

Determinação e Comparação dos Fatores de Transferência Solo-Planta para Pb e Cd no Município de Santo Amaro-BA

Gustavo Alonso Muñoz Magna

Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, ingmag@gmail.com

Sandro Lemos Machado

Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, smachado@ufba.

Roberto Bagattini Portella

Universidade Federal da Bahia, Barreiras, Brasil, rportella@ufba.br

RESUMO: Os fatores de transferência solo-planta relacionam o conteúdo de um elemento químico presente na espécie vegetal ou parte dela com o conteúdo total presente no mesmo solo onde esta se desenvolve, permitindo avaliar de forma simples a biodisponibilidade, transferência e translocação dos metais desde o solo para as plantas e o potencial risco que supõe o consumo alimentar das mesmas. O presente trabalho tem como objetivo determinar e comparar os diferentes fatores de transferência solo-planta para os contaminantes chumbo e cádmio em alimentos vegetais e gramíneas desenvolvidas em solos contaminados na área urbana e no entorno da cidade de Santo Amaro-BA. As espécies vegetais avaliadas corresponderam às ervas: alumã, aroeira, boldo do Chile e cidreira, aos frutos: acerola e limão, além das gramíneas, capim de burro e capim braquiária, espécies que apresentaram conteúdos mensuráveis dos contaminantes de interesse nos ensaios realizados neste estudo. As concentrações dos contaminantes avaliados foram determinadas mediante a técnica de espectrometria de absorção atômica por chama e forno de grafite. Os valores se apresentaram na faixa de 0,004-0,13 para Pb e 0,003-2,20 para Cd. Os resultados experimentais obtidos supõem que os fatores de transferência solo-planta podem ser considerados como baixos em comparação aos valores de referência apresentados na literatura e aos elevados teores dos contaminantes especificamente de Pb encontrados no solo da área de estudo. Não se observou uma associação forte entre os teores de Pb nas espécies vegetais e seu respectivo conteúdo no solo. Conclui-se que os fatores de transferência solo-planta são extremamente dependentes da espécie vegetal analisada e que o conteúdo dos contaminantes no solo não é a única variável que influencia a transferência dos contaminantes de interesse para as espécies vegetais.

PALAVRAS-CHAVE: Metais, Biodisponibilidade, Contaminação de Solo, Riscos.

1 INTRODUÇÃO

O acúmulo de metais no solo e sua possível transferência para espécies vegetais é um aspecto de grande preocupação quanto aos riscos sobre a saúde da população devido à persistência deste tipo de contaminação e a toxicidade destes poluentes (YOON et al., 2006). Espécies vegetais desenvolvidas em solos contaminados podem acumular elevadas quantidades de metais gerando um potencial risco para a população devido ao consumo alimentar dos mesmos (ISLAM et al., 2007). Em contraste com outros contaminantes como os orgânicos, os metais não são degradáveis e, apesar de apresentar alguma

mobilidade no meio ambiente, a contaminação é relativamente estável ao longo do tempo (BALDRIAN, 2010).

Segundo Galán & Romero (2008), o solo acumula e concentra os metais, devido a sua capacidade de retenção principalmente nas camadas superficiais que correspondem à parte biologicamente mais ativa do solo, desta forma estes elementos podem estar facilmente acessíveis para os cultivos vegetais quando esta capacidade de retenção é ultrapassada. Chaney & Oliver (1996) afirmam que as plantas se comportam como mecanismo de transferência de contaminantes do solo, para níveis mais altos na cadeia alimentar, porém, também são barreiras

importantes para essa transferência, condição que é definida pelo conceito barreira solo-plantas. A barreira solo-plantas pode estar formada por: i) insolubilidade dos metais no solo; ii) imobilização dos contaminantes nas raízes das plantas e iii) a fitotoxicidade, que pode reduzir o crescimento das mesmas ou causar a morte das espécies vegetais.

Por outro lado, a concentração de metais nos vegetais é variada, entre outros aspectos, em função da disponibilidade do elemento no solo, a espécie e a parte do vegetal que é analisada (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 2000). Embora, Chary et al., (2007) citando Cambier (1997) expõe que a acumulação no caso do Pb nas espécies vegetais acontece somente com altas concentrações do metal no solo.

O objetivo do presente trabalho é avaliar a atual transferência dos metais chumbo e cádmio para espécies vegetais cultivadas em solos com elevadas concentrações destes poluentes no município de Santo Amaro-BA, através da determinação dos fatores de transferência solo-plantas, fatores que permitem avaliar mesmo de forma preliminar e simples a biodisponibilidade dos metais no solo e o potencial risco que pode significar o consumo alimentar dos mesmos.

1.1 Disponibilidade dos Metais do Solo para as Plantas

Segundo Voutsas et al.,(1996), os metais provenientes de fontes antropogênicas entram no ambiente e seguem os ciclos biogeoquímicos normais no solo. Kabata-Pendias & Pendias (2000), afirma que a persistência dos contaminantes no solo é muito mais longa em comparação com outros compartimentos ambientais e a contaminação do solo especificamente por metais parece ser permanente.

Alloway (1995) faz referência à rizosfera (área com tamanho de 1-2 mm, localizada entre as raízes das plantas e o solo). Esta recebe grandes quantidades de matéria orgânica condição que aumenta e faz mais intensa a atividade microbiológica e bioquímica modificando as propriedades físico-químicas do solo entorno delas.

Kabata-Pendias & Pendias (2000) e Galán & Romero (2008), expõem que características próprias do tipo de solo tais como: pH, conteúdo

de matéria orgânica, teor de carbonatos, minerais de argila, tamanho de partícula e textura condicionam fortemente a ocorrência de vários processos neste meio, tais como dissolução, solubilização e precipitação, imobilização de metais por organismos do solo, adsorção em óxidos de Fe, Al e Mn e formação de quelatos pela matéria orgânica. O anteriormente exposto influencia a mobilidade dos contaminantes no solo, sua disponibilidade e sua potencial absorção pelas plantas.

Da mesma forma, segundo Galán & Romero (2008) a facilidade com que um metal potencialmente tóxico possa aceder na cadeia trófica através do solo depende também da especiação do elemento, isto é, das fases em que ele se encontra na matriz, e não somente da sua concentração total (BOSSO & ENZWEILER, 2008).

Por tanto, o conteúdo total de metais no solo não se corresponde necessariamente com a disponibilidade dos mesmos e um elevado teor de contaminantes neste meio nem sempre está diretamente relacionada com um alto conteúdo nas espécies vegetais (INTAWONGSE & DEAN, 2005; CHOPIN & ALLOWAY, 2007).

1.2 Absorção de Metais pelas Plantas

A absorção de metais pelas plantas, está condicionada pela mobilidade dos contaminantes no solo, a especiação do metal, além da característica específica de afinidade de cada espécie vegetal. Kabata-Pendias & Pendias (2000) mencionam as condições climáticas como outro fator que pode influenciar a absorção de metais pelas plantas, devido aos fluxos de águas e temperatura. Por outro lado, a presença de altos conteúdos de outros metais tais como Cu, Ni, Zn, Se, Mn e P podem reduzir a absorção dos metais pelas espécies vegetais. Relações antagônicas e sinérgicas são descritas por Kabata-Pendias & Pendias (2000) destacando o efeito antagônico que exerce o Zn no solo sobre a absorção de Cd pelas plantas.

De maneira mais específica, segundo Alloway (1995), os fatores que afetam a quantidade de metal absorvido por uma planta está condicionada por: (i) as concentrações e especiação dos metais na solução do solo; (ii) movimentos dos metais, desde o solo até a superfície das raízes; (iii) transporte dos metais

desde a superfície das raízes até o interior destas e (iv) translocação desde as raízes, até outras partes da planta.

Alloway (1995) menciona que, a absorção de metais, pelas raízes das plantas, pode ser produzida por processos passivos (não metabólica) e ativos (metabólicos). A absorção passiva implica a difusão de íons presentes na solução do solo dentro das endodermes das raízes. Por outro lado, a absorção ativa tem lugar junto com a gradiente de concentração, requerendo energia metabólica. Porém, os mecanismos parecem diferir entre os metais, por exemplo, a absorção de Pb é geralmente considerada como passiva, enquanto que a de Cu, Mo e Zn, pode ser considerada como uma absorção ativa metabólica, ou uma combinação de ambas (ALLOWAY, 1995).

Cabe destacar também que as diferenças relativas na captação dos íons metálicos entre as espécies de plantas e culturas é geneticamente controlada e influenciada por vários fatores, entre os quais se destacam, a área superficial das raízes; capacidade de troca catiônica e exsudação das mesmas e a taxa de evapotranspiração indicando as diferenças nos mecanismos de absorção (ALLOWAY, 1995).

1.3 Fatores de Transferência solo-planta ($FT_{solo-planta}$)

Uma aproximação empírica que permite avaliar a transferência dos metais desde o solo para as espécies vegetais corresponde ao cálculo dos fatores de transferência solo-planta ($FT_{solo-planta}$). Os $FT_{solo-planta}$ relacionam a quantidade total ou parcial de um elemento químico presente na espécie vegetal analisada ou parte dela com seu respectivo conteúdo total no solo (ORIHUELA et al., 2008). A relação é definida pela equação:

$$FT_{solo-planta} = C_{planta} / C_{total-solo} \quad (1)$$

Onde:

$FT_{solo-planta}$: fator de transferência solo-planta
 C_{planta} : concentração do metal na planta ou parte dela (mg/kg)
 $C_{total-solo}$: concentração total do metal no solo (mg/kg)

Os fatores de transferência solo-planta são

calculados mediante o quociente da concentração total do metal presente na espécie vegetal ou parte dela e o conteúdo total do metal no solo. Segundo Orihuela et al., (2008), a anterior definição assume que a relação entre ambas variáveis é linear e constante. Porém, diversos estudos expõem que esta relação não tem porque ser linear, podendo ser pontual no tempo e espaço.

Por outro lado, segundo Kachenko & Singh (2006) um fator de transferência elevado expõe uma débil retenção dos contaminantes no solo e a capacidade de absorção dos metais pela espécie vegetal analisada. Alloway (1995) apresenta valores de fatores de transferência para diferentes metais desenvolvidos por Klope et al., (1994), os valores para chumbo encontram-se na faixa 0,01-0,1 e no caso do cádmio entre 1-10. Intawongse & Dean (2005), expõem fatores de transferência típicos ou considerados de referência para os metais Pb e Cd menores ao reportados por Alloway (1995), os quais estão nas faixas 0,0-0,9 e 0,0-2,7 respectivamente.

1.4 O Caso do Passivo Ambiental da COBRAC

O município de Santo Amaro, localizado no Recôncavo Baiano, a 72 km de Salvador, continua sendo atingido pela contaminação remanescente causada pelo passivo ambiental da COBRAC, condição que segundo Machado et al., (2004), começou em 1956 quando a metalúrgica foi instalada na cidade e sendo mais intenso entre as décadas de 1960 e 1970.

O processo de beneficiamento do chumbo baseava-se na obtenção do óxido de chumbo (PbO) por meio de ustulação oxidante da galena ou do sulfeto de chumbo (PbS), seguida das operações de sinterização e redução do óxido de chumbo à Pb metálico. O processo tem como subproduto, escórias que contêm até 4% em peso de PbO e traços de cádmio (Cd), antimônio (Sb) e arsênio (As), entre outros metais (RIBEIRO et al., 2003).

Por falta de conhecimento, gerenciamento inadequado dos resíduos e regulamentações na época, a escória obtida como subproduto do processo foi utilizada e disposta, pelo próprio poder público, de diversas formas durante o período de operação da fábrica, como por exemplo, na pavimentação das ruas do centro da

cidade, exemplo seguido por diversos moradores, que utilizaram a escória nos quintais de suas casas e pátios de escola.

Resultados expostos por Anjos (2003) demonstram que a escória é um resíduo perigoso, conforme NBR 10.004/1987. Esta situação provocou a contaminação de vários compartimentos ambientais, condição que foi reportada no ano 2003 pela FUNASA e que identificou o município de Santo Amaro como uma das áreas prioritárias para a vigilância ambiental relacionada com solos contaminados no Brasil.

Conteúdos de Pb e Cd no solo das áreas impactadas pelo passivo ambiental da COBRAC (quintais e área externa da fábrica) foram expostos por Rabelo (2010). Os antecedentes confirmam a persistência da contaminação por metais pesados em solos de quintais do município e na área externa da fábrica em um raio de 4,0 Km aproximadamente. Das análises realizadas em 223 amostras de solo superficial da Rua Rui Barbosa, aproximadamente 80% apresentaram valores acima do limite de investigação para chumbo (300 mg/kg) para áreas residenciais e 50% apresentaram concentrações acima do limite de intervenção industrial (900 mg/kg) estabelecido pela resolução CONAMA N°420/2009. O valor da concentração média obtida para chumbo foi de 1316,24 mg/kg e para cádmio o valor correspondeu a 7,4 mg/kg. Já na área externa da fábrica foram detectados valores médios para Pb e Cd de 307,58 e 4,93 (mg/kg) respectivamente.

2 MATERIAS E METODOS

2.1 Área de Estudo

Foram determinadas duas áreas de estudo, a primeira corresponde a quintais com hortas da Rua Rui Barbosa e Sacramento, ruas identificadas no projeto Purifica (2002) como áreas prioritárias de investigação por contaminação de solo. O segundo cenário trata-se da área geográfica vinculada à dispersão das antigas emissões atmosféricas da fábrica.

2.2 Espécies Vegetais Avaliadas

A coleta de amostras das espécies vegetais (frutas, ervas e gramíneas) nas áreas de estudo,

foram obtidas em trabalho de campo. Da mesma forma, foram coletadas amostras de solo superficial (20 cm) nos mesmos pontos onde se desenvolvem as espécies vegetais avaliadas (quintais com horta e área externa da fábrica).

Os alimentos vegetais e gramíneas selecionados para a determinação dos $FT_{solo-planta}$, foram escolhidos mediante o critério de presença de conteúdos de Pb e Cd nos ensaios realizados. As frutas e ervas selecionadas foram acerola limão, aroeira, alumã, boldo do Chile e cidreira. No caso das gramíneas, foram selecionadas as espécies capim de burro e capim braquiária.

2.3 Determinação do Conteúdo de Pb e Cd nas Espécies Vegetais e Solo

A determinação das concentrações dos metais Pb e Cd no solo, foi realizada mediante a técnica de Espectrometria de Absorção Atômica (EAA) por chama. No caso dos vegetais, a determinação dos teores de Pb e Cd foi realizada mediante a técnica de Espectrometria de Absorção Atômica por chama e forno de grafite. Nos vegetais, os ensaios foram realizados em amostras de polpa dos frutos, folhas e/ou caule segundo a espécie analisada, todas correspondem a partes comestíveis e folhas. No caso do solo, foram analisados os primeiros 20 cm de profundidade.

2.4 Determinação dos Fatores de Transferência solo-planta ($FT_{solo-planta}$)

Para a determinação dos $FT_{solo-planta}$ nas diferentes espécies vegetais analisadas, utilizou-se a equação (1). Os teores utilizados no cálculo correspondem a concentrações medias de ambos os contaminantes tanto no solo como nos vegetais. No caso da determinação dos $FT_{solo-planta}$ para Cd se empregou como critério o valor de concentração de 5 mg/kg (valor máximo) quando o concentração mensurada nos vegetais e solo se apresentara abaixo do limite de detecção do método (<5 mg/kg).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Fatores de transferência solo-planta ($FT_{solo-planta}$)

Os fatores de transferência solo-planta determinados encontram-se na faixa de 0,004-0,015 e 0,003-2,2 para os contaminantes Pb e Cd respectivamente. Os valores calculados se correspondem aos valores expostos por Alloway (1995) e Intawongse & Dean (2005).

Pode-se observar que os valores dos $FT_{solo-planta}$ para Pb nas espécies aroeira, cidreira e acerola são similares, entretanto as espécie boldo do Chile, alumã e limão apresentaram valores relativamente baixo em comparação às outras espécies analisadas mesmo com elevadas concentrações de Pb no solo.

Tabela 1. Fatores de transferência solo-planta para Pb e Cd de espécies vegetais cultivadas em quintais com horta da Rua Rui Barbosa e Sacramento.

Espécies vegetais	Pb				Cd			
	C solo	C vegetal	n	FT solo-planta	C solo	C vegetal	n	FT solo-planta
Aroeira	1789,3	27,5	3	0,015	<5	7,9	3	1,58
Alumã	4925,0	20,6	2	0,004	14,3	<5	2	0,34
Boldo do Chile	2683,0	16,8	2	0,006	<5	11	2	2,2
Cidreira	1619,6	19,9	3	0,012	11,3	<5	3	0,44
Acerola	2174,3	22,4	4	0,01	18,4	0,25	3	0,01
Limão	2972,0	15,5	2	0,005	19,5	0,07	2	0,003

C_{solo} : concentração média do metal no solo (mg/kg); $C_{vegetal}$: concentração média do metal na planta (mg/kg); n: número de amostras; <5: Limite de detecção do método, valor considerado como 5 para o cálculo dos fatores de transferência

Entretanto, o comportamento observado para o Cd com relação aos fatores de transferência solo-planta foi inverso, um baixo teor de cádmio no solo (abaixo do limite de detecção do método) apresentou conteúdos mensuráveis em duas das espécies avaliadas. O anterior pode indicar que a fração disponível (biodisponível) de cádmio no solo pode corresponder a uma grande parte do conteúdo total de cádmio neste meio e/ou que estas espécies vegetais apresentam uma afinidade na absorção e acumulação deste contaminante na parte aérea, ao respeito Alloway (1995) menciona que o genótipo da planta é uns dos fatores que tem maior influência na absorção de cádmio o que explicaria o fato da diferença entre as espécies analisadas. Além disso, o Cd apresenta uma maior mobilidade no solo em comparação com outros metais. Os resultados permitem determinar que os conteúdos dos contaminantes de interesse no solo são transferidos e absorvidos em quantidades variáveis e de maneira específica pelas diferentes

espécies vegetais.

No caso das gramíneas desenvolvidas na área externa da fábrica, os valores dos fatores de transferência solo-planta para Pb se apresentam na faixa de 0,0194-0,1340 se correspondendo aos apresentados por Intawongse & Dean (2005). Os valores para Cd são menores aos expostos na literatura indicando que um alto conteúdo de cádmio no solo não se relaciona proporcionalmente com o conteúdo presente nas gramíneas avaliadas. Os resultados são expostos na Tabela 2.

Tabela 2. Fatores de transferência solo-planta para Pb e Cd encontrados em gramíneas da área externa da fábrica.

Espécies vegetais	Pb				Cd			
	C solo	C vegetal	n	FT solo-planta	C solo	C vegetal	n	FT solo-planta
Capim de burro	1889,5	253,3	5	0,1340	14,2	<5	5	0,35
Capim braquiária	782,5	15,2	4	0,0194	11,7	<5	4	0,43

C_{solo} : concentração média do metal no solo (mg/kg); $C_{vegetal}$: concentração média do metal na planta (mg/kg); n: número de amostras; <5: Limite de detecção do método, valor considerado como 5 para o cálculo dos fatores de transferência solo-planta

A Figura 1 expõe valores dos $FT_{solo-planta}$ máximos para ambos os contaminantes determinados nas espécies vegetais avaliadas. Os valores se apresentam agrupados em ervas e gramíneas (valores máximos obtidos).

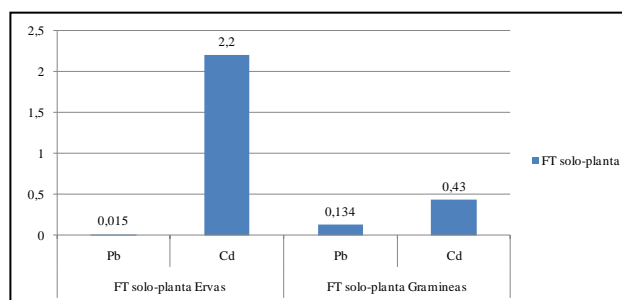


Figura 1. Comparação dos FT solo-planta para Pb e Cd nos dois grupos de espécies vegetais avaliadas

Na figura 1, ao comparar as ervas e gramíneas analisadas, pode se observar a tendência na maior transferência do Cd e em menor medida do Pb por parte das primeiras (ervas) condição representada pelos $FT_{solo-planta}$ calculados. No caso das gramíneas se aprecia um comportamento diferente em relação às ervas, apresentando-se uma tendência na transferência específica desde o solo de Pb e em menor medida do Cd, mesmo na presença de elevadas concentrações dos contaminantes no solo. Por outro lado, os valores

determinados indicam que os fatores de transferência apresentam a seguinte ordem decrescente Cd>Pb, situação que é confirmada por Nirmal et al., (2009) que expõem a ordem decrescente Cd>Co>Pb>Ni>Cu>Zn>Fe para $FT_{solo-planta}$ comumente encontrada em diferentes espécies vegetais.

As concentrações de Pb no solo onde são cultivadas as espécies avaliadas podem ser consideradas como elevadas utilizando como referência a Resolução CONAMA 420/2009, condição importante que segundo Chary (2007) citando Cambier (1997) permite o acúmulo do contaminante nas espécies vegetais. Vale ressaltar que mesmo existindo conteúdo (alto ou baixo) do contaminante no solo, somente uma fração do total está disponível para as plantas, condição que é exposta pelos baixos valores dos $FT_{solo-planta}$ para Pb. Mesmo os valores sendo considerados baixos estes são referidos à parte comestível e folhas das espécies avaliadas, podendo existir uma importante variação nos valores dos $FT_{solo-planta}$ ao considerar outras partes das plantas tais como caule e raízes. Kabata-Pendias & Piotrowska (1998) mencionam que geralmente o conteúdo de metais nas plantas decresce, na seguinte ordem; raízes >caule > folhas >fruto >sementes, apresentando conteúdos maiores nas raízes e caule.

$FT_{solo-planta}$ baixos expõem a elevada capacidade do solo na retenção e acumulação de metais, desta forma, pode se inferir que o solo atingido pela contaminação na área de estudo apresenta uma alta capacidade de retenção dos contaminantes de interesse e somente uma pequena fração do conteúdo total dos elementos no solo está disponível para as plantas (fração biodisponível). A fração biodisponível é absorvida em quantidades variáveis dependendo da espécie vegetal analisada. A respeito dos ensaios realizados no Projeto Purifica (2002), estes demonstram e confirmam a elevada capacidade de adsorção e baixa permeabilidade do solo conhecido popularmente como Massapé, típico do Município de Santo Amaro. Vale ressaltar que mesmo observando esta capacidade de retenção de metais pelo solo impactado, os teores detectados para ambos os contaminantes nos alimentos vegetais avaliados se apresentam acima dos valores limites permitidos pela OMS.

Por outro lado, os fatores de transferência

solo-planta estão baseados e supõem uma relação linear entre o conteúdo dos elementos de interesse presentes nas espécies vegetais analisadas ou parte desta e seu respectivo conteúdo no solo. A relação entre o teor de Pb nas espécies vegetais avaliadas e seu respectivo conteúdo no solo, é exposta de forma individual para a espécie capim de burro na Figura 2 por apresentar um maior número de ensaios com conteúdos acima do limite de detecção de método utilizado.

Podem se observar que existe uma associação entre ambas as variáveis de estudo ($r=0,63$; $r^2=0,401$). Esta associação expõe a relação entre os teores de Pb na espécie vegetal avaliada e seu respectivo conteúdo no solo (teores apresentados em logaritmo natural). Mesmo observando esta relação entre ambas as variáveis, o conteúdo no solo não explica o 100% da variação conjunta da relação.

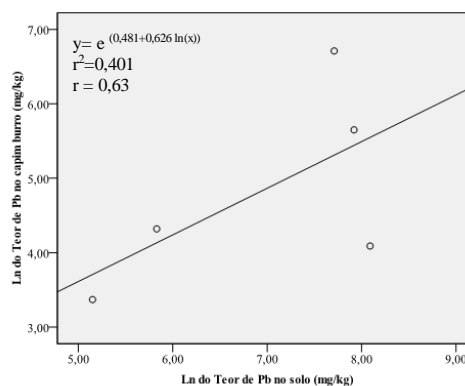


Figura 2. Conteúdo de Pb na espécie vegetal capim burro frente ao respectivo conteúdo total de Pb no solo

Na Figura 3 se expõe o diagrama de dispersão entre as concentrações de chumbo nas espécies vegetais avaliadas, especificamente em ervas e gramíneas e sua correspondente concentração de chumbo no solo.

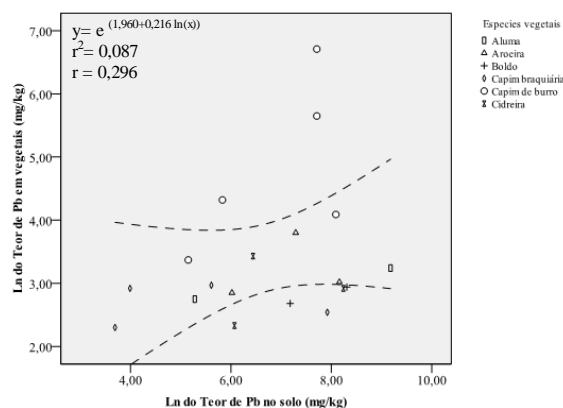


Figura 3. Conteúdo de Pb no total das espécies avaliadas frente ao conteúdo total de Pb no solo

Não foi possível apresentar o diagrama de dispersão para cádmio devido ao fato de que a que aos valores se apresentaram sempre abaixo do limite de detecção do método nos vegetais.

Na Figura 3, pode se observar e confirmar a associação entre as duas variáveis de estudo apresentando uma variação conjunta dos valores no gráfico. Ao aumentar o conteúdo do contaminante no solo, aumenta quantidade de Pb presente nas espécies vegetais. Apesar da existência desta associação entre ambas as variáveis, esta não pode ser considerada como forte, a razão pode ser explicada em função das diferenças entre as espécies vegetais avaliadas que gera o aumento da dispersão e prejudica a análise da relação.

Desta forma, a presença de conteúdos de Pb nas espécies vegetais parece não depender única e exclusivamente do conteúdo do contaminante presente no solo, indicando a multiplicidade de fatores envolvidos na relação estudada e que determinam a transferência e presença do contaminante nas espécies vegetais.

Esta condição pode ser explicada pelas diversas variáveis que influenciam a transferência dos contaminantes de interesse desde o solo para as plantas e os diferentes mecanismos na sua posterior translocação e acumulação no interior das mesmas. O anterior é confirmado no estudo realizado por Finster et al., (2003) que reporta a ausência de relação forte entre os conteúdos de Pb presentes na parte comestível de espécies vegetais e seu respectivo conteúdo no solo, porém apresenta uma relação entre o conteúdo de Pb em raízes e seu respectivo conteúdo no solo.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os fatores de transferência solo-planta para chumbo e cádmio determinados no total das espécies vegetais analisadas podem ser considerados como baixos comparados com os valores de referência. Os valores determinados indicam que o conteúdo dos contaminantes no solo não corresponde a única variável que influencia a presença destes elementos nos vegetais, condição que pode ser apreciada ao comparar os *FT* *solo-planta* para cádmio, que apresentaram-se maiores em comparação aos *FT* *solo-planta* para Pb (Cd>Pb), sendo o conteúdo no

solo deste contaminante menor ao teor Pb.

Mesmo sendo os valores dos *FT* *solo-planta* baixos, a presença de teores dos contaminantes de interesse na parte aérea e/ou comestível das espécies avaliadas expõe a transferência dos metais desde o solo, sua absorção e translocação, esta condição indica que uma parte do total do conteúdo dos contaminantes no solo esta biologicamente disponível (biodisponível) de forma específica para as espécies vegetais avaliadas e expõe o potencial risco que pode supor o consumo de espécies vegetais cultivadas no solo da área impactada.

FT *solo-planta* baixos pode indicar a capacidade do solo da área de estudo na retenção e acumulação de metais, característica do tipo de solo conhecido popularmente como Massapé. Mesmo observando esta capacidade do solo, os teores detectados de ambos os contaminantes superam os limites estabelecidos pela OMS para alimentos vegetais.

Observou-se uma associação entre as concentrações de Pb detectadas nas espécies vegetais e seu respectivo teor no solo. Porém esta relação não pode ser considerada com forte concluindo que o conteúdo de Pb no solo não explica 100% da relação, não correspondendo à única variável que influencia a transferência, e absorção do contaminante nos vegetais avaliados.

Embora as espécies vegetais avaliadas apresentem mecanismos de absorção, distribuição, metabolismo e excreção diferenciados, os *FT* *solo-planta* determinados permitem avaliar a proporção do conteúdo dos contaminantes de interesse presente no solo que é transferido para as plantas.

Por último, recomenda-se evitar o consumo de alimentos vegetais cultivados em solos da área impactada, devido à presença, persistência e toxicidade dos contaminantes avaliados.

AGRADECIMENTOS

A realização do trabalho foi possível graças ao apoio das equipes do Centro de pesquisas e desenvolvimento (CEPED), Laboratório de geotecnia ambiental da UFBA (GEOAMB) e as instituições CAPES e Fundação Escola Politécnica.

REFERÊNCIAS

- Anjos, J. A. S. A. dos. (2003). Avaliação da Eficiência de uma Zona Alagadiça (Wetland) no Controle da Poluição por Metais Pesados: O Caso da Plumbum em Santo Amaro da Purificação/BA. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 301 p.
- Alloway, B.J. (1995). Heavy Metals in Soils. 2nd ed., Blackie Academic & Professional. London, UK, 386 p.
- Baldrian, P. (2010). Effect of Heavy Metals on Saprotrophic Soil Fungi, Soil Heavy Metals. Springer, Noida, UP, India, Vol. 19, p.263-279.
- Bosso, T.S e Enzweiler, J. (2008). Ensaio para Determinar a (bio)disponibilidade de Chumbo em Solos Contaminados:Revisão. Química Nova, Vol.31, p.394-400.
- Chary, N.S; Kamala, C.T; Raj Suman Samuel, D. (2007). Assessing Risk of Heavy Metals from Consuming Food Grow on Sewage Irrigated Soils and Food Chain Transfer. Ecotoxicology and Environmental Safety. Vol.69, p. 513-524.
- Chopin, E.I.B; Alloway, B.J. (2007). Distribution and Mobility of Trace Elements in Soils and Vegetation Around the Mining and Smelting Areas of Tharsis, Riotinto and Huelva, Iberian Pyrite Belt, SW Spain. Water Air Soil Pollut, Vol. 182, p 245-261.
- Brasil. (2009). Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N°420, de 2009: Critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antropicas.
- Finster, M.E; Gray, K.A; Binns, H.J. (2003). Lead Levels of Edibles Grown in Contaminated Residential Soils: a Field survey. The Science of the Total Environment, Vol.320, p. 245-257.
- Fundação Nacional de Saúde (2003). Capítulo V: Contaminantes de interesse. Avaliação de risco à saúde por exposição a metais pesados em Santo Amaro da Purificação-BA.Disponível em:http://www.acpo.org.br/saudeambiental/CGVAM/02_Avaliacao_de_Risco/05_Santo%20Amaro_BA/Parte%2001%20Ficha%20t%20E9cnica%20e%20EDndic e.pdf. Acesso em: 08 de maio de 2009.
- Nirmal,K.J.I; Hiren, S; Kumar,N.R; Bhatt, I. (2009). Hyperaccumulation and Mobility of Heavy Metals in Vegetable Crops in India. The Journal of Agriculture and Environment, Vol.10, p. 29-38.
- Machado, S. L; Ribeiro, L. D.; Kiperstok, A.; Botelho, M. A. B.; Carvalho, M. DE F. (2004). Diagnóstico da Contaminação por Metais Pesados em Santo Amaro – BA. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, Vol. 9, p 140-155.
- Orihuela, D. L; Hernandez, J. C; Weiland C. M; Moreno, C. M. (2008). Factores de Transferencia Suelos-Hojas del Ni en Melocotones. Posibles Alteraciones por la Bajada de pH del Suelo. Agrícola Vergel, Vol. 313, p. 35-40.
- Rabelo, S. T. (2010). Estudo das rotas remanescentes de contaminação por chumbo e cádmio no município de Santo Amaro-BA. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia. Salvador. 154 p.
- Ribeiro, L. D; Machado, S. L; Kiperstok, A.; Baker, F. R.(2003). Contaminação por Metais Pesados em Santo Amaro da Purificação - BA - Uso de Técnicas de Hidrometalurgia no Reprocessamento de Resíduos Perigosos. V Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental - REGEO, Porto Alegre.
- Galan, H.E e Romero, B.A. (2008). Contaminación de Suelos por Metales Pesados. Conferencia Contaminación de Suelos por Metales Pesados. Revista de la Sociedad Española de Mineralogía, MACLA, Vol. 10, p. 48-60.
- Islam E. U; Yang, X; He Zhen, L; Mahmood, Q. (2007). Assessing Potential Dietary Toxicity of Heavy Metals in Selected Vegetables and Food Crops. Journal of Zhejiang University. Vol.8. p. 1-13.
- Kabata-Pendias, A e Pendias, H. (2000). Trace Elements in Soils and Plants. 3rd ed., CRC Press, Boca Raton, Florida, EEUU, 432 p.
- Kabata-Pendias, A e Piotrowska. M. (1998). Transfer of Cadmium, Zinc, and Lead from Soils to Plants. Transport, Fate and Effects of Silver in the Environment.
- Kachenko,A.G e Sing, B. (2006). Heavy Metals Contamination in Vegetables Grow in Urban and Metal Smelter Contaminated Sites in Austrália. Water, Air, and Soils, Vol. 169, p. 101-123.
- Intawongse, M e Dean, R.D. (2005). Uptake of Heavy Metals by Vegetables Plants Grow on Contaminated Soil and their Bioavailability in the Human Gastrointestinal Tract, Food Additives and Contaminants, Vol. 23, p. 36-48.
- Voutsas, D; Grimanis, A; Samara, C. (1996). Trace Elements in Vegetables Grow in an Industrial Area in Relation to Soil and Air Particulate Matter. Environment Pollution, Vol. 94, p. 325-335.
- Yoon, J; Xinde, C; Qixing. Z; Lena. Q. Ma (2006). Accumultion of Pb, Cu, and Zn in Native Plants Growing on a Contaminated Florida Site. Science of the Total Environment, Vol.368. p. 456-464.