

Comissão 3.5 - Poluição, remediação do solo e recuperação de áreas degradadas

Nota

GERENCIAMENTO DE SEDIMENTOS DO DESASSOREAMENTO DO RIO BELÉM NA ÁREA URBANA DE CURITIBA: UM ESTUDO DE CASO

Alessandra Belotserkovets Heinrich⁽¹⁾, Jörg Wolfgang Metzger⁽²⁾, Klaus Martin Fischer⁽²⁾ e Alvaro Luiz Mathias^{(3)*}

⁽¹⁾ Secretaria Municipal do Meio Ambiente da Prefeitura Municipal de Curitiba, Departamento de Pesquisa e Monitoramento, Curitiba, Paraná, Brasil.

⁽²⁾ Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft, Stuttgart (Büsnau), Alemanha.

⁽³⁾ Universidade Federal do Paraná, Departamento de Engenharia Química, Centro Politécnico, Curitiba, Paraná, Brasil.

* Autor correspondente.

E-mail: mathias@ufpr.br

RESUMO

Os sedimentos do rio Belém foram removidos, e a destinação incorreta deles pode provocar impactos ambientais e custos adicionais ao município. O objetivo deste trabalho foi avaliar as alternativas de destinação e uso de sedimentos removidos em desassoreamento do rio Belém em área urbana, com base na legislação ambiental brasileira. As avaliações de destinação, ou de uso ou de ambos, foram feitas a partir de uma avaliação química preliminar de contaminantes inorgânicos (Cd, Pb, Cu, Cr, Ni, Ag e Zn) e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP) relacionada às atividades produtivas da região de contribuição do rio Belém. A avaliação das possíveis destinações e, ou, do uso do sedimento seguiu as normas e legislações ambientais brasileiras para diferentes matrizes, o que revelou ser complexa. Uma quantidade substancial de sedimentos pode ser usada para fins úteis, como solo, material de recuperação de áreas contaminadas, material de preenchimento de obras civis. Padrões ambientais específicos devem ser elaborados para discriminar usos e, ou, destinações de acordo com o desenvolvimento científico. Um protocolo de gerenciamento foi proposto, de forma a ser utilizado em futuras obras de desassoreamento.

Palavras-chave: política pública, gestão de resíduo, destinação de sedimentos.

Recebido para publicação em 6 de março de 2014 e aprovado em 22 de dezembro de 2014.

DOI: 10.1590/01000683rbc20140091

ABSTRACT: SEDIMENT MANAGEMENT FROM DREDGING OF AN URBAN RIVER: CASE STUDY OF THE LOWER BELEM RIVER

Sediments were removed from the Belem River, and their uncertain destination may cause environmental damage and additional costs to the municipality. The aim of this study was to simulate the possibility of using an alternative allocation of the sediments based on Brazilian environmental law. The evaluation of destination and/or use was made from a preliminary chemical evaluation of inorganic contaminants (Cd, Pb, Cu, Cr, Ni, Ag, and Zn) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) related to productive activities in the region. Assessment of possible allocations and/or use of the sediment were based on consultation of Brazilian environmental standards and laws for different matrices, which proved to be complex. This study revealed that a substantial amount of sediment can be used for useful purposes such as soil, material for recovery of contaminated areas, and fill material for civil works projects. Specific environmental standards must be prepared to discriminate uses and/or allocations according to the evolution of technical and scientific bases. A management protocol was proposed for use in future dredging projects, which may also be used in other municipalities.

Keywords: public policy, waste management, sediment disposal.

INTRODUÇÃO

O rio Belém tem inundado periodicamente a cidade de Curitiba; já ocorreram 18 extravasamentos de águas entre abril de 1981 e novembro de 1999 (Geissler e Loch, 2004). Dessa maneira, obras de desassoreamento e limpeza são necessárias para a retirada de sedimentos acumulados com vistas à redução de futuros prejuízos à população (Tucci e Orsini, 2005).

Uma das formas de prevenção dos episódios de enchentes é a realização de obras de intervenção para retirada e limpeza dos sedimentos acumulados ou assoreados, denominadas de desassoreamento (Tucci e Orsini, 2005). É possível observar que essas obras removem grandes quantidades de sedimentos, que necessitam de uma destinação final mais apropriada do que a simples deposição em aterro. As desvantagens de aplicar essa filosofia no desassoreamento do rio Belém são: baixa disponibilidade de grandes áreas para sua disposição final; custo envolvido no transporte e disposição (USACE, 1987); encerramento de admissão de resíduos no Aterro Sanitário Municipal da Cachimba em novembro de 2010, o que impossibilitou a disposição final nesse local; e desconhecimento do tipo e teor de contaminação presente nos sedimentos, o que prejudica a seleção correta da destinação mais conveniente (Bortone, 2007). Desse modo, o levantamento de alternativas de destinação final é necessário para diminuir os impactos causados por sua deposição em locais inadequados ou mesmo da sua manutenção na área de remoção. Além disso, o sedimento retirado pode apresentar outras possibilidades de destinação, desde que sejam conhecidas as suas características. O objetivo deste estudo de caso foi avaliar as alternativas de destinação e uso de sedimentos removidos em

desassoreamento do rio Belém em área urbana, com base na legislação ambiental brasileira.

MATERIAL E MÉTODOS

Estudo de caso: Avaliação preliminar do sedimento de desassoreamento do baixo Belém

Descrição da área do baixo Belém

A bacia hidrográfica do rio Belém é genuinamente curitibana e seu talvegue principal corta a cidade de Curitiba na direção norte-sul em cerca de 20 km. O rio Belém tem como tributários os rios Ivo, Juvevê, Água Verde, Aviário, Prado Velho, Guabirota, Henry Ford, Evaristo da Veiga, Antonio Schiebel, Waldemar Campos e Areiãozinho. Abrange o centro e os principais pontos naturais e arquitetônicos, conferindo-lhe grande importância simbólica, geográfica, social, econômica e cultural. Historicamente é um manancial superficial com diversos usos, que atravessa parques e áreas densamente povoadas, mas teve seu leito parcialmente retificado e seu corpo hídrico parcialmente canalizado. Sua área de drenagem com 84 km² representa cerca de 20 % da área do município de Curitiba e abriga aproximadamente 50 % de sua população. O índice de qualidade geral de água da *National Sanitation Foundation* piora progressivamente a partir das nascentes em direção à sua foz. Essa perda pode ser decorrente de ligações clandestinas de esgotos domésticos, comerciais ou até mesmo industriais na rede pluvial, entre outras possibilidades. A região central da bacia do Rio Belém, onde os rios Ivo, Juvevê e Água Verde são tributários, apresenta os piores valores (Bollmann e Edwiges, 2008), que é uma região a montante e próxima da área de estudo.

Atividades econômicas do baixo Belém

Os estabelecimentos comerciais, industriais e prestadores de serviços que poderiam potencialmente contribuir com poluentes no rio Belém em decorrência de suas atividades foram classificados por meio dos dados da publicação “Curitiba em Dados”, do Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC, 2009). Os ramos de atividades observados foram agrupados em indústrias em geral: fabricação de máquinas e equipamentos, produtos químicos, farmoquímicos e medicamentos, produtos de limpeza e polimento, cosméticos perfumaria e higiene pessoal e matérias-primas para indústrias, como impermeabilizantes, e tintas e adesivos; gráficos: serviços de pré-impressão e impressão de produtos gráficos; usinagem e tratamento de metais: serviços de tornearia de peças e indústria galvânica; serviços automotivos: serviços de mecânica e lavagem de veículos, recondicionamento de motores e de baterias automotivas; e postos: serviços de abastecimento de veículos.

Em 2010, a Prefeitura Municipal de Curitiba expediu Alvará de Funcionamento para 936 empresas na área de estudo, compreendidas em serviços automotivos (346 ou 37 %), gráficas (192 ou 20 %), usinagem/tratamento de metais (103 ou 11 %), postos de combustíveis (93 ou 10 %) e indústrias em geral (202 ou 22 %). As atividades relacionadas a automóveis podem contribuir com a presença

de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP), bem como as indústrias metalúrgicas e gráficas, com metais pesados (ABNT, 2004a). Assim, alguns potenciais contaminantes de atividades antrópicas na região foram avaliados e cotejados com a legislação existente (Quadro 1).

Obras de desassoreamento

As obras de desassoreamento e limpeza foram realizadas pela Secretaria Municipal de Obras Públicas de Curitiba. Os sedimentos das ilhas, do fundo e da lateral do rio e, eventualmente, parte do solo adjacente, foram retirados com uso de escavadeiras hidráulicas e depositados em seis pontos ao longo das margens do rio Belém, na região do baixo Belém.

Análises químicas do Sedimento

As amostragens do sedimento foram realizadas nos seis pontos de disposição temporária (P1 a P6), segundo a NBR 10007 (ABNT, 2004b), e suas análises (USEPA, 1996) foram feitas pelo laboratório do SENAI(PR) - CETSAM. Entre 60 e 70 subamostras, foram tomadas em profundidades entre 5 e 15 cm em cada um dos seis pontos. Elas foram misturadas e quarteadas até produzir uma amostra (600 g) de cada ponto, sendo acondicionada em frascos de vidro, para análise de HAP (hidrocarbonetos aromáticos policíclicos), e em saco plástico, para as demais análises.

Quadro 1. Teor limite de poluente tolerado segundo a legislação

| | PG | S-CB | | | S-BR | | | MD-SP | | MD-BR | | LE |
|----------|---------------------|--------------|-------|-------|-------------------|-------------------|------|-------|--------------|---------|--------------|--------------|
| | res | com/ serv | ind | VP | VI _{res} | VI _{ind} | VA | VI | Nível 1 | Nível 2 | CMP | |
| | mg kg ⁻¹ | | | | | | | | | | | |
| Ag | <LDM | 50 | 50 | 100 | 2 | 50 | 100 | 2 | 50 | - | - | - |
| Cd | <LDM | 15 | 20 | 40 | 1,3 | 8 | 20 | 3 | 5 | 0,6 | 3,5 | 39 |
| Cr | 19,76 | 700 | 800 | 1.000 | 75 | 300 | 400 | 75 | 700 | 37,3 | 90 | 1.000 |
| Cu | 31,92 | 500 | 500 | 700 | 60 | 400 | 600 | 60 | 500 | 35,7 | 197 | 1.500 |
| Ni | 11,25 | 200 | 200 | 300 | 30 | 100 | 130 | 30 | 200 | 18 | 35,9 | 420 |
| Pb | 114,5 | 350 | 500 | 1.200 | 72 | 300 | 900 | 100 | 350 | 35 | 91,3 | 300 |
| Zn | 156,64 | 1.000 | 1.000 | 1.500 | 300 | 1.000 | 2000 | 300 | 1.000 | 123 | 315 | 2.800 |
| ANTR | - | - | - | - | 0,039 | - | - | - | - | 0,0469 | 0,245 | - |
| BAP | - | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,052 | 1,3 | 3,5 | - | - | 0,0319 | 0,782 | 0,052 |
| BXP | - | - | - | - | 0,57 | - | - | - | - | - | - | - |
| Fluoreno | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,0212 | 0,144 | - |

PG: padrão geoquímico (Minerpar, 2001); S-CB: Solo-Curitiba (Curitiba, 2004); Solo-BR: Solo-Brasil (Conama, 2009); MD-SP: Material Dragado Estado de São Paulo (SMA, 2004); MD-BR: Material Dragado-Brasil (Conama, 2004); e LE: Lodo de esgoto e composto orgânico e organomineral (Conama, 2006); res: residencial; com/ serv: comercial ou de serviço; e ind: industrial; VP: valor de prevenção “refere-se à concentração de determinada substância no solo, acima da qual existem riscos potenciais diretos e indiretos à saúde humana, considerado um cenário de exposição residencial genérico.”; VI: valor de intervenção/investigação “refere-se à concentração de determinada substância no solo, acima dessa existem riscos potenciais diretos e indiretos à saúde humana, considerado um cenário de exposição residencial genérico.”; VA: valor de alerta “refere-se à concentração de determinada substância, que indica uma possível alteração da qualidade natural do solo”; Nível 1: “limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos à biota”; Nível 2: “limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso à biota”; e CMP: concentração máxima permitida; <LDM: menor que o limite de detecção do método; ANTR: Antraceno; BAP: benzo(a)pireno; e BXP: benzo(g,h,i)perileno.

A extração de metais pesados (cádmio, chumbo, cobre, cromo, níquel, prata e zinco) foi feita pelo Método EPA 3050B (USEPA, 1996). O teor foi determinado com espectrômetro de absorção atômica com emissão de chama (Varian, modelo SpectrAA200), seguindo o *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater*, método 3111 (Eaton et al., 2005). Alguns dos parâmetros de amostra (cádmio, chumbo, cromo e prata) também foram avaliados em seu extrato lixiviado, obtido segundo NBR 10005 (ABNT, 2004c).

A extração de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP) da amostra bruta foi realizada pelo Método ISO 18287 (ISO, 2006). Assim, a avaliação de acenafeno, antraceno, benzo(a)pireno, benzo(g,h,i)perileno, benzo(a)antraceno, benzo(k)fluoranteno, criseno, dibenzo(a,h)antraceno, fluoranteno, fenantreno, indeno(1,2,3cd)pireno, naftaleno, pireno, acenafetileno, benzo(b)fluoranteno, fluoreno foi executada com uso de cromatógrafo a gás Varian (modelo CP 3900) com detector de espectrometria de massa Varian (modelo Saturn 2100). Análises de carbono orgânico total (COT) e de nitrogênio total foram levadas a efeito de acordo com o Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes Minerais, Orgânicos, Organominerais e Corretivos, do Ministério da Agricultura (Brasil, 2007).

Legislação e possibilidade de disposição do sedimento de desassoreamento

A legislação relacionada ao material de dragagem, solo e resíduos similares foi consultada para avaliar

as diversas possibilidades de disposição ou de uso (Quadro 2).

Disposição de sedimentos removidos de acordo com os padrões referenciais

Os teores de poluentes (Ag, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, antraceno, benzo(a)pireno e benzo(g,h,i)perileno) do sedimento e do seu extrato lixiviado foram comparados com as concentrações máximas de sedimento de fundo, usando o padrão geoquímico na região de Curitiba, PR (Mineropar, 2001), bem como com os demais padrões legais e normativos disponíveis em 2011 para resíduos similares e diferentes potenciais aplicações.

Assim, os usos desse sedimento foram avaliados: como agente de fertilização, de acordo com a Instrução Normativa SDA nº 025/09 e Resolução Conama 375/06; destinação em água jurisdicional, conforme a Resolução Conama nº 344/04; ou como resíduo sólido, consoante à norma NBR 10004 (ABNT, 2004a). No último caso, a lixiviação ocorre em pH de 4,5 a 5,0 a 25 °C (ABNT, 2004c) e permite estimar a dissolução de cátions em condições semelhantes às de um aterro sanitário. Os teores de prata, cromo, cádmio e chumbo foram comparados à norma. Para tal, amostras representativas de solo foram avaliadas sem repetições em laboratório competente e com metodologia de uso rotineiro. O valor dos teores dos elementos detectados na análise laboratorial e acima dos valores de referência (Quadro 2) foi destacado para seleção de possíveis aplicações.

Quadro 2. Legislação de referência

| Fonte | Referência, abrangência e legislação | Disposição ou uso avaliado |
|---|--|---|
| Padrão geoquímico (PG) | Mineropar (2001) | Ocorrência natural de substâncias (ou <i>background</i>) |
| Solo (S-CB) | Município de Curitiba, Decreto Municipal nº 1190/04 para solo e seu uso residencial, comercial/serviço e industrial (Curitiba, 2004) | a) Direta no solo. b) Material de preenchimento para fundações em estradas, ruas, ciclovias e pistas (construção civil, parques e usos recreativos). |
| Solo (S-BR) | Brasil, Resolução Conama nº 420/09 para solo, valores de prevenção e investigação para uso residencial e industrial (Conama, 2009) | c) Recuperação de áreas contaminadas. |
| Material dragado (MD-SP) ⁽¹⁾ | Estado de São Paulo: Resolução nº 039/04 para material dragado, valores de alerta e intervenção para uso residencial (SMA, 2004). | a) Direta no solo. |
| Material dragado (MD-BR) | Brasil: Resolução Conama nº 344/04 (Conama, 2004) | a) Alijamento de material dragado em águas jurisdicionais brasileiras. b) Preenchimento de cavas de extração mineral (com monitoramento). |
| Lodo de esgoto (LE) | Brasil: Resolução Conama nº 375/06 (Conama, 2006) define as restrições para uso de lodo de esgoto. | a) Camada de plantio e recultivo. b) Recuperação de áreas contaminadas. c) Cobertura de aterros. d) Uso agrícola. |
| Resíduo sólido (RS) | Brasil: Norma técnica NBR 10004 – classificação de resíduos (ABNT, 2004a) para resíduo sólido. | a) Disposição e cobertura de aterros de resíduos perigosos (inclusive com metais lixiviáveis – Ag, Pb, Cd, Cr) ou não (sem finalidade de recultivo). |

⁽¹⁾ Material dragado: material retirado ou deslocado do leito dos corpos d'água decorrente de atividade de dragagem, desde que esse material não constitua bem mineral.

RESULTADOS

Obras de desassoreamento e limpeza no baixo Belém

Foram removidos 76.700 m³ de sedimentos. A aparência desse material variou desde um aspecto de solo rico em areia a solo típico da região de Curitiba, e não era similar a de “lodo de esgoto”. Os três pontos a jusante (P4, P5 e P6) constituíram 72 % do total (Quadro 3).

Avaliação de poluentes nos sedimentos do rio Belém

Os teores de Cd, Ag, Cu, Ni e Zn foram inferiores aos valores de referência para restrição de disposição (Quadro 1, os valores de restrição estão ressaltados em **cinza**), sendo que o Cd e a Ag não foram detectados em nenhum ponto. O teor de Cu foi levemente superior ao valor geoquímico para P4 e P6. O maior teor de Ni foi inferior (Quadro 4) ao VI para material dragado (MD-SP)

Quadro 3. Volume e distribuição de relativa dos sedimentos de acordo com os pontos de remoção no rio Belém

| Ponto | Localização | Volume | Distribuição |
|-------|---|----------------|--------------|
| | | m ³ | % |
| P1 | Rua João Koserá | 5.200 | 7 |
| P2 | Rua Salvador de Ferrante | 8.500 | 11 |
| P3 | Rua Bárbara Cid | 7.500 | 10 |
| P4 | Rua Bley Zorning (montante linha férrea) | 17.700 | 23 |
| P5 | Rua Bley Zorning (jusante/ Parque Náutico) | 19.500 | 25 |
| P6 | ETE-Belém/Rio Iguacú | 18.300 | 24 |

e para solo residencial (S-CWB), mas superior ao VI residencial nacional para solo. O Zn apresentou teores inferiores aos limites da norma mais exigente, ou seja, o VP para solo. O Pb foi detectado somente em P2 (Quadro 4, com valor ressaltado em **cinza**) e seu o teor foi maior do que todos os valores de referência (Quadro 1). O teor de Cr em P1 foi superior ao VI, para uso residencial de solo (norma nacional), o que restringe sua disposição direta (Quadro 4). A exigência para disposição de material dragado (MD-BR) em águas jurisdicionais brasileiras é muito severa, assim P1, P2, P3 e P6 possuem teores de contaminantes superiores ao Nível II para Cr e Pb, considerado limiar acima do qual se prevê um provável efeito adverso à biota. Não foram detectados íons no extrato lixiviado do sedimento, os quais têm os limites estabelecidos pela norma NBR 10004 (ABNT, 2004a) para Cd (0,5 mg L⁻¹), Pb (1,0 mg L⁻¹), Cr (5,0 mg L⁻¹) e Ag (5,0 mg L⁻¹).

Somente quatro substâncias que compõem o grupo de HAP (hidrocarbonetos aromáticos policíclicos) foram detectadas. A quantidade de benzo(g,h,i)perileno (P6) ficou abaixo do único padrão existente (S-BR, VP = 0,57 mg kg⁻¹). Benzo(b)fluoranteno foi detectado (P3), mas não há valor de referência. O antraceno (P3) ultrapassou os padrões para solo (S-BR) e para o material dragado. O benzo(a)pireno (P3) extrapolou o padrão menos restritivo para uso residencial e industrial de solo em Curitiba. O teor de fluoreno em P3 e P6 foi superior ao padrão para material dragado, o único existente. Os teores de COT e de N foram inferiores a Instrução normativa SDA n° 025/09 e Resolução Conama n° 344/04 (Quadro 5).

Quadro 4. Teores de metais pesados e de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos nos pontos de remoção

| Poluente | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 |
|---------------------|------------------------|---------|--------|-------|-------|--------|
| | | | | | | |
| Ag | <LDM ⁽¹⁾ | <LDM | <LDM | <LDM | <LDM | <LDM |
| Cd | <LDM | <LDM | <LDM | <LDM | <LDM | <LDM |
| Cr | 378,84 ^{*(6)} | 223,42 | 233,76 | 20,03 | 10,54 | 122,78 |
| Cu | 19,76 | 12,97 | <LDM | 32,99 | 14,38 | 52,22 |
| Ni | 183,63 | 110,61 | 60,02 | <LDM | <LDM | 36,08 |
| Pb | <LDM | 1495,1* | <LDM | <LDM | <LDM | <LDM |
| Zn | 65,77 | 58,78 | 61,82 | 92,14 | 72,24 | 289,00 |
| ANTR ⁽²⁾ | <LDM | <LDM | 0,26* | <LDM | <LDM | <LDM |
| BAP ⁽³⁾ | <LDM | <LDM | 9,07* | <LDM | <LDM | <LDM |
| BXP ⁽⁴⁾ | <LDM | <LDM | <LDM | <LDM | <LDM | 0,53 |
| Fluoreno | <LDM | <LDM | 0,45* | <LDM | <LDM | 0,46* |
| BXF ⁽⁵⁾ | <LDM | <LDM | 0,06 | <LDM | <LDM | <LDM |

⁽¹⁾ <LDM: menor que o limite de detecção do método; ⁽²⁾ ANTR: antraceno; ⁽³⁾ BAP: benzo(a)pireno; ⁽⁴⁾ BXP: benzo(g,h,i)perileno; e ⁽⁵⁾ BXF: benzo(b)fluoranteno; ⁽⁶⁾ *: o valor de referência restringe o uso.

Destinação dos sedimentos do rio Belém

Novas possibilidades de destinação e uso foram propostas de acordo com a legislação pertinente, mudando o paradigma de destinação somente em aterro sanitário. Por exemplo, cerca da metade deste material poderia ser incorporado ao solo (Quadro 6).

DISCUSSÃO

Legislação relacionada à disposição do sedimento de desassoreamento

A Resolução n° 039/04 do Estado de São Paulo (São Paulo, 2004) define solo como sendo o material que ocorre a partir da superfície do terreno, constituído por horizontes originados pela alteração do material original (rocha, sedimento ou outro solo) por ação do intemperismo. São partes integrantes do solo as partículas minerais, o ar e a água intersticial das zonas não saturada e saturada, a fração orgânica e a biota. Outros tipos de materiais, como rocha, sedimentos ou aqueles utilizados para construir aterros artificiais, podem exercer as funções do solo. Com base nessa afirmação, o sedimento de desassoreamento pode ser disposto no solo desde que sejam observadas as exigências legais.

A resolução Conama n° 420/09 (Conama, 2009) recomenda que sejam usados valores de referência de qualidade (VRQ) do solo como indicadores que definam sua qualidade natural. O VRQ para as substâncias inorgânicas de ocorrência natural no solo é estabelecido a partir de interpretação estatística dos resultados analíticos obtidos em

amostras coletadas nos principais tipos de solo do estado. Cada estado deve estabelecer os valores de referência de qualidade (VRQ); e pode ser um único VRQ por substância ou um VRQ para cada tipo de solo. Assim, os estudos para determinar os teores de ocorrência natural são importantes para monitorar o risco de possível entrada desses elementos na cadeia alimentar por fontes antropogênicas (Campos et al., 2013).

Do mesmo modo, poluentes resultantes de ações antrópicas devem ser avaliados para ações de gerenciamento ambiental. A ação antrópica nem sempre provoca um efeito negativo tão previsível; por exemplo, o chorume de dois aterros sanitários da região metropolitana de São Paulo apresentava baixas concentrações de metais pesados (Hypolito e Ezaki, 2006). No entanto, os teores de Pb e Zn, ao contrário de Cd, Cr, Cu, Mn e Hg, foram detectados no chorume produzido no aterro sanitário de Ribeirão Preto, São Paulo, acima dos limites especificados para o lançamento de efluente pela resolução vigente na época, Conama n° 357/2005. Isso exige que ação de gerenciamento seja realizada para evitar a contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas da região (Celere et al., 2007). A diferença de comportamento, portanto, depende da condição ambiental (Hypolito e Ezaki, 2006).

Neste estudo, o valor geoquímico (Mineropar, 2001) foi considerado uma referência adequada para os estudos de avaliação da ação antrópica sobre o meio ambiente, pois foi admitido que esse fosse o teor de contaminante naturalmente, ou eventualmente, encontrado no sedimento de fundo de corpos hídricos no passado recente. A Resolução Conama n° 420/09 (Conama, 2009) dispõe sobre critérios e valores

Quadro 5. Teores de carbono orgânico e nitrogênio total dos sedimentos nos diferentes pontos de remoção no rio Belém e teores padrões de referência

| Parâmetro | SDA n° 025/09 ⁽¹⁾ | CONAMA n° 344/04 | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 |
|-------------|------------------------------|---------------------|------|---------------------|------|------|------|------|
| COT (%) | ≥159 ⁽²⁾ | 10 ⁽⁴⁾ | 0,18 | <LDM ⁽⁵⁾ | 0,05 | <LDM | <LDM | 1,84 |
| N total (%) | ≥0,5 ⁽³⁾ | 0,48 ⁽⁴⁾ | 0,29 | 0,23 | 0,42 | 0,48 | 0,06 | 0,56 |

⁽¹⁾ Instrução Normativa SDA n° 025/09 (Brasil, 2009); ⁽²⁾ para serem considerados fertilizantes orgânicos simples, mistos ou compostos; ⁽³⁾ parâmetros de referência para outros fertilizantes orgânicos simples; e ⁽⁴⁾ valor de alerta: valor acima do qual representa possibilidade de causar prejuízos ao ambiente na área de disposição, segundo a Resolução Conama n° 344/04 (Conama, 2004); ⁽⁵⁾ <LDM: menor que o limite de detecção do método.

Quadro 6. Proposta de destinação mais conservadora do sedimento

| P1 | P2 | P3 | P6 | P4 | P5 |
|--|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|--|------------------------------|
| 5.200 m ³ (7 %) | 8.500 m ³ (11 %) | 7.500 m ³ (10 %) | 18.300 m ³ (24 %) | 17.700 m ³ (23 %) | 19.500 m ³ (25 %) |
| a) Cobertura de aterro de resíduos | | | | a) Solo | |
| b) Preenchimento de contêineres geotêxteis | | | | b) Material de preenchimento para fundações em estrada, ruas e ciclovias | |
| c) Disposição em aterro de resíduos | | | | c) Recuperação de áreas contaminadas | |
| | | | | d) Preenchimento de cavas de extração mineral (areia, por exemplo) | |

orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Tal instrumento normativo prevê que os valores de referência possam ser revistos, bem como serem estabelecidos no âmbito estadual ou regional para substâncias químicas listadas ou não, com base na mesma metodologia e garantindo o mesmo nível de risco. O Decreto Municipal nº 1190/04 (Curitiba, 2004), que estabelece padrões de referência (VP e VI) para solo, bem como para água subterrânea, em zoneamento residencial, comercial/serviço e industrial, prevê que, em caso de contaminação proveniente da fonte poluidora em imóveis situados em zoneamentos diferentes, prevalecerão os parâmetros mais restritivos desse documento. Logo, o valor de investigação residencial foi priorizado na tomada de decisão para a opção de destinação do sedimento de desassoreamento como solo (Quadro 1, ressaltado em negrito).

O contaminante preexistente detectado no solo é classificado pela Conama nº 420/09 (Conama, 2009) em quatro diferentes classes e suas correspondentes necessidades de gerenciamento, da seguinte maneira: Classe 1 (concentrações de substâncias químicas menores ou iguais ao VRQs), 2 (pelo menos uma substância química maior do que o VRQ e menor ou igual ao VP), 3 (pelo menos uma substância química maior que o VP e menor ou igual ao VI) e 4 (pelo menos uma substância química maior que o VI). Após a classificação, os procedimentos de prevenção e controle da qualidade do solo devem ser: Classe 1 - não requer ação; 2 - pode exigir uma avaliação do órgão ambiental, incluindo a verificação da possibilidade de ocorrência natural da substância ou da existência de fontes de poluição, com indicativos de ações preventivas de controle; 3 - pedir identificação da fonte potencial de contaminação, avaliação da ocorrência natural da substância, controle das fontes de contaminação e monitoramento da qualidade do solo e da água subterrânea; e 4 - precisar ações de gerenciamento de áreas contaminadas.

A Resolução Conama nº 344/04 (Conama, 2004) estabelece diretrizes gerais e procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado e destinado a águas jurisdicionais brasileiras. Essa Resolução também prevê quais alternativas de disposição autorizadas podem ser selecionadas pelo órgão ambiental competente, caso o material a ser dragado não respeite os valores de referência. A disposição em águas não é factível para o município de Curitiba, mas pode ser a opção de escolha para municípios litorâneos; no entanto, os baixos valores de referências devem ser ressaltados. A Resolução nº 039/04 do Estado de São Paulo (São Paulo, 2004) estipula as orientações gerais à caracterização do material a ser dragado com uso de VA (valores de alerta) e VI para o gerenciamento de sua disposição em solo.

Os lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados podem ter uso agrícola, como define a Resolução Conama nº 375/06 (Conama, 2006). O lodo também é um resíduo sólido, sendo um subproduto intrínseco do processo. Pode conter metais pesados, compostos orgânicos persistentes e patógenos em quantidades nocivas à saúde e ao meio ambiente em razão de fatores naturais e acidentais, mas que constitui fonte de matéria orgânica e de nutrientes para as plantas; e sua aplicação no solo pode trazer benefícios à agricultura. Os valores dessa norma são menos restritivos para diversos potenciais poluentes, como Cd, Cr, Cu, Ni e Zn, o que revela certa inconsistência na filosofia usada, mesmo verificando que seu uso tem restrições; por exemplo, olerícolas, tubérculos, raízes e demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo, bem como cultivos inundáveis não podem ser cultivadas. Entretanto, isso é permitido após 48 meses da última aplicação.

O sedimento de desassoreamento poderia até ser comercializado, se fosse inócuo ao meio ambiente e à saúde humana, como agente de fertilização do solo. A Instrução Normativa SDA nº 025/09 (Brasil, 2009) prevê as determinações para uso de lodo de esgoto, vermicomposto, composto de lixo, fertilizante orgânico e organomineral foliar, fertilizante orgânico e organomineral de diversos tipos. Nesse caso, o sedimento também teria que respeitar a exigência de composição de macro e de micronutrientes que só pode ser respeitada com adição de mais matéria, o que deixa sua destinação mais complexa e onerosa. Por último, o sedimento de desassoreamento pode ser considerado um resíduo sólido a ser descartado, em observância à Norma Técnica NBR 10004 (ABNT, 2004a). Nesse caso, a lixiviação de metais presentes precisa ser avaliada para verificar se é potencialmente danosa ao meio ambiente e à saúde pública. Diante do exposto, definir uma alternativa à destinação ao aterro sanitário com base na legislação é complexo, mas deve ser feito para evitar a destinação de sedimentos fora das especificações corretas ao aterro sanitário, bem como à limitação por fatores ambientais, econômicos e gestão de obras.

Colocação da legislação relacionada à destinação de resíduo sólido

Além das situações de discordância já citadas entre as filosofias das normas, que não revelam os princípios para escolha, outras podem ser destacadas. A destinação como material de solo (S-CB e S-BR) ou para compor solo (MD-SP) demonstra algumas variações grandes, como para o Cd (destaca-se para ilustrar os teores de 15, 8, 5 mg kg⁻¹ Cd para valor de referência dessa matriz para as diferentes normas), Cr e Ni, bem como para o benzo(a)pireno. Ainda, situações incomuns podem ser verificadas no âmbito da mesma norma; por exemplo, a norma para qualidade de solo de

Curitiba (Curitiba, 2004) apresenta valor menos restritivo para um ambiente de prestação de serviço, a exemplo de uma escola, do que para um residencial (500 e 350 mg kg⁻¹ Pb, respectivamente). No entanto, a escola pode proporcionar o mesmo tipo de contato com os contaminantes do solo que o observado em uma residência.

A exigência para descarte do sedimento em águas jurisdicionais brasileiras é também extremamente rigorosa, pois a metodologia analítica de dissolução da amostra para a extração dos metais das amostras usa ataque com ácido nítrico concentrado e hidrófluorídrico e aquecimento por micro-ondas. Trata-se de uma condição de dissolução muito mais severa do que pode ocorrer no meio ambiente e que foi usada para extrair os cátions de metais pesados para a NBR 10004. Assim, é possível imaginar que isso poderá provocar “resultado falso positivo” para material biodisponível para alguns casos, em razão do zelo em detectar todos os metais no solo, os quais podem em uma situação especial tornar-se biodisponível.

O conflito de filosofia também é verificado para compor o solo agrícola. Assim, a Resolução Conama n° 344/04 (Conama, 2004) apresenta o teor de COT com valor de alerta de 10 %, para que não ocorram possibilidades de prejuízos ao ambiente aquático resultantes da disposição de sedimentos. No entanto, a Instrução Normativa SDA n° 025/09 (Brasil, 2009) exige que o mesmo valor seja maior ou igual a 15 % para ser considerado como uma adição benéfica dos compostos carbônicos ao solo agriculturável. Essa situação também ocorre para o N total, que deve ser inferior a 0,48 % e superior a 0,5 %. Apesar de a matriz receptora ser diferente, isso evidencia que deve ser realizada uma adequação à legislação mais abrangente, com uso de base técnica-científica consistente e com profissionais multi e interdisciplinares, de modo a serem considerados os critérios específicos de disposição de material dragado no solo.

Sedimento de desassoreamento do baixo Belém e seus poluentes

Um estudo de caso para o rio Belém foi feito para avaliar as opções de destinação frente às legislações existentes. Ilhas de sedimento ao longo desse rio podiam ser observadas em imagens de satélite, o que explicita a importância das obras de limpeza e o grau de assoreamento que havia. Foi verificada menor quantidade de sedimento nos pontos de P1 a P3, em comparação aos pontos de P4 a P6. O perfil de distribuição foi importante para acompanhamento da evolução de assoreamento futuro, mas não demonstrou, necessariamente, um padrão relacionado ao grau de contaminação. Isso pode ser parcialmente atribuído à geografia do rio, que é retilíneo até fazer uma curva acentuada, de quase 90°, logo após o ponto P6.

As características geológicas naturais da bacia hidrográfica do rio Belém apresentam sedimentos de fundo com características mais argilosas e podem também conter areia, silte e matéria orgânica em razão da presença de sedimentos não consolidados. Assim sendo, é plausível ter sais de metais pesados adsorvidos pelas frações de argila, silte e matéria orgânica. Dessa forma, um aumento das concentrações de metais pesados nos sedimentos poderia ser atribuído à interferência antrópica sobre a composição, em relação à identificação de elementos químicos inorgânicos presentes em sedimentos de fundo realizado em 1995 (Mineropar, 2001).

As fontes prováveis de contaminação podem ser associadas aos estabelecimentos geradores de efluentes, notadamente as indústrias galvânicas, bem como as relacionadas ao uso de veículos e de lançamentos de efluentes urbanos (ABNT, 2004a; Taylor e Owens, 2009). No entanto, como será detalhado, o teor do poluente nem sempre pode ser relacionado com o tipo de aplicação decorrente de uma ação antrópica plausível (Campos et al., 2013).

Os teores de Ag, Cd, Cu, Ni e Zn estavam abaixo dos valores de referência mais rigorosos das normas (Quadro 2). O teor do Pb para P2 restringiu seu uso (8.500 m³, 11 % do volume total, Quadro 3); sua presença pode ser atribuída a efluentes líquidos, resíduos de tinta, de baterias automotivas, de metalurgia etc. (Baird, 2002, ABNT, 2004a), mas não é possível justificar sua presença em somente um ponto. Não obstante, o teor de Cr não seguiu o mesmo padrão de comportamento; a esse poluente também estão associados esses tipos de indústrias (Baird, 2002). O teor do Cr foi elevado e restringe o uso do sedimento P1 (5.200 m³, 7 %). Entretanto, Pb e Cr não foram detectados no extrato lixiviado em nenhum dos pontos, o que pode ser atribuído a estarem retidos na matriz sólida do solo (colóides minerais e, ou, orgânicos) ou ainda ocluídos na estrutura das moléculas contaminantes, quando presentes. Nesse caso, não causariam dano ambiental (Baird, 2002). Apesar de não ter sido definido a fonte de contaminantes, essa deve estar associada à indústria e ao comércio, pois metais pesados não têm sido identificados em elevados teores nos sedimentos de região agrícola (Depiné et al., 2012).

Os sedimentos dos pontos P3 e P6 não teriam seu uso recomendado como material de solo em razão da presença de teores elevados de benzo(a)pireno e fluoreno, respectivamente. Contudo, os teores foram muito baixos e existe a possibilidade da biodegradação e a fotodegradação de poluentes orgânicos estar ocorrendo (Kot-Wasik et al., 2004; Lou et al., 2006; Haritash e Kaushik, 2009); é difícil estabelecer o real impacto para tais concentrações. Por último, esses dois HAP são compatíveis com a ação antrópica decorrente da atividade econômica (Haritash e Kaushik, 2009 ABNT, 2004a) no entorno

do rio Belém, mas não foram detectados outros compostos orgânicos associados. Benzo(a)pireno é atribuído à queima incompleta de combustíveis fósseis, resíduos de pirólise de algumas matérias orgânicas e madeira, óleos (Baird, 2002), além da presença dos contaminantes orgânicos atribuídos a lançamentos ou a pequenos acidentes com óleos minerais e combustíveis provenientes de postos de combustíveis, oficinas mecânicas e veículos em circulação (Pereira Netto et al., 2000; Haritash e Kaushik, 2009). Assim, poderia estar associado à ação antrópica decorrente das atividades de serviço em veículos automotores. Por outro lado, os HAP também podem não ter origem antropogênica (Haritash e Kaushik, 2009).

Avaliação da destinação dos sedimentos de desassoreamento do baixo Belém

O sedimento com teor abaixo de valores de prevenção (VP) pode ser usado como solo propriamente dito em recuperação de áreas contaminadas e construção civil (material de preenchimento para fundações). Os sedimentos P4 e P5 se enquadram nessa situação (Quadro 6). Poluentes foram detectados nos sedimentos P1 (Cr e Ni), P2 (Cr, Ni e Pb), P3 (Cr, Ni, antraceno, benzo(a)pireno e fluoreno) e P6 (Cr, Ni e fluoreno). Os teores de poluentes encontrados em P1 e P2 foram tais que, se encontrados no solo, requereriam ações de gerenciamento de áreas contaminadas, segundo a Resolução Conama n° 420/09 (Conama, 2009), o que descarta totalmente a hipótese de uso como solo em razão da complexidade de exigência.

No entanto, a presença de metais pesados no solo não provoca, necessariamente, danos biológicos imediatos, pois sua biodisponibilidade ocorre em condições menos severas do que as usadas na abertura de amostras de solo (USEPA, 1996). Isso ficou evidente no teste de lixiviação deste estudo, pois os metais avaliados (Cd, Pb, Cr, Ag) não foram detectados. A capacidade de lixiviação depende da condição local; por exemplo, os íons metálicos são mais facilmente lixiviados nas fases anaeróbicas de um aterro sanitário; esses são fixados nos meios circundantes com a elevação de pH (Hypolito e Ezaki, 2006).

Os sedimentos P3 e P6 apresentaram valores de HPA superiores às normas. Entretanto, os teores observados são baixos e podem ser decorrentes de ocorrência natural, bem como podem ser degradados por microrganismos presentes no próprio meio (Haritash e Kaushik, 2009). O sedimento apresentou baixos teores de CO e N total (Quadro 5), o que sugere não haver aporte de esgoto doméstico (Froehner e Martins, 2008) e, portanto, ser adequado para o uso como agente de fertilização do solo (Conama, 2006). O P6 apresentou maior concentração para CO e N total em uma região com menor ocupação urbana,

ao contrário do que foi relatado no sedimento do rio Barigui, em Curitiba (Froehner e Martins, 2008).

Gerenciamento de destinação final de sedimento

Alternativas às disposições em aterro são convenientes para sedimentos com baixo grau de contaminação. Grande parte dos sedimentos é proveniente de solos limpos e é mais recurso de matéria do que um problema de disposição (Darmody e Marlin, 2002). Logo, os sedimentos que respeitam todos os limites das normas vigentes, P4 e P5 (48 % do volume total), deveriam ser utilizados preferencialmente como material de solo (Quadro 6). Os sedimentos de P1 e P2 apresentam contaminante inorgânico estabilizados na matriz e podem ser destinados como material de cobertura de aterro de resíduos. Esse tipo de material também poderia ter sido usado para preenchimento de contêineres geotêxteis a serem usados, desde que tivesse sido removido por uso de dragas, que não foi o caso desta obra no rio Belém. A possibilidade de volatilização dos HPA em P3 restringe a destinação à cobertura de aterros de resíduos perigosos, embora possa ser degradado fotoquimicamente e aerobicamente (Kot-Wasik et al., 2004; Lou et al., 2006; Haritash e Kaushik, 2009). Algumas análises físicas complementares devem ser realizadas para confirmar a destinação escolhida; por exemplo, parâmetros como granulometria, pH e capacidade de troca iônica fornecem informações para avaliar o uso de sedimentos removidos para fins agrícolas ou a recuperação de solos erodidos (Darmody e Marlin, 2002). Assim, a maioria dos sedimentos teria fins mais nobres, evitando-se o descarte em áreas inadequadas, em aterros sanitários, ou gastos desnecessários para descarte com resíduos perigosos, que apresentam limitações de disponibilidade e custo para os municípios brasileiros.

Protocolo de gerenciamento de destinação de sedimento

A metodologia empregada pode ser utilizada em outras obras de desassoreamento e expandida a outros municípios brasileiros. Assim, um protocolo de avaliação pode ser realizado por meio de avaliação das atividades econômicas e urbanas desenvolvidas na região em que ocorrerá o desassoreamento para definir os poluentes a serem monitorados; remoção dos sedimentos com medição do volume e simultaneamente realização de amostragem; realização das análises químicas previstas em triplicatas; comparação dos teores dos contaminantes observados com os padrões legais e normativos para proposição de destinação final; realização de análises físicas para parâmetros complementares, de acordo com as peculiaridades de usos; e transporte e aplicação dos sedimentos. Eventualmente, o monitoramento do solo e o da água subterrânea da área receptora podem ser necessários.

CONCLUSÕES

Os valores de referência da legislação ambiental para solo, lodo de esgoto, resíduos sólidos e sedimentos dispostos em águas jurisdicionais apresentam aparentes discordâncias e são inadequados para definir a destinação final de sedimentos de dragagem; no entanto, uma revisão para contemplar essa nova necessidade seria apropriada.

Cerca de 50 % dos sedimentos removidos do rio Belém podem ser aproveitados como solo, o que acarretaria a redução de gastos e valorização desse resíduo sólido urbano.

Um protocolo de gerenciamento foi proposto e deve ser utilizado em futuras obras de desassoreamento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMMA) da Prefeitura Municipal de Curitiba, à Universidade Federal do Paraná (UFPR), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Universität Stuttgart e ao DAAD pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 10004: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro; 2004a.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 10007: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro; 2004b.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 10005: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro; 2004c.
- Baird C. Química ambiental. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman; 2002.
- Bortone G. Sediment treatment - A general introduction. In: Bortone G, Palumbo L., editors. Sustainable management of sediment resources - sediment and dredged material treatment. Amsterdam: Elsevier; 2007. v.2, p.1-10.
- Bollmann HA, Edwiges, T. Avaliação da qualidade das águas do Rio Belém, Curitiba -PR, com o emprego de indicadores quantitativos e perceptivos. Eng Sanit Amb. 2008;13:443-52.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa SDA 28, de 27 de julho de 2007 - Anexo. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organo-minerais e corretivos [acesso em 20 dez 2010]. Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/sislegisconsulta/servlet/VisualizarAnexo?id=13105>.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa SDA 25, de 23 de julho de 2009 - Normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura [Acesso em 06 nov 2013]. Disponível em: http://www.anc.org.br/imagens/uploads/in_25_normas_sobre_as_especificacoes_e_as_garantias_as.pdf.
- Campos ML, Guilherme RLG, Marques JJGSM, Lopes RS, Curi N, Araújo ASA, Miquelluti DJ, Lopes C, Spiazzi FR. Teores de arsênio e cádmio em solos do bioma cerrado. R Bras Ci Solo. 2013;37:281-6.
- Celere MS, Oliveira AS, Trevilato TMB, Segura-Muñoz SI. Metais presentes no chorume coletado no aterro sanitário de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, e sua relevância para saúde pública. Cad Saúde Públ. 2007;23:939-47.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente - Conama. Resolução nº 344, de 25 de março de 2004. Estabelece as diretrizes gerais e procedimentos mínimos para avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras, e dá outras providências [acesso em 30 dez 2009]. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=445>.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente - Conama. Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos para uso agrícola de lodos de esgoto gerados em Estações de Tratamento de esgoto sanitário e produtos derivados [acesso em 09 fev 2010]. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=506>.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente - Conama. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas [acesso em 20 jan 2010]. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>.
- Curitiba. [Br] Decreto Municipal nº 1190, de 14 de dez. de 2004. Estabelece os parâmetros de referência para qualidade de solo e água subterrânea no Município de Curitiba [acesso em 30 dez 2009]. Disponível em: <http://sitepmcestatico.curitiba.pr.gov.br/servicos/meioambiente/legislacoes/D1190.pdf>.
- Darmody RG, Marlin JC. Sediments and sediment-derived soils in Illinois: Pedological and agronomic assessment. Environ Monit Assess. 2002;77:209-77.
- Depiné H, Kaufmann V, Pinheiro A, Silva MR, Gonçalves Jr. AC, Gomes GD. Nutrientes e metais em sedimentos depositados no rio de uma bacia agrícola no estado de Santa Catarina. R Bras Rec Hídric. 2012;17:229-37.
- Eaton AD, Franson MAH, Clesceri LS, Rice EW, Greenberg AE, editors. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21ª ed. Washington: American Public Health Association; 2005.
- Froehner S, Martins RF. Avaliação da composição química de sedimentos do rio Barigui na Região Metropolitana de Curitiba. Quím Nova. 2008;31:2020-6.
- Geissler HJ, Loch REN. Análise histórica das enchentes em Curitiba-PR: medidas propostas e conseqüências observadas. In: Anais do 1º Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais [CD ROM]; 2004. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina; 2004. p.507-23.
- Haritash AK, Kaushik CP. Biodegradation aspects of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs): A review. J Hazard Mater. 2009;169:1-15.

- Hypolito R, Ezaki S. Íons de metais pesados em system solo-lixo-chorume-água de aterros sanitários da região metropolitana de São Paulo-SP. *Águas Subter*. 2006;20:99-114.
- International Standardization Organization - ISO. ISO 18287. Soil quality - Determination of Polycyclic aromatic hidrocarbons-Gas chromatographic method with mass spectrometric detection (GC-MS). 2006.
- Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba - IPPUC. Curitiba em dados [internet]. 2009 [acesso em 24 jan 2011]. Disponível em: http://curitibaemdados.ippuc.org.br/Curitiba_em_dados_Pesquisa.htm.
- Kot-Wasik A, Dabrowska D, Namiesnik J. Photodegradation and biodegradation study of benzo(a)pyrene in different liquid media. *J Photochem Photobiol A: Chem*. 2004;168:109-15.
- Lou T, Xie H, Chen G, Gagné J-P. Effects of photodegradation of dissolved organic matter on the binding of benzo(a)pyrene. *Chemosphere*. 2006;64:1204-11.
- Minerais do Paraná - Mineropar. Atlas Geoquímico da Folha de Curitiba - Geoquímica dos sedimentos de fundo. Curitiba; 2001.
- Pereira Netto AD, Moreira JC, Dias AEXO, Arbilla G, Ferreira LFV, Oliveira AS, Barek J. Avaliação da contaminação humana por hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e seus derivados nitrados (HNPA): uma revisão metodológica. *Quím Nova*. 2000;23:765-73.
- São Paulo[Br] Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Resolução nº 039, de 21 de julho de 2004. Estabelece as diretrizes gerais à caracterização do material a ser dragado para o gerenciamento de sua disposição em solo no Estado de São Paulo [acesso em 30 dez 2009]. Disponível em: http://www.ambiente.sp.gov.br/legislacao/estadual/resolucoes/2004_Res_SMA39.pdf.
- Taylor KG, Owens PN. Sediments in urban river basins: A review of sediment-contaminant dynamics in an environmental system conditioned by human activities. *J Soils Sedim*. 2009;9:281-301.
- Tucci CEM, Orsini LF. Águas urbanas no Brasil: Cenário atual e desenvolvimento sustentável. In: BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Gestão Território e manejo integrado das águas urbanas [internet]. Brasília: Ministério das Cidades; 2005 [acesso em 21 jan 2010]. Disponível em: http://www.snis.gov.br/arquivos_pmss/15_Cooperacao_Brasil_Italia/3.3-Componente_2/2005/livro_gestao_do_territorio_e_manejo_das_aguas_urbanas.zip.
- United States Army Corp of Engineers - Usace. Army Engineer Waterways Experiment Station. Beneficial uses of dredged material [internet]. EM 1110-2- 5026. Washington; 1987 [acesso em 26 mar 2010]. Disponível em: <http://140.194.76.129/publications/engmanuals/em1110-2-5026/entire.pdf>.
- United States Environmental Protection Agency - USEPA. Acid digestion of sediments, sludges and soils. EPA Method 3050B [internet]. 1996 [acesso em 20 dez 2010]. Disponível em: <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3050b.pdf>.