



CONCENTRAÇÕES DE CU, ZN E MN NO SEDIMENTO DE FUNDO DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA COM SUINOCULTURA INTENSIVA

Viviane Capoane¹

RESUMO

A fertilização de culturas com dejetos de suínos é uma prática comum em todo o mundo. No entanto, devido à elevada carga de poluentes contidos nos efluentes, a aplicação contínua em áreas agrícolas pode resultar em efeitos negativos no solo, na planta e no ecossistema aquático. Neste trabalho, foram quantificadas as concentrações dos metais pesados Cu, Zn e Mn no sedimento de fundo de uma bacia hidrográfica com agricultura e pecuária suína intensiva do noroeste do Rio Grande do Sul, bem como, os riscos ambientais que as atividades agropecuárias podem estar causando no ecossistema aquático através da aplicação de diretrizes de qualidade do sedimento (nível de efeito limiar/nível de efeito provável). As amostras de sedimento foram coletadas ao longo do canal principal em condições de baixo fluxo. Concentrações elementares foram determinadas utilizando um espectrômetro de fluorescência de raios-X, em pastilhas prensadas de amostras de sedimento, peneiradas a $\leq 53 \mu\text{m}$. Os resultados obtidos mostraram que as atividades agropecuárias desenvolvidas na bacia hidrográfica estão contribuindo para o enriquecimento do sedimento de fundo com os metais Cu e Zn. Esse aumento é preocupante, pois estes metais têm a capacidade de bioacumulação nos tecidos da biota e podem afetar a distribuição e densidade de organismos bentônicos, bem como a composição e diversidade das comunidades, e efeitos tóxicos já podem estar ocorrendo na biota aquática.

Palavras-chave: Metais Pesados; Agricultura; Pecuária.

ABSTRACT

Concentrations of CU, ZN and MN in bed sediments in watershed with intensive swine production. Fertilization of crops with pig slurry is a common practice all over the world. However, due to the high load of pollutants contained in the effluents, the continuous application in agricultural areas can have negative effects on soil, plant and aquatic ecosystems. In this work we quantified the concentrations of heavy metals Cu, Zn and Mn in the bed sediments of an agricultural watershed with intensive swine production of northwestern Rio Grande do Sul, well as evaluate the environmental risks that agricultural activities could be causing the aquatic ecosystem by applying

¹ Depto. de Solos, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail para correspondência: capoane@gmail.com

sediment quality guidelines (threshold effect level/probable effect level). The sediment samples were collected along the major channel with low flow conditions. Elemental concentrations were determined by X-ray fluorescence spectrometry on pressed pellets of ground and sieved sediments at $\leq 53 \mu\text{m}$. The results showed that the agricultural activities in the watershed are contributing to the enrichment of bed sediment with the metals Cu and Zn. This increase is worrying because these metals have potentially bioaccumulation in the tissues of biota and may affect the distribution and density of benthic organisms.

Keywords: Heavy Metals; Agriculture; Livestock.

INTRODUÇÃO

Há uma preocupação em todo o mundo quanto à contaminação por metais pesados no sedimento de fundo de rios, lagos e reservatórios, devido à persistência ambiental destes elementos, reciclagem biogeoquímica e os riscos ecológicos que alguns metais apresentam (Larsen e Jensen, 1989; Linnike e Zubenko, 2002). Por isso, o estudo dos metais pesados vem sendo considerado prioritário em programas de promoção da saúde em escala mundial.

Uma vez lançados nos ecossistemas aquáticos, os metais pesados ligam-se ou são adsorvidos por partículas de sedimento e, dependendo da morfologia do rio e das condições hidrológicas, partículas em suspensão com contaminantes associados podem se estabelecer ao longo do curso d'água e tornar-se parte dos sedimentos de fundo, muitas vezes, por muitos quilômetros a jusante das fontes de origem. Conforme Förstner (1982), menos de 1% das substâncias que atingem o sistema aquático são dissolvidas em água, conseqüentemente, mais de 99% são estocadas no compartimento sedimentar.

Nos rios, os sedimentos desempenham papel fundamental na dinâmica do transporte físico, acúmulo e biodisponibilização de uma variedade de contaminantes ambientais, além de fornecer alimento para organismos vivos (Förstner e Wittman, 1981; Larsen e Jansen, 1989; Murray *et al.*, 1999). Porém, uma vez adsorvidos ao sedimento, tais espécies podem ser liberadas devido a alterações nas condições ambientais e físico-químicas, podendo contaminar a água e outros sistemas ambientais, levando à bioacumulação e transferência na cadeia trófica (Horowitz, 1991; Yi *et al.*, 2011), o que resulta em sérios riscos ecológicos para os organismos bentônicos, peixes e seres humanos.

Conforme Quinária e Pletsch (2010), os fenômenos de acúmulo e de redistribuição de espécies nos sedimentos os qualificam como de extrema importância em estudos de impacto ambiental, pois registram em caráter mais permanente os efeitos de contaminação. Os sedimentos também são capazes de integrar todos os processos que ocorrem no ecossistema aquático a montante, sendo considerados bons indicadores de qualidade da água e um registro dos efeitos de emissões

antrópicas (Förstner, 1982; Larsen e Jansen, 1989). Por isso, a determinação da concentração de elementos químicos no sedimento de fundo de rios, lagos e reservatórios permite detectar o grau de contaminação e os riscos ecológicos que a água e os organismos bentônicos estão sujeitos; permite avaliar as fontes de poluição associadas, registrando os efeitos de emissões antrópicas; serve de apoio à gestão ambiental de bacias hidrográficas.

Em áreas com suinocultura intensiva, caso da área de estudo da presente pesquisa, a aplicação de dejetos de suínos em solos agrícolas é a fonte antropogênica predominante dos metais pesados Cu, Zn e Mn (Klessa *et al.*, 1985). Estes metais são encontrados no estrume de suínos como resultado da adição na ração alimentar em virtude da necessidade de regulação dos processos fisiológicos e prevenção de distúrbios da saúde animal. Como apenas uma pequena fração dos metais adicionados é retida no corpo do animal (Poulsen, 1998), 70 a 95% do Cu, Zn e Mn são excretados nas fezes e urina (*National Research Council - NRC*, 1989) e estão presentes no adubo que é subsequentemente aplicado no solo como fertilizante orgânico (Nicholson *et al.*, 2003).

Em trabalho desenvolvido por Nicholson *et al.* (1999) e Sager (2007), os autores mostraram que as concentrações de Cu e Zn em dejetos de suínos são significativamente maiores do que em outros esterco animais. Desta forma, a aplicação de dejetos de suínos representa um risco maior de poluição em solos agrícolas. Estes metais constituem elementos essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas, mas podem se tornar fitotóxicos e causar perturbações metabólicas. Adicionalmente, a entrada maciça de Cu e Zn via efluente líquido suíno nos solos também promove a migração através de lixiviação e escoamento superficial, afetando negativamente a qualidade das águas de rios.

O manganês, quando em excesso na solução do solo, também ocasiona toxicidade para as plantas (Li *et al.*, 2014) e, em ecossistemas aquáticos, concentrações de 40 mg L⁻¹ podem ser letais para certos peixes. A US *Environmental Protection Agency* (EPA, 1972) recomenda, para a proteção da vida aquática, concentrações de 0,05 mg L⁻¹ de Mn.

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi quantificar as concentrações dos metais pesados Cu, Zn e Mn no sedimento de fundo de uma bacia hidrográfica com agricultura e pecuária suína intensiva do noroeste do Rio Grande do Sul, e avaliar os riscos ambientais que as atividades agropecuárias podem estar causando no ecossistema aquático através da aplicação de diretrizes de qualidade do sedimento.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

A bacia hidrográfica (BH) estudada na presente pesquisa localiza-se no município de Palmitinho, região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1), possuindo uma área de 1.363 ha. Conforme Rossato (2011), o clima da região é o subtropical muito úmido, e o substrato litológico é composto de basaltos da Formação Serra Geral, *Fácies* Paranapanema, com relevo ondulado e cota mínima de 199 m e máxima de 513 m. As classes de solos mais expressivas da BH são Neossolos e Cambissolos (Cunha *et al.*, 2010).

As áreas agrícolas da BH foram estabelecidas em função da ocupação da área pelos primeiros colonizadores ao longo de cursos d'água e pelos condicionantes de relevo, principalmente pela declividade do terreno (Figura 2A). Assim, encontram-se lavouras nas baixadas, fundo de vales, e em áreas mais íngremes (Figura 2B). Os cultivos comerciais mais expressivos são milho e fumo no verão, enquanto que, no período de inverno, pequenas áreas são cultivadas com forrageiras, e a maior parte fica em pousio hibernar. Da vegetação, outrora de mata nativa pertencente ao bioma Mata Atlântica, restam fragmentos preservados em áreas onde não é possível a prática agrícola em função do relevo acidentado. Em algumas propriedades, devido ao êxodo de jovens, observam-se lavouras abandonadas, com matas em vários estágios de regeneração.

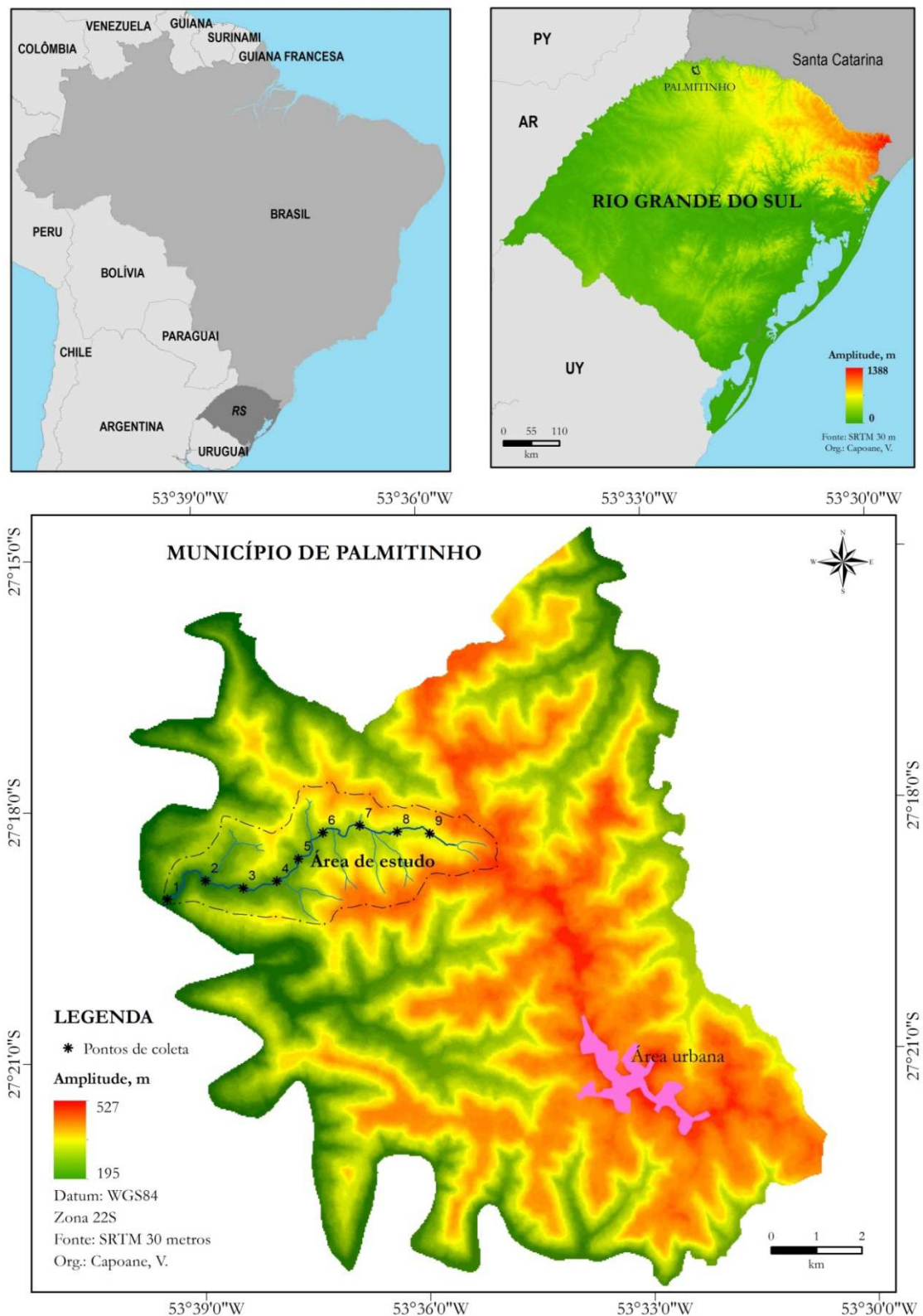


Figura 1. Localização da área de estudo e pontos de amostragem de sedimento de fundo na bacia hidrográfica do Arroio Caldeirão, Palmitinho, Rio Grande do Sul.

As sedes das propriedades (Figura 2B) encontram-se nos vales, próximas aos cursos d'água e nos topos de morros, próximas a nascentes, refletindo o histórico de ocupação próximo de uma fonte segura de abastecimento de água. As áreas de campo antrópico utilizadas na maior parte para

a pecuária leiteira encontram-se próximas às residências. As classes de uso da terra mapeadas na BH do Arroio Caldeirão são: matas (40,2%), lavouras (39,5%), campo antrópico (16,0%), outros usos (4,3%) (Figura 2B). A classe “outros usos” inclui as sedes das propriedades, área comunitária, escola, açudes e estradas. A área da bacia hidrográfica do Arroio Caldeirão é subdividida em 124 propriedades e a economia local baseia-se na suinocultura intensiva, bovinocultura leiteira, fomicultura e aposentadorias (Capoane *et al.*, 2014).

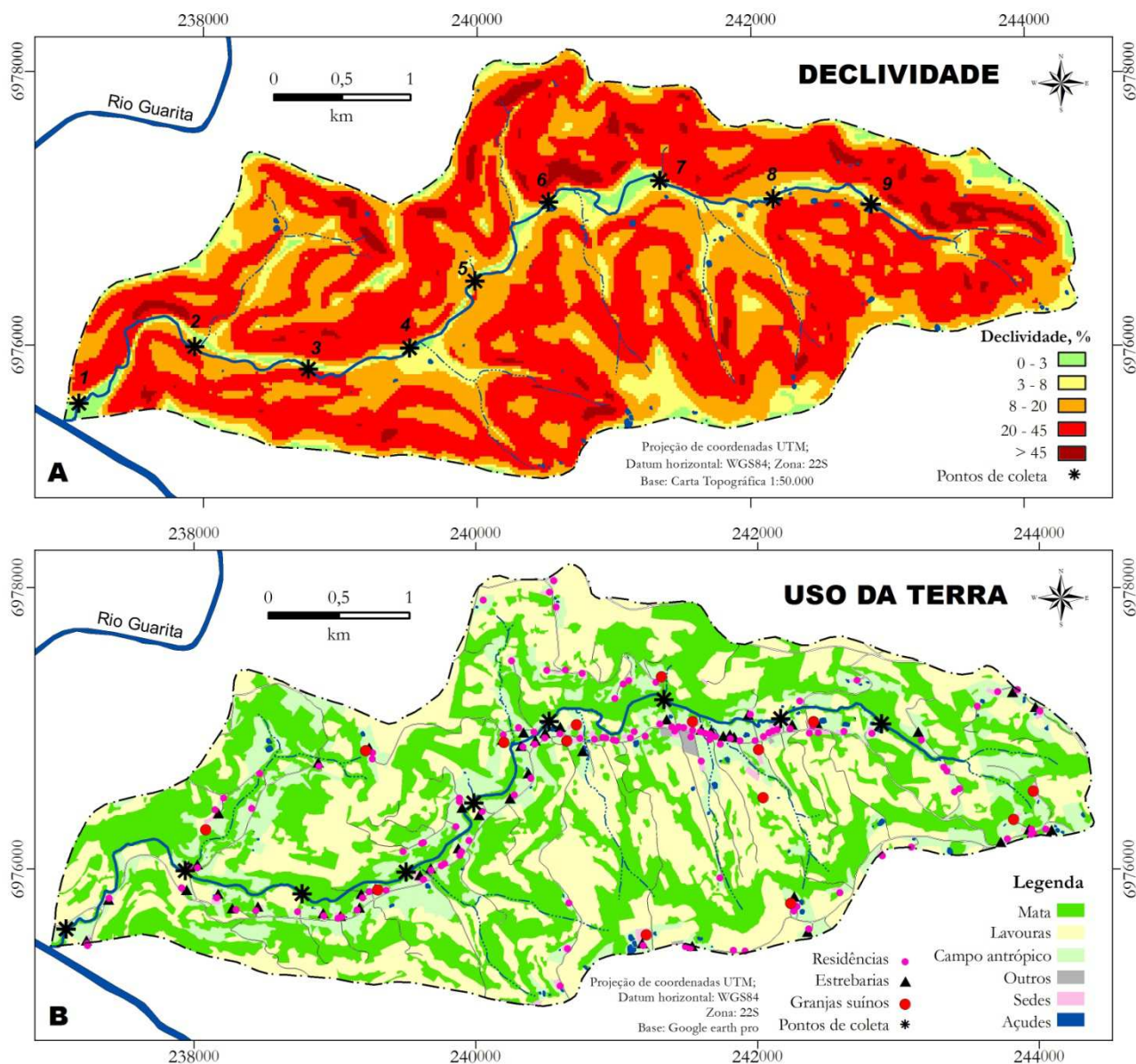


Figura 2. Imagens ilustrando a declividade (A) e as classes de uso da terra (B) na bacia hidrográfica do Arroio Caldeirão.

Coleta das amostras de sedimento de fundo e determinação dos teores de Cu, Zn e Mn

As amostras de sedimentos de fundo foram coletadas ao longo do canal principal em condições de baixo fluxo. Em cada ponto, foram coletadas amostras compostas, 20 sub-amostras,

num total de nove pontos de amostragem. No Laboratório de Química e Fertilidade do Solo do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), as amostras de sedimento foram secas em estufa de circulação forçada a $\pm 50^{\circ}\text{C}$, maceradas e peneiradas em malha de 53 μm de abertura (silte + argila) e moídas em moinho de batelada (IKA M20), $\leq 50\mu\text{m}$. As medições dos teores totais de elementos químicos nas amostras de sedimento foram realizadas no Laboratório de Materiais Inorgânicos do Departamento de Química da UFSM, utilizando um espectrômetro de fluorescência de raios-X por comprimento de onda, modelo *Bruker S8 Tiger*.

O protocolo de preparo das amostras foi o seguinte: 9,0 g de sedimento seco e moído foram misturados com 2,7 g de celulose ultrapura previamente moída, *Polysius Porlife Mahl hilfe*®. Uma vez obtida uma mistura homogênea 10 g, foram retiradas e transferidas para uma forma de alumínio de 40 mm de diâmetro e procedeu-se a prensagem por dois minutos a 15 toneladas. As pastilhas individuais foram fixadas em suportes com mola de aço inoxidável com janelas de 32 mm de diâmetro e colocadas no aparelho equipado com um tubo de raios-X com radiação Rh $K\alpha$, tubo de 4 kW, cristais Li200, Li220 e PET com trocador automático. A análise dos espectros e quantificação dos teores totais de Cu, Zn e Mn foi realizada manualmente usando o programa *SPECTRA^{Plus}* com o método de calibração *Elemental*, com o padrão *Geoquant*. As rotinas *SPECTRA^{Plus}* foram realizadas na matriz e a correção de interferência interelemento, com seleção automática de linha.

Análise dos Dados

No Brasil, a resolução que trata de teores de metais em sedimentos é a Conama nº 344/2004. A mesma “estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras, e dá outras providências”. Porém, não há uma legislação que estabeleça as concentrações de metais em sedimentos de rios em geral. Por isso, os resultados obtidos foram analisados considerando o Protocolo Canadense, que é o mesmo utilizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.

O Conselho Canadense do Ministério de Meio Ambiente (CCME) estipula valores baseados em um banco de dados químicos e biológicos com dois valores-guia de várias substâncias químicas individuais: o TEL - *Threshold Effect Level* e o PEL - *Probable Effect Level*. Esses valores-guia são baseados nas concentrações totais e na probabilidade de ocorrência de efeitos deletérios na biota em decorrência da sua exposição a esses níveis de concentração. O menor limite, o TEL, representa a concentração abaixo da qual raramente são esperados efeitos adversos para os organismos aquáticos. Na faixa entre TEL e PEL situam-se os valores onde, ocasionalmente, espera-se a ocorrência de tais efeitos. O maior limite, PEL, representa a concentração acima da qual são frequentemente esperados efeitos adversos para os organismos. O manganês não consta no

protocolo do CCME, então, para esse elemento, as concentrações foram apresentadas na forma gráfica.

Os resultados obtidos também foram submetidos à análise por componentes principais (CP) utilizando o programa estatístico PAST (Hammer *et al.*, 2001). Para tal, os dados foram tratados com base em Log_{10} buscando-se a linearização e redução dos efeitos de valores elevados e discrepantes. Ainda, foi realizada análise de correlação linear entre as concentrações de Cu, Zn e Mn com algumas características da área de captação de cada ponto de amostragem.

RESULTADOS

As maiores concentrações de Zn foram observadas no médio curso e houve o efeito de diluição pela entrada de água e sedimento menos impactados de outras sub-bacias (Figura 3). As concentrações de Zn ficaram entre a faixa TEL e PEL ($123,1 - 315,0 \text{ mg kg}^{-1}$), valores onde, ocasionalmente, espera-se a ocorrência de efeitos adversos para os organismos (Figura 3).

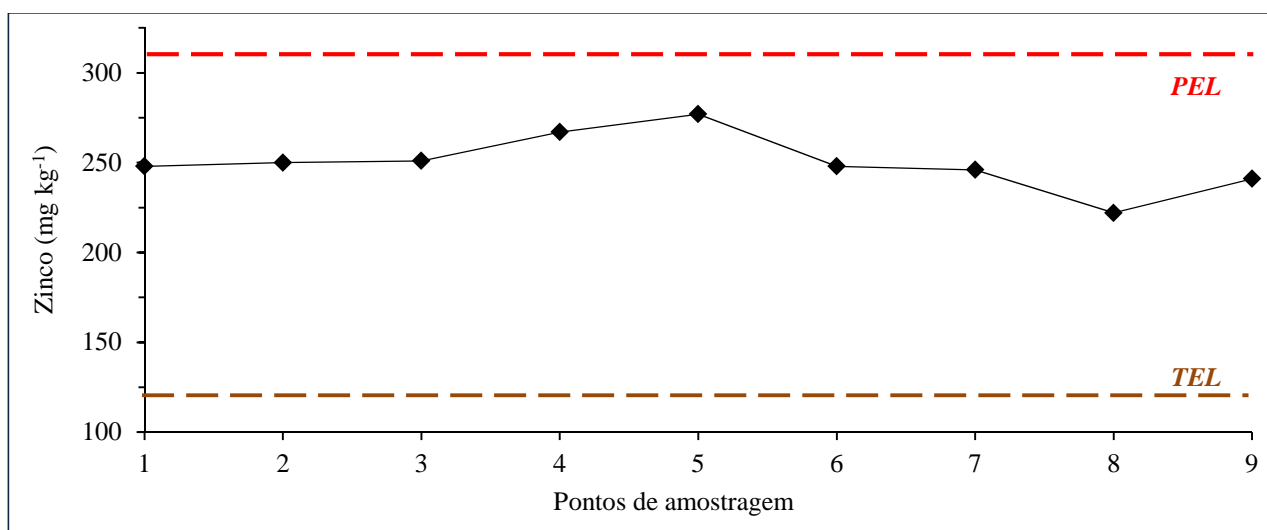


Figura 3. Gráfico ilustrando a concentração de zinco (mg kg^{-1}) nas amostras de sedimentos de fundo e os valores-guia estabelecidos pelo *Canadian Council of Ministers of Environment (TEL/PEL)*.

As concentrações de Cu variaram ao longo do canal, sendo as maiores obtidas no ponto 7. Houve um pequeno acréscimo no sentido nascente (ponto 9) e exutório (ponto 1). As concentração de Cu foram em média 2,3 vezes maiores que os valores de toxicidade ($> 197,0 \text{ mg kg}^{-1}$) da CCME em todas as amostras (Figura 4). Isso significa que efeitos adversos já podem estar ocorrendo nos organismos aquáticos.

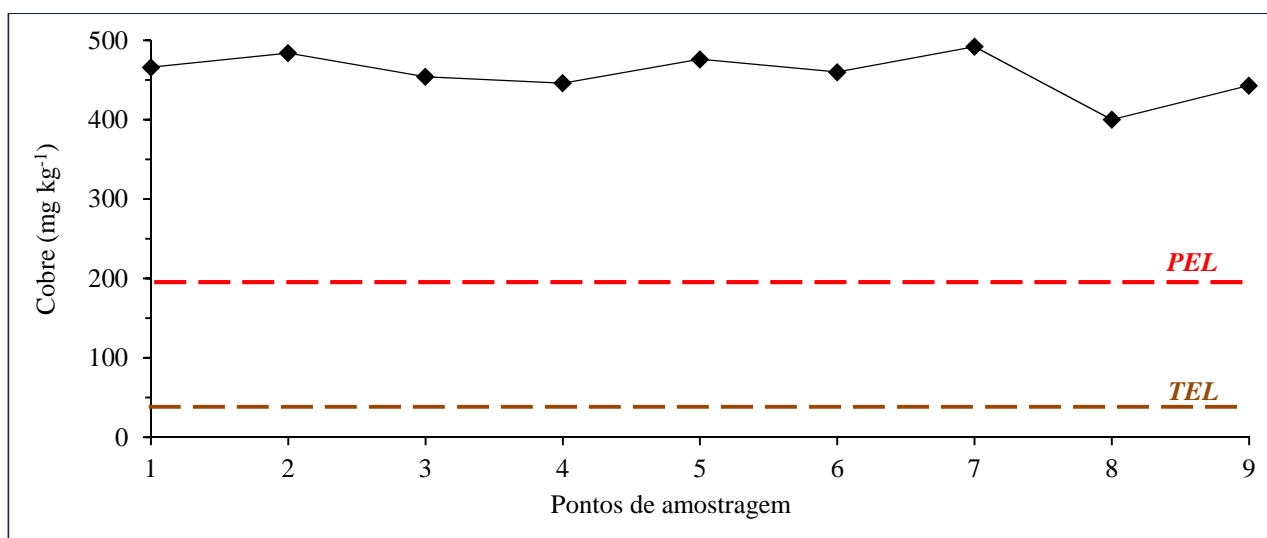


Figura 4. Gráfico ilustrando a concentração de cobre (mg kg^{-1}) nas amostras de sedimentos de fundo e os valores-guia estabelecidos pelo *Canadian Council of Ministers of Environment (TEL/PEL)*.

As concentrações de Mn variaram de 4,0 a 6,7 g kg^{-1} , apresentando um decréscimo significativo no sentido nascente-exutório (Figura 5). O ponto 5 apresentou a menor concentração, o que foi atribuído à entrada de água e sedimento de sub-bacias menos impactadas.

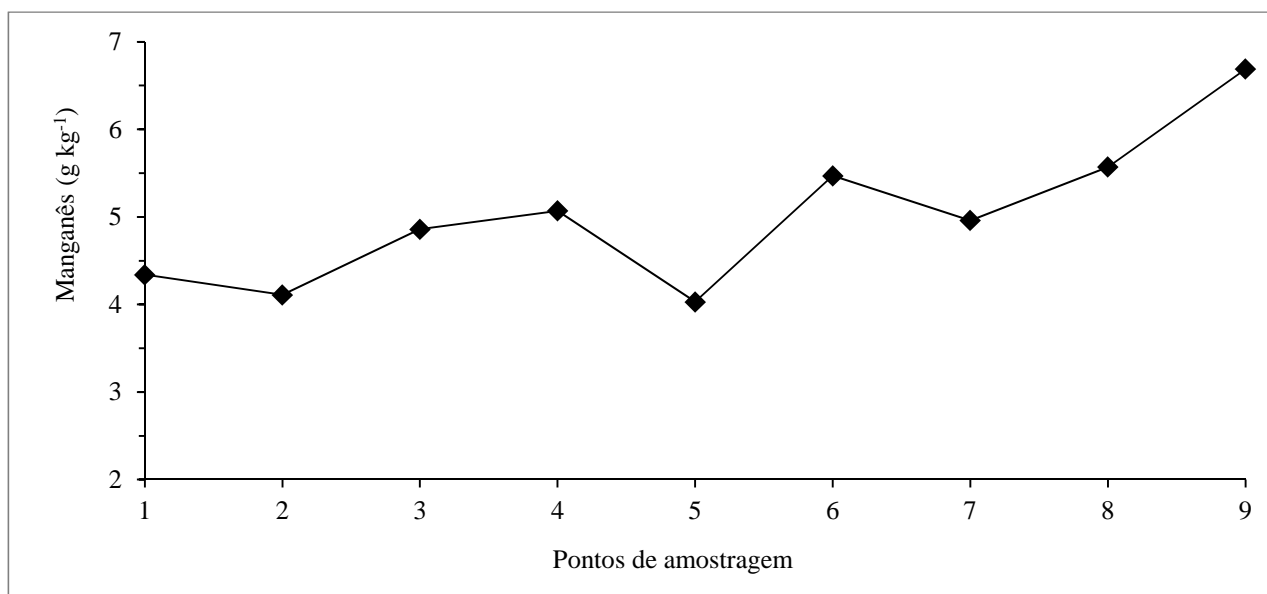


Figura 5. Gráfico ilustrando a concentração de manganês (g kg^{-1}) nas amostras de sedimentos de fundo da bacia hidrográfica do Arroio Caldeirão, Palmitinho, Rio Grande do Sul.

Na figura 6, observa-se em cada variável plotada um par de escores das duas componentes principais (CP1 e CP2). O comprimento dos vetores do eixo à variável avaliada representa a proporção das variâncias, e os ângulos formados entre os vetores e o eixo representam as correlações formadas. Quanto menor o ângulo, maior é a correlação observada, e as posições dos pontos no gráfico indicam a semelhança e ou a dessemelhança entre os pontos.

No eixo 1, foi plotada 71,2% (valores positivos) das variáveis capazes de explicar a variação dos dados e na CP2 15,2% (valores negativos). Na terceira componente, não plotada, foram acumulados 13,6% da variação dos dados. Na CP1, o Cu e o Zn correlacionaram-se positivamente, representando 66,7% da variação [Cu (0,85) e Zn (0,84)]. Na CP 2, foi disposto um escore ou 33,3% [Mn (-0,83)](Figura 6).

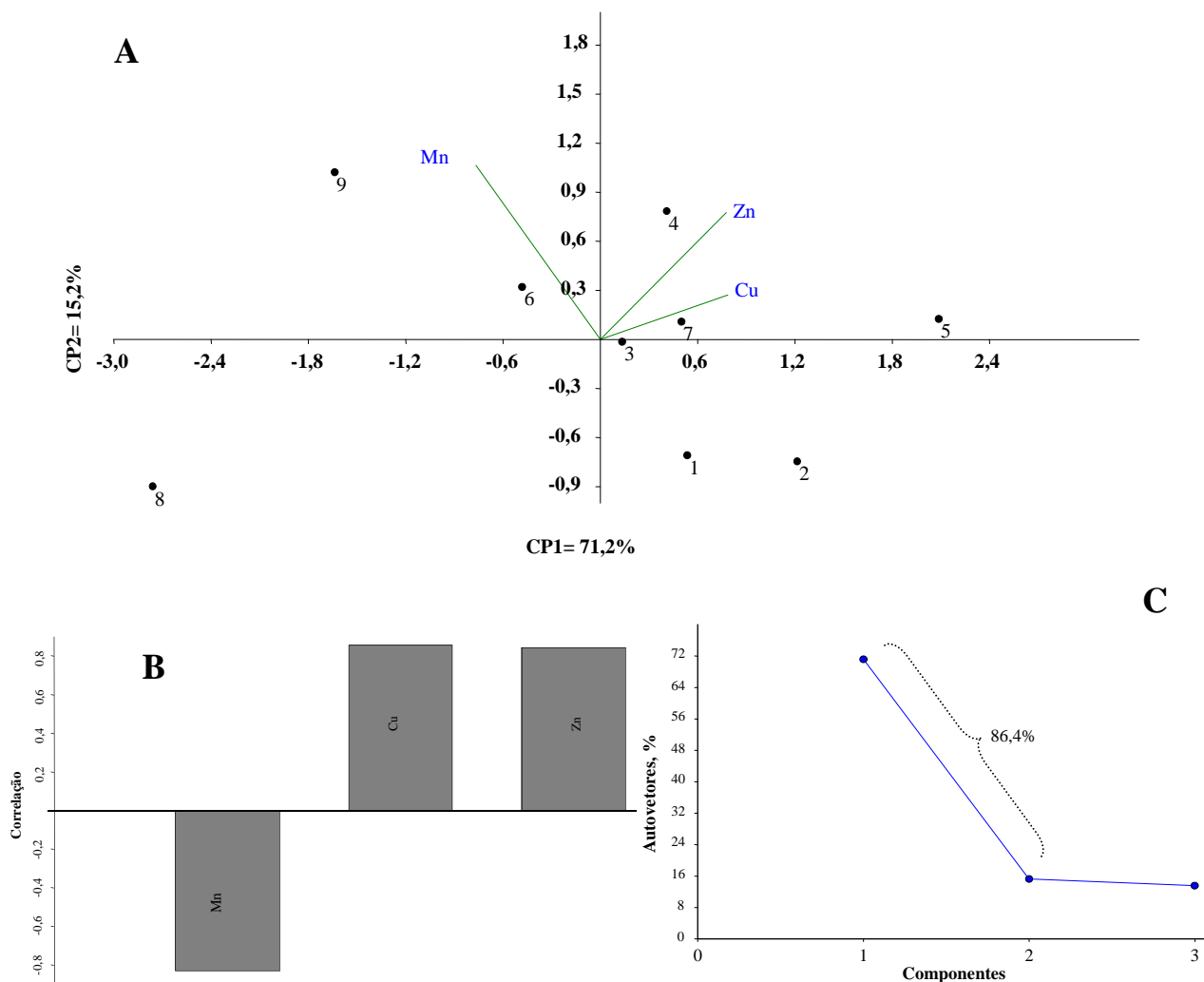


Figura 6. *Biplot* com a dispersão dos escores das duas primeiras componentes (A), valores dos escores da primeira componente (B) e *Screeplot* com os componentes retidos (C).

A correlação entre as características da área de captação dos pontos de amostragem (Tabela 1) com os teores totais de Zn, Cu e Mn mostra que o Cu correlacionou-se positivamente com o número de suínos, e o Zn com área de lavoura e campo (Tabela 2). O Mn foi o elemento que melhor correlacionou-se com as características da área de captação (Tabela 1), sendo positivamente correlacionado com a área de campo e negativamente com o número de moradores, gado de leite, suínos e lavouras.

Tabela 1. Caracterização da área de captação de cada ponto de amostragem de sedimento de fundo na bacia hidrográfica do Arroio Caldeirão, Palmitinho, Rio Grande do Sul.

| Ponto | Área de captação ha | Lavoura % | Campo % | Moradores | Gado de leite | Suínos |
|-------|---------------------|-----------|---------|-----------|---------------|--------|
| 9 | 152,2 | 34 | 23 | 28 | 93 | 1000 |
| 8 | 226,8 | 37 | 20 | 52 | 109 | 1550 |
| 7 | 474,5 | 43 | 17 | 132 | 194 | 4550 |
| 6 | 642,4 | 42 | 15 | 181 | 250 | 5917 |
| 5 | 808,9 | 42 | 16 | 230 | 299 | 5990 |
| 4 | 993,5 | 42 | 15 | 276 | 399 | 6490 |
| 3 | 1.076,7 | 42 | 15 | 300 | 442 | 7310 |
| 2 | 1.287,1 | 40 | 16 | 349 | 516 | 8221 |
| 1 | 1.360,5 | 40 | 16 | 353 | 533 | 8221 |
| Total | 1.363,4 | 40 | 16 | 363 | 545 | 8221 |

Tabela 2. Matriz de correlações entre as características da área de captação dos pontos de amostragem com as concentrações de cobre, zinco e manganês do sedimento de fundo do canal principal da bacia hidrográfica do Arroio Caldeirão.

| Característica | Cobre | Zinco | Manganês |
|----------------|-------|--------|----------|
| Moradores | 0,50 | 0,53 | ●-0,81 |
| Gado leite | 0,44 | 0,44 | ** -0,75 |
| Suínos | *0,60 | 0,55 | ●-0,82 |
| Lavoura, % | 0,56 | *0,59 | *-0,64 |
| Campo, % | -0,52 | *-0,61 | **0,74 |

Probabilidades de correlação significativa a * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, ● $p < 0.01$.

DISCUSSÃO

Adubos agrícolas como os de suínos são uma valiosa fonte de matéria orgânica e de importantes nutrientes para as plantas. No entanto, inúmeras pesquisas têm alertado sobre os riscos de contaminação dos solos e das águas, ressaltado a importância de um uso racional dos efluentes a fim de garantir que as aplicações como fertilizante orgânico nas lavouras não causem danos ao meio ambiente. Conforme Capoane *et al.* (2014), na BH do Arroio Caldeirão, o tratamento dos dejetos suínos é uma prática pouco utilizada pelos produtores das 15 propriedades que desenvolvem a atividade. Em 11 delas, o dejetos suíno produzido é armazenado em esterqueiras e, em quatro delas, há biodigestores. Tanto o dejetos armazenado nas esterqueiras quanto nos biodigestores são aplicados nas áreas de lavoura e pastagens. Conforme estes autores, a aplicação dos dejetos em áreas agrícolas normalmente é feita antes do plantio das culturas, e nesse momento há a incorporação mecânica do efluente ao solo, mas também há aplicação durante o crescimento das plantas, feita em superfície. Em algumas propriedades, devido a sistemas de armazenagem subdimensionados, em determinados períodos do ano em que não é possível a distribuição dos

efluentes nas lavouras em função do estágio de desenvolvimento das plantas, há o descarte direto no ambiente em dias de chuva.

Em trabalhos de campo, constatou-se que a quantidade de esterco aplicada nas lavouras é feita indiscriminadamente, sem análises de solo e com sucessivas aplicações nas mesmas áreas inúmeras vezes ao ano. Essa aplicação também está fortemente relacionada ao tamanho das propriedades e ao relevo, predominantemente forte ondulado (Figura 2B), o que dificulta a distribuição em todas as áreas agrícolas. Como agravante, as áreas de lavouras são mantidas quase que na totalidade sob o sistema de cultivo convencional, com lavrações e gradagens antes de cada cultivo. Nas poucas áreas de lavoura onde o solo não é revolvido, a cobertura com resíduos culturais é muito baixa, sendo insuficiente para amenizar a energia cinética da chuva. Além disso, não existe sistema de rotação de culturas, não há obras físicas de contenção da enxurrada e a semeadura em muitas propriedades é feita no sentido do declive, resultando em presença de erosão laminar e em sulco forte, potencializando, assim, a transferência de sedimento e poluentes adsorvidos aos sistemas aquáticos.

Para esta BH, Capoane *et al.* (2014) calcularam o volume de dejetos líquidos produzidos e mostraram que o volume é de $70 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$, perfazendo um total de $25.550 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$, com uma oferta de $49,04 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para aplicação como adubo orgânico nas áreas agrícolas. Considerando que as 15 propriedades que desenvolvem a atividade têm em média 10 ha, a quantidade de efluente gerado é suficiente para causar grande acúmulo de Cu e Zn, dentre outros elementos químicos e patógenos no solo, potencializando, assim, a transferência destes aos sistemas aquáticos.

A região do Médio Alto Uruguai (MAU), onde está inserida a BH do Arroio Caldeirão, representa 1,8% da população do Estado do Rio Grande do Sul. Já o plantel de suínos representa 8,9% do plantel do Estado. Conforme dados do último Censo Agropecuário (IBGE, 2012), o RS possui 5.677.515 suínos e, destes, 504.130 encontram-se na região do MAU. Dos 34 municípios que compõem o território do MAU, Palmitinho está em 2º lugar no *ranking*, com 65.296 suínos em unidades de terminação e produção de leitões (IBGE, 2012). Isso significa que o número de suínos do município é nove vezes maior do que o número de habitantes (IBGE, 2010). Em 2015, o plantel de suínos já correspondia a 88.222 suínos, representando um aumento de 35% (Palmitinho, 2015). Destes, 9,7% encontram-se na bacia hidrográfica do Arroio Caldeirão.

Inegavelmente, a atividade suinícola tem grande importância para a economia das regiões produtoras, gerando empregos, renda e impostos para os municípios. Porém, a expansão da pecuária intensiva tem causado preocupações ambientais relacionadas à degradação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas. Além disso, aplicações excessivas de dejetos no solo, como fertilizante orgânico, podem causar acúmulo de contaminantes que podem atingir níveis tóxicos às plantas

(Choudhary *et al.*, 1996; Shi *et al.*, 2011; Trawińska, *et al.*, 2015). Em eventos pluviométricos intensos, solo, nutrientes associados e patógenos podem atingir os mananciais aquáticos e ocasionar sérios danos a esse ecossistema (Kato *et al.*, 2009; Guardini *et al.*, 2012; Szögi *et al.*, 2015).

No presente trabalho, foi constatado que a utilização indiscriminada de efluentes suínos em áreas de lavouras e pastagens, aliado ao manejo inadequado dos solos agrícolas da BH, está causando o enriquecimento no sedimento de fundo pelos metais Cu e Zn, e isso, muito provavelmente, já está causando efeitos deletérios na biota aquática.

Conforme pesquisadores da Embrapa Suínos e Aves de Santa Catarina, o problema da gestão dos dejetos de suínos é complexo e não existe, a priori, uma única solução, ou mesmo uma solução em curto prazo. As pesquisas desenvolvidas até o momento buscam novas alternativas que integrem a produtividade de suínos com a preservação ambiental. Porém, o ritmo de crescimento da atividade e seus impactos têm sido muito maiores do que das tecnologias geradas. Diante disso, os impactos ambientais das operações de pecuária suína intensiva tendem a se intensificar nos próximos anos, afetando cada vez mais a saúde pública pela poluição da água devido à entrada excessiva de nutrientes e pelo uso abusivo de fármacos; do solo pela utilização indiscriminada de efluente líquido como fertilizante; e do ar pela emissão de odores.

CONCLUSÕES

As concentrações de Cu e Zn no sedimento de fundo variaram ao longo do canal de drenagem, apresentando enriquecimento no sentido nascente-exutório. As maiores concentrações desses metais foram obtidas no médio curso e houve, possivelmente, o efeito de diluição pela entrada de água e sedimento de sub-bacias menos impactadas. O Mn apresentou decréscimo significativo nas concentrações no sentido nascente-exutório.

As concentrações de Cu encontradas estavam acima dos valores que são considerados de toxicidade provável pelo CCME. Já as concentrações de Zn ficaram entre TEL e PEL, faixa em que ocasionalmente espera-se a ocorrência de efeitos adversos para os organismos. O Mn não consta no protocolo da CCME.

Os teores de metais pesados obtidos neste trabalho refletem as condições naturais do substrato geológico, mas, principalmente, as atividades agropecuárias desenvolvidas na bacia hidrográfica. O aumento nas concentrações Cu e Zn é motivo de preocupação, uma vez que estes têm a capacidade de bioacumulação nos tecidos da biota e podem, também, afetar a distribuição e densidade de organismos bentônicos, bem como a composição e diversidade das comunidades e efeitos tóxicos já podem estar ocorrendo.

REFERÊNCIAS

- BELO, A.; QUINÁIA, S. P.; PLETSCH, A. L. 2010. Avaliação da contaminação de metais em sedimentos superficiais das praias do lago de Itaipu. **Química Nova**, **33**(3):613-617.
- BRASIL. 2004. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 344 de 25 de março de 2004. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=445>>. Acesso em: 20 jun. 2015.
- CAPOANE, V. et al. 2014. Impactos da suinocultura na qualidade da água da bacia hidrográfica do Arroio Caldeirão, Palmitinho, Rio Grande do Sul. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities Research Medium**, **5**(2):494-509.
- CCME, Canadian Council of Ministers of the Environment. 1995. **Protocol for the derivation of Canadian Sediment quality guidelines for the protection of aquatic life**. Ottawa: CCME, 35p.
- CHOUDHARY, M.; BAILEY, L. D.; GRANT, C. A. 1996. Review of the use of swine manure in crop production: effects on yield and composition and on soil and water quality. **Waste Management & Research**, **14**(6):581-595.
- CUNHA, N. G. et al. 2010. Estudos de Solos do Município de Palmitinho, RS. **Documentos (Circular Técnica, Embrapa Clima Temperado)**, **105**:1-28.
- EPA, Environmental Protection Agency US. 1972. Water Quality Criteria. EPA-R3-73-033. Washington, D.C. 594p.
- FORSTNER, U. 1982. Accumulative phases for heavy metals in limnic sediments. **Hydrobiologia**, **91**:269-284.
- FORSTNER, U.; WITTMANN, G. T. W. 1981. Metal pollution in the aquatic environment. Berlin: Springer-Verlag. 486p.
- GUARDINI, R. et al. 2012. Phosphorus accumulation and pollution potential in a hapludult fertilized with pig manure. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, **36**(4):1333-1342.
- HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**, **4**(1):9.
- HOROWITZ, A. 1991. A primer on sediment-trace element chemistry. 2nd ed., CRC Press: Lewis Publishers. 136p.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2012. Censo agropecuário. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2012/>>. Acesso em: 01 dez. 2015.

_____. 2010. Censo Demográfico. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8>>. Acesso em: 01 dez. 2015.

KATO, T.; KURODA, H.; NAKASONE, H. 2009. Runoff characteristics of nutrients from an agricultural watershed with intensive livestock production. **Journal of Hydrology**, **368**(1-4):79-87.

KLESSA, D. A. et al. 1985. The effect upon soil and herbage Cu and Zn of applying pig slurry to grassland. **Research and Development in Agriculture**, **2**(3):135-141.

LARSEN, B.; JENSEN, A. 1989. Evaluation of the sensitivity of sediment monitoring stationary in pollution monitoring. **Marine Pollution Bulletin**, **20**:556-560.

LI, P. et al. 2014. Anthropogenic pollution and variability of manganese in alluvial sediments of the Yellow River, Ningxia, northwest China. **Environmental Monitoring Assessment**, **186**(3):1385-1398.

LINNIK, P. M.; ZUBENKO, I. B. 2000. Role of bottom sediments in the secondary pollution of aquatic environments by heavy metal compounds. **Lake and Reservoirs: Research and Management**, **5**(1):11-21.

MURRAY, K. S. et al. 1999. Particle Size and Chemical Control of Heavy Metals in Bed Sediment from the Rouge River, Southeast Michigan. **Environmental Science & Techno**, **33**(7):987-992.

NICHOLSON, F. A. et al. 1999. Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales. **Bioresource Technology**, **70**(1):23-31.

NRC, National Research Council. 1989. Committee on the Role of Alternative Farming Methods in Modern Production Agriculture. Alternative Agriculture. 3rd ed., Washington D. C.: National Academy Press. 448p.

POULSEN, H. D. 1998. Zinc and copper as feed additives, growth factors or unwanted environmental factors. **Journal of Animal and Feed Sciences**, **7**:135-142.

ROSSATO, M. S. 2011. **Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia**. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 240p.

- SAGER, M. 2007. Trace and nutrient elements in manure, dung and compost samples in Austria. **Soil Biology and Biochemistry**, **39**(6):1383-1390.
- SHI, J. et al. 2011. Potential risks of copper, zinc, and cadmium pollution due to pig manure application in a soil-rice system under intensive farming: a case study of Nanhu, China. **Journal of Environmental Quality**, **40**(6):1695-704.
- SZÖGI, A. A.; VANOTTI, M. B.; HUNT, P. G. 2015. Phosphorus recovery from pig manure solids prior to land application. **Journal of Environmental Management**, **1**(157):1-7.
- TRAWIŃSKA, B. et al. 2015. Effect of Pig Farm on Microbial Contamination of Soil. **Annals of Animal Science**, **15**(1):165-175.
- YI, Y. J.; YANG, Z. F.; ZHANG, S. H. 2011. Ecological risk assessment of heavy metals in sediment and human health risk assessment of heavy metals in fishes in the middle and lower reaches of the Yangtze River Basin. **Environmental Pollution**, **159**(10):2575-2585.