sendo o mais alto em raízes de beterraba ($36-113 \text{ mg kg}^{-1}$) e o menor em frutos de árvores ($1,3 \text{ a } 1,5 \text{ mg kg}^{-1}$).

O Mn foi o metal que não encontrou resistência contra a migração do solo para qualquer parte da planta. De acordo com Borkert *et al.* (2001), o pH do solo é um dos principais fatores que controlam a disponibilidade de Mn para as plantas, havendo redução no teor desse metal no tecido vegetal de espécies cultivadas em solo com pH superior a 5,5.

Para Webber *et al.* (1984), os teores considerados fitotóxicos de Mn no tecido foliar do milho encontram-se na faixa de $100 \text{ a } 150 \text{ mg kg}^{-1}$. Neste estudo pode-se observar que foi encontrado teor abaixo dessa faixa, ou seja, 60 mg kg^{-1} (Figura 4).

Kabata-Pendias & Pendias (2001) estabeleceram, como faixa crítica de Mn em grãos produzidos em locais contaminados com esse metal, os teores entre $15 \text{ e } 80 \text{ mg kg}^{-1}$. Com exceção da banana (Figura 12), feijão (Figura 13) e umburaninha (Figura 16), não foram encontrados esses teores nos frutos estudados.

De acordo com Silva (1999), o teor de $93,54 \text{ mg kg}^{-1}$ de Mn nas folhas é suficiente para o adequado suprimento às plantas, sem acarretar níveis fitotóxicos.

O Cu foi encontrado em diversas plantas e em várias partes das mesmas como, por exemplo, na raiz do milho (Figura 4), no caule do milho e feijão (Figuras

4 e 13), na folha do milho e arueira (Figuras 4 e 8) e no fruto do capim buffel, seriguela e feijão (Figuras 3, 7 e 13). Apenas no milho o Cu concentrou-se mais nas raízes e foi diminuindo ao longo das outras partes (Figura 4), confirmando o comportamento observado por outros autores, em que a baixa absorção de Cu pela planta pode ser atribuída à alta afinidade do metal com a matéria orgânica do tecido da raiz. A grande diferença entre as concentrações de Cu da parte aérea e da raiz sugere que a planta possui um mecanismo que reduz a difusão do cátion pelo interior dos tecidos, protegendo-a da intoxicação. Devido a essa característica de acumular Cu na raiz, talvez este seja o tecido vegetal mais indicado para avaliar o grau de contaminação do solo por este metal (MARSOLA *et al.*, 2005). Os resultados obtidos para as demais plantas avaliadas não expressaram de forma clara a distribuição do metal nas mesmas, não confirmando os resultados obtidos por outros autores.

O Cu não atingiu níveis de fitotoxicidade em nenhuma das partes das plantas avaliadas. O teor máximo observado foi de 3 mg kg^{-1} na raiz do milho (Figura 4). Segundo Marschner (1995), os teores de Cu considerados fitotóxicos são de 20 a 30 mg kg^{-1} na matéria seca das folhas.

Nas culturas estudadas o Cr foi encontrado na raiz, caule, folha e fruto do capim buffel (Figura 3), na raiz, caule e folha do milho (Figura 4) e nas folhas da aroeira (Figura 8), onde foi observada concentração maior que 33 mg kg^{-1} , demonstrando sua translocação no interior das plantas e deposição nas folhas. O valor observado na aroeira está bem acima dos encontrados por Malavolta (1976), que citou valores máximos de Cr na matéria seca variando de 3,9 a $14,8 \text{ mg kg}^{-1}$, entretanto sem mencionar níveis fitotóxicos. Para as demais culturas foram observados valores próximos dos encontrados por Ritter & Eastburn (1978), após aplicarem lodo de esgoto em um solo franco-siltoso, quando constataram concentrações de Cr menores que $1,0 \text{ mg kg}^{-1}$ nos grãos e entre 1,0 e $2,0 \text{ mg kg}^{-1}$ nos colmos de milho.

O Ti ainda está longe de ser aceito como um elemento essencial para as plantas (WILD & JONES, 1988), mas existem alguns relatos de seus efeitos benéficos sobre a produção de várias culturas. Embora pouca atenção tenha sido dada à absorção de Ti pelas plantas, esse elemento é considerado relativamente pouco disponível para as plantas e não é facilmente móvel nelas (SIMONETE *et al.*, 2001).

O teor de Ti em plantas tem uma variação bastante considerável, na faixa de 0,15 a 80 mg kg⁻¹. Wallace *et al.* (1977) observaram sintomas de toxicidade por Ti, na forma de manchas necróticas e cloróticas em folhas de feijão que continham concentração de cerca de 200 mg kg⁻¹.

Pode-se observar neste trabalho que os maior teores de Ti foram de encontrados nas raízes do capim buffel (Figura 3), do milho (Figura 4) e do pinhão-branco (Figura 6), com valores de 22, 19, 18 mg kg⁻¹, respectivamente.

Distribuição de freqüência dos teores de metais pesados na planta

Cromo

Embora o Cr tenha sido encontrado na raiz, caule, folha e fruto, aproximadamente 90% das 102 amostras analisadas encontraram-se abaixo do limite de detecção (<LD), com exceção do metal no fruto, em que esta porcentagem caiu para aproximadamente 83% (Figura 19). Os maiores teores foram observados nas folhas e no fruto (Tabela 2).

Cobre

Com relação ao Cu, os maiores teores médios foram observados no caule e fruto (Tabela 2), apesar de cerca de 85% a 95% dos dados obtidos terem sido menores que LD (Figura 20). Isso difere das observações de Graham (1981), que comparou os resultados de diferentes estudos efetuados sobre a absorção de Cu em plantas, encontrando teores mais elevados nas raízes e afirmando que os teores de Cu são os mais baixos dentre os elementos essenciais. O valor sugerido pela FAO/WHO para ingestão diária é de 0,5 mg kg⁻¹ de peso corporal.

Os teores de Cu encontrados na folha das plantas foram inferiores àqueles considerados adequados (6-20 mg kg⁻¹) por Malavolta *et al.* (1989) e Raij *et al.* (1996). A baixa absorção de Cu pela planta também foi observada por Sloan *et al.* (1997) em folhas de alface (*Lactuca sativa* L.), cultivada em solo contaminado com Cu. A baixa absorção de Cu pela planta pode ser atribuída à alta afinidade do metal com a matéria orgânica do tecido da raiz.

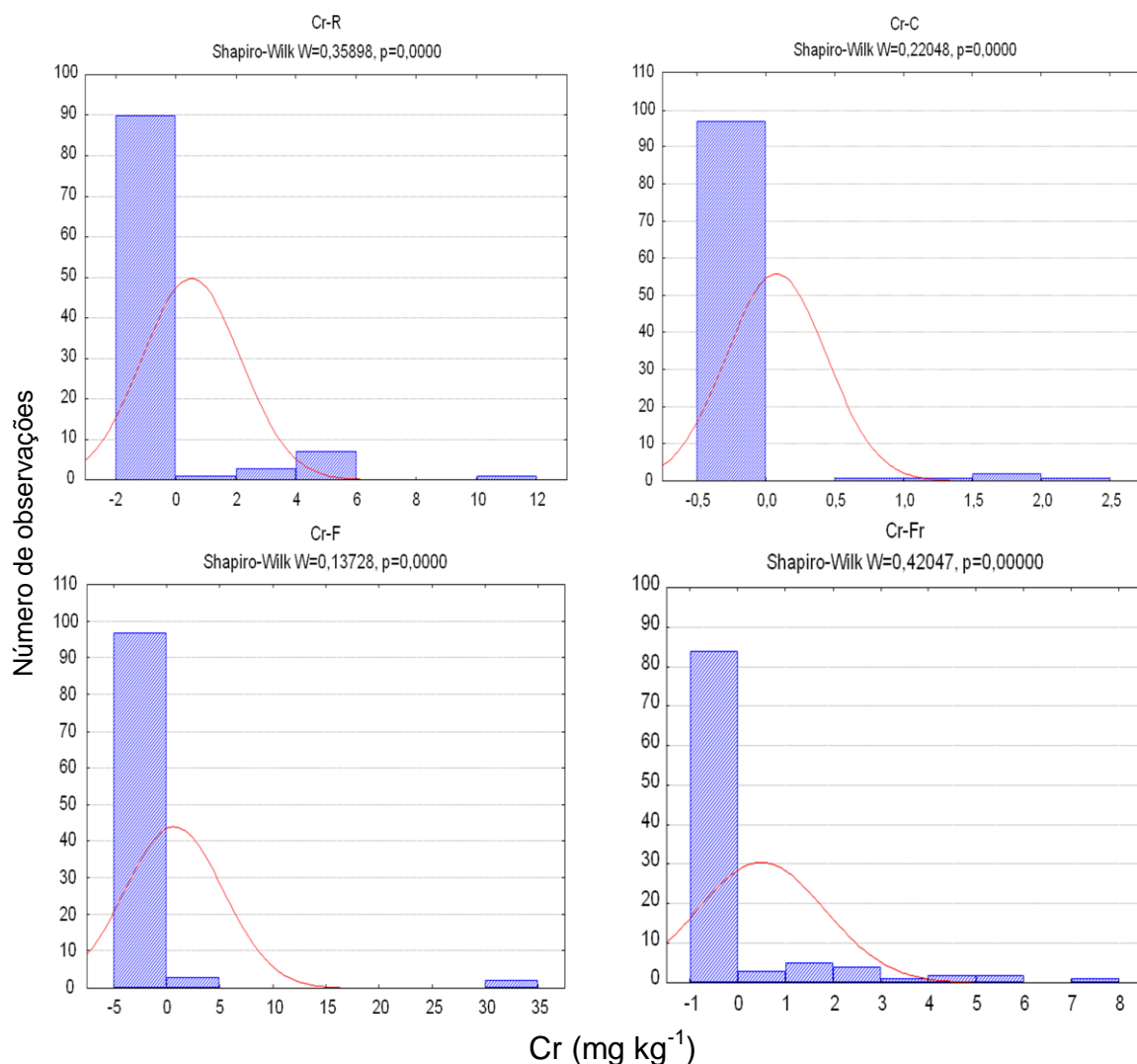


Figura 19. Distribuição de freqüência para teores de Cr na raiz, caule, folha e fruto de plantas nativas e cultivadas em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. Cr-R = cromo na raiz; Cr-C = cromo no caule; Cr-F = cromo na folha e Cr-Fr = cromo no fruto.

Segundo Kabata-Pendias & Pendias (2001), o Cu, por apresentar mobilidade relativamente baixa em comparação com outros elementos em plantas, a maior parte desse metal parece permanecer na raiz e tecidos foliares até que a planta senesce, sendo que apenas pequenas quantidades podem mover-se para órgãos jovens; portanto, estes órgãos são geralmente os primeiros a desenvolver sintomas de deficiência de Cu, diferindo do observado neste trabalho, onde os maiores valores foram observados nos caules e frutos (Tabela 2).

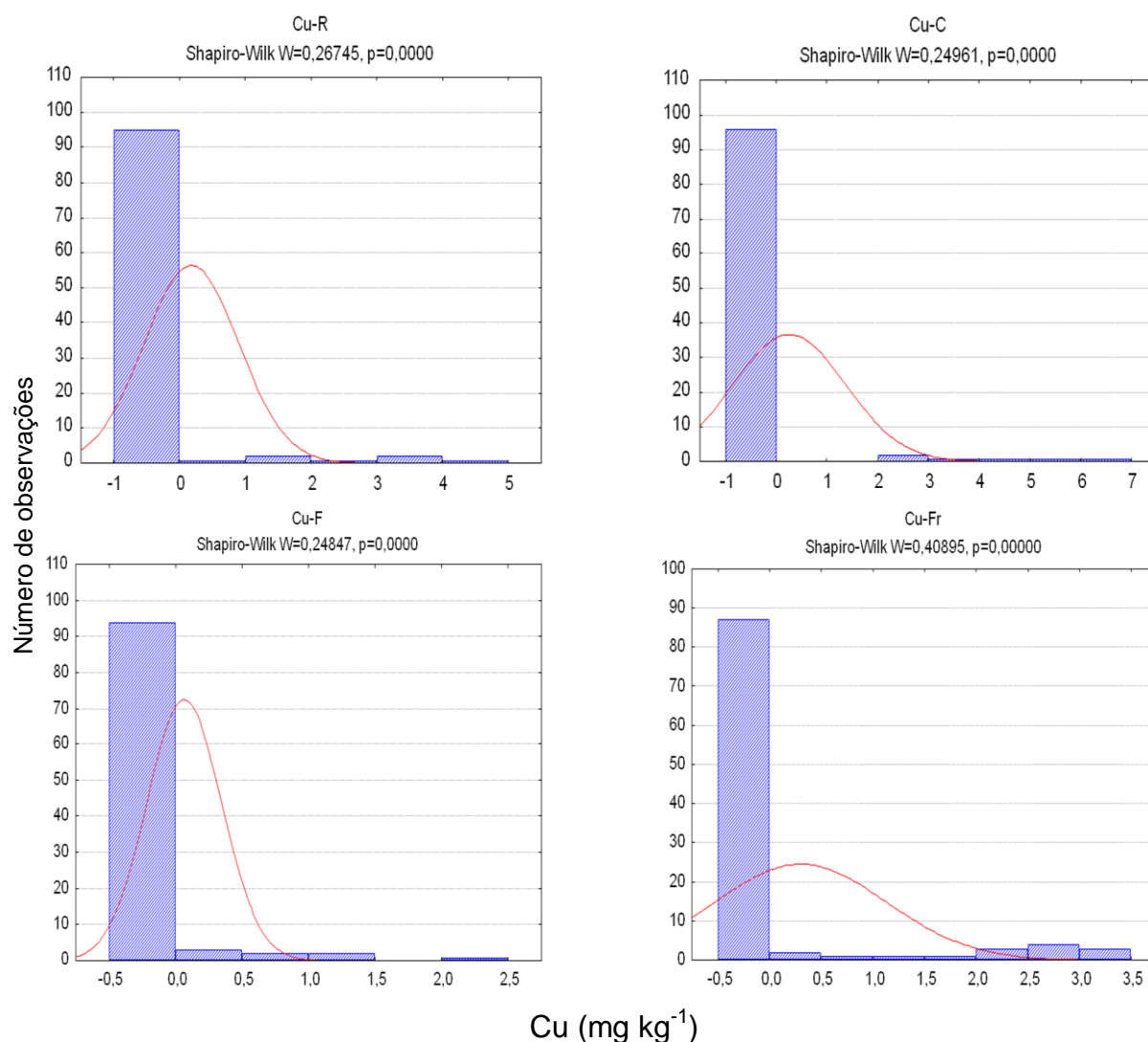


Figura 20. Distribuição de freqüência para teores de Cu na raiz, caule, folha e fruto de plantas nativas e cultivadas em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. Cu-R = cobre na raiz; Cu-C = cobre no caule; Cu-F = cobre na folha e Cu-Fr = cobre no fruto.

Ferro

Devido à sua abundância no solo, o Fe foi o elemento em maior concentração nas plantas estudadas, com valores médios de 673,3, 319,5, 118,6 e 53,7 mg kg⁻¹, nas raízes, folhas, caule e fruto respectivamente (Tabela 2). Pode-se observar que 77% das amostras de raízes apresentaram concentrações menores que 1000 mg kg⁻¹, 89% das amostras de caule até 200 mg kg⁻¹, 74% das amostras de folhas até 400 mg kg⁻¹ e 76% das amostras de frutos até 50 mg kg⁻¹.

(Figura 21). Os valores sugeridos para ingestão média diária de ferro é de 17 mg dia⁻¹ para homens e 9-12 mg dia⁻¹ para mulheres (FAO/WHO, 2011).

A concentração de Fe nas folhas variou na faixa de <LD a 1.493,7 mg kg⁻¹, considerado normal por Bucher e Schenk (2000). O maior acúmulo de Fe e da maioria dos metais ocorreu nas raízes, mostrando serem elas o principal órgão vegetativo acumulador de metais pesados (McBRIDE, 1994).

A exigência nutricional de animais de pasto geralmente encontra-se na faixa de concentração de Fe de cerca de 50 a 100 mg kg⁻¹, na forragem. Partes comestíveis de vegetais parecem conter quantidades bastante semelhantes de Fe, variando de 29 a 130 mg kg⁻¹ (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 2001).

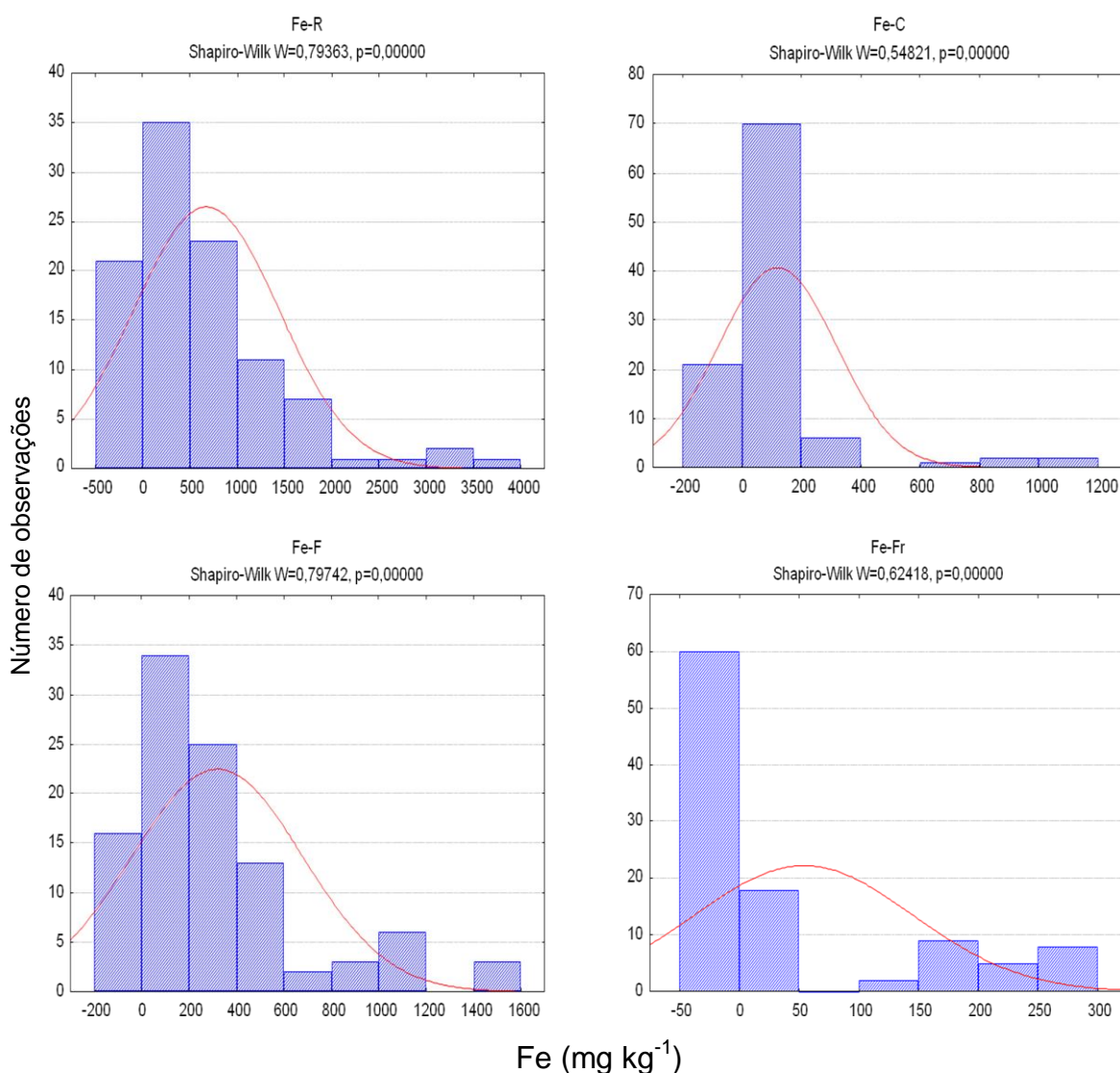


Figura 21. Distribuição de freqüência para teores de Fe na raiz, caule, folha e fruto de plantas nativas e cultivadas em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. Fe-R = ferro na raiz; Fe-C = ferro no caule; Fe-F = ferro na folha e Fe-Fr = ferro no fruto.

Manganês

Das 102 amostras analisadas, 91% das de folhas apresentaram teores até 100 mg kg^{-1} , 89% das de raízes até 50 mg kg^{-1} e aproximadamente 80% das de caule até 40 mg kg^{-1} (Figura 22).

Uma variação relativamente pequena tem sido observada no teor de Mn em grãos de cereais em todo o mundo, na média de 15 a 80 mg kg^{-1} (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 2001). O nível crítico de deficiência Mn nos tecidos das plantas variam de 15 a 25 mg kg^{-1} , considerando todos os órgãos, enquanto que a concentração tóxica de Mn para as plantas é mais variável, dependendo tanto da planta e de fatores do solo. Geralmente, a maioria das plantas são afetadas por um teor de Mn em torno de 500 mg kg^{-1} (DMOWSKI & KAROLEWSKI, 1979), valor este bem mais elevado do que os obtidos neste trabalho.

Chumbo

O teor de Pb nas raízes e caule das plantas estudadas foram inferiores a $5,0 \text{ mg kg}^{-1}$ (Tabela 2). Considerando os níveis fitotóxicos de 30 a 300 mg kg^{-1} , adotado por Kabata-Pendias & Pendias (2001), esse elemento não causaria problemas às plantas, sendo também mais baixo do que os encontrados por Alloway (1990) e Cannon (1976) para plantas cultivadas em áreas não contaminadas, variando de 0,1 a 10 mg kg^{-1} e média de 2 mg kg^{-1} ; no entanto, os teores observados podem ser considerados altos, pois FAO/WHO (2011) sugere limites de Pb de $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$, para frutas tropicais, hortaliças, bulbos, raízes e tubérculos e $0,3 \text{ mg kg}^{-1}$ para folhas quando consumidas por seres humanos.

Não foram encontrados teores relevantes de Pb nas folhas e nos frutos, demonstrando a capacidade que as plantas tem em armazenar Pb nas raízes, não o transportando para a parte aérea.

Das 102 amostras analisadas das raízes, apenas aproximadamente 27% encontraram-se acima dos teores de detecção, enquanto que nas demais partes das plantas acima de 97% das amostras apresentaram teores nulos (Figura 23).

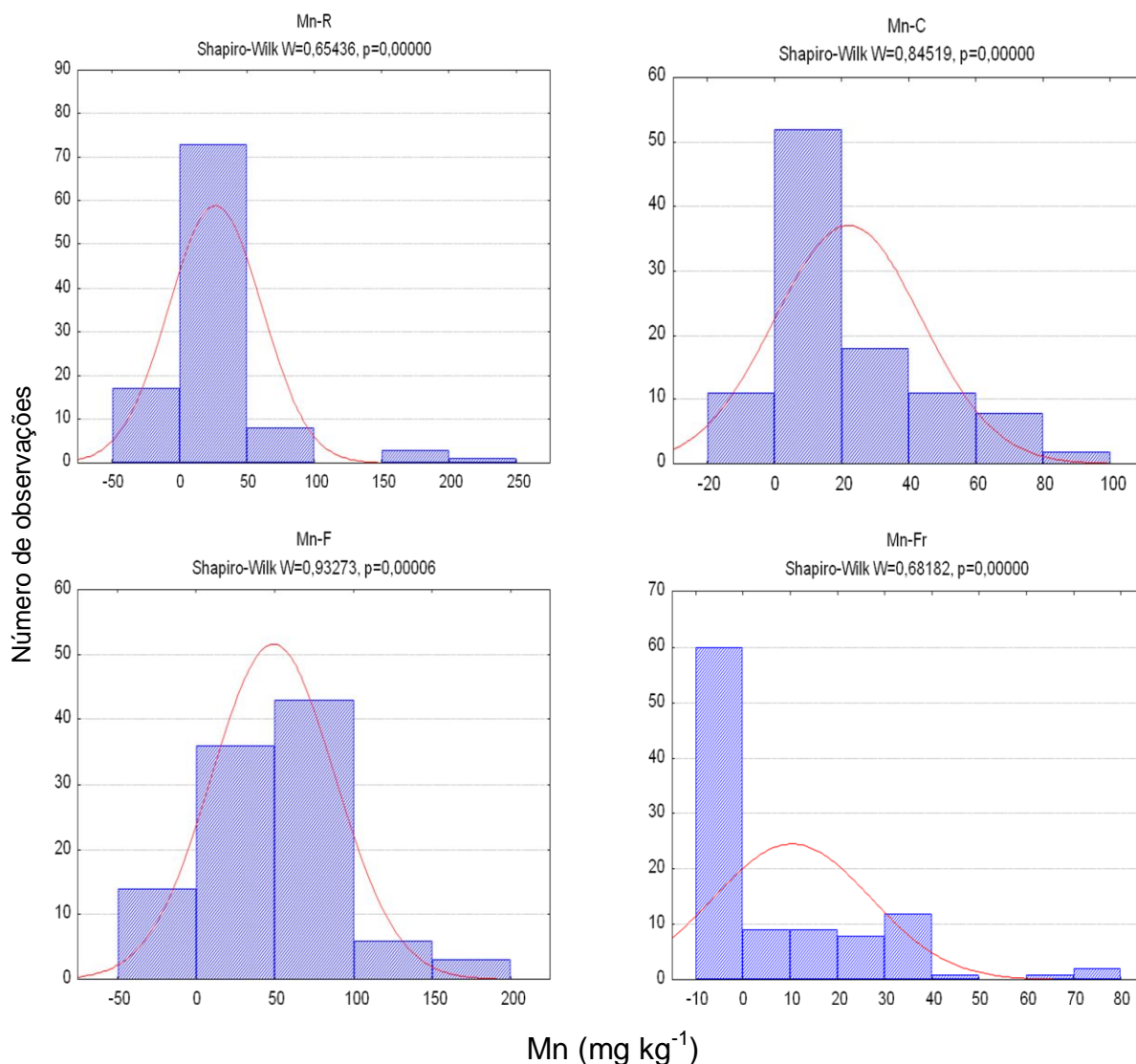


Figura 22. Distribuição de freqüência para teores de Mn na raiz, caule, folha e fruto de plantas nativas e cultivadas em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. Mn-R = manganês na raiz; Mn-C = manganês no caule; Mn-F = manganês na folha e Mn-Fr = manganês no fruto.

Quando o Pb está presente em formas solúveis em soluções nutritivas as raízes das plantas são capazes de absorver uma grande quantidade desse metal.

Para Kabata-Pendias & Pendias (2001), apenas 3% do Pb da raiz são translocados para a parte aérea; no presente trabalho esse valor não chegou a 0,5%.

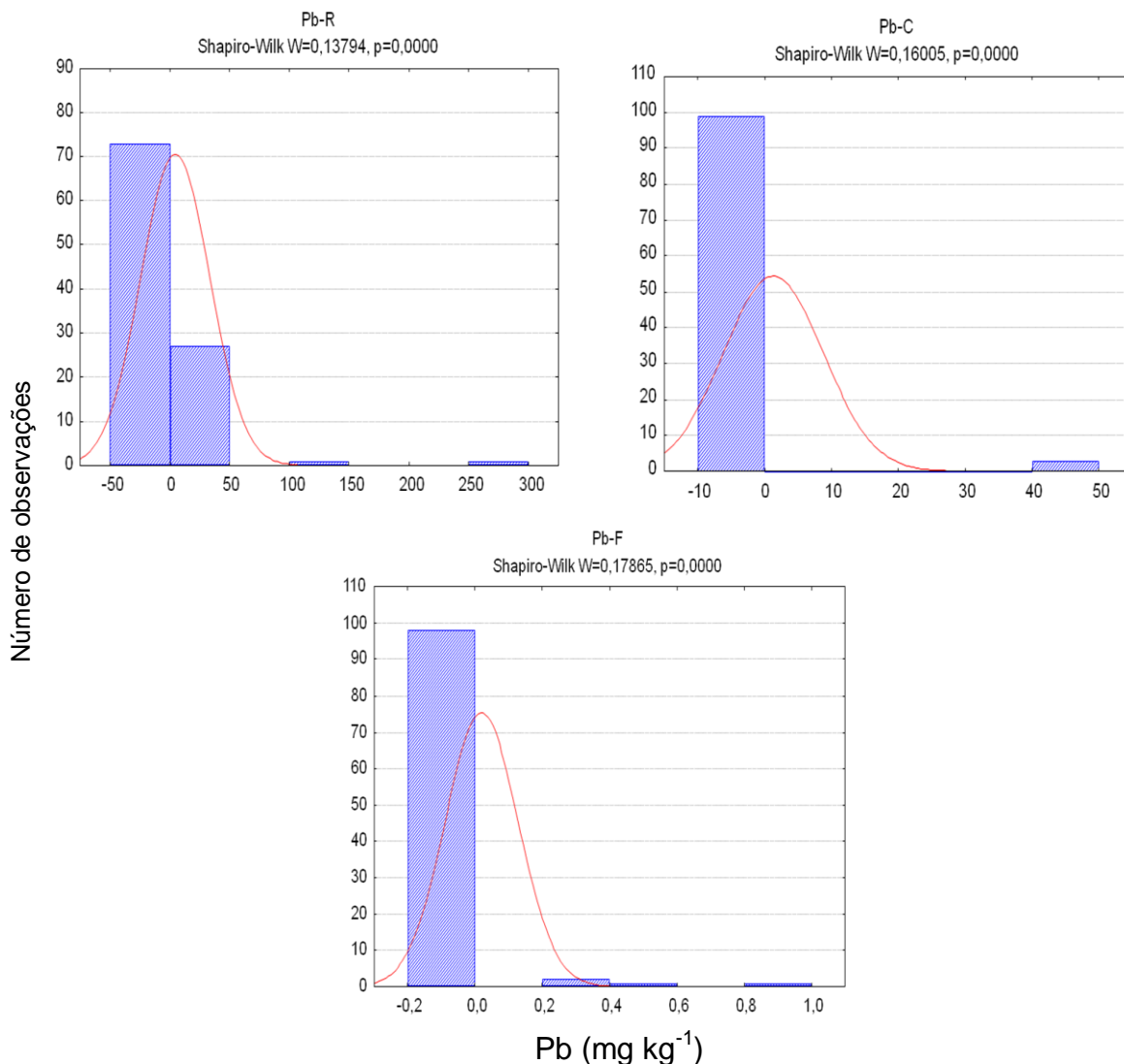


Figura 23. Distribuição de frequência para teores de Pb na raiz, caule e folha de plantas nativas e cultivadas em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. Pb-R = chumbo na raiz; Pb-C = chumbo no caule; Pb-F = chumbo na folha e Pb-Fr = chumbo no fruto.

Zinco

O Zn foi o segundo elemento encontrado em maior concentração nas plantas avaliadas (Tabela 2). Alguns autores consideram o Zn como altamente móvel nas plantas, enquanto outros o consideram ter mobilidade intermediária, distribuindo-se por todas as partes das plantas. O Zn é considerado um metal de fitotoxidez baixa a moderada, sendo que a maioria das espécies estudadas é afetada por concentrações no tecido que variam de 100 a 400 mg kg⁻¹ (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 2001).

Nas plantas analisadas foi no caule que o Zn apresentou-se em maior concentração média ($43,6 \text{ mg kg}^{-1}$), vindo em seguida a folha ($34,1 \text{ mg kg}^{-1}$), a raiz ($31,8 \text{ mg kg}^{-1}$) e o fruto ($22,3 \text{ mg kg}^{-1}$). Isso mostra o transporte de Zn na planta (MALAVOLTA, 1994; BERTON, 2000), evidenciada pela capacidade de acúmulo desse metal em órgãos vegetativos (Tabela 2).

Das 102 amostras analisadas, cerca de 71% das de raízes encontraram-se até 100 mg kg^{-1} , 71% das de caules até 50 mg kg^{-1} , 66% das de folhas até 40 mg kg^{-1} e 71% das de frutos até 20 mg kg^{-1} (Figura 24). As raízes muitas vezes contêm mais Zn do que a parte aérea, particularmente se as plantas são cultivadas em solos ricos em Zn. Em níveis baixo de Zn no solo, esse elemento pode ser translocado das raízes e acumulado na parte aérea (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 2001).

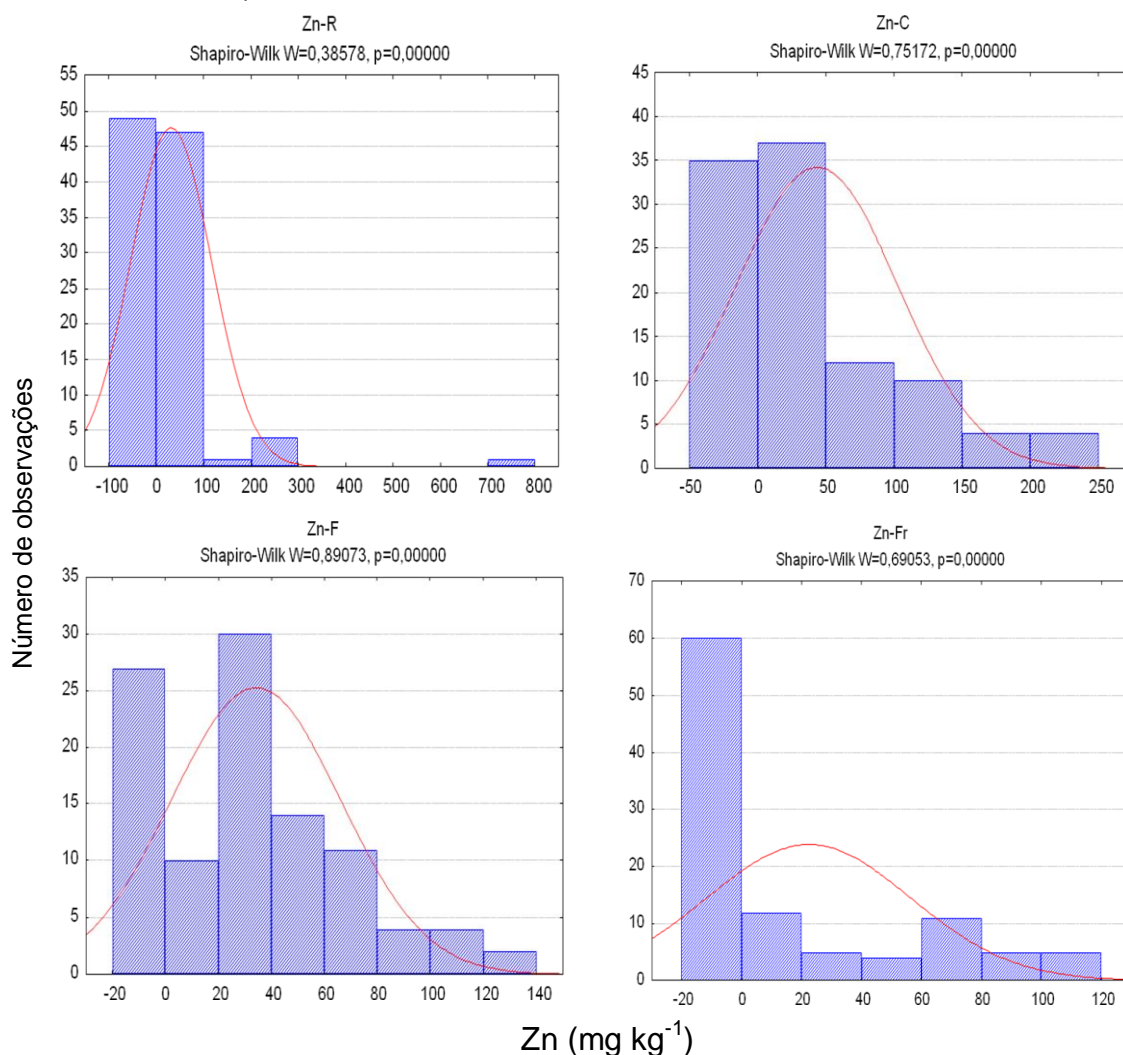


Figura 24. Distribuição de freqüência para teores de Zn na raiz, caule, folha e fruto de plantas nativas e cultivadas em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. Zn-R = zinco na raiz; Zn-C = zinco no caule; Zn-F = zinco na folha e Zn-Fr = zinco no fruto.

O teor médio de Zn observado na folha das plantas avaliadas (Tabela 2) situou-se no intervalo de 15-100 mg kg⁻¹ considerado adequado por Raij *et al.* (1996), e de 15-50 mg kg⁻¹ proposto por Malavolta *et al.* (1989).

Titânio

Como pode ser visto na tabela 2, o Ti não foi detectado no fruto, sendo o maior teor encontrado nas raízes (5,9 mg kg⁻¹), seguido das folhas (1,2 mg kg⁻¹) e caules (0,3 mg kg⁻¹). A raiz foi a parte da planta que apresentou maior amplitude de teores, com 59% das amostras apresentando teores nulos, enquanto que para folha e caule essa percentagem aumentou para 96% e 86% respectivamente (Figura 25).

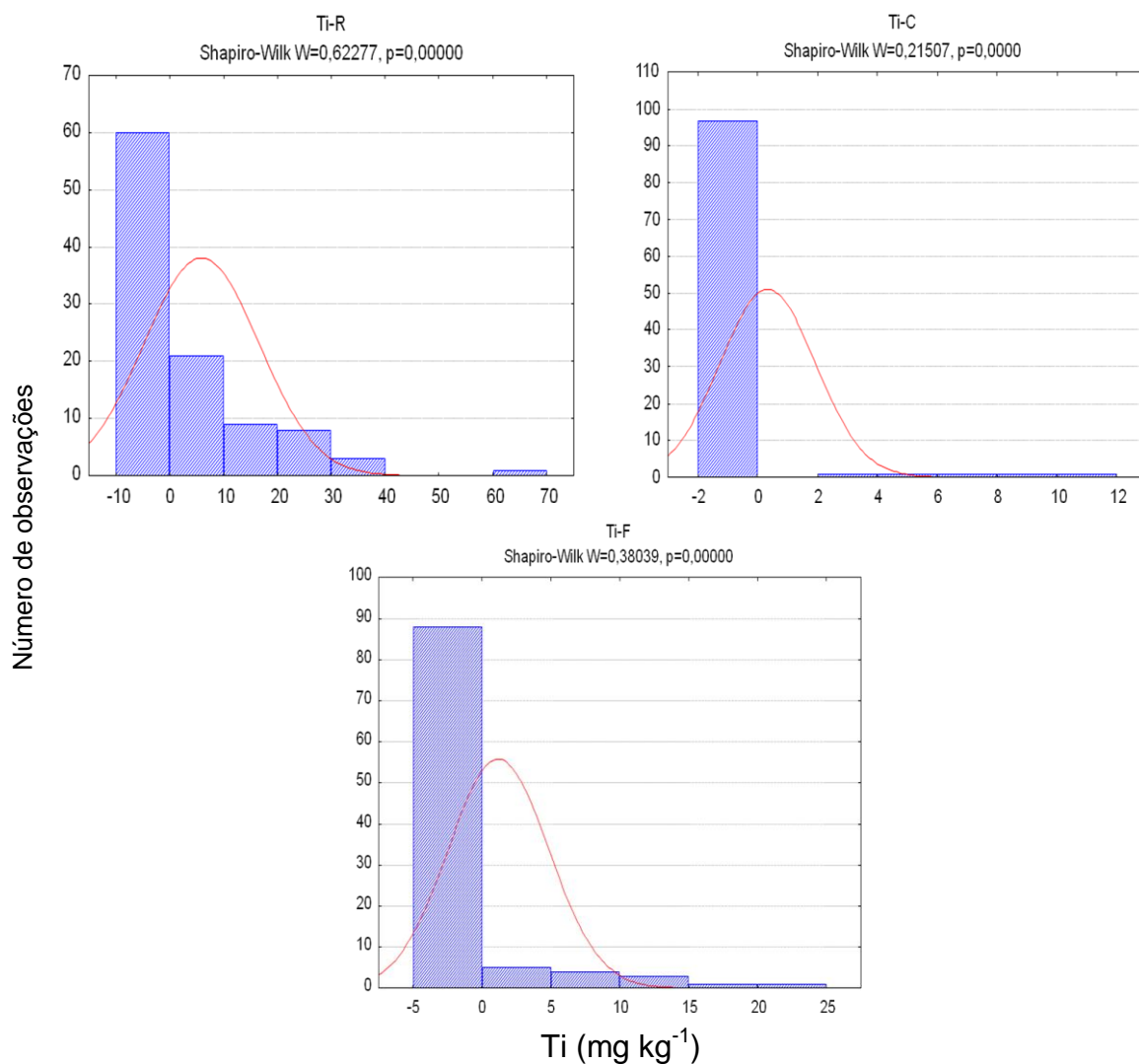


Figura 25. Distribuição de freqüência para teores de Ti na raiz, caule e folha de plantas nativas e cultivadas em área de influência de um gossan no Município de Lapão, Platô de Irecê-BA. Ti-R = cromo na raiz; Ti-C = cromo no caule; e Ti-F = cromo na folha.

Correlação entre teores de metais pesados nas diferentes partes das plantas e no solo

O estudo de correlação linear foi aplicado para verificar as relações entre teores de metais nas diferentes partes das plantas e no solo. Conforme já abordado, foi utilizada a correlação de Spearman devido ao fato de que os dados obtidos para planta e solo não seguiram a distribuição normal.

Destacou-se o coeficiente de correlação positivo significativo entre chumbo na raiz e no solo, e negativo e significativo no caso do chumbo no caule e folha, indicando que o teor de Pb na raiz aumentou com o seu aumento no solo, concentrando-se na raiz (Tabela 3). Semelhante comportamento ocorreu em relação ao Cu, no caso concentrando-se na raiz e no fruto.

As correlações envolvendo os demais metais pesados não indicam nenhum aspecto que mereça comentário.

Tabela 3. Coeficiente de correlação linear de Spearman entre teores médios de metais pesados nas diferentes partes das plantas e nas duas profundidades de solo avaliadas.

	As	Cd	Pb	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Ti	Zn
Profundidade de 0-0,20 m										
Raiz	-	-	0,369 ⁽¹⁾	-0,111	0,226*	-0,044	-0,158	-	-0,143	-0,186
Caule	-	-	-0,037	-0,210*	0,141	-0,376*	-0,127	-	-0,344*	-0,044
Folha	-	-	-0,148	-0,151	-0,109	-0,288*	0,029	0,014	0,003	-0,161
Fruto	-	-	-	-0,129	0,427*	-0,075	-0,022	-	-	0,009
Profundidade de 0,20-0,40 m										
Raiz	-	-	0,428*	0,022	0,259*	0,032	-0,070	-	-0,167	-0,113
Caule	-	-	-0,032	-0,089	0,177	-0,479*	-0,277*	-	-0,355*	-0,169
Folha	-	-	-0,197*	-0,210*	0,148	-0,233*	0,002	0,158	0,051	-0,093
Fruto	-	-	-	-0,094	0,409*	-0,103	0,006	-	-	0,009

⁽¹⁾ Significativo a 5%.

Sumário interpretativo

Na tabela 4 são apresentados os teores dos metais pesados nas várias partes das plantas na área estudada e sua relação com teores no solo, numa tentativa de sumarizar os resultados e facilitar a sua compreensão, baseando-se

nas tabelas 2 e 3 (Páginas 52 e 73) e também na observação das figuras 2 a 18 (Páginas 53 a 55 e 57 a 62).

Destacou-se a concentração de Pb, Fe e Ti nas raízes de várias das plantas avaliadas. No caso do Pb foi significativo e positivo o coeficiente de correlação entre Pb na raiz e no solo, e negativo e significativo no caso do Pb no caule e folha (Tabela 4), indicando que o teor desse metal na raiz aumentou com o aumento dele no solo, concentrando-se na raiz e indicando um possível mecanismo de proteção das plantas em não translocar o Pb para a parte aérea. Correlação semelhante ocorreu em relação ao Cu, no caso concentrando-se na raiz e no fruto. O Fe, Mn e Zn foram os elementos que apresentaram as maiores concentrações nas partes das plantas estudadas.

O Zn e o Mn foram os metais pesados que se distribuíram em todas as partes das plantas, apresentando teores mais elevados no caule e na folha, possivelmente por não existir, no caso desses metais, barreira semelhante à verificada no caso do Pb.

Tabela 4. Teores médios de metais pesados em diferentes partes de plantas nativas e cultivadas e coeficiente de correlação com os teores no solo na profundidade de 0-0,20 m⁽¹⁾, em um gossan localizado no Município de Lapão, Platô de Irecê, Bahia.

Metal	Raiz		Caule		Folha		Fruto	
	mg kg ⁻¹	r ⁽²⁾	mg kg ⁻¹	r	mg kg ⁻¹	r	mg kg ⁻¹	r
As	<LD ⁽³⁾	-	<LD	-	<LD	-	<LD	-
Cd	<LD	-	<LD	-	<LD	-	<LD	-
Pb	4,4	0,369 ⁽⁴⁾	1,3	-0,037	<LD	-0,148	<LD	-
Cr	0,5	-0,111	0,1	-0,210*	0,7	-0,151	0,5	-0,129
Cu	0,2	0,226*	0,3	0,141	0,1	-0,109	0,3	0,427*
Fe	673,3	-0,044	118,6	-0,376*	319,5	-0,288*	53,7	-0,075
Mn	26,8	-0,1,58	22,0	-0,127	49,2	0,029	10,3	-0,022
Ni	<LD	-	<LD	-	0,2	0,014	<LD	-
Ti	5,9	-0,143	0,3	-0,344*	1,2	0,003	<LD	-
Zn	31,8	-0,186	43,6	-0,044	34,1	-0,161	22,3	0,009

⁽¹⁾Neste caso considerou-se apenas a profundidade de 0-0,20 m, pois os coeficientes de correlação para as duas profundidades foram muito semelhantes entre si (Tabela 3). ⁽²⁾r = coeficiente de correlação linear de Spearman. ⁽³⁾<LD = abaixo do limite de detecção. ⁽⁴⁾* = significativo a 5%.

CONCLUSÕES

1. O As e Cd não foram encontrados nas plantas avaliadas.
2. O Pb, Fe e Ti concentraram-se nas raízes de várias das plantas avaliadas, com ênfase em capim buffel (Pb e Fe), milho (Fe e Ti) e pinhão-branco (Fe e Ti).
3. No caso do Pb, evidenciou-se um mecanismo de proteção das plantas, não o translocando para a parte aérea.
4. O Zn e o Mn distribuíram-se em todas as partes das plantas avaliadas.
5. Os teores de Cu obtidos ficaram bem abaixo dos níveis considerados fitotóxicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLOWAY, B.J. **Heavy metals in soil**. London: Wiley, 1990. 339p.

ANJOS, M.R. dos A.; Mattiazzo, E.M. Metais pesados em plantas de milho cultivadas em Latossolos repetidamente tratados com biossólido **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.57, p.769-776, 2000.

BAHIA. Secretaria da Indústria, Comércio e Mineração. **Mapa de amostragem geoquímica da área alvo Tanquinho-Lapão**: projeto metais-base e fosfato da bacia de Irecê 2ª fase. Salvador: CBPM, 1997. 1 mapa cópia heliográfica. Anexo 8.

BAKER, A.J.M. Accumulators and excluders - strategies in the response of plants to heavy metals. **Journal of Plant Nutrition**, v.3, p.643- 654, 1981.

BATAGLIA, O.C. & RAIJ, B. van. Eficiência de extratores de micronutrientes na análise de solo. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v.13, p.205- 212, 1989.

BECKETT, P.H.T. Critical tissue concentrations as indicators of toxicity. **Suelos Ecuatoriales**, Bogotá, 1991.

- BERTON R.S. Riscos de contaminação do agroecossistema com metais pesados. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. (Ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola de resíduo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p.259-268.
- BORKERT, C.M.; PAVAN, M.C.; BATAGLIA, O.C. Micronutrientes no solo: manganês. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Ed.). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Potafos/CNPq, 1991. cap. 5, p.173-190.
- BOMFIM, L.F.C.; ROCHA, A.J.D.; PEDREIRA, A.J.; MORAIS FILHO, J.C.; GUIMARÃES, J.T.; TESCH, N.A. **Projeto bacia de Irecê** – relatório final, texto. Salvador: CBPM, 1985. v.1, 149p.
- BUCHER, A.S.; SCHENK, M.K. Toxicity level for phytoavailable zinc in compost-peat substrates. **Sci. Hortic.**, Amsterdam, v.23, n.3-4, p.339-352, 2000.
- CANNON, H.L. Lead in vegetation. In: LOVERING, T.G. (Ed.). **Lead in the environment**. 1976. 23p. (U. S. Geol. Surv. Prof. Pap., 957).
- CHANEY, R.L.; MIELKE, H.W.; STERRETT, S.B. Speciation, mobilizers are naturally higher than other soils with anthropicity, and bioavailability of soil lead. In: DAVIES, B.E.; WIXSON, B.G. (Ed.). **Lead in soil: issue and guidelines**. Northwood: 1988. p.105-109.
- CHENEY, M.A.; SWINEHART, J.H. Strategies for separating metals from acid mine waters. **Journal of The American Water Resources Association**, v.53, p.1051-1059. 1998.
- COSTA, C.N.; MEURER, E.J.; BISSANI, C.A.; SELBACH, P.A. Contaminantes e poluentes do solo e do ambiente. In: MEURER, E.J. (Ed.). **Fundamentos de química do solo**. 3.ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008. cap. 8, p. 213-250.
- DECHEN, H.P., HAAG, H.P., CARMELLO, Q.A. Micronutrientes na planta. In: FERREIRA, M.E., CRUZ, M.C.P. (Ed.). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Potafos/CNPq, 1991. cap. 3, p.65-78
- DMOWSKI, K. AND KAROLEWSKI, A., Cumulation of zinc, cadmium and lead in invertebrates and in some vertebrates according to the degree of an area contamination, **Ekol. Pol.**, v.27, p.333, 1979.

FAO/WHO. **Evaluation of certain food additives and contaminants**. Geneva: 2011. (41st Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives).

GOMES, F.P. **A estatística moderna na pesquisa agropecuária**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1984. 160p.

GRAHAM, R.D. Absorption of copper by plant roots. In: LONERAGAN, J.F.; ROBSON, A.D.; GRAHAM, R.D. (Ed.). **Copper in soils and plants**. New York: Academic Press 1981. 141p.

GUILHERME, L.R.G. Poluição do solo e qualidade ambiental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Brasília, 1999. **Anais...** Brasília: SBCS, 1999. 1 CD-ROM.

JONES, L.H.P.; JARVIS, S.C. The fate of heavy metals. In: GREENLAND, D.J.; HAYERS, M.H.B. (Ed.). **The chemistry of soil process**. New York: Wiley, 1981. p.593- 620.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3.ed. Boca Raton: CRC Press, 2001. 413p.

KING, L.D. Soil heavy metals. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES , L.E.F.; FONTES , M.P.F. (Ed.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: UFV/SBCS, 1996. p.823-836.

LAKE, D.L. Sludge disposal to land. In: LESTER, J.N. **Heavy metals in wastewater and sludge treatment process**. Boca Raton: CRC Press, 1987. v.2, p.91-130.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. San Diego: Academic Press, 1995.

MCBRIDE, M.D. **Environmental chemistry of soils**. New York: Oxford University, 1994. 406p.

MARSOLA, T.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. Acumulação de cobre e zinco em tecidos do feijoeiro em relação com o extraído do solo **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.1, p.92-98, 2005.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificação e fatos**. São Paulo: Produquímica, 1994.

- MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola**. São Paulo: Ceres, 1976. 528 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas**: princípios e aplicações. Piracicaba: Potafos, 1989. 201p.
- MARQUES, M.O.; MELO, W.J.; MARQUES, T.A. Metais pesados e o uso de bio-sólido na agricultura. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; ALÉM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. **Biossólidos na agricultura**. 2.ed. São Paulo: ABES/SP, 2002. p.365-403.
- MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E. Uso de resíduos sólidos urbanos na agricultura e impactos ambientais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais....** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997.1 CD-ROM.
- MULCHI, C.L.; ADAMU, C.A.; BELL, P.F.; CHANEY, R.L. Residual heavy metal concentrations in sludge-amended coastal plain soils. I. Comparison of extractants. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, v.22, p.919-41, 1991.
- PAIVA, A. de Q. Ocorrência natural de metais pesados em solos anômalos desenvolvidos ao longo de um gossan no Platô de Irecê, BA. In: PAIVA, A.Q. **Solos carbonático-fosfáticos do Platô de Irecê, BA: gênese, mineralogia e geoquímica**. 2010. 184f., f.110-133. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.
- PODLESÁKOVÁ, E. *et al.* Mobility and bioavailability of trace elements in soils. In: ISKANDAR, I.K.; KIRKHAM, M.B. (Ed.). **Trace elements in soil**: bioavailability, flux, and transfer. Boca Raton: CRC Press, 2001. p.21-41.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; CAMARGO, C.E.O. Cereais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLAN, A.M.C. (Ed.). **Recomendações para adubação e calagem no Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. p.45-49. (Boletim Técnico, 100).
- RITTER, W.F.; EASTBURN, R.P. The uptake of heavy metals from sewage sludge applied to land by corn and soybeans. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.9, p.799-811, 1978.

ROSE, S.; GHAZI, A.M. Experimental study of the stability of metals associated with iron oxyhydroxides precipitated in acid mine drainage. **Atlanta Environ. Geol.**, Berlin, v.36, p.364-370, 1998.

SHAW, A.J. **Heavy metal tolerance in plants: evolutionary aspects**. New York: CRC Press, 1989. 355p.

SHOKES, T.E.; MÖLLER, G. Removal of dissolved heavy metals from acid rock drainage using iron metal. **Environ. Sci. Technol.**, Washington, v.33, p.282- 287, 1999.

SILVA, J.E. *et al.* Alternativa agronômica para o biossólido produzido no Distrito Federal. I – Efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em LATOSSOLO no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.487-495, 2002.

SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos; Embrapa Meio Ambiente, 1999. 370p.

SIMONETE, A.A. **Alterações nas propriedades químicas de um Argissolo adubado com lodo de esgoto e desenvolvimento e acúmulo de nutrientes em plantas de milho**. 2001. 89f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição Vegetal) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

SLOAN, J.J.; DOWDY, R.H.; DOLAN, M.S.; LINDEN, D.R. Long term effects of biosolids applications on heavy metal bioavailability in agricultural soils. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.26, p.966-974, 1997.

TSUTIYA, M.T. Metais pesados: o principal fator limitante para o uso agrícola de biossólidos das estações de tratamento de esgotos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., Rio de Janeiro, 1999. **Anais...** Rio de Janeiro, 1999. p.753-761.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **Method 3051a – Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils**. 1998. Revision 1 Fev 2007. 30p. Disponível em: <<http://www.epa.gov/epawaste/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3051a.pdf>> Acesso em: 14 de março de 2012.

WALLACE, A., ALEXANDER, G.V.; CHAUDHRY, F.M. Phytotoxicity of cobalt, vanadium, titanium, silver and chromium, **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, v.8, p.751, 1977.

WEBBER, M.D.; KLOKE, A.; JELL, J.C. A review of current sludge use guidelines for the control of heavy metal contamination in soils. In: L'HERMITE, P.; OTT, H. (Ed.). **Processing and use of sewage sludge**. 3.ed. Dordrecht: Reidel, 1984. p.371-386.

WILD, A.; JONES, L.H.P. Mineral nutrition of crop plants. In: WILD, A. (Ed.). **Russell's soil conditions and plant growth**. Harlow, Essex: Longman Sci. Techn. Publ., 1988. 69p.

YARON, B. *et al.* **Soil pollution process and dynamics**. Berlin: Springer Verlag, 1996.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No gossan e na área de influência avaliada foram observados teores totais máximos de As, Pb e Zn no solo acima dos valores de investigação propostos pela legislação ambiental brasileira (CONAMA, 2009), podendo levar ao comprometimento da qualidade do solo e apresentar riscos potenciais para o homem e para o meio ambiente. De forma menos preocupante, os teores totais de As, Pb, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn e Ti foram maiores para solos no centro do gossan, indicando que não ocorreu uma redistribuição lateral do material na área estudada.

A maior concentração de metais pesados em dois pontos do gossan, no centro das transecções 2 e 3 (Tabela 2), permite supor serem os locais onde pode ter ocorrido maior afloramento da anomalia, sugerindo a execução de trabalhos posteriores visando coletar amostras de solo em maiores profundidades, para elucidar se a anomalia ocorre também no centro das demais transecções, mas em maiores profundidades.

A aplicação de ferramentas da geoestatística aos dados obtidos, a qual leva em consideração não apenas a variância das amostras em diferentes locais, mas também a distância entre as observações, ou seja, sua localização geográfica e dependência espacial, pode resultar em maior compreensão em relação à variabilidade de metais pesados na região estudada, inclusive quanto à definição do esquema de amostragem mais recomendado para sua detecção.

Embora os metais não se tenham irradiado por toda a área estudada, de forma a causar toxidez às plantas e passar para a cadeia alimentar, foram observados teores acima dos valores de investigação considerados pela legislação ambiental brasileira para o Pb, Zn e As no centro do gossan, sugerindo que eles devem ser mais estudados.

No estudo dos metais pesados nas plantas que se encontravam no gossan e nas suas proximidades observou-se que, embora tenham sido encontrados teores de As e Ni no solo da área de estudo, os mesmos não foram absorvidos pelas as plantas, sugerindo a realização de estudos complementares.

O fato de que os metais estudados comportaram-se de forma semelhante nas duas profundidades avaliadas facilitaria o seu monitoramento, que poderia restringir-se a apenas uma das camadas.

ANEXOS

Tabela 1 A. Teores de metais pesados (mg kg^{-1}) no solo, na profundidade de 0-0,20 m, determinados por espectrometria de emissão óptica com plasma de argônio indutivamente acoplado (ICP OES).

Profundidade	Posição	Coordenadas (x)/(y)		Rep.	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Ti
0-20	1	185904	8736310	1	.	0,00	21,45	0,00	12706,55	168,83	0,00	44,89	126,64	165,70
0-20	1			2	1,75	0,00	23,49	0,00	13107,59	171,42	0,00	45,97	138,78	159,64
0-20	1			3	0,29	0,00	23,37	0,00	13033,78	174,68	0,00	46,45	140,72	167,26
0-20	11N	185904	8736335	1	1,72	0,00	17,61	0,00	11747,19	160,25	0,00	34,08	123,86	140,24
0-20	11N			2	1,72	0,00	18,20	0,00	11459,63	162,64	0,00	36,54	132,73	134,46
0-20	11N			3	1,69	0,00	15,11	0,00	9977,95	145,08	0,00	32,18	118,64	123,24
0-20	12N	185904	8736360	1	5,07	0,00	12,75	0,00	11251,48	331,02	0,00	37,17	104,23	123,86
0-20	12N			2	5,95	0,00	15,05	0,00	11481,58	344,64	0,00	41,95	117,15	115,20
0-20	12N			3	6,49	0,00	13,98	0,00	11531,34	345,18	0,00	38,30	110,07	135,37
0-20	13N	185904	8736410	1	1,12	0,00	.	0,00	11330,01	497,08	0,00	32,75	107,91	112,07
0-20	13N			2	1,15	0,00	5,24	0,00	7759,55	331,12	0,00	29,00	77,49	93,89
0-20	13N			3	1,38	0,00	7,37	0,00	8143,65	348,52	0,00	32,59	85,77	98,52
0-20	14N	185904	8736510	1	5,63	0,00	11,59	0,00	9264,12	363,15	0,00	34,72	114,25	105,08
0-20	14N			2	4,37	0,00	11,50	0,00	9196,91	338,94	0,00	34,13	110,54	117,23
0-20	14N			3	5,13	0,00	10,28	0,00	8874,03	339,55	0,00	36,60	102,86	108,45
0-20	15N	185904	8736710	1	3,61	0,00	6,79	1,92	9099,55	326,87	0,00	49,38	99,20	.
0-20	15N			2	5,25	0,00	5,13	1,82	8891,48	304,55	0,00	21,78	138,64	68,10
0-20	15N			3	3,86	0,00	6,09	2,12	8277,41	289,10	0,00	.	126,99	61,03
0-20	11S	185904	8736285	1	2,26	0,00	11,05	0,00	8765,79	214,92	0,00	25,28	84,45	97,41
0-20	11S			2	2,29	0,00	16,40	0,00	10987,05	253,49	0,00	27,87	111,38	102,70
0-20	11S			3	2,13	0,00	11,89	0,00	9440,30	213,78	0,00	24,22	89,63	92,42
0-20	12S	185904	8736260	1	3,37	0,00	9,40	0,00	9766,88	297,73	0,00	18,88	91,73	99,47
0-20	12S			2	8,22	0,00	14,08	0,00	10986,79	333,92	0,00	22,95	115,58	121,52

Tabela 1 A. Continuação.

Profundidade	Posição	Coordenadas (x)/(y)		Rep.	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Ti
0-20	12S			3	5,94	0,00	14,55	0,00	11606,37	363,25	0,00	28,18	117,47	156,11
0-20	13S	185904	8736210	1	3,95	0,00	.	0,00	9075,79	268,48	0,00	13,13	71,81	86,17
0-20	13S			2	7,67	0,00	14,67	0,00	11399,15	372,85	0,00	22,49	100,83	119,69
0-20	13S			3	10,08	0,00	16,31	0,00	12427,26	421,70	0,00	21,91	108,84	125,08
0-20	14S	185904	8736110	1	0,48	0,00	3,87	0,00	6000,19	141,51	0,00	9,82	54,01	67,26
0-20	14S			2	1,37	0,00	5,05	0,00	6623,18	161,92	0,00	11,94	62,55	74,96
0-20	14S			3	5,21	0,00	.	0,00	8286,07	216,89	0,00	23,82	.	96,47
0-20	15S	185904	8735910	1	1,39	0,00	0,68	0,00	4824,59	120,93	0,00	1,45	20,43	47,71
0-20	15S			2	3,14	0,00	0,74	0,00	6723,26	164,84	0,00	3,32	37,17	58,73
0-20	15S			3	1,26	0,00	0,60	0,00	5094,23	126,14	0,00	3,12	26,16	46,81
0-20	2	186904	8736310	1	16,14	0,00	68,81	13,55	17520,13	508,71	18,00	.	265,82	350,97
0-20	2			2	14,10	0,00	60,54	12,55	16040,85	459,15	16,17	.	212,67	324,16
0-20	2			3	14,62	0,00	65,16	12,66	16403,47	478,95	16,48	1,74	243,81	324,49
0-20	21N	186904	8736335	1	12,84	0,00	58,30	8,36	17260,34	431,07	15,73	9,58	241,69	264,96
0-20	21N			2	14,96	0,00	65,55	11,73	17119,17	479,84	17,10	2,66	233,98	323,20
0-20	21N			3	12,21	0,00	58,93	10,94	16137,20	449,25	15,64	.	218,08	292,48
0-20	22N	186904	8736360	1	14,86	0,00	85,22	17,03	24077,90	988,65	23,06	27,44	336,90	353,46
0-20	22N			2	12,91	0,00	75,12	17,13	21693,05	887,91	19,51	26,85	285,13	325,93
0-20	22N			3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
0-20	23N	186904	8736410	1	19,34	0,00	92,54	22,10	23848,45	1010,26	24,43	22,03	331,82	425,74
0-20	23N			2	16,71	0,00	89,74	19,43	23800,26	987,58	23,16	.	365,18	425,66
0-20	23N			3	18,46	0,00	92,88	19,72	24319,42	1057,64	24,34	.	334,51	443,25
0-20	24N	186904	8736510	1	19,18	0,00	91,14	22,04	24586,95	937,38	24,25	.	338,92	426,55
0-20	24N			2	15,85	0,00	75,13	18,20	22829,59	779,42	19,93	.	281,40	383,49

Tabela 1 A. Continuação.

Profundidade	Posição	Coordenadas (x)/(y)		Rep.	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Ti
0-20	24N			3	16,92	0,00	80,00	20,99	22446,76	829,87	20,97	6,48	319,47	412,41
0-20	25N	186904	8736710	1	.	0,00	.	0,00	22283,12	838,45	.	.	337,11	306,26
0-20	25N			2	14,55	0,00	39,31	0,00	21704,41	533,11	0,00	.	263,25	.
0-20	25N			3	16,64	0,00	43,29	0,00	24080,87	630,07	0,00	9,75	316,13	233,42
0-20	21S	186904	8736285	1	9,16	0,00	56,76	0,00	27895,53	438,71	2,30	50,08	271,94	321,50
0-20	21S			2	8,47	0,00	53,77	0,00	24871,86	383,24	0,99	44,11	237,10	288,61
0-20	21S			3	7,64	0,00	45,64	0,00	23150,01	336,64	.	42,31	218,96	272,62
0-20	22S	186904	8736260	1	10,63	0,00	58,95	0,00	25977,88	405,30	2,24	49,08	252,20	330,53
0-20	22S			2	7,64	0,00	54,19	0,00	24511,02	353,03	.	44,22	221,74	314,76
0-20	22S			3	11,65	0,00	66,75	0,00	28758,94	470,03	4,66	57,01	306,88	345,61
0-20	23S	186904	8736210	1	11,05	0,00	.	0,00	.	558,53	6,64	57,04	255,81	331,80
0-20	23S			2	5,85	0,00	52,91	0,00	24921,84	444,44	.	53,31	231,53	289,68
0-20	23S			3	6,36	0,00	56,64	0,00	25381,02	461,21	1,25	55,63	204,59	350,62
0-20	24S	186904	8736110	1	7,23	0,00	53,55	0,00	24790,49	466,26	.	47,58	174,85	294,82
0-20	24S			2	6,82	0,00	49,22	0,00	23495,13	429,92	0,00	46,74	152,80	312,24
0-20	24S			3	6,26	0,00	46,28	0,00	21032,46	390,47	0,00	48,02	149,39	283,92
0-20	25S	186904	8735910	1	4,07	0,00	28,60	0,00	15454,69	333,09	0,00	34,55	84,49	196,25
0-20	25S			2	4,84	0,00	37,96	0,00	18763,49	411,54	0,00	42,26	104,79	267,12
0-20	25S			3	5,20	0,00	34,41	0,00	19044,71	419,67	0,00	35,81	97,70	214,29
0-20	3	187904	8736310	1	81,75	0,00	131,49	35,99	27772,20	817,98	24,16	561,71	925,09	430,76
0-20	3			2	78,57	0,00	122,37	34,05	27508,98	738,98	22,17	537,04	859,90	399,66
0-20	3			3	76,84	0,00	123,89	34,02	27235,19	758,55	21,81	534,74	842,10	382,81
0-20	31N	187904	8736335	1	22,59	0,00	79,61	19,30	20888,57	1253,45	22,14	403,17	537,31	359,01
0-20	31N			2	22,72	0,00	77,64	22,29	20408,69	1201,77	21,77	393,09	513,97	364,36

Tabela 1 A. Continuação.

Profundidade	Posição	Coordenadas (x)/(y)		Rep.	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Ti
0-20	31N			3	.	0,00	.	.	.	.	.	.	.	.
0-20	32N	187904	8736360	1	14,27	0,00	72,85	18,45	19101,95	726,35	17,68	168,56	438,83	275,29
0-20	32N			2	14,30	0,00	74,62	18,96	19177,64	739,48	17,90	167,28	440,29	300,42
0-20	32N			3	12,08	0,00	66,04	15,03	18351,02	673,59	16,08	152,94	404,76	257,53
0-20	33N	187904	8736410	1	12,70	0,00	74,15	15,69	18377,83	704,68	16,16	144,44	351,09	225,30
0-20	33N			2	12,32	0,00	76,70	15,04	18851,16	718,44	16,26	149,30	358,22	255,71
0-20	33N			3	13,71	0,00	87,89	18,82	20057,13	861,64	18,85	165,85	389,76	281,51
0-20	34N	187904	8736510	1	8,32	0,00	66,80	.	18101,23	409,22	15,70	156,72	472,98	232,38
0-20	34N			2	7,12	0,00	56,03	12,56	17477,95	352,35	13,35	135,15	405,27	243,74
0-20	34N			3	6,45	0,00	57,72	11,26	17697,85	346,42	12,86	128,73	414,36	249,25
0-20	35N	187904	8736710	1	13,16	0,00	78,58	10,88	24074,32	987,75	21,59	134,14	569,42	313,65
0-20	35N			2	17,10	0,00	.	15,11	25746,14	1171,20	26,38	167,08	718,83	266,61
0-20	35N			3	13,21	0,00	73,10	10,61	23342,35	920,76	20,17	129,32	547,05	261,54
0-20	31S	187904	8736285	1	81,58	0,00	99,60	48,29	22619,22	1083,84	20,64	1107,07	828,53	331,49
0-20	31S			2	77,65	0,00	92,13	44,24	22442,16	1039,10	19,46	1057,22	787,74	260,63
0-20	31S			3	70,33	0,00	82,88	41,57	22050,26	1003,98	18,03	999,23	749,40	232,48
0-20	32S	187904	8736260	1	25,38	0,00	.	20,76	22603,92	1375,99	26,66	202,64	478,32	.
0-20	32S			2	17,14	0,00	69,74	13,16	18620,09	1017,40	18,03	139,92	353,39	227,39
0-20	32S			3	21,72	0,00	84,79	16,98	20360,41	1149,95	21,59	164,83	390,41	248,31
0-20	33S	187904	8736210	1	10,72	0,00	49,59	8,91	13582,98	490,13	12,38	79,66	201,82	236,08
0-20	33S			2	10,39	0,00	49,24	8,33	15761,74	490,08	13,71	73,95	200,32	243,62
0-20	33S			3	11,20	0,00	54,61	9,39	14053,00	489,97	13,32	84,47	200,92	230,65
0-20	34S	187904	8736110	1	7,69	0,00	46,75	7,13	15462,19	308,32	12,81	38,70	162,21	267,94
0-20	34S			2	9,39	0,00	48,93	9,93	14589,67	350,10	13,28	42,80	146,14	250,77

Tabela 1 A. Continuação.

Profundidade	Posição	Coordenadas (x)/(y)		Rep.	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Ti
0-20	34S			3	11,90	0,00	.	13,64	17431,67	433,42	18,12	56,46	200,82	325,55
0-20	35S	187904	8735910	1	.	0,00	.	10,09	17532,38	451,02	20,79	68,30	.	356,62
0-20	35S			2	2,26	0,00	48,25	8,55	.	.	20,79	.	157,06	359,44
0-20	35S			3	2,29	0,00	24,38	10,65	9310,70	127,24	20,79	.	30,84	362,76
0-20	4	188904	8736310	1	2,14	0,00	.	0,00	6582,42	159,93	0,00	3,41	16,35	70,54
0-20	4			2	3,01	0,00	2,65	0,00	8364,33	203,40	0,00	5,95	27,43	94,98
0-20	4			3	3,18	0,00	2,81	0,00	7886,15	206,72	0,00	6,19	24,18	103,56
0-20	41N	188904	8736335	1	2,99	0,00	7,17	0,00	7824,88	200,93	0,00	11,28	20,12	96,78
0-20	41N			2	4,06	0,00	9,77	0,00	9307,72	250,43	0,00	14,34	27,23	117,02
0-20	41N			3	6,43	0,00	.	0,00	11114,25	303,14	0,00	15,99	40,27	136,94
0-20	42N	188904	8736360	1	3,75	0,00	4,01	0,00	8337,65	258,77	0,00	13,67	32,92	104,97
0-20	42N			2	1,66	0,00	3,92	0,00	8302,04	269,96	0,00	13,84	34,33	96,75
0-20	42N			3	4,00	0,00	2,57	0,00	7458,66	245,12	0,00	11,18	28,55	96,02
0-20	43N	188904	8736410	1	2,75	0,00	.	0,00	7154,96	261,13	0,00	16,07	34,06	83,03
0-20	43N			2	3,94	0,00	1,79	0,00	7311,95	265,61	0,00	15,78	34,69	93,60
0-20	43N			3	4,70	0,00	2,73	0,00	8300,56	297,35	0,00	18,17	40,82	108,54
0-20	44N	188904	8736510	1	1,62	0,00	3,03	0,00	7355,18	164,30	0,00	17,73	27,27	80,52
0-20	44N			2	1,27	0,00	3,46	0,00	7664,67	172,79	0,00	16,43	28,68	84,59
0-20	44N			3	2,22	0,00	2,91	0,00	7626,02	169,24	0,00	17,02	31,75	80,06
0-20	45N	188904	8736710	1	2,51	0,00	2,22	0,00	7662,70	107,37	0,00	8,34	34,28	81,62
0-20	45N			2	.	0,00	1,83	0,00	7721,34	114,71	0,00	7,11	31,27	85,44
0-20	45N			3	1,97	0,00	.	0,00	7408,43	116,17	0,00	6,08	31,16	82,87
0-20	41S	188904	8736285	1	1,40	0,00	2,62	0,00	8705,02	226,76	0,00	5,76	25,85	88,66
0-20	41S			2	1,69	0,00	2,17	0,00	6611,24	193,38	0,00	6,29	24,01	72,83

Tabela 1 A. Continuação.

Profundidade	Posição	Coordenadas (x)/(y)		Rep.	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Ti
0-20	41S			3	3,57	0,00	1,49	0,00	8172,45	208,51	0,00	6,77	35,70	89,54
0-20	42S	188904	8736260	1	2,08	0,00	4,10	0,00	6936,17	182,63	0,00	9,99	16,71	65,37
0-20	42S			2	3,72	0,00	8,12	0,00	8740,29	234,45	0,00	10,35	28,29	75,48
0-20	42S			3	1,05	0,00	5,64	0,00	6636,46	178,76	0,00	8,06	15,71	71,96
0-20	43S	188904	8736210	1	3,66	0,00	5,52	0,00	9006,96	157,74	0,00	7,00	26,97	90,13
0-20	43S			2	4,53	0,00	6,48	0,00	8959,42	148,00	0,00	6,54	34,53	86,06
0-20	43S			3	4,21	0,00	4,94	0,00	8300,06	138,44	0,00	4,77	29,15	82,79
0-20	44S	188904	8736110	1	3,09	0,00	9,54	0,00	8965,45	163,21	0,00	9,04	37,45	84,10
0-20	44S			2	3,33	0,00	11,80	0,00	9767,50	191,82	0,00	10,21	39,88	84,18
0-20	44S			3	2,97	0,00	11,05	0,00	9360,00	165,60	0,00	11,14	37,35	95,15
0-20	45S	188904	8735910	1	4,40	0,00	5,15	0,00	8685,21	106,85	0,00	6,28	23,64	70,36
0-20	45S			2	5,37	0,00	3,12	0,00	6849,48	89,17	0,00	7,48	19,91	73,87
0-20	45S			3	4,95	0,00	4,44	0,00	7216,63	96,96	0,00	7,73	20,35	70,54
0-20	5	189904	8736310	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
0-20	5			2	3,17	0,00	6,62	0,00	8215,52	146,62	0,00	6,54	9,96	59,09
0-20	5			3	4,48	0,00	9,03	0,00	9104,56	191,44	0,00	9,44	21,10	65,10
0-20	51N	189904	8736335	1	3,14	0,00	4,65	0,00	7672,45	217,09	0,00	8,79	12,45	58,61
0-20	51N			2	.	0,00	4,20	0,00	8057,59	232,90	0,00	9,02	10,09	60,56
0-20	51N			3	3,12	0,00	4,95	0,00	8125,22	237,04	0,00	9,34	11,23	65,28
0-20	52N	189904	8736360	1	1,38	0,00	5,91	0,00	7717,04	166,47	0,00	11,57	15,52	68,83
0-20	52N			2	2,28	0,00	9,48	0,00	8928,82	196,26	0,00	16,16	19,10	89,91
0-20	52N			3	1,59	0,00	7,72	0,00	8707,19	175,84	0,00	12,83	15,89	82,98
0-20	53N	189904	8736410	1	0,85	0,00	7,37	0,00	6988,60	19,66	0,00	10,41	5,83	59,12
0-20	53N			2	1,03	0,00	5,64	0,00	6693,13	13,91	0,00	8,16	1,49	52,38

Tabela 1 A. Continuação.

Profundidade	Posição	Coordenadas (x)/(y)		Rep.	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Ti
0-20	53N			3	1,06	0,00	4,06	0,00	6040,34	10,61	0,00	7,31	.	45,51
0-20	54N	189904	8736510	1	0,42	0,00	2,00	0,00	5308,02	10,00	0,00	4,74	0,00	43,32
0-20	54N			2	0,00	0,00	2,62	0,00	5456,24	11,03	0,00	5,70	0,00	50,46
0-20	54N			3	.	0,00	.	0,00	4786,06	.	0,00	.	0,00	39,94
0-20	55N	189904	8736710	1	5,02	0,00	.	0,00	5101,40	98,95	0,00	1,27	0,00	38,61
0-20	55N			2	5,00	0,00	.	0,00	4499,50	93,27	0,00	.	0,00	32,86
0-20	55N			3	.	0,00	7,48	0,00	8421,50	.	0,00	7,29	0,00	.
0-20	51S	189904	8736285	1	0,00	0,00	4,19	0,00	6714,29	100,30	0,00	4,16	0,00	53,50
0-20	51S			2	0,00	0,00	.	0,00	6584,65	101,55	0,00	5,40	0,00	51,85
0-20	51S			3	0,00	0,00	.	0,00	6603,93	103,35	0,00	3,61	0,00	54,90
0-20	52S	189904	8736260	1	0,00	0,00	1,43	0,00	6781,71	.	0,00	6,13	0,00	75,28
0-20	52S			2	0,00	0,00	.	0,00	6189,26	79,04	0,00	5,47	0,00	59,76
0-20	52S			3	0,00	0,00	0,83	0,00	6537,65	83,19	0,00	5,20	0,00	66,75
0-20	53S	189904	8736210	1	1,03	0,00	4,27	0,00	8291,77	81,07	0,00	7,78	10,49	77,56
0-20	53S			2	2,00	0,00	3,57	0,00	9200,26	107,53	0,00	9,62	14,37	99,62
0-20	53S			3	3,75	0,00	2,06	0,00	10025,96	101,50	0,00	10,90	18,75	98,44
0-20	54S	189904	8736110	1	0,64	0,00	.	0,00	8483,14	110,21	0,00	10,11	16,07	86,42
0-20	54S			2	.	0,00	.	0,00	8277,55	100,36	0,00	9,90	15,90	73,62
0-20	54S			3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
0-20	55S	189904	8735910	1	4,37	0,00	3,30	0,00	8107,13	144,79	0,00	6,91	14,93	74,89
0-20	55S			2	4,64	0,00	1,74	.	7789,61	144,27	0,00	10,14	20,69	74,64
0-20	55S			3	3,11	0,00	1,06	0,00	8687,91	167,80	0,00	8,06	18,12	86,34

Tabela 2 A. Teores de metais pesados (mg kg^{-1}) no solo, na profundidade de 0,20-0,40 m, determinados por espectrometria de emissão óptica com plasma de argônio indutivamente acoplado (ICP OES).

Profundidade	Posição	Coordenadas (x)/(y)		Rep.	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Ti
20-40	1	185904	8736310	1	2,53	0,00	21,94	0,00	13337,98	243,67	0,00	60,07	140,04	163,14
20-40	1			2	1,30	0,00	18,09	0,00	12260,07	212,67	0,00	51,71	127,00	137,47
20-40	1			3	1,95	0,00	16,13	0,00	11455,59	198,22	0,00	50,17	118,41	144,29
20-40	11N	185904	8736335	1	2,42	0,00	21,90	0,00	12219,75	110,72	0,00	37,67	147,05	145,43
20-40	11N			2	.	0,00	13,59	0,00	9445,79	.	0,00	29,93	104,50	119,01
20-40	11N			3	.	0,00	17,03	0,00	10207,07	107,08	0,00	45,56	86,12	161,05
20-40	12N	185904	8736360	1	7,37	0,00	10,19	0,00	10898,15	247,43	0,00	15,15	112,85	97,09
20-40	12N			2	7,09	0,00	9,44	0,00	10705,21	225,62	0,00	14,12	115,65	84,13
20-40	12N			3	5,65	0,00	9,40	0,00	9048,65	191,17	0,00	12,56	98,06	81,01
20-40	13N	185904	8736410	1	0,21	0,00	8,08	0,00	8264,18	314,62	0,00	30,72	78,83	.
20-40	13N			2	.	0,00	7,12	0,00	7843,18	272,12	0,00	31,53	93,03	66,70
20-40	13N			3	0,28	0,00	5,91	0,00	7592,99	283,08	0,00	29,09	69,79	90,55
20-40	14N	185904	8736510	1	5,12	0,00	12,39	0,00	10666,32	403,12	0,00	45,20	118,43	137,63
20-40	14N			2	5,04	0,00	15,67	0,00	10093,50	437,14	0,00	44,08	110,64	149,64
20-40	14N			3	6,98	0,00	16,59	0,00	11755,77	448,02	0,00	41,91	136,19	157,66
20-40	15N	185904	8736710	1	4,03	0,00	9,76	2,48	10537,01	489,96	0,00	57,48	106,56	111,34
20-40	15N			2	7,50	0,00	8,40	4,06	9996,53	430,97	0,00	40,58	137,01	115,60
20-40	15N			3	3,60	0,00	11,37	5,60	10667,24	515,41	0,00	63,12	104,93	126,81
20-40	11S	185904	8736285	1	3,57	0,00	14,00	0,00	10476,55	209,12	0,00	19,99	115,46	115,23
20-40	11S			2	2,70	0,00	10,58	0,00	9348,07	169,98	0,00	18,26	97,59	106,93
20-40	11S			3	1,93	0,00	9,26	0,00	8543,72	152,25	0,00	17,24	88,45	89,37
20-40	12S	185904	8736260	1	9,19	0,00	16,56	0,00	12164,78	267,97	0,00	26,09	133,72	134,29
20-40	12S			2	6,21	0,00	12,72	0,00	11021,68	245,92	0,00	20,81	116,26	115,06
20-40	12S			3	7,80	0,00	15,28	0,00	11568,28	260,42	0,00	21,19	138,51	120,17

Tabela 2 A. Continuação.

Profundidade	Posição	Coordenadas (x)/(y)		Rep.	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Ti
20-40	13S	185904	8736210	1	5,93	0,00	12,16	0,00	11697,22	312,23	0,00	17,75	93,45	122,51
20-40	13S			2	8,69	0,00	13,15	0,00	12096,71	326,28	0,00	18,38	90,49	125,65
20-40	13S			3	9,22	0,00	14,82	0,00	12574,84	367,25	0,00	19,09	105,09	140,63
20-40	14S	185904	8736110	1	4,29	0,00	8,38	0,00	7701,61	158,10	0,00	16,60	93,89	91,53
20-40	14S			2	1,94	0,00	8,01	0,00	7700,59	155,54	0,00	14,74	91,36	89,69
20-40	14S			3	1,95	0,00	5,46	0,00	6575,62	130,82	0,00	13,65	70,93	62,48
20-40	15S	185904	8735910	1	5,35	0,00	5,34	0,00	8632,88	188,61	0,00	5,55	56,29	77,17
20-40	15S			2	4,31	0,00	4,16	0,00	7997,08	177,54	0,00	5,03	45,88	77,78
20-40	15S			3	.	0,00	.	0,00	5487,37	106,93	0,00	3,29	24,39	54,73
20-40	2	186904	8736310	1	14,38	0,00	54,77	11,63	16832,93	472,89	17,32	.	241,39	350,89
20-40	2			2	15,41	0,00	56,19	11,07	18036,97	486,52	18,37	3,93	262,79	352,43
20-40	2			3	13,70	0,00	57,29	9,69	18232,56	450,06	17,59	.	244,38	342,46
20-40	21N	186904	8736335	1	15,42	0,00	63,44	.	18541,00	606,60	18,78	24,10	266,12	320,00
20-40	21N			2	18,85	0,00	.	15,02	25960,83	738,86	24,65	22,64	379,30	381,08
20-40	21N			3	16,77	0,00	82,26	15,85	25120,23	709,65	23,71	0,00	362,26	368,32
20-40	22N	186904	8736360	1	16,66	0,00	79,41	16,37	23464,36	586,89	24,06	80,50	323,91	447,09
20-40	22N			2	16,67	0,00	74,27	16,08	23570,87	556,03	23,16	.	306,72	396,27
20-40	22N			3	19,96	0,00	87,73	17,45	25050,33	708,48	25,79	33,62	339,69	427,24
20-40	23N	186904	8736410	1	17,49	0,00	74,03	16,54	24449,20	629,34	22,77	.	336,05	444,25
20-40	23N			2	17,80	0,00	81,17	15,66	26869,68	644,94	25,20	.	394,60	439,89
20-40	23N			3	.	0,00	.	21,33	27080,17	807,93	30,46	37,78	410,98	.
20-40	24N	186904	8736510	1	15,04	0,00	77,12	18,59	22135,32	1199,85	23,23	.	276,21	377,59
20-40	24N			2	17,39	0,00	78,16	19,62	22000,15	1169,42	22,31	.	254,72	379,81
20-40	24N			3	16,41	0,00	85,53	19,86	23287,71	1296,47	24,82	14,42	285,97	411,26

Tabela 2 A. Continuação.

Profundidade	Posição	Coordenadas (x)/(y)		Rep.	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Ti
20-40	25N	186904	8736710	1	17,67	0,00	45,40	0,00	24652,51	1494,92	1,67	.	296,08	238,53
20-40	25N			2	18,32	0,00	45,26	0,00	24568,72	1407,85	.	.	290,98	247,70
20-40	25N			3	18,39	0,00	45,32	0,00	24893,89	1484,89	1,69	8,24	287,11	239,87
20-40	21S	186904	8736285	1	8,11	0,00	45,36	0,00	22539,98	235,70	0,00	32,91	188,91	261,98
20-40	21S			2	7,48	0,00	38,36	0,00	20655,93	219,06	0,00	26,45	169,38	236,47
20-40	21S			3	6,17	0,00	38,22	0,00	20234,65	209,74	0,00	26,79	165,28	247,75
20-40	22S	186904	8736260	1	18,06	0,00	70,14	0,00	34643,33	520,27	13,34	75,92	389,06	462,42
20-40	22S			2	9,66	0,00	.	0,00	23252,46	301,30	.	47,03	221,76	326,49
20-40	22S			3	16,05	0,00	75,53	0,00	.	579,83	15,62	83,97	433,81	496,47
20-40	23S	186904	8736210	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
20-40	23S			2	6,92	0,00	47,21	0,00	24044,73	323,82	.	38,81	183,88	285,01
20-40	23S			3	13,35	0,00	78,94	0,00	33156,75	487,92	.	61,76	271,08	453,72
20-40	24S	186904	8736110	1	4,48	0,00	.	0,00	18597,35	299,78	0,00	32,58	116,38	248,21
20-40	24S			2	7,95	0,00	51,77	0,00	22288,92	374,65	0,00	48,21	156,56	311,49
20-40	24S			3	7,17	0,00	52,80	0,00	22827,70	387,12	0,00	41,68	152,23	286,10
20-40	25S	186904	8735910	1	2,19	0,00	27,51	0,00	15171,06	281,76	0,00	34,60	71,15	189,77
20-40	25S			2	3,09	0,00	24,93	0,00	15145,98	269,30	0,00	30,41	66,96	203,87
20-40	25S			3	6,05	0,00	.	0,00	18579,76	353,19	0,00	37,37	89,48	253,91
20-40	3	187904	8736310	1	66,03	0,00	.	33,22	27232,84	1021,61	25,18	640,69	904,20	422,86
20-40	3			2	59,17	0,00	117,63	29,90	26502,14	945,30	22,55	625,03	805,05	402,28
20-40	3			3	47,26	0,00	87,14	21,04	24425,51	764,27	18,25	488,38	576,95	311,24
20-40	31N	187904	8736335	1	20,33	0,00	88,20	21,86	20398,44	758,10	19,97	307,93	576,52	386,99
20-40	31N			2	16,45	0,00	98,11	25,49	20976,15	869,91	24,05	371,77	679,73	248,12
20-40	31N			3	19,28	0,00	76,25	19,32	18916,72	647,30	16,95	268,63	496,96	329,57

Tabela 2 A. Continuação.

Profundidade	Posição	Coordenadas (x)/(y)		Rep.	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Ti
20-40	32N	187904	8736360	1	11,54	0,00	62,79	16,03	17551,33	594,32	15,80	217,45	435,76	247,22
20-40	32N			2	9,17	0,00	.	.	14615,56	455,33	10,91	161,35	355,60	186,13
20-40	32N			3	14,61	0,00	70,36	18,14	18292,16	619,00	16,88	235,98	435,11	275,89
20-40	33N	187904	8736410	1	10,67	0,00	76,92	20,16	18238,26	739,41	18,56	165,23	405,74	311,76
20-40	33N			2	13,05	0,00	82,08	22,18	19145,84	809,83	21,17	186,37	456,98	328,30
20-40	33N			3	12,00	0,00	80,36	20,22	18890,16	787,76	19,74	186,91	448,72	296,76
20-40	34N	187904	8736510	1	5,48	0,00	54,58	7,66	17217,23	276,36	12,04	123,76	.	189,87
20-40	34N			2	4,76	0,00	48,31	8,14	15642,85	248,54	10,40	109,98	322,42	225,09
20-40	34N			3	3,45	0,00	.	6,08	13608,67	212,20	8,37	93,17	275,66	184,74
20-40	35N	187904	8736710	1	14,92	0,00	77,69	14,17	24621,43	864,20	23,26	131,15	672,25	360,70
20-40	35N			2	16,18	0,00	75,84	14,56	22987,29	823,91	22,69	125,63	620,66	342,93
20-40	35N			3	13,52	0,00	65,84	14,63	20440,87	740,71	19,86	114,33	491,81	315,49
20-40	31S	187904	8736285	1	67,81	0,00	91,87	40,15	22398,31	1054,99	19,25	944,07	682,37	224,28
20-40	31S			2	76,79	0,00	95,20	35,56	24304,92	1061,14	21,46	987,95	835,40	215,74
20-40	31S			3	72,08	0,00	.	42,95	25244,60	1144,06	22,00	1047,26	836,70	.
20-40	32S	187904	8736260	1	.	0,00	.	20,30	19997,04	1134,18	23,99	180,69	390,98	280,71
20-40	32S			2	16,32	0,00	62,22	17,99	18638,11	754,16	17,24	135,45	339,87	245,76
20-40	32S			3	15,63	0,00	65,01	13,10	17708,14	811,62	16,75	130,17	297,75	230,36
20-40	33S	187904	8736210	1	12,55	0,00	60,34	10,05	18723,04	666,06	17,49	89,26	250,78	268,14
20-40	33S			2	17,97	0,00	.	16,52	20533,32	877,14	24,48	124,50	313,53	341,51
20-40	33S			3	13,12	0,00	69,05	12,16	21291,84	763,37	20,33	106,37	271,78	352,23
20-40	34S	187904	8736110	1	12,94	0,00	55,40	15,22	16972,18	419,14	19,40	55,26	194,17	400,23
20-40	34S			2	11,63	0,00	54,80	14,89	16793,67	409,59	18,64	54,86	186,20	393,46
20-40	34S			3	12,17	0,00	50,37	14,28	16104,31	380,50	17,60	51,11	174,75	366,03

Tabela 2 A. Continuação.

Profundidade	Posição	Coordenadas (x)/(y)		Rep.	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Ti
20-40	35S	187904	8735910	1	11,28	0,00	.	12,36	15563,95	372,32	16,37	60,88	123,00	255,62
20-40	35S			2	10,12	0,00	43,58	9,91	14143,07	330,36	13,66	52,20	106,32	281,63
20-40	35S			3	11,39	0,00	42,15	9,03	14105,45	300,69	13,64	48,39	106,58	281,12
20-40	4	188904	8736310	1	2,25	0,00	.	0,00	7833,19	191,89	0,00	7,01	18,50	97,04
20-40	4			2	5,93	0,00	4,97	0,00	8086,71	200,49	0,00	11,05	30,28	97,58
20-40	4			3	3,20	0,00	5,18	0,00	.	227,46	0,00	9,99	23,35	112,65
20-40	41N	188904	8736335	1	1,41	0,00	4,70	0,00	7668,73	184,95	0,00	13,42	9,30	90,60
20-40	41N			2	1,47	0,00	4,71	0,00	7201,74	170,93	0,00	11,19	8,47	86,18
20-40	41N			3	2,23	0,00	5,71	0,00	7837,69	180,27	0,00	11,75	15,23	85,78
20-40	42N	188904	8736360	1	3,91	0,00	4,42	0,00	7306,46	199,34	0,00	17,64	23,04	87,21
20-40	42N			2	1,98	0,00	5,74	0,00	8672,15	251,38	0,00	21,19	26,03	107,54
20-40	42N			3	3,31	0,00	5,38	0,00	8352,28	243,99	0,00	19,88	26,71	100,67
20-40	43N	188904	8736410	1	5,09	0,00	6,75	0,00	8293,49	263,15	0,00	19,06	40,28	106,01
20-40	43N			2	2,94	0,00	5,12	0,00	7919,77	247,40	0,00	17,20	33,73	101,19
20-40	43N			3	6,27	0,00	7,85	0,00	8910,32	271,35	0,00	21,79	50,25	118,58
20-40	44N	188904	8736510	1	2,76	0,00	5,60	0,00	8460,37	102,23	0,00	12,51	45,36	92,87
20-40	44N			2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
20-40	44N			3	3,54	0,00	3,37	0,00	7643,83	85,24	0,00	9,90	39,35	76,92
20-40	45N	188904	8736710	1	.	0,00	.	0,00	5787,86	95,77	0,00	6,68	20,45	57,93
20-40	45N			2	2,01	0,00	1,02	0,00	6874,88	75,78	0,00	7,01	31,06	67,96
20-40	45N			3	2,20	0,00	.	0,00	6183,83	104,20	0,00	7,38	22,66	62,42
20-40	41S	188904	8736285	1	.	0,00	3,00	0,00	8191,49	191,55	0,00	8,48	42,64	77,59
20-40	41S			2	2,27	0,00	2,95	0,00	6430,97	178,63	0,00	5,62	26,41	70,15
20-40	41S			3	1,95	0,00	1,98	0,00	5916,73	139,24	0,00	3,15	.	61,33

Tabela 2 A. Continuação.

Profundidade	Posição	Coordenadas (x)/(y)		Rep.	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Ti
20-40	42S	188904	8736260	1	2,13	0,00	6,40	0,00	8015,67	196,92	0,00	9,13	28,23	92,16
20-40	42S			2	3,79	0,00	7,02	0,00	10543,21	258,07	0,00	13,05	37,03	98,72
20-40	42S			3	2,55	0,00	7,72	0,00	10494,32	252,20	0,00	11,68	31,10	104,00
20-40	43S	188904	8736210	1	6,42	0,00	9,51	0,00	7536,26	106,95	0,00	9,65	38,25	70,52
20-40	43S			2	6,92	0,00	8,79	0,00	9839,62	125,93	0,00	12,42	37,13	89,91
20-40	43S			3	5,49	0,00	9,62	0,00	10122,78	141,01	0,00	15,06	41,53	102,39
20-40	44S	188904	8736110	1	2,15	0,00	13,39	0,00	9274,24	150,25	0,00	8,67	28,90	87,57
20-40	44S			2	2,33	0,00	12,45	0,00	7424,56	113,31	0,00	6,93	24,64	70,97
20-40	44S			3	2,26	0,00	14,10	0,00	8529,75	142,78	0,00	9,70	.	83,81
20-40	45S	188904	8735910	1	1,00	0,00	0,54	0,00	6008,39	100,76	0,00	6,69	5,61	53,22
20-40	45S			2	1,20	0,00	0,60	0,00	5865,66	93,14	0,00	7,20	5,70	49,77
20-40	45S			3	1,30	0,00	0,59	0,00	5842,33	94,33	0,00	6,37	6,03	47,98
20-40	5	189904	8736310	1	2,20	0,00	6,07	0,00	7721,99	145,11	0,00	4,89	11,83	61,68
20-40	5			2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
20-40	5			3	2,06	0,00	5,57	0,00	7551,37	136,57	0,00	5,34	9,25	55,22
20-40	51N	189904	8736335	1	4,54	0,00	7,26	0,00	9119,00	248,76	0,00	11,53	10,65	61,30
20-40	51N			2	4,23	0,00	7,00	0,00	9553,95	257,28	0,00	12,34	13,47	59,87
20-40	51N			3	5,16	0,00	6,58	0,00	9399,02	239,09	0,00	9,71	.	62,04
20-40	52N	189904	8736360	1	.	0,00	6,26	0,00	7929,68	152,36	0,00	10,60	8,93	62,27
20-40	52N			2	2,92	0,00	9,31	0,00	9237,29	185,53	0,00	13,23	20,48	78,25
20-40	52N			3	2,28	0,00	6,19	0,00	8043,62	158,88	0,00	10,92	11,41	61,16
20-40	53N	189904	8736410	1	1,78	0,00	4,82	0,00	6128,39	7,24	0,00	8,34	1,86	48,52
20-40	53N			2	1,54	0,00	4,25	0,00	8336,80	5,60	0,00	7,63	2,88	69,56
20-40	53N			3	1,60	0,00	3,10	0,00	5692,73	.	0,00	6,40	.	45,15

Tabela 2 A. Continuação.

Profundidade	Posição	Coordenadas (x)/(y)		Rep.	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Ti
20-40	54N	189904	8736510	1	1,66	0,00	6,66	0,00	6192,31	13,76	0,00	9,19	0,00	56,26
20-40	54N			2	0,00	0,00	6,33	0,00	7074,24	13,33	0,00	8,92	0,00	63,69
20-40	54N			3	1,64	0,00	6,18	0,00	7037,43	.	0,00	9,23	0,00	59,58
20-40	55N	189904	8736710	1	.	.	.	.	.	.	.	.	0,00	.
20-40	55N			2	5,05	0,00	.	0,00	4979,12	93,55	0,00	.	0,00	35,51
20-40	55N			3	3,71	0,00	10,61	0,00	8367,61	29,52	0,00	9,45	0,00	62,63
20-40	51S	189904	8736285	1	0,00	0,00	.	0,00	6799,79	123,34	0,00	7,06	0,00	60,94
20-40	51S			2	0,00	0,00	.	0,00	6889,24	127,69	0,00	6,14	0,00	58,72
20-40	51S			3	0,00	0,00	1,65	0,00	5891,13	.	0,00	5,77	0,00	56,65
20-40	52S	189904	8736260	1	0,00	0,00	.	0,00	7032,07	89,75	0,00	4,87	0,00	66,80
20-40	52S			2	0,00	0,00	0,36	0,00	6872,02	87,60	0,00	6,68	0,00	65,69
20-40	52S			3	0,42	0,00	1,34	0,00	7411,73	91,58	0,00	6,25	0,00	69,43
20-40	53S	189904	8736210	1	1,80	0,00	.	0,00	8933,68	96,80	0,00	9,57	14,45	91,22
20-40	53S			2	2,52	0,00	.	0,00	7489,73	86,29	0,00	6,89	13,30	76,35
20-40	53S			3	1,27	0,00	0,63	0,00	8436,31	94,69	0,00	9,66	19,90	76,95
20-40	54S	189904	8736110	1	0,41	0,00	1,90	0,00	8120,59	85,58	0,00	12,96	19,78	76,06
20-40	54S			2	0,79	0,00	.	0,00	8507,24	85,41	0,00	8,81	12,68	75,76
20-40	54S			3	0,48	0,00	.	0,00	7839,83	77,09	0,00	6,77	13,06	65,44
20-40	55S	189904	8735910	1	3,44	0,00	1,17	0,00	9693,77	175,17	0,00	11,22	20,91	107,85
20-40	55S			2	.	0,00	.	0,00	7991,71	137,64	0,00	8,27	9,97	83,02
20-40	55S			3	4,50	0,00	2,75	0,00	9415,05	167,54	0,00	11,11	23,25	95,61

Tabela 3 A. Teores de metais pesados (mg kg^{-1}) em raízes de plantas nativas e cultivadas, determinados por espectrometria de emissão óptica com plasma de argônio indutivamente acoplado (ICP OES).

Espécie	Componente	Posição	Rep.	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Ti
Angico	Raiz	3	1	0,00	0,00	0,00	0,00	246,31	13,39	0,00	1,15	6,94	0,00
Angico	Raiz	3	2	0,00	0,00	0,00	0,00	294,91	12,81	0,00	1,48	7,81	0,00
Angico	Raiz	3	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Aroeira	Raiz	21N	1	0,00	0,00	0,00	0,00	.	9,61	0,00	0,00	.	5,59
Aroeira	Raiz	21N	2	0,00	0,00	0,00	0,00	1110,46	13,15	0,00	0,00	0,21	8,66
Aroeira	Raiz	21N	3	0,00	0,00	0,00	0,00	1235,19	13,91	0,00	0,00	0,67	9,14
Banana	Raiz	35S	1	0,00	0,00	0,00	0,00	33,61	154,17	0,00	0,00	0,00	0,00
Banana	Raiz	35S	2	0,00	0,00	0,00	0,00	32,24	161,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Banana	Raiz	35S	3	0,00	0,00	0,00	0,00	37,53	159,41	0,00	0,00	0,00	0,00
Capim buffel	Raiz	31N	1	0,00	0,00	.	0,00	826,81	17,96	0,00	1,42	39,25	5,09
Capim buffel	Raiz	31N	2	0,00	0,00	0,34	0,00	1642,05	31,52	0,00	6,05	44,73	19,27
Capim buffel	Raiz	31N	3	0,00	0,00	.	0,00	2714,63	54,00	0,00	13,37	65,52	32,45
Capim buffel	Raiz	31S	1	0,00	0,00	4,57	0,75	3960,44	206,48	0,00	114,72	98,73	35,36
Capim buffel	Raiz	31S	2	0,00	0,00	10,94	1,99	.	.	0,00	268,60	182,85	62,70
Capim buffel	Raiz	31S	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Capim buffel	Raiz	32N	1	0,00	0,00	0,00	0,00	976,81	19,54	0,00	1,28	59,24	7,66
Capim buffel	Raiz	32N	2	0,00	0,00	0,00	0,00	879,53	14,63	0,00	0,97	.	4,69
Capim buffel	Raiz	32N	3	0,00	0,00	0,00	0,00	968,95	18,15	0,00	1,26	44,22	5,57
Capim buffel	Raiz	41S	1	0,00	0,00	4,47	0,00	899,47	31,55	0,00	0,00	37,86	.
Capim buffel	Raiz	41S	2	0,00	0,00	5,17	0,00	1646,59	49,48	0,00	0,00	52,99	15,12
Capim buffel	Raiz	41S	3	0,00	0,00	3,31	0,00	1478,87	46,24	0,00	0,00	48,00	15,43
Capim buffel	Raiz	51N	1	0,00	0,00	0,00	0,00	.	78,97	0,00	1,72	12,62	19,51
Capim buffel	Raiz	51N	2	0,00	0,00	0,00	0,00	427,31	12,82	0,00	.	.	.
Capim buffel	Raiz	51N	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Capim buffel	Raiz	51S	1	0,00	0,00	3,79	0,00	1989,80	49,13	0,00	1,76	82,33	22,42

Tabela 3 A. Continuação.

Espécie	Componente	Posição	Rep.	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Ti
Capim buffel	Raiz	51S	2	0,00	0,00	4,22	0,00	.	52,83	0,00	1,63	85,40	24,94
Capim buffel	Raiz	51S	3	0,00	0,00	3,66	0,00	1821,36	46,46	0,00	0,58	80,19	19,19
Capim buffel	Raiz	5	1	0,00	0,00	0,00	0,00	762,63	19,25	0,00	0,00	1,48	2,89
Capim buffel	Raiz	5	2	0,00	0,00	0,00	0,00	860,27	20,28	0,00	0,00	6,45	4,66
Capim buffel	Raiz	5	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Feijão	Raiz	32S	1	0,00	0,00	0,00	0,00	393,66	13,96	0,00	0,00	15,09	0,00
Feijão	Raiz	32S	2	0,00	0,00	0,00	0,00	443,20	14,63	0,00	0,00	13,72	0,00
Feijão	Raiz	32S	3	0,00	0,00	0,00	0,00	.	17,95	0,00	0,00	10,18	0,00
Feijão	Raiz	33N	1	0,00	0,00	0,00	0,00	630,84	17,85	0,00	0,00	15,48	0,00
Feijão	Raiz	33N	2	0,00	0,00	0,00	0,00	180,87	4,62	0,00	0,00	15,48	0,00
Feijão	Raiz	33N	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Feijão	Raiz	33S	1	0,00	0,00	0,00	0,00	536,03	16,13	0,00	0,00	0,00	0,00
Feijão	Raiz	33S	2	0,00	0,00	0,00	0,00	502,76	16,37	0,00	0,00	0,00	0,00
Feijão	Raiz	33S	3	0,00	0,00	0,00	0,00	679,50	18,84	0,00	0,00	0,00	0,00
Feijão	Raiz	34N	1	0,00	0,00	0,00	0,00	243,58	8,86	0,00	0,00	3,28	0,97
Feijão	Raiz	34N	2	0,00	0,00	0,00	0,00	367,45	9,10	0,00	0,00	3,17	1,01
Feijão	Raiz	34N	3	0,00	0,00	0,00	0,00	353,08	9,72	0,00	0,00	3,26	0,70
Feijão	Raiz	35N	1	0,00	0,00	0,00	0,00	1000,01	29,26	0,00	1,33	31,08	6,69
Feijão	Raiz	35N	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Feijão	Raiz	35N	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Jurema	Raiz	2	1	0,00	0,00	0,00	0,00	458,36	13,90	0,00	0,00	0,00	0,00
Jurema	Raiz	2	2	0,00	0,00	0,00	0,00	501,47	15,84	0,00	0,00	0,00	0,00
Jurema	Raiz	2	3	0,00	0,00	0,00	0,00	691,44	20,88	0,00	0,00	0,00	0,00
Mamona	Raiz	33S	1	0,00	0,00	0,00	0,00	291,19	11,91	0,00	0,00	.	0,00
Mamona	Raiz	33S	2	0,00	0,00	0,00	0,00	484,61	21,65	0,00	0,00	24,13	0,00
Mamona	Raiz	33S	3	0,00	0,00	0,00	0,00	310,99	15,50	0,00	0,00	10,97	0,00

Tabela 3 A. Continuação.

Espécie	Componente	Posição	Rep.	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Ti
Mamona	Raiz	34S	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mamona	Raiz	34S	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mamona	Raiz	34S	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mamona	Raiz	35S	1	0,00	0,00	0,00	0,00	737,49	18,19	0,00	0,00	28,57	3,44
Mamona	Raiz	35S	2	0,00	0,00	0,00	0,00	731,78	19,87	0,00	0,00	36,48	.
Mamona	Raiz	35S	3	0,00	0,00	0,00	0,00	683,85	22,30	0,00	0,00	.	1,34
Mamona	Raiz	44S	1	0,00	0,00	0,00	0,00	98,87	24,63	0,00	0,00	43,89	0,00
Mamona	Raiz	44S	2	0,00	0,00	0,00	0,00	98,07	23,56	0,00	0,00	40,63	0,00
Mamona	Raiz	44S	3	0,00	0,00	0,00	0,00	116,89	23,22	0,00	0,00	40,01	0,00
Mandacaru	Raiz	21S	1	0,00	0,00	0,00	0,00	314,34	7,15	0,00	0,00	0,00	0,00
Mandacaru	Raiz	21S	2	0,00	0,00	0,00	0,00	522,81	10,71	0,00	0,00	0,00	0,00
Mandacaru	Raiz	21S	3	0,00	0,00	0,00	0,00	405,30	8,54	0,00	0,00	0,00	0,00
Milho	Raiz	33N	1	0,00	0,00	0,00	3,61	1211,09	40,22	0,00	4,40	210,16	15,17
Milho	Raiz	33N	2	0,00	0,00	0,00	4,28	1193,45	31,38	0,00	1,57	720,81	10,99
Milho	Raiz	33N	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Milho	Raiz	35N	1	0,00	0,00	4,45	1,97	3386,33	69,16	0,00	.	31,82	30,47
Milho	Raiz	35N	2	0,00	0,00	4,14	2,39	1586,20	30,97	0,00	2,40	37,96	25,29
Milho	Raiz	35N	3	0,00	0,00	4,11	3,22	3340,02	.	0,00	1,35	26,37	29,58
Milho	Raiz	4	1	0,00	0,00	0,00	0,00	905,38	37,87	0,00	0,00	244,11	4,60
Milho	Raiz	4	2	0,00	0,00	0,00	0,00	1431,85	52,67	0,00	0,00	235,59	11,81
Milho	Raiz	4	3	0,00	0,00	0,00	0,00	.	68,51	0,00	0,00	240,24	27,47
Milho	Raiz	41N	1	0,00	0,00	0,00	0,00	1917,96	62,55	0,00	0,00	.	20,21
Milho	Raiz	41N	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Milho	Raiz	41N	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Mamona	Raiz	32S	1	0,00	0,00	0,00	0,00	361,97	20,29	0,00	0,00	25,30	0,00
Mamona	Raiz	32S	2	0,00	0,00	0,00	0,00	407,82	22,84	0,00	0,00	30,19	0,00

Tabela 3 A. Continuação.

Espécie	Componente	Posição	Rep.	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Ti
Mamona	Raiz	32S	3	0,00	0,00	0,00	0,00	361,63	20,07	0,00	0,00	25,43	0,00
Mucambo	Raiz	11N	1	0,00	0,00	0,00	0,00	211,31	7,12	0,00	0,00	0,00	0,00
Mucambo	Raiz	11N	2	0,00	0,00	0,00	0,00	143,12	2,53	0,00	0,00	0,00	0,00
Mucambo	Raiz	11N	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Palma forrageira	Raiz	32N	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Palma forrageira	Raiz	32N	2	0,00	0,00	0,00	0,00	954,25	61,95	0,00	6,50	0,00	5,19
Palma forrageira	Raiz	32N	3	0,00	0,00	0,00	0,00	1093,90	46,15	0,00	4,03	0,00	7,59
Pinhão-branco	Raiz	11S	1	0,00	0,00	0,00	0,00	1350,36	30,37	0,00	.	25,81	13,57
Pinhão-branco	Raiz	11S	2	0,00	0,00	0,00	0,00	1907,01	39,90	0,00	1,62	34,33	21,57
Pinhão-branco	Raiz	11S	3	0,00	0,00	0,00	0,00	2127,79	43,33	0,00	1,65	38,67	27,34
Pinha	Raiz	3	1	0,00	0,00	0,00	0,00	414,08	17,84	0,00	.	0,00	0,00
Pinha	Raiz	3	2	0,00	0,00	0,00	0,00	532,12	22,08	0,00	0,83	0,00	0,00
Pinha	Raiz	3	3	0,00	0,00	0,00	0,00	653,09	21,10	0,00	0,61	0,00	0,00
Quebra Facão	Raiz	1	1	0,00	0,00	0,00	0,00	560,76	7,03	0,00	0,00	10,55	0,00
Quebra Facão	Raiz	1	2	0,00	0,00	0,00	0,00	491,69	5,91	0,00	0,00	6,47	0,00
Quebra Facão	Raiz	1	3	0,00	0,00	0,00	0,00	426,80	5,37	0,00	0,00	3,98	0,00
Seriguela	Raiz	3	1	0,00	0,00	0,00	0,00	945,67	40,49	0,00	3,63	0,00	3,46
Seriguela	Raiz	3	2	0,00	0,00	0,00	0,00	1064,87	43,68	0,00	3,46	0,00	4,26
Seriguela	Raiz	3	3	0,00	0,00	0,00	0,00	1236,92	48,66	0,00	3,47	0,00	5,07
Umbú-cajá	Raiz	3	1	0,00	0,00	0,00	0,00	256,33	13,12	0,00	0,27	0,00	0,00
Umbú-cajá	Raiz	3	2	0,00	0,00	0,00	0,00	234,57	10,24	0,00	0,00	0,00	0,00
Umbú-cajá	Raiz	3	3	0,00	0,00	0,00	0,00	299,03	15,95	0,00	0,00	0,00	0,00
Umburaninha	Raiz	25N	1	0,00	0,00	0,00	0,00	240,16	15,97	0,00	0,00	0,00	0,00
Umburaninha	Raiz	25N	2	0,00	0,00	0,00	0,00	437,87	21,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Umburaninha	Raiz	25N	3	0,00	0,00	0,00	0,00	369,80	16,62	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 4 A. Teores de metais pesados (mg kg^{-1}) em caules de plantas nativas e cultivadas, determinados por espectrometria de emissão óptica com plasma de argônio indutivamente acoplado (ICP OES).

Espécie	Componente	Posição	Rep.	AsC	CdC	CrC	CuC	FeC	MnC	NiC	PbC	ZnC	TiC
Angico	Caule	3	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Angico	Caule	3	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Angico	Caule	3	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aroeira	Caule	21N	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aroeira	Caule	21N	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aroeira	Caule	21N	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Banana	Pseudocaule	35S	1	0,00	0,00	0,00	0,00	149,20	45,79	0,00	0,00	0,00	0,00
Banana	Pseudocaule	35S	2	0,00	0,00	0,00	0,00	109,84	39,87	0,00	0,00	0,00	0,00
Banana	Pseudocaule	35S	3	0,00	0,00	0,00	0,00	145,24	48,67	0,00	0,00	0,00	0,00
Capim buffel	Caule	31N	1	0,00	0,00	0,00	0,00	47,52	9,59	0,00	0,00	64,70	0,00
Capim buffel	Caule	31N	2	0,00	0,00	0,00	0,00	62,77	12,19	0,00	0,00	75,46	0,00
Capim buffel	Caule	31N	3	0,00	0,00	0,00	0,00	36,14	7,51	0,00	0,00	43,68	0,00
Capim buffel	Caule	31S	1	0,00	0,00	0,00	0,00	27,20	10,29	0,00	0,00	58,19	0,00
Capim buffel	Caule	31S	2	0,00	0,00	0,00	0,00	38,17	12,08	0,00	0,00	65,58	0,00
Capim buffel	Caule	31S	3	0,00	0,00	0,00	0,00	37,67	11,89	0,00	0,00	64,09	0,00
Capim buffel	Caule	32N	1	0,00	0,00	0,00	0,00	140,82	13,72	0,00	0,00	115,56	0,00
Capim buffel	Caule	32N	2	0,00	0,00	0,00	0,00	167,51	16,04	0,00	0,00	137,01	0,00
Capim buffel	Caule	32N	3	0,00	0,00	0,00	0,00	192,52	15,26	0,00	0,00	122,02	0,00
Capim buffel	Caule	41S	1	0,00	0,00	0,00	0,00	291,40	61,25	0,00	0,00	72,26	0,00
Capim buffel	Caule	41S	2	0,00	0,00	0,00	0,00	353,45	68,01	0,00	0,00	81,14	0,00
Capim buffel	Caule	41S	3	0,00	0,00	0,00	0,00	283,12	55,44	0,00	0,00	66,78	0,00
Capim buffel	Caule	51N	1	0,00	0,00	0,00	0,00	297,62	.	0,00	0,00	.	0,00
Capim buffel	Caule	51N	2	0,00	0,00	0,00	0,00	144,42	27,15	0,00	0,00	28,14	0,00
Capim buffel	Caule	51N	3	0,00	0,00	0,00	0,00	104,88	20,31	0,00	0,00	20,04	0,00
Capim buffel	Caule	51S	1	0,00	0,00	2,21	0,00	1124,94	61,05	0,00	0,00	109,87	10,37

Tabela 4 A. Continuação.

Espécie	Componente	Posição	Rep.	AsC	CdC	CrC	CuC	FeC	MnC	NiC	PbC	ZnC	TiC
Capim buffel	Caule	51S	2	0,00	0,00	1,93	0,00	843,99	57,28	0,00	0,00	107,42	6,99
Capim buffel	Caule	51S	3	0,00	0,00	1,74	0,00	1006,87	62,93	0,00	0,00	114,59	9,12
Capim buffel	Caule	5	1	0,00	0,00	0,00	0,00	762,63	19,25	0,00	0,00	1,48	2,89
Capim buffel	Caule	5	2	0,00	0,00	0,00	0,00	860,27	20,28	0,00	0,00	6,45	4,66
Capim buffel	Caule	5	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Feijão	Caule	32S	1	0,00	0,00	0,00	0,00	99,96	11,32	0,00	0,00	27,97	0,00
Feijão	Caule	32S	2	0,00	0,00	0,00	0,00	100,82	12,50	0,00	0,00	30,64	0,00
Feijão	Caule	32S	3	0,00	0,00	0,00	0,00	84,52	10,71	0,00	0,00	25,68	0,00
Feijão	Caule	33N	1	0,00	0,00	0,00	0,00	60,76	10,34	0,00	0,00	19,07	0,00
Feijão	Caule	33N	2	0,00	0,00	0,00	0,00	53,51	8,25	0,00	0,00	16,47	0,00
Feijão	Caule	33N	3	0,00	0,00	0,00	0,00	70,98	10,62	0,00	0,00	15,88	0,00
Feijão	Caule	33S	1	0,00	0,00	0,00	0,00	79,58	10,67	0,00	0,00	12,87	0,00
Feijão	Caule	33S	2	0,00	0,00	0,00	0,00	84,40	10,75	0,00	0,00	11,01	0,00
Feijão	Caule	33S	3	0,00	0,00	0,00	0,00	.	12,91	0,00	0,00	10,39	0,00
Feijão	Caule	34N	1	0,00	0,00	0,00	0,00	28,28	12,21	0,00	0,00	13,72	0,00
Feijão	Caule	34N	2	0,00	0,00	0,00	0,00	32,11	12,31	0,00	0,00	16,45	0,00
Feijão	Caule	34N	3	0,00	0,00	0,00	0,00	29,73	9,65	0,00	0,00	14,59	0,00
Feijão	Caule	35N	1	.	0,00	0,00	4,89	99,82	21,17	0,00	.	.	0,00
Feijão	Caule	35N	2	0,47	0,00	0,00	6,99	197,87	33,25	0,00	0,00	59,19	0,00
Feijão	Caule	35N	3	0,23	0,00	0,00	5,41	221,47	33,41	0,00	0,00	56,00	0,00
Jurema	Caule	2	1	0,00	0,00	0,00	0,00	47,36	5,75	0,00	0,00	0,00	0,00
Jurema	Caule	2	2	0,00	0,00	0,00	0,00	44,61	6,77	0,00	0,00	0,00	0,00
Jurema	Caule	2	3	0,00	0,00	0,00	0,00	27,00	3,80	0,00	0,00	0,00	0,00
Mamona	Caule	33S	1	0,00	0,00	0,00	0,00	15,04	18,43	0,00	0,00	11,29	0,00
Mamona	Caule	33S	2	0,00	0,00	0,00	0,00	13,24	17,91	0,00	0,00	10,32	0,00

Tabela 4 A. Continuação.

Espécie	Componente	Posição	Rep.	AsC	CdC	CrC	CuC	FeC	MnC	NiC	PbC	ZnC	TiC
Mamona	Caule	33S	3	0,00	0,00	0,00	0,00	23,48	16,30	0,00	0,00	10,57	0,00
Mamona	Caule	34S	1	.	0,00	0,00	0,00	.	.	0,00	43,89	.	0,00
Mamona	Caule	34S	2	0,00	0,00	0,00	0,00	98,07	23,56	0,00	45,54	40,63	0,00
Mamona	Caule	34S	3	0,00	0,00	0,00	0,00	116,89	23,22	0,00	42,78	40,01	0,00
Mamona	Caule	35S	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,54	0,00	0,00	10,44	0,00
Mamona	Caule	35S	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,84	0,00	0,00	10,89	0,00
Mamona	Caule	35S	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,88	0,00	0,00	10,31	0,00
Mamona	Caule	44S	1	0,00	0,00	0,00	0,00	98,87	24,63	0,00	0,00	43,89	0,00
Mamona	Caule	44S	2	0,00	0,00	0,00	0,00	98,07	23,56	0,00	0,00	40,63	0,00
Mamona	Caule	44S	3	0,00	0,00	0,00	0,00	98,64	23,22	0,00	0,00	40,01	0,00
Mandacaru	Caule	21S	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,97	0,00	0,00	0,00	0,00
Mandacaru	Caule	21S	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,22	0,00	0,00	0,00	0,00
Mandacaru	Caule	21S	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,16	0,00	0,00	0,00	0,00
Milho	Caule	33N	1	0,00	0,00	0,00	2,72	58,72	41,43	0,00	0,00	155,97	0,00
Milho	Caule	33N	2	0,00	0,00	0,00	3,87	56,89	45,24	0,00	0,00	134,70	0,00
Milho	Caule	33N	3	0,00	0,00	0,00	2,56	54,48	35,08	0,00	0,00	172,09	0,00
Milho	Caule	35N	1	0,00	0,00	0,73	0,00	89,84	41,80	0,00	0,00	163,83	0,00
Milho	Caule	35N	2	0,00	0,00	1,33	0,00	140,06	64,83	0,00	0,00	240,40	0,00
Milho	Caule	35N	3	0,00	0,00	.	0,00	149,69	59,94	0,00	0,00	216,17	0,00
Milho	Caule	4	1	0,00	0,00	0,00	0,00	124,41	60,03	0,00	0,00	143,57	0,00
Milho	Caule	4	2	0,00	0,00	0,00	0,00	132,53	59,42	0,00	0,00	144,00	0,00
Milho	Caule	4	3	0,00	0,00	0,00	0,00	169,35	57,21	0,00	0,00	145,00	0,00
Milho	Caule	41N	1	0,00	0,00	0,00	0,00	158,73	55,70	0,00	0,00	163,43	0,00
Milho	Caule	41N	2	0,00	0,00	0,00	0,00	190,55	67,51	0,00	0,00	201,06	0,00
Milho	Caule	41N	3	0,00	0,00	0,00	0,00	.	86,52	0,00	0,00	240,02	0,00
Mamona	Caule	32S	1	0,00	0,00	0,00	0,00	74,97	14,81	0,00	0,00	10,97	0,00

Tabela 4 A. Continuação.

Espécie	Componente	Posição	Rep.	AsC	CdC	CrC	CuC	FeC	MnC	NiC	PbC	ZnC	TiC
Mamona	Caule	32S	2	0,00	0,00	0,00	0,00	90,29	16,27	0,00	0,00	13,19	0,00
Mamona	Caule	32S	3	0,00	0,00	0,00	0,00	87,17	16,50	0,00	0,00	14,99	0,00
Mucambo	Caule	11N	1	0,00	0,00	0,00	0,00	129,69	18,61	0,00	0,00	51,82	0,00
Mucambo	Caule	11N	2	0,00	0,00	0,00	0,00	82,50	39,20	0,00	0,00	23,02	0,00
Mucambo	Caule	11N	3	0,00	0,00	0,00	0,00	226,82	29,53	0,00	0,00	.	0,00
Palma forrageira	Caule	32N	1	0,00	0,00	0,00	0,00	74,32	80,89	0,00	0,00	44,62	0,00
Palma forrageira	Caule	32N	2	0,00	0,00	0,00	0,00	83,37	.	0,00	0,00	67,63	0,00
Palma forrageira	Caule	32N	3	0,00	0,00	0,00	0,00	68,23	75,57	0,00	0,00	40,54	0,00
Pinhão-branco	Caule	11S	1	0,00	0,00	0,00	0,00	50,15	7,46	0,00	0,00	0,00	0,00
Pinhão-branco	Caule	11S	2	0,00	0,00	0,00	0,00	59,93	7,98	0,00	0,00	0,00	0,00
Pinhão-branco	Caule	11S	3	0,00	0,00	0,00	0,00	53,58	9,71	0,00	0,00	0,00	0,00
Pinha	Caule	3	1	0,00	0,00	0,00	0,00	6,35	24,11	0,00	0,00	42,21	0,00
Pinha	Caule	3	2	0,00	0,00	0,00	0,00	7,37	22,53	0,00	0,00	32,42	0,00
Pinha	Caule	3	3	0,00	0,00	0,00	0,00	.	25,58	0,00	0,00	34,18	0,00
Quebra Facão	Caule	1	1	0,00	0,00	0,00	0,00	8,31	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00
Quebra Facão	Caule	1	2	0,00	0,00	0,00	0,00	7,55	1,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Quebra Facão	Caule	1	3	0,00	0,00	0,00	0,00	.	0,51	0,00	0,00	0,00	0,00
Seriguela	Caule	3	1	0,00	0,00	0,00	0,00	21,24	4,56	0,00	0,00	0,00	0,00
Seriguela	Caule	3	2	0,00	0,00	0,00	0,00	18,45	2,94	0,00	0,00	0,00	0,00
Seriguela	Caule	3	3	0,00	0,00	0,00	0,00	16,76	3,88	0,00	0,00	0,00	0,00
Umbú-cajá	Caule	3	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,44	0,00	0,00	0,00	0,00
Umbú-cajá	Caule	3	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,31	0,00	0,00	0,00	0,00
Umbú-cajá	Caule	3	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,75	0,00	0,00	0,00	0,00
Umburaninha	Caule	25N	1	0,00	0,00	0,00	0,00	114,86	.	0,00	0,00	0,00	0,00
Umburaninha	Caule	25N	2	0,00	0,00	0,00	0,00	175,65	3,34	0,00	0,00	0,00	0,00
Umburaninha	Caule	25N	3	0,00	0,00	0,00	0,00	159,81	3,70	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 5 A. Teores de metais pesados (mg kg^{-1}) em folhas de plantas nativas e cultivadas, determinados por espectrometria de emissão óptica com plasma de argônio indutivamente acoplado (ICP OES).

Espécie	Componente	Posição	Rep.	AsF	CdF	CrF	CuF	FeF	MnF	NiF	PbF	ZnF	TiF
Angico	Folha	3	1	0,00	0,00	0,00	0,00	33,30	8,83	0,00	0,00	16,74	0,00
Angico	Folha	3	2	0,00	0,00	0,00	0,00	39,59	9,50	0,00	0,00	16,79	0,00
Angico	Folha	3	3	0,00	0,00	0,00	0,00	.	.	0,00	0,00	.	0,00
Aroeira	Folha	21N	1	0,00	0,00	33,41	0,30	364,08	21,95	10,05	0,00	21,68	0,00
Aroeira	Folha	21N	2	0,00	0,00	33,12	0,18	380,20	21,63	9,96	0,00	20,24	0,00
Aroeira	Folha	21N	3	0,00	0,00	.	0,64	.	23,49	.	0,00	22,46	0,00
Banana	Folha	35S	1	0,00	0,00	0,00	0,00	.	52,28	0,00	0,00	0,00	23,10
Banana	Folha	35S	2	0,00	0,00	0,00	0,00	1479,42	41,31	0,00	0,00	0,00	14,39
Banana	Folha	35S	3	0,00	0,00	0,00	0,00	1493,72	43,16	0,00	0,00	0,00	15,79
Capim buffel	Folha	31N	1	0,00	0,00	0,00	0,00	47,52	9,59	0,00	0,00	64,70	0,00
Capim buffel	Folha	31N	2	0,00	0,00	0,00	0,00	62,77	12,19	0,00	0,00	75,46	0,00
Capim buffel	Folha	31N	3	0,00	0,00	0,00	0,00	36,14	7,51	0,00	0,00	43,68	0,00
Capim buffel	Folha	31S	1	0,00	0,00	0,00	0,00	27,20	10,29	0,00	0,00	58,19	0,00
Capim buffel	Folha	31S	2	0,00	0,00	0,00	0,00	38,17	12,08	0,00	0,00	65,58	0,00
Capim buffel	Folha	31S	3	0,00	0,00	0,00	0,00	37,67	11,89	0,00	0,00	64,09	0,00
Capim buffel	Folha	32N	1	0,00	0,00	0,00	0,00	140,82	13,72	0,00	0,00	115,56	0,00
Capim buffel	Folha	32N	2	0,00	0,00	0,00	0,00	167,51	16,04	0,00	0,00	137,01	0,00
Capim buffel	Folha	32N	3	0,00	0,00	0,00	0,00	192,52	15,26	0,00	0,00	122,02	0,00
Capim buffel	Folha	41S	1	0,00	0,00	0,00	0,00	291,40	61,25	0,00	0,00	72,26	0,00
Capim buffel	Folha	41S	2	0,00	0,00	0,00	0,00	353,45	68,01	0,00	0,00	81,14	0,00
Capim buffel	Folha	41S	3	0,00	0,00	0,00	0,00	283,12	55,44	0,00	0,00	66,78	0,00
Capim buffel	Folha	51N	1	0,00	0,00	0,00	0,00	297,62	.	0,00	0,00	.	0,00
Capim buffel	Folha	51N	2	0,00	0,00	0,00	0,00	144,42	27,15	0,00	0,00	28,14	0,00
Capim buffel	Folha	51N	3	0,00	0,00	0,00	0,00	104,88	20,31	0,00	0,00	20,04	0,00
Capim buffel	Folha	51S	1	0,00	0,00	2,21	0,00	1124,94	61,05	0,00	0,00	109,87	10,37
Capim buffel	Folha	51S	2	0,00	0,00	1,93	0,00	843,99	57,28	0,00	0,00	107,42	6,99

Tabela 5 A. Continuação.

Espécie	Componente	Posição	Rep.	AsF	CdF	CrF	CuF	FeF	MnF	NiF	PbF	ZnF	TiF
Capim buffel	Folha	51S	3	0,00	0,00	1,74	0,00	1006,87	62,93	0,00	0,00	114,59	9,12
Capim buffel	Folha	5	1	0,00	0,00	0,00	0,00	268,85	23,88	0,00	0,37	50,97	0,00
Capim buffel	Folha	5	2	0,00	0,00	0,00	0,00	294,54	25,54	0,00	0,41	55,44	0,00
Capim buffel	Folha	5	3	0,00	0,00	0,00	0,00	295,74	25,72	0,00	0,30	53,47	0,00
Feijão	Folha	32S	1	0,00	0,00	0,00	0,00	440,47	57,99	0,00	0,00	25,83	0,00
Feijão	Folha	32S	2	0,00	0,00	0,00	0,00	505,21	69,24	0,00	0,00	34,46	0,00
Feijão	Folha	32S	3	0,00	0,00	0,00	0,00	570,63	.	0,00	0,00	38,02	0,00
Feijão	Folha	33N	1	0,00	0,00	0,00	0,00	688,74	66,65	0,00	0,00	.	3,08
Feijão	Folha	33N	2	0,00	0,00	0,00	0,00	.	85,51	0,00	0,00	22,37	6,25
Feijão	Folha	33N	3	0,00	0,00	0,00	0,00	968,72	83,06	0,00	0,00	23,15	4,87
Feijão	Folha	33S	1	0,00	0,00	0,00	0,00	299,69	53,04	0,00	0,00	25,31	0,00
Feijão	Folha	33S	2	0,00	0,00	0,00	0,00	299,14	51,99	0,00	0,00	22,15	0,00
Feijão	Folha	33S	3	0,00	0,00	0,00	0,00	319,13	52,69	0,00	0,00	24,53	0,00
Feijão	Folha	34N	1	0,00	0,00	0,00	0,00	321,91	77,67	0,00	0,00	10,67	0,00
Feijão	Folha	34N	2	0,00	0,00	0,00	0,00	341,40	74,62	0,00	0,00	9,40	0,00
Feijão	Folha	34N	3	0,00	0,00	0,00	0,00	447,19	87,28	0,00	0,00	.	0,00
Feijão	Folha	35N	1	0,00	0,00	0,00	0,65	1477,10	127,98	0,00	0,91	64,00	10,56
Feijão	Folha	35N	2	0,00	0,00	0,00	.	1137,90	111,17	0,00	0,00	57,26	4,44
Feijão	Folha	35N	3	0,00	0,00	0,00	0,24	1165,73	114,15	0,00	0,00	56,48	3,93
Jurema	Folha	2	1	0,00	0,00	0,00	0,00	201,22	93,06	0,00	0,00	14,71	0,00
Jurema	Folha	2	2	0,00	0,00	0,00	0,00	196,60	95,88	0,00	0,00	18,44	0,00
Jurema	Folha	2	3	0,00	0,00	0,00	0,00	179,94	89,99	0,00	0,00	17,04	0,00
Mamona	Folha	33S	1	0,00	0,00	0,00	0,00	1194,93	105,95	0,00	0,00	32,42	3,62
Mamona	Folha	33S	2	0,00	0,00	0,00	0,00	988,19	108,70	0,00	0,00	33,37	.
Mamona	Folha	33S	3	0,00	0,00	0,00	0,00	1080,43	107,50	0,00	0,00	32,20	5,10
Mamona	Folha	34S	1	0,00	0,00	0,00	0,00	454,65	41,69	0,00	0,00	36,57	0,00

Tabela 5 A. Continuação.

Espécie	Componente	Posição	Rep.	AsF	CdF	CrF	CuF	FeF	MnF	NiF	PbF	ZnF	TiF
Mamona	Folha	34S	2	0,00	0,00	0,00	0,00	419,14	38,80	0,00	0,00	30,64	0,00
Mamona	Folha	34S	3	0,00	0,00	0,00	0,00	464,50	41,43	0,00	0,00	35,74	0,00
Mamona	Folha	35S	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Mamona	Folha	35S	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Mamona	Folha	35S	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Mamona	Folha	44S	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Mamona	Folha	44S	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Mamona	Folha	44S	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Mandacaru	Folha	21S	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,97	0,00	0,00	0,00	0,00
Mandacaru	Folha	21S	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,22	0,00	0,00	0,00	0,00
Mandacaru	Folha	21S	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,16	0,00	0,00	0,00	0,00
Milho	Folha	33N	1	0,00	0,00	0,00	2,02	122,12	64,56	0,00	0,00	68,09	0,00
Milho	Folha	33N	2	0,00	0,00	0,00	1,29	117,12	62,08	0,00	0,00	62,55	0,00
Milho	Folha	33N	3	0,00	0,00	0,00	1,28	107,00	58,89	0,00	0,00	62,18	0,00
Milho	Folha	35N	1	0,00	0,00	0,00	0,00	82,09	21,74	0,00	0,00	24,59	0,00
Milho	Folha	35N	2	0,00	0,00	0,00	0,00	95,03	20,51	0,00	0,00	26,11	0,00
Milho	Folha	35N	3	0,00	0,00	0,00	0,00	101,51	21,62	0,00	0,00	29,48	0,00
Milho	Folha	4	1	0,00	0,00	0,00	0,00	589,41	.	0,00	0,00	.	0,00
Milho	Folha	4	2	0,00	0,00	0,00	0,00	461,34	68,75	0,00	0,00	46,63	0,00
Milho	Folha	4	3	0,00	0,00	0,00	0,00	373,08	66,08	0,00	0,00	47,30	0,00
Milho	Folha	41N	1	0,00	0,00	0,00	0,00	317,37	90,39	0,00	0,00	81,49	0,00
Milho	Folha	41N	2	0,00	0,00	0,00	0,00	335,85	99,27	0,00	0,00	86,28	0,00
Milho	Folha	41N	3	0,00	0,00	0,00	0,00	331,07	95,52	0,00	0,00	83,35	0,00
Mamona	Folha	32S	1	0,00	0,00	0,00	0,00	364,74	46,03	0,00	0,00	.	0,00
Mamona	Folha	32S	2	0,00	0,00	0,00	0,00	469,72	58,78	0,00	0,00	42,24	0,00
Mamona	Folha	32S	3	0,00	0,00	0,00	0,00	501,74	63,07	0,00	0,00	47,52	0,00

Tabela 5 A. Continuação.

Espécie	Componente	Posição	Rep.	AsF	CdF	CrF	CuF	FeF	MnF	NiF	PbF	ZnF	TiF
Mucambo	Folha	11N	1	0,00	0,00	0,00	0,00	296,47	38,47	0,00	0,00	18,46	0,00
Mucambo	Folha	11N	2	0,00	0,00	0,00	0,00	278,24	36,00	0,00	0,00	16,00	0,00
Mucambo	Folha	11N	3	0,00	0,00	0,00	0,00	277,55	35,86	0,00	0,00	16,22	0,00
Palma forrageira	Folha	32N	1	0,00	0,00	0,00	0,00	74,32	80,89	0,00	0,00	44,62	0,00
Palma forrageira	Folha	32N	2	0,00	0,00	0,00	0,00	83,37	.	0,00	0,00	67,63	0,00
Palma forrageira	Folha	32N	3	0,00	0,00	0,00	0,00	68,23	75,57	0,00	0,00	40,54	0,00
Pinhão-branco	Folha	11S	1	0,00	0,00	0,00	0,00	219,27	161,81	0,00	0,00	34,65	0,00
Pinhão-branco	Folha	11S	2	0,00	0,00	0,00	0,00	174,01	159,27	0,00	0,00	33,48	0,00
Pinhão-branco	Folha	11S	3	0,00	0,00	0,00	0,00	201,78	168,07	0,00	0,00	38,00	0,00
Pinha	Folha	3	1	0,00	0,00	0,00	0,00	117,77	37,70	0,00	0,00	0,00	0,00
Pinha	Folha	3	2	0,00	0,00	0,00	0,00	118,89	38,05	0,00	0,00	0,00	0,00
Pinha	Folha	3	3	0,00	0,00	0,00	0,00	.	.	0,00	0,00	0,00	0,00
Quebra Facão	Folha	1	1	0,00	0,00	0,00	0,00	.	57,14	0,00	0,00	45,87	0,00
Quebra Facão	Folha	1	2	0,00	0,00	0,00	0,00	175,75	51,85	0,00	0,00	38,64	0,00
Quebra Facão	Folha	1	3	0,00	0,00	0,00	0,00	166,64	52,49	0,00	0,00	39,01	0,00
Seriguela	Folha	3	1	0,00	0,00	0,00	0,00	25,92	.	0,00	0,00	0,00	0,00
Seriguela	Folha	3	2	0,00	0,00	0,00	0,00	53,10	55,89	0,00	0,00	0,00	0,00
Seriguela	Folha	3	3	0,00	0,00	0,00	0,00	40,60	50,25	0,00	0,00	0,00	0,00
Umbú-cajá	Folha	3	1	0,00	0,00	0,00	0,00	.	.	0,00	0,00	0,00	0,00
Umbú-cajá	Folha	3	2	0,00	0,00	0,00	0,00	24,02	57,72	0,00	0,00	0,00	0,00
Umbú-cajá	Folha	3	3	0,00	0,00	0,00	0,00	29,43	59,62	0,00	0,00	0,00	0,00
Umburaninha	Folha	25N	1	0,00	0,00	0,00	0,00	620,55	98,03	0,00	0,00	21,51	0,00
Umburaninha	Folha	25N	2	0,00	0,00	0,00	0,00	587,92	99,52	0,00	0,00	24,95	0,00
Umburaninha	Folha	25N	3	0,00	0,00	0,00	0,00	574,39	94,76	0,00	0,00	20,50	0,00

Tabela 6 A. Teores de metais pesados (mg kg^{-1}) em frutos de plantas nativas e cultivadas, determinados por espectrometria de emissão óptica com plasma de argônio indutivamente acoplado (ICP OES).

Espécie	Componente	Posição	Rep.	AsFr	CdFr	CrFr	CuFr	FeFr	MnFr	NiFr	PbFr	ZnFr	TiFr
Angico	Fruto	3	1	0,00	0,00	0,00	0,00	17,84	6,48	0,00	0,00	29,11	0,00
Angico	Fruto	3	2	0,00	0,00	0,00	0,00	17,55	6,51	0,00	0,00	30,85	0,00
Angico	Fruto	3	3	0,00	0,00	0,00	0,00	14,09	5,84	0,00	0,00	26,47	0,00
Aroeira	Fruto	21N	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Aroeira	Fruto	21N	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Aroeira	Fruto	21N	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Banana	Fruto	35S	1	0,00	0,00	0,00	0,00	21,15	40,51	0,00	0,00	43,29	0,00
Banana	Fruto	35S	2	0,00	0,00	0,00	0,00	21,73	27,68	0,00	0,00	26,94	0,00
Banana	Fruto	35S	3	0,00	0,00	0,00	0,00	16,93	34,72	0,00	0,00	37,52	0,00
Capim buffel	Fruto	31N	1	0,00	0,00	2,47	2,20	145,33	17,09	0,00	0,00	72,99	0,00
Capim buffel	Fruto	31N	2	0,00	0,00	2,56	2,21	147,28	17,64	0,00	0,00	69,97	0,00
Capim buffel	Fruto	31N	3	0,00	0,00	2,93	2,76	158,15	18,21	0,00	0,00	73,90	0,00
Capim buffel	Fruto	31S	1	0,00	0,00	1,26	1,49	162,44	28,47	0,00	0,00	71,78	0,00
Capim buffel	Fruto	31S	2	0,00	0,00	1,04	1,63	154,86	27,65	0,00	0,00	74,93	0,00
Capim buffel	Fruto	31S	3	0,00	0,00	1,25	2,25	171,05	30,17	0,00	0,00	81,49	0,00
Capim buffel	Fruto	32N	1	0,00	0,00	2,53	3,08	257,90	20,91	0,00	0,00	84,04	0,00
Capim buffel	Fruto	32N	2	0,00	0,00	1,84	3,07	250,72	20,91	0,00	0,00	80,11	0,00
Capim buffel	Fruto	32N	3	0,00	0,00	1,62	3,14	257,98	20,72	0,00	0,00	83,19	0,00
Capim buffel	Fruto	41S	1	0,00	0,00	0,00	0,00	194,84	60,17	0,00	0,00	84,42	0,00
Capim buffel	Fruto	41S	2	0,00	0,00	0,00	0,00	262,82	75,48	0,00	0,00	102,28	0,00
Capim buffel	Fruto	41S	3	0,00	0,00	0,00	0,00	271,40	77,93	0,00	0,00	105,32	0,00
Capim buffel	Fruto	51N	1	0,00	0,00	0,35	0,00	164,88	36,06	0,00	0,00	75,05	0,00
Capim buffel	Fruto	51N	2	0,00	0,00	0,33	0,00	190,47	36,90	0,00	0,00	77,52	0,00
Capim buffel	Fruto	51N	3	0,00	0,00	0,18	0,00	150,33	32,80	0,00	0,00	69,35	0,00
Capim buffel	Fruto	51S	1	0,00	0,00	7,12	0,00	248,07	30,74	0,00	0,00	54,25	0,00
Capim buffel	Fruto	51S	2	0,00	0,00	5,37	0,00	249,18	32,90	0,00	0,00	62,56	0,00

Tabela 6 A. Continuação.

Espécie	Componente	Posição	Rep.	AsFr	CdFr	CrFr	CuFr	FeFr	MnFr	NiFr	PbFr	ZnFr	TiFr
Mamona	Fruto	32S	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Mucambo	Fruto	11N	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Mucambo	Fruto	11N	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Mucambo	Fruto	11N	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Palma forrageira	Fruto	32N	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Palma forrageira	Fruto	32N	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Palma forrageira	Fruto	32N	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Pinhão-branco	Fruto	11S	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Pinhão-branco	Fruto	11S	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Pinhão-branco	Fruto	11S	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Pinha	Fruto	3	1	0,00	0,00	0,00	0,00	11,11	7,85	0,00	0,00	7,95	0,00
Pinha	Fruto	3	2	0,00	0,00	0,00	0,00	11,78	8,12	0,00	0,00	8,87	0,00
Pinha	Fruto	3	3	0,00	0,00	0,00	0,00	10,39	7,38	0,00	0,00	7,57	0,00
Quebra Facão	Fruto	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Quebra Facão	Fruto	1	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Quebra Facão	Fruto	1	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Seriguela	Fruto	3	1	0,00	0,00	0,00	0,40	12,75	4,10	0,00	0,00	10,71	0,00
Seriguela	Fruto	3	2	0,00	0,00	0,00	0,59	18,48	4,59	0,00	0,00	13,99	0,00
Seriguela	Fruto	3	3	0,00	0,00	0,00	0,11	19,04	4,31	0,00	0,00	12,44	0,00
Umbú-cajá	Fruto	3	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Umbú-cajá	Fruto	3	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Umbú-cajá	Fruto	3	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Umburaninha	Fruto	25N	1	0,00	0,00	0,00	0,00	31,11	12,82	0,00	0,00	18,71	0,00
Umburaninha	Fruto	25N	2	0,00	0,00	0,00	0,00	29,97	12,91	0,00	0,00	18,20	0,00
Umburaninha	Fruto	25N	3	0,00	0,00	0,00	0,00	40,91	13,43	0,00	0,00	19,01	0,00

