



ELEMENTOS-TRAÇO NO SOLO, NAS ÁGUAS E NAS PLANTAS DE UMA LAVOURA DE ARROZ IRRIGADO DO RIO GRANDE DO SUL

Christina Venzke Simões de Lima¹ e Egon José Meurer²

Resumo: O Rio Grande do Sul é o maior produtor nacional de arroz irrigado por alagamento do Brasil. Algumas lavouras cultivam o arroz irrigado há mais de 100 anos. Em solos agrícolas, as principais fontes da entrada de elementos-traço provêm de agroquímicos, de lodos, de resíduos industriais e de fertilizantes fosfatados. Essa preocupação leva em consideração principalmente os elementos não essenciais às plantas como o Pb, Cr e Cd, que oferecem risco à saúde humana. Este estudo teve por objetivo quantificar os teores de Cd, de Cr e de Pb nas águas, no solo e nas plantas de arroz irrigado no município de Cachoeirinha-RS. As extrações dos elementos das amostras foram feitas pelo método USEPA 3050B e a quantificação por espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES). Os elementos quantificados no solo e nas plantas da lavoura apresentaram-se dentro dos limites permitidos pela legislação, com exceção aos teores de Cd nas águas da lavoura.

Palavras-chaves: Metais pesados. Cádmiio. Chumbo. Cromo. Contaminantes.

1 Introdução

Há uma crescente preocupação com a contaminação dos solos, das águas e da atmosfera por metais pesados. A contaminação destes compartimentos é atribuída a fatores naturais e antrópicos, sendo este último o maior responsável, uma vez que as atividades humanas geram diariamente inúmeros subprodutos nas diversas atividades de produção. A expressão metais pesados não necessariamente apresenta a melhor definição para os elementos, podendo também ser referida como "metais traço", "metais tóxicos", "elementos-traços", entre outros (ADRIANO, 2001; KABATA-PENDIAS; MUKHERJEE, 2007). Elementos-traço referem-se àqueles elementos que ocorrem em níveis de parte por milhão, ou seja, em teores traços. Estes elementos-traço podem ser tóxicos, como Pb, Cd, Hg, As, Ti e U e elementos que são biologicamente essenciais como Co, Cu Mn, Se e Zn (ALLOWAY, 1993).

As atividades agrícolas empregam grandes quantidades de agroquímicos e fertilizantes com os objetivos de proteger as culturas contra pragas e aumentar a produção de grãos, respectivamente (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001). No

entanto, estes insumos podem conter impurezas em suas formulações, como por exemplo, os elementos Cd, Cr, Mo, Pb, U, V, Zn presentes nos fertilizantes, e os elementos Cu, As, Hg, Pb, Mn, Zn presentes nos agroquímicos (LEMES, 2001). Os elementos-traço não são degradáveis e podem permanecer no solo por um longo tempo. Eles têm o potencial de serem transferidos para as culturas e afetarem a população pela entrada na cadeia alimentar (BAKER; BROOKS, 1989).

Na agricultura irrigada cerca de 70% da água é proveniente de rios, lagos e aquíferos, que corresponde aproximadamente a 2.600 km³ da disponibilidade de água global (CHRISTOFIDIS, 2008). A orizicultura é muito dependente da qualidade da água de irrigação. A importância da qualidade da água de irrigação está associada à salinidade e à toxicidade. A toxicidade decorre da absorção pelas plantas de elementos não essenciais, devido à contaminação das águas, que tem se agravado consideravelmente, acarretando vários problemas ambientais, dentre esses, a grande liberação de elementos tóxicos para os rios (JORDÃO et al., 1999). Esses elementos podem expressar seu potencial poluente diretamente nos organismos do

¹ E-mail: chris.solos@yahoo.com.br

² E-mail: Egon José Meurer egon.meurer@ufrgs.br

Departamento de Solos, UFRGS. Av. Bento Gonçalves 7712, Caixa Postal 15100, CEP 91501-970 Porto Alegre/RS.

solo, pela disponibilidade às plantas em níveis fitotóxicos, além da possibilidade de transferência para a cadeia alimentar (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001; SOARES et al., 2005).

A importância da preservação dos solos e dos recursos hídricos tem levado à necessidade de monitorar e controlar a contaminação destes ambientes, sendo que os elementos não essenciais estão entre os contaminantes mais tóxicos e persistentes dos solos e do ambiente aquático.

Diante do exposto, é importante um estudo que quantifique as concentrações destes elementos nos diferentes compartimentos da lavoura de arroz irrigado por alagamento, visto que o cultivo de arroz é feito há muitos anos e nunca houve a avaliação de elementos-traço nesta área.

2 Material e métodos

2.1 Água da lavoura de arroz irrigado

O estudo foi realizado na estação experimental do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), no município de Cachoeirinha – RS. Para atingir os objetivos propostos, foram coletadas amostras de água em três pontos de captação para irrigação localizados no rio Gravataí, em seis pontos aleatórios da lâmina de água da lavoura e em seis pontos ao longo do canal de drenagem para o rio Gravataí. No momento da coleta, foram determinados os valores de pH, de condutividade elétrica e a temperatura da água nos pontos amostrados (Tabela 1).

Tabela 1 - Valores de pH, condutividade elétrica (CE) e temperatura da água nos pontos de captação para irrigação, na lâmina de água e no canal de drenagem para o rio Gravataí.

Pontos coletados	pH (água)	CE (dS m ⁻¹)	Temperatura (°C)
Água de captação (Rio Gravataí)			
P1AC	8,1	1,16	21
P2AC	8,1	1,16	21
P3AC	8,2	1,13	22
Lâmina de água			
P1AL	7,1	0,94	23
P2AL	6,8	0,98	23
P3AL	6,9	0,88	24
P4AL	7,5	1,02	23
P5AL	7,5	1,04	24
P6AL	7,4	0,97	22
Água de drenagem			
P1AD	7,6	0,98	23
P2AD	7,3	0,88	23
P3AD	7,4	0,85	24
P4AD	7,2	0,85	23
P5AD	7,1	0,89	23
P6AD	7,5	0,84	23

Legenda dos pontos: P1AC, P2AC e P3AC: Pontos de coleta de água de captação do rio em três diferentes locais; P1AL, P2AL, P3AL, P4AL, P5AL e P6AL: Pontos de coleta em seis diferentes locais da lâmina de água; P1AD, P2AD, P3AD, P4AD, P5AD e P6AD: Pontos de coleta de água em seis diferentes locais de drenagem geral das lavouras.

Fonte: Autores (2013)

As amostras foram coletadas em frascos com capacidade de 500 mL, no qual foi acrescentado, com conta gotas, ácido nítrico P.A. até a amostra se tornar extremamente ácida (medida com fitas de pH), para a conservação e posterior extração dos elementos.

2.2 Preparo da amostra de água

Com auxílio de uma proveta graduada, transferiu-se 50 mL da amostra de água homogeneizada para um béquer de 250 mL e adicionou-se 1 mL de ácido nítrico (HNO₃) concentrado. Após, foi preciso aquecer, lentamente, em chapa de aquecimento (sem ferver) e reduzir o volume até, aproximadamente, 15 mL (foi retirado do

aquecimento antes que ocorresse a precipitação); Em seguida, a amostra foi resfriada e acrescentou-se mais 1 mL de ácido nítrico (HNO_3) concentrado (ou proporcional a metade do volume correspondente a 4% em relação ao volume de amostra), cobriu-se com vidro relógio e aqueceu-se novamente em chapa de aquecimento, para ocorrer refluxo da amostra. Após, retirou-se as amostras da chapa, aguardou-se o resfriamento e a amostra foi filtrada e transferida para balão volumétrico de 50 mL, lavando o vidro de relógio, as paredes do béquer e o funil com água Milli-Q, recolhendo-os no balão. Por fim, completou-se o volume com água Milli-Q.

2.3 Análise química das águas

As análises das águas foram realizadas seguindo o procedimento técnico

da Central Analítica da FEEVALE, que visa determinar a concentração de metais em águas e efluentes por espectrometria de absorção atômica de chama.

Este procedimento seguiu as recomendações do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998), sendo que para as determinações dos elementos, foi necessário otimizar o equipamento seguindo as orientações do fabricante com relação à linearidade, estequiometria da chama e linhas de absorção. Foi construída uma curva analítica, apresentada na Tabela 2. As curvas de calibração foram construídas com os pontos dentro do intervalo de resposta linear para os elementos. Foi preparada, também, uma prova em branco com água MilliQ e a solução de *check* para otimização do equipamento (Tabela 2), conforme indicação do fabricante (Varian).

Tabela 2 - Pontos para a preparação da curva de analítica para Cd, Pb e Cr e suas concentrações de *check* nas linhas mais sensíveis.

Elemento	Pontos da curva			Solução de Check	Linha analítica
	(mg L ⁻¹)			(mg L ⁻¹)	(nm)
Cádmio	0,1	0,25	0,5	5,0	228,8
Chumbo	0,1	0,25	0,5	5,0	217,0
Cromo	0,25	0,5	1,0	2,5	357,9

Fonte: Autores (2013)

O cálculo e expressão dos resultados foram realizados por:

$$CM = CMAD \times F.D.$$

Onde: CM = concentração do metal em mg L⁻¹

CMAD = concentração de metal na amostra digerida em mg L⁻¹

F.D. = Fator de diluição

2.4 Análise química do solo

As amostras foram coletadas na camada superficial dos solos (0-20 cm), seguindo o método de coletas de amostras de solos da EMBRAPA (1995).

O solo encontra-se na área de abrangência do Instituto Rio-Grandense de Arroz Irrigado, no município de Cachoeirinha/RS e é classificado como Gleissolo Háplico Distrófico típico (EMBRAPA, 2006).

Após a coleta, as amostras foram secas ao ar e tamisadas em peneira com

malha de 4 mm. Atributos selecionados dos solos foram determinados no laboratório de análise de solos da faculdade de agronomia, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, conforme metodologia descrita em Tedesco et al. (1995).

A determinação dos teores de Cd, Cr e Pb foi feita por digestão ácida USEPA 3050B (USEPA, 1996). Este método foi selecionado por estar regulamentado na legislação brasileira nas instruções normativas da resolução 420 do CONAMA (2009).

A determinação dos teores de Cd, Cr e Pb, nos extratos das amostras, foi feita por espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES), em um equipamento da marca Perkin Elmer, da faculdade de agronomia, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Todas as análises foram feitas em triplicata. Em cada bateria de análise uma amostra em branco foi analisada, para fins de controle.

Os limites de detecção (LD) do ICP-OES foram Cd $<0,002 \text{ mg L}^{-1}$, Pb $<0,02 \text{ mg L}^{-1}$ e Cr $<0,004 \text{ mg L}^{-1}$.

2.5 Plantas de arroz da lavoura

O local da lavoura para coleta das plantas foi dividido em seis áreas (Figura 1), onde foram coletadas três plantas (raiz, colmo, folhas e grãos) em cada área, classificando-as, desta forma, como subamostras.

As plantas foram coletadas no estádio de maturação, logo após o enchimento de grãos.

A determinação dos teores de Cd, Cr e Pb nos tecidos das plantas foi feita por digestão ácida USEPA 3050B (USEPA, 1996). A quantificação dos teores de Cd, Cr e Pb nos extratos foi feita por ICP-OES, no Laboratório de Solos da Faculdade de Agronomia, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Figura 1 - Áreas subdivididas para coleta das plantas de arroz (raízes, colmo, folhas e grãos), localizadas no Instituto Rio-Grandense de Arroz (Irga), no município de Cachoeirinha-RS



Fonte: Google Earth (2012).

3 Resultados e discussão

3.1 Águas da lavoura

A quantificação das concentrações de Cd, Cr e Pb nas águas da lavoura encontram-se na Tabela 3. Para o Pb e Cr, as concentrações permaneceram abaixo do limite de detecção do aparelho (Pb $<0,02 \text{ mg L}^{-1}$ e Cr $<0,004 \text{ mg L}^{-1}$), indicando a baixa concentração destes elementos neste compartimento. Segundo a resolução do CONAMA nº 357 (CONAMA, 2005), os padrões de Pb e Cr totais são mais restritivos (Tabela 4). As concentrações dos elementos-traço, nesta resolução, são definidas pela classe em que a água está inserida. A lavoura de arroz irrigado da estação experimental de arroz (IRGA), enquadra-se na Classe 3 das águas doces. Esta classe de

água é destinada: a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; c) à pesca amadora; d) à recreação de contato secundário e; e) à dessedentação de animais.

Os resultados para Cr e Pb encontrados nesta pesquisa corroboram com os dados do relatório de índice de qualidade de água e de teores de elementos-traço (referente ao período de 1992-2011) em diferentes pontos do rio Gravataí divulgado pela Fepam (FEPAM, 2012). O relatório mostra que as concentrações de elementos-traço, na maioria das análises, também não ultrapassaram aos teores permitidos para a Classe 3, minimizando os problemas para as captações de água. É destacado ainda, nas conclusões do relatório, que estão ocorrendo

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.15, n. 1, p. 20-30, jan./jul. 2013

melhorias na qualidade das águas no ponto de amostragem de Cachoeirinha, onde foram coletadas as amostras de água de captação da lavoura em estudo. A melhoria na qualidade se deve provavelmente à

operação de duas estações de tratamento de esgotos – ETE implantadas pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) em Gravataí (Parque dos Anjos) e em Cachoeirinha.

Tabela 3 - Concentrações de Cd, Cr e Pb dos pontos coletados na água de captação para irrigação, na lâmina de água e na água de drenagem para o rio Gravataí.

Pontos de coleta	Cd	Pb	Cr
	-----mg L ⁻¹ -----		
P1AC	0,09	<LD	<LD
P2AC	0,07	<LD	<LD
P3AC	0,18	<LD	<LD
P1AL	0,07	<LD	<LD
P2AL	0,02	<LD	<LD
P3AL	0,13	<LD	<LD
P4AL	0,07	<LD	<LD
P5AL	0,02	<LD	<LD
P6AL	0,16	<LD	<LD
P1AD	0,11	<LD	<LD
P2AD	0,11	<LD	<LD
P3AD	0,18	<LD	<LD
P4AD	0,07	<LD	<LD
P5AD	0,16	<LD	<LD
P6AD	0,07	<LD	<LD

Média de três determinações.

Limite de Detecção do aparelho (LD): Cd <0,002 mg L⁻¹, Pb <0,02 mg L⁻¹, Cr <0,004 mg L⁻¹

Legenda dos pontos: P1AC, P2AC e P3AC: Pontos de coleta de água de captação do rio em três diferentes locais; P1AL, P2AL, P3AL, P4AL, P5AL e P6AL: Pontos de coleta em seis diferentes locais da lâmina de água; P1AD, P2AD, P3AD, P4AD, P5AD e P6AD: Pontos de coleta de água em seis diferentes locais de drenagem geral das lavouras.

Fonte: Autores (2013)

Para o elemento Cd (Tabela 3), todos os pontos coletados enquadram-se acima dos teores permissíveis pela resolução 357 (CONAMA, 2005) (Tabela 4). Entre os elementos-traço, o Cd e o Zn apresentam maior mobilização, migrando para maiores profundidades em solo ou para a coluna de água em ambientes aquáticos (MACHADO et al., 2004). O Cd, por somente existir em água no estágio de oxidação Cd⁺², não apresenta grande influência pelo potencial de oxi-redução da água (CALLAHAN et al., 1979). O Cd na forma iônica aparenta ser a forma mais tóxica e se constitui na forma prevalente em ambientes

aquáticos de baixa salinidade (MACHADO et al., 2004).

Furtado, Scheibe e Lopes (2000) avaliando as concentrações de elementos-traço em amostras da bacia hidrográfica do rio D'uma, em Santa Catarina, encontraram altos teores de Cd nas águas com influência da cultura de arroz. Estas altas concentrações também foram detectadas nos locais onde ocorre a captação de água para o abastecimento da cidade de Imbituba - SC. Na lavoura de Cachoeirinha, avaliada neste estudo, as concentrações de Cd na água de captação também foram altas. Outros trabalhos como de Furtado e Santos (1994), em amostras de sedimentos de

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.15, n. 1, p. 20-30, jan./jul. 2013

corrente da região sul de Santa Catarina, constataram a presença de teores

significativos de Cr, Cd, Co, Zn, Hg e Ni em área de rizicultura.

Tabela 4 - Limites máximos de tolerância para contaminantes inorgânicos (Cd, Cr e Pb) em águas superficiais em águas classificadas como Classe 3.

Órgão regulamentador	Cd	Cr	Pb
-----mg L ⁻¹ -----			
CONAMA 357/05	0,01	0,05	0,033

Fonte: CONAMA (2005).

Neste estudo, em que as concentrações de Cd encontradas nas águas estão acima dos limites da legislação, não significa que o cultivo teve influência nestas concentrações, visto que a água de captação apresentava altos teores do elemento e a água de drenagem apresentou os mesmos níveis de concentração, não tendo alterações dentro da lavoura.

Determinar as concentrações no sistema solo-água-planta da área em estudo é importante, visto que na lavoura avaliada foram detectadas concentrações de Cd maiores do que as permitidas pela legislação e, desta forma, faz-se necessário avaliar se houve contaminação dos solos e/ou absorção pelas plantas. Os solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul apresentam drenagem naturalmente deficiente, decorrente de sua alta densidade, baixa porosidade total, alta relação micro/macroporos, presença de camada subsuperficial com baixa permeabilidade e de relevo plano a suave ondulado (EMBRAPA, 2009). Estas características diminuem o risco de contaminação da água subterrânea. A drenagem deficiente está relacionada não apenas à topografia plana, mas principalmente à ocorrência de

horizontes argilosos, que, por apresentarem uma condutividade hidráulica muito baixa, dificultam a percolação da água no perfil. Estas características, normalmente desfavoráveis para outros cultivos, tornam-se adequadas para o cultivo do arroz irrigado, facilitando a manutenção de uma lâmina de água sobre a superfície do solo (RAUBER, 2004).

3.2 Solo da lavoura

Os atributos e as concentrações totais de Cd, Cr e Pb nas amostras do Gleissolo (EMBRAPA, 2006), são apresentadas na Tabela 5.

Como pode ser observado, as concentrações de Cd e Cr estão dentro dos valores de referência de qualidade (VRQ) da resolução n° 420 (CONAMA, 2009) (Tabela 5), utilizada como comparação. A concentração de Pb apresentou-se acima do VRQ, no entanto, o teor encontrado não apresenta necessidade de investigação, considerando os solos agrícolas, em que é necessário a investigação somente em teores superiores a 180 mg kg⁻¹ (Tabela 6).

Tabela 5 - Atributos e concentrações de elementos-traço em amostra do Gleissolo coletado no município de Cachoeirinha-RS, na estação experimental do IRGA (camada de 0-20 cm de profundidade).

Argila	pH (H ₂ O)	P	K	M.O.	Al trocável	Ca trocável	Mg trocável	CTC (pH 7,0)	Cd	Cr	Pb
		mg dm ⁻³		g kg ⁻¹	-----cmol _c dm ⁻³ -----				-----mg kg ⁻¹ -----		
120	6,4	32	41	19,1	0,1	2,1	1,2	9,1	<0,02	9,6	18,0

Resultados expressos no material seco a 45°C.

Média de três determinações.

Extração ácida EPA 3050b/ICP-OES

Limite de Detecção do aparelho (LD): Cd <0,02 mg kg⁻¹, Pb <0,2 mg kg⁻¹, Cr <0,04mg kg⁻¹

Fonte: Autores (2013)

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.15, n. 1, p. 20-30, jan./jul. 2013

As concentrações de Cd no solo são originalmente baixas e encontram-se na faixa de 0,15 a 0,2 mg kg⁻¹ (SOUZA et al., 1998). O Pb é o menos móvel dos elementos-traço, ocorrendo normalmente em todos os solos, variando de 1 a 200 mg kg⁻¹, sendo que em geral os solos apresentam menos que 20 mg kg⁻¹ de Pb extraído por DTPA-TEA (WALLACE; WALLACE, 1994). O teor médio de Cr nos solos varia de 100 a 300 mg kg⁻¹ (GALVÃO; COREY, 1987). Portanto, as concentrações de Cd, Cr e Pb quantificadas no solo da lavoura de arroz irrigado da estação experimental do IRGA podem ser consideradas originárias do próprio material

de origem do solo. Segundo Streck et al. (2008), este gleissolo, analisado neste estudo, está situado em cota baixa, apresenta limite inferior a 40 metros de altitude e é formado por materiais inconsolidados (areia, silte e argilas). Apesar de incipiente, alguns grupos de pesquisa do Brasil, na última década, direcionaram suas pesquisas à obtenção de teores naturais de elementos-traço nos solos, com o objetivo de regionalizar os valores orientadores para estes elementos (CAMPOS et al., 2003; OLIVEIRA; COSTA, 2004; FADIGAS et al., 2006; PIERANGELI et al., 2009; CAIRES, 2009; BIONDI, 2010).

Tabela 6 - Valores orientadores para os teores de Cd, Cr e Pb para solos estabelecidas pelo CONAMA (2009)

Substâncias	Referência de Qualidade (VRQ)	Prevenção (VP)	Investigação		
			Agrícola PMax	Residencial	Industrial
-----mg kg ⁻¹ -----					
Cádmio (Cd)	<0,5	1,3	3	8	20
Cromo (Cr)	40	75	150	300	400
Chumbo Pb)	17	72	180	390	900

Fonte: CONAMA (2009).

⁽¹⁾ Para comparar os valores orientadores, utilizar as recomendações dos métodos 3050B ou 3051A da USEPA-SW-846 ou outro procedimento equivalente, para digestão ácida de amostras de solos na determinação das substâncias inorgânicas por técnicas espectrométricas.

Fonte: Autores (2013)

Na Grã-Bretanha, um estudo de longa duração, aplicando fertilizantes nos solos contendo Cd em sua composição, não mostrou qualquer acúmulo de Cd no solo (RICHARDS; CLAYTON; REEVE, 1998). Da mesma forma, em estudos realizados em campo durante 15 anos na Suécia, o efeito do Cd adicionado via fertilizantes fosfatados foi menor em relação à variação causada por fatores não controlados na pesquisa, como por exemplo, a precipitação atmosférica de Cd (RIBEIRINHO, 2010). Estudando a região sudoeste do Estado de Goiás, em especial a micro-bacia do rio Doce, que é produtora de grãos, Lima et al. (2010) também tiveram como objetivo a avaliação de elementos-traço (Zn, Cu, Cr, Mn, Fe, Ni, Cd, Pb e Al) em águas e sedimento, devido ao fato de a região em estudo não apresentar dados referentes a contaminação por elementos-traço. Dentre os elementos analisados, somente Al e Fe foram detectados nas amostras de água e Mn, Al e Fe, para o sedimento. No solo, os elementos-traço, geralmente, encontram-se na camada de 0 a 20 cm de profundidade, que é a mais utilizada para fins agrícolas.

Esta situação se agrava quando a quantidade do elemento-traço acumulada excede a capacidade de retenção do solo, tornando-os facilmente absorvidos pelas plantas (WEBB et al., 2001).

3.3 Plantas de arroz da lavoura

As plantas de arroz apresentaram baixas concentrações em seus diferentes tecidos (Tabela 7). Para Cd, de uma maneira geral, as concentrações encontraram-se abaixo do limite de detecção do aparelho de ICP-OES (<0,02 mg kg⁻¹). Os teores que foram detectados apresentaram-se baixos (0,15 a 0,60 mg kg⁻¹), não oferecendo fitotoxicidade às plantas e, nos grãos as concentrações foram inferiores às permitidas pela legislação (CODEX ALIMENTARIUS, 1995; ANVISA, 1965), podendo ser observado na Tabela 8.

Para Cr e Pb, não houve translocação para os grãos, onde os teores não foram detectados pelo aparelho (Tabela 7).

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.15, n. 1, p. 20-30, jan./jul. 2013

Tabela 7 - Concentrações de Cd, de Cr e de Pb nas raízes, nos colmos, nas folhas e nos grãos das plantas de arroz da lavoura de arroz irrigado do município de Cachoeirinha/RS.

Partes da planta de arroz	Cd	Pb		Cr
		-----mg kg ⁻¹ -----		
		Área 1		
Raiz	<LD	8,00		16,70
Colmo	<LD	0,75		0,95
Folhas	0,60	<LD		2,40
Grãos	<LD	<LD		<LD
		Área 2		
Raiz	<LD	6,55		14,75
Colmo	<LD	0,85		2,00
Folhas	0,20	<LD		1,05
Grãos	<LD	<LD		<LD
		Área 3		
Raiz	<LD	8,10		15,45
Colmo	<LD	0,75		1,00
Folhas	0,60	0,00		2,50
Grãos	0,15	0,15		<LD
		Área 4		
Raiz	0,20	7,30		15,80
Colmo	<LD	5,90		1,40
Folhas	<LD	<LD		2,60
Grãos	<LD	<LD		<LD
		Área 5		
Raiz	<LD	5,65		12,15
Colmo	<LD	<LD		0,65
Folhas	0,15	<LD		1,20
Grãos	<LD	<LD		<LD
		Área 6		
Raiz	<LD	7,40		13,35
Colmo	<LD	0,75		0,85
Folhas	<LD	1,40		7,45
Grãos	<LD	<LD		<LD

Média de três determinações.

Extração ácida EPA 3050b/ICP-OES

Limite de Detecção do aparelho (LD): Cd <0,02 mg kg⁻¹, Pb <0,2 mg kg⁻¹, Cr <0,04mg kg⁻¹

Fonte: Autores (2013)

Em estudos de fitotoxicidade, utilizando diversas plantas, Kabata-Pendias e Pendias (2001) indicaram concentrações mínimas e máximas de elementos-traço na parte aérea das plantas (Tabela 9).

Considerando estas concentrações, os teores de Cd, Cr e Pb encontrados nas partes aéreas das plantas de arroz desta lavoura em estudo (Tabela 7) possivelmente não apresentam fitotoxicidade.

Tabela 8 - Limites máximos de tolerância para contaminantes inorgânicos (Cd, Cr e Pb) em grãos de arroz.

Órgão regulamentador	Cd	Cr		Pb
		-----mg kg ⁻¹ -----		
Anvisa (1965)	1,00	0,1		0,5
Codex Alimentarius	0,4	0,1		0,2

Fonte: ANVISA (1965) e CODEX ALIMENTARIUS (1995).

Diferentemente do resultado em que não houve a contaminação do solo, obtido neste estudo, na Espanha foi feito um experimento, por Madejón et al. (2011), em que cultivaram diferentes culturas

comestíveis em um solo com o nível de contaminação alto por elementos-traço. Houve diferenças no acúmulo dos elementos-traço entre as culturas, mas nenhum excedeu concentrações legais em

partes comestíveis e os fatores de transferência solo-planta foram baixos para todos os elementos e culturas. Neste cenário, observou-se que mesmo em condições de contaminação do solo, muitas

vezes, a transferência para as plantas não ocorre de forma expressiva, não oferecendo risco de absorção dos elementos-traço via alimentos contaminados.

Tabela 9 - Concentrações aproximadas, mínimas e máximas, de elementos-traço em folhas maduras para diversas espécies de plantas

Elemento	Concentração normal	Concentração excessiva	Tolerância de algumas
		ou tóxica	plantas
-----mg kg ⁻¹ -----			
Cd	0,01 – 0,2	5 – 30	0,05 – 0,5
Cr	0,1 – 0,5	5 – 30	2
Pb	5 – 10	30 – 300	0,5 – 10

Fonte: Kabata-Pendias e Pendias (2001).

A transferência de elementos-traço dos solos às plantas é dependente de três fatores: da quantidade total de elementos disponíveis na solução (fator quantidade), da atividade dos íons na solução do solo (fator intensidade) e da taxa de transferência do elemento da fase sólida às fases líquidas e às raízes da planta (BRÜEMMER; GERTH; HERMS, 1986). Esta afirmação corrobora com os dados encontrados neste estudo, em que as concentrações de Cd, Cr e Pb dos solos foram baixas (Tabela 5) e a translocação para os grãos, em sua maioria, não atingiu 1% (Tabela 7), indicando que se a concentração total do solo não é expressiva, a fração biodisponível às plantas se torna ainda menor.

4 Conclusões

Contrariando as hipóteses deste estudo, as concentrações de Cd, Cr e Pb nos

solos foram baixas, permanecendo dentro dos valores de referência de qualidade utilizados pelo órgão regulamentador em sua resolução 420 (CONAMA 2009).

Nas águas da lavoura as concentrações de Cd, desde a entrada (água de captação) até a saída (água de drenagem) foram maiores (0,2 a 0,18 mg L⁻¹) que as indicadas pelo resolução 357 (CONAMA, 2005) (0,1 mg L⁻¹), no entanto não houve um aumento nas concentrações da lâmina de água em relação à água de captação, indicando que o cultivo de arroz não interferiu nos teores deste elemento. A concentração dos elementos Cr e Pb estiveram abaixo do limite de detecção do aparelho de ICP-OES.

Nas plantas, as concentrações de Cd, de Cr e de Pb nos grãos não foram detectadas pelo aparelho de ICP-OES e/ou se mantiveram abaixo dos limites permissíveis pela Anvisa (1965).

Trace elements in soil, water and plants of one irrigated rice crop from Rio Grande do Sul

Abstract: *The Rio Grande do Sul state is the largest producer of flooded rice in Brazil. Some flooded rice field is cultivated for more than 100 years. In agricultural soils, the main sources of input trace elements are pesticides, sludge, industrial wastes and phosphate fertilizers. This concern takes into account especially nonessential elements to plants such as Pb, Cr and Cd, which provide human health risk. This study aimed to quantify the levels of Cd, Cr and Pb in water, in soil and rice plants of one rice crop from Cachoeirinha-RS. The extractions of the elements of the samples were made by USEPA Method 3050B and the quantification was done by Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES). The elements in soils and plants were within the limits allowed by law, except for Cd levels in the waters of a rice crop.*

Keywords: Heavy metals. Cadmium. Lead. Chromium. Contaminants.

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.15, n. 1, p. 20-30, jan./jul. 2013

5 Referências

ADRIANO, D. C. **Trace elements in terrestrial environments**: biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals. 2nd ed. New York: Springer Verlag, 2001.

ALLOWAY, B. J. **Heavy metals in soils**. New York: John Wiley & Sons, 1993. 339 p.

ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Decreto nº 55871, de 26 de março de 1965**. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/decretos/55871_65.htm>. Acesso em: 10 out. 2012.

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20th ed. [S.l.], 1998.

BAKER, A. J. M.; BROOKS, R. R. Terrestrial higher plants which hyper accumulate metallic elements—a review of their distribution, ecology and phytochemistry. **Biorecovery**, Berkhamsted, v. 1, p. 81-86, 1989.

BIONDI, C. M. **Teores naturais de metais pesados nos solos de referência do Estado de Pernambuco**. 2010. 70 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

BRÜEMMER, G.; GERTH, J.; HERMS, U. Heavy metal species, mobility and availability in soils. **Zeitschrift fuer Pflanzenernaehr und Bodenkd**, Weinheim, v. 149, p. 382–398, 1986.

CAMPOS, M. L.; PIERANGELI, M. A. P.; GUILHERME, L. R. G. MARQUES, J. J.; CURI, N. Baseline Concentration of Heavy Metals in Brazilian Latosols. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 34, p. 547–557, 2003.

CAIRES, S. M. **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. 304 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

CALLAHAN, M. A. et al. Water related environmental face of 129 priority pollutants. Washington: Environmental Protection Agency, 1979. v. 1.

CHRISTOFIDIS, D. Água, irrigação e segurança alimentar. **Revista Item**, Brasília, n. 77, p. 16-21, 2008.

CODEX ALIMENTARIUS. **Norma Geral para Aditivos Alimentares (GSFA) –CAC/STAN 192-1995 (última revisão)**. Disponível em:

<<http://www.codexalimentarius.net/gsaonline/index.html?lang=en>>. Acesso em: 13 out. 2012.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – IBAMA. **Resolução n. 357, de 17 de março de 2005**. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/praias/res_conama_357_05.pdf>. Acesso em: 12 out. 2012.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA Nº 420/2009**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em: 14 set. 2012.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. SNLCS. **Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1995. 101 p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 2006. 306 p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivo do arroz irrigado no Brasil**. Embrapa Clima Temperado, 2009. Disponível em: <<http://www.cpact.embrapa.br/sistemas/arroz/>>. Acesso em: 09 set. 2012.

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. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, p. 699-705, 2006.

FEPAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE-RS. **Relatório Pró-Guaíba – Rede de Monitoramento Ambiental**. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_gravatai/gravatai.asp>. Acesso em: 23 out. 2012.

FURTADO, S. M. de A.; SANTOS, E. dos. Caracterização de metais pesados na área da Estiva dos Pregos, SC. **Geosul**, Florianópolis, v. 9, n. 17, p. 50-61, 1994.

FURTADO, S. M. A.; SCHEIBE, L. F.; LOPES, L. J. Rizicultura e poluição por metais pesados na bacia hidrográfica do Rio D'uma – SC. **Revista Geografia**, Rio Claro, v. 25, n. 1, p. 5-22, 2000.

GALVÃO, L. A. C.; COREY, G. **Cromo**. Ciudad de México: Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. Organización Mundial de la Salud, 1987.

JORDÃO, C.P.; SILVA, A.C.; PEREIRA, J.L.; BRUNE, W. Contaminação por cromo de águas de rios provenientes de curtumes em Minas

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.15, n. 1, p. 20-30, jan./jul. 2013

Gerais. **Química Nova**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 47, 1999.

KABATA-PENDIAS, A.; MUKHERJEE, A. B. **Trace elements from soil to human**. NewYork: Springer-Verlag, 2007.

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

LEMES, M. J. L. **Avaliação de metais e elementos-traços em águas e sedimentos das bacias hidrográficas dos rios Mogi-Guaçu e Pardo, SP**. 2001. 248 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

LIMA, A.M.; BRAIT, C.H.H.; CABRAL, J.B.P.; SANTOS, F.F. Análise do teor de metais oriundos de atividades agrícolas em águas superficiais e sedimento da micro-bacia do rio doce, Sudoeste do Estado de Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA: AGROINDÚSTRIA, QUALIDADE DE VIDA E BIOMAS BRASILEIROS, 50., 2010, Cuiabá. [Anais...] Cuiabá, 2010.

MADEJÓN, P.; BARBA-BRIOSO, C.; LEPP, N.W.; FERNÁNDEZ-CALIANI, J. C.. Traditional agricultural practices enable sustainable remediation of highly polluted soils in Southern Spain for cultivation of food crops. **Journal of Environmental Management**, London, v. 92, p. 1828-1836, 2011.

MACHADO, S. L.; RIBEIRO, L. D.; KIPERSTOK A.; BOTELHO M. A. B.; CARVALHO M. de F. Diagnóstico da contaminação por metais pesados em Santo Amaro-BA. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 2, p. 140-155, 2004.

OLIVEIRA, T. S.; COSTA; L. M. Metais pesados em solos de uma topolitossequencia do Triângulo Mineiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 785-796, 2004.

PIERANGELI, M. A. P.; EGUCHI, E.S.; RUPPIN, R. F.; COSTA, R. B. F.; VIEIRA, D. F. Teores de As, Pb, Cd e Hg e fertilidade de solos da Região do Vale do Alto Guaporé, Sudoeste do Estado de Mato Grosso. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 39, p. 59-67, 2009.

RAUBER, A. L. **Ordenamento territorial: a cultura do arroz irrigado no município de Rio Pardo, RS, Brasil**. 2004. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional, Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2004.

RIBEIRINHO, V. S. **Transferência do cádmio (¹¹¹Cd) de fertilizantes para**

plantas de arroz. 2010. 75 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

RICHARDS, I. R.; CLAYTON, C. J.; REEVE, A. J. K. Effects of long-term fertilizer phosphorus application on soil and crop phosphorus and cadmium contents. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 131, p. 187-195, 1998.

SOARES, C. R. F. S.; SIQUEIRA, J. O.; CARVALHO, J. G.; MOREIRA, F. M. S. Fitotoxicidade de cádmio para *Eucalyptus maculata* e *E. urophylla* em solução nutritiva. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, p. 175-183, 2005.

SOUZA, S. N.; SILVA, M. S.; LENZI, E.; LUCHESE, E. B. Avaliação de parâmetros referentes ao cádmio como contaminante do lodo de esgoto aplicado num Latossolo Vermelho Escuro. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIODÉTRITOS DO MERCOSUL, 1., 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Sanepar/Abes, 1998.

STRECK, E. V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. rev. e ampl. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222 p.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS. Departamento de Solos, 1995. 174 p.

USEPA. **Method 3050 B**. 1996. Disponível em: <<http://www.epa.gov/wastes/hazard/testmethods/s/w846/pdfs/3050b.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2010.

WALLACE, G. A.; WALLACE, A. Lead and other potentially toxic heavy metals in soil. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 25, p. 137-141, 1994.

WEBB, J.; LOVELAND, P. J.; CHAMBERS, B. J.; MITCHELL, R.; GARWOOD, T. The impact of modern farming practices on soil fertility and quality in England and Wales. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 137, p. 127-138, 2001.

6 Agradecimentos

Ao IRGA e à Dra. Madalena Boeni, por ceder espaço para coletas de solos, águas e plantas da lavoura da área de experimentação. Ao técnico Adão Luis Ramos dos Santos pela contribuição nas análises laboratoriais.