ARTIGO

DETERMINAÇÃO DE METAIS PESADOS EM LODOS DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS

DETERMINATION OF HEAVY METALS IN SEWAGE SLUDGE SYSTEMS

Ronaldo Luiz MINCATO[1]
Wagner Alves CARVALHO[1]

RESUMO

A possibilidade de aplicação em solos agrícolas dos lodos gerados em estações de tratamento de esgotos é condicionada pelos teores de patógenos, compostos orgânicos e metais pesados. Assim, neste trabalho, foram desenvolvidos e avaliados métodos para determinação de metais pesados (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn) em lodos de esgotos da Companhia de Saneamento Jundiaí, SP. Para tanto, foram investigadas as técnicas analíticas instrumentais de espectrometria de fluorescência de raios X e espectrometria de absorção atômica. Devido à escassez de materiais de referência com matriz similar às de interesse, para fluorescência de raios X, foi desenvolvido programa analítico baseado nos parâmetros fundamentais da absorção de fótons e da excitação e relaxamento dos raios X em pastilhas prensadas. Para o preparo das soluções para análise por espectrometria de absorção atômica, o método padrão de digestão ácida, desenvolvido originalmente pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA para solos, foi modificado e adaptado. Para checagem dos resultados foram analisados, simultaneamente, materiais de referência com teores certificados. A fluorescência de raios X, em relação à espectrometria de absorção atômica, apresentou teores mais próximos aos esperados nas amostras padrões, talvez devido à digestão incompleta das amostras para espectrometria de absorção atômica. Os lodos da Companhia de Saneamento Jundiaí apresentaram teores de metais pesados inferiores aos limites máximos estabelecidos pelas normas para aplicação em solos agrícolas.

Palavras-chave: água; lodos; metais pesados; tratamento de esgoto.

ABSTRACT

Sewage sludge obtained in Wastewater Treatment Plants can be used as fertilizer in agricultural land. Nevertheless, it is necessary to know it load of pathogenic microorganisms, organic compounds and heavy metals. Here, we used X-Ray Fluorescence and Atomic Absorption Spectrometry to evaluate the load of Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn in sewage sludge obtained from Companhia de Saneamento Jundiaí, São Paulo

[1] Professores Doutores, Faculdade de Química, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Rod. Dom Pedro I, km 136, Parque das Universidades, 13086-900, Campinas, SP, Brasil. Correspondência para/*Correspondence to*: R.L. MINCATO. *E-mail*: <mincato@puc-campinas.edu.br>.

State. Due to the limited number of reference materials with similar matrices of that of interest, we developed an analytical program based on fundamentals parameters of photons absorption and excitation - relaxation of X-rays, using pressed pellets. The solutions used in Atomic Absorption Spectrometry were prepared by modifying a standard method of acid digestion for soils, developed by United States Environmental Protection Agency. The validation was done using standard certified materials. The results of Atomic Absorption Spectrometry are slightly smaller than those obtained by X-Ray Fluorescence, probably due to the incomplete acid digestion of the samples. The sewage sludge of Companhia de Saneamento Jundiaí *showed smaller load of heavy metals than the maximum allowed by the regulations about application of this kind of biossolids in agricultural soils.*

Key words*: water; sewage sludge; heavy metals; sewage system.*

INTRODUÇÃO

A água é seguramente o mais importante recurso natural e o principal componente dos organismos vivos. Sem ela não sobrevivemos. Outros recursos físicos podem tornar a vida mais confortável, mas a água a torna possível.

A quantidade de água necessária só para a sobrevivência é pequena. Entretanto, o volume de água utilizado pela população é variável e depende do estágio de desenvolvimento dos países. É de 20 a 40 litros diários por pessoa a quantidade utilizada em nível de subsistência nos países menos desenvolvidos. Já, nos desenvolvidos, a média é de 500 litros diários por pessoa. Grande parte dessa demanda extra é originada pela indústria e pela agricultura, e parte é devida aos usos domésticos (Tabela 1). É estimado que uma pessoa que habite uma casa moderna use cerca de dois mil litros diários de água (The Open University, 2000).

Em muitos locais, a chuva fornece a água para as atividades agrícolas, mas em outros a chuva é insuficiente ou sazonal, sendo necessária para a irrigação grande quantidade de água. A água tem ainda usos indiretos, pois os peixes e crustáceos são obtidos a partir dela, assim como outros recursos naturais, como o sal (NaCl) e outros minerais.

De forma geral, o uso da água pode ser classificado em: abstrativo, no qual a água é temporariamente perdida como recurso (uso doméstico e manufatura industrial), e não abstrativo, no qual a água é utilizada sem desvios de sua trajetória natural e sem perder a qualidade (lazer e navegação).

As limitações naturais na oferta de água tornam o gerenciamento dos recursos hídricos essencial para a sustentabilidade da humanidade desde longa data. A barragem mais antiga que se tem notícia foi construída no Egito, há cerca de cinco mil anos, para armazenar água para beber e para irrigação. Os antigos gregos já reconheciam a importância da qualidade da água, e Hipócrates alertava sobre a necessidade de filtrá-la e fervê-la antes de beber. Atualmente, o tratamento de esgotos é fundamental para a manutenção e conservação das condições ambientais e para garantir a reutilização da água para as atividades domésticas, industriais, agropecuárias e de lazer (Tsutiya, 2002).

Tabela 1. Necessidades médias de água para diversos usos domésticos, cultivo de alimentos e manufatura.

Uso ou produto	Quantidade de água necessária*
Uso doméstico	
Descarga de sanitário (por descarga)	12 - 20 litros
Chuveiro (por minuto)	20 litros
Máquina de lavar (por lavagem)	130 litros
Molhar o jardim (1 hora)	1.300 litros
Cultivo de alimentos	
1 tonelada de trigo	1.000m^3
1 tonelada de arroz	4.500m^3
1 tonelada de batatas	550m^3
Manufatura	
1 tonelada de tijolos	1- 2m^3
1 tonelada de alumínio	1.500m^3
1 tonelada de fertilizante	600m^3
1 tonelada de óleo cru refinado	15m^3
1 tonelada de borracha sintética	3.000m^3

Nota: *1m^3 (= 103 litros) de água pesa 1 tonelada.
Fonte: Adaptada de: The Open University (2000).

TRATAMENTO DE ESGOTOS

O tratamento de esgotos envolve a coleta, o transporte, o tratamento e a disposição dos efluentes

sanitários e/ou industriais com o objetivo de remover as impurezas físicas, químicas e os organismos patogênicos. Consiste, em síntese, das etapas: a) *preliminar*: remoção do material sólido mais grosso (papéis, madeiras, plásticos, etc.), por meio de grades e telas, e remoção de sólidos descartáveis (cascalho e areia), que são depositados em calhas; b) *primário*: passagem do esgoto por tanques de sedimentação, com retenção por várias horas, quando grande parte do material suspenso sedimenta e forma o "lodo primário" ou "lodo cru"; c) *secundário*: oxidação biológica e floculação da matéria orgânica diluída, ainda, em suspensão, sendo os processos comuns lagoas de estabilização, filtros biológicos, lodos ativados e, em menor escala, digestores anaeróbios; e d) *terciário*: remoção dos nutrientes minerais (N, P e K), que podem provocar a eutrofização dos corpos hídricos.

O tratamento de efluentes nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) gera volumes apreciáveis de resíduos, denominados de lodos de esgotos. Em geral, a quantidade de lodo produzida varia de 1% a 2% do volume de esgotos tratados. Porém, o processamento e a disposição final do lodo atingem 30% a 60% do custo operacional da ETE (Programa de Pesquisa..., 1999). Assim, a adequada disposição final dos resíduos sólidos gerados é decisiva para o sucesso do tratamento.

As características físico-químicas dos lodos o tornam, potencialmente, um excelente condicionador e estruturador dos solos e, nessa perspectiva, podem ser um biossólido útil para a agricultura (pelos teores de N, P e K). Econômica e ambientalmente, essa é uma das melhores alternativas, já que atende aos requisitos de concentração de patógenos, de compostos orgânicos e de metais pesados.

Em particular, os metais pesados contidos nos lodos utilizados na fertilização de solos são contaminantes potenciais das culturas agrícolas (Dudka & Miller, 1999), e podem ser tóxicos às diferentes formas de vida devido ao caráter cumulativo nos solos e à bioacumulação e à biomagnificação ao longo da cadeia trófica. A toxicidade desses elementos depende de sua especiação e a ação tóxica, em termos bioquímicos, deriva da afinidade pelo enxofre (Baird, 2002).

No Brasil, ainda, não existe legislação federal que regule o uso de lodos de esgotos em solos agrícolas. Todavia, em São Paulo, a norma P.4.230 da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) (Companhia de Tecnologia..., 1999) adota, para os metais pesados, os limites da USEPA CFR 40, Part 503, da agência de proteção ambiental dos EUA (Tabela 2).

A quantificação dos metais pesados é, portanto, fundamental para definir a disposição final mais adequada dos lodos, porém, ainda não há rotinas analíticas bem estabelecidas. Os baixos teores esperados (mg kg^{-1}) inviabilizam o uso das técnicas baseadas em titulações ou precipitações (Baird, 2002). Assim, o objetivo deste trabalho foi desenvolver metodologia de quantificação de metais pesados (Fe, Cu, Cr, Cd, Zn, Ni, Mn e Pb) em lodos de esgotos por espectrometria de fluorescência de raios X (FRX) e por espectrometria de absorção atômica (AAS).

Tabela 2. Concentrações limites de metais pesados nos lodos para aplicação em solos agrícolas, conforme a norma P.4.230 da Cetesb* (1999).

Metal pesado	Limite máximo (mg kg^{-1})	Lodo de excepcional qualidade (mg kg^{-1})	Limite anual (kg ha^{-1})	Limite cumulativo (kg ha^{-1})
As	75	41	2,0	41
Cd	85	39	1,9	39
Cr	3000	1200	150	3000
Cu	4300	1500	75	1500
Pb	840	300	15	300
Hg	57	17	0,85	17
Mo	75	18	0,9	18
Ni	420	420	21	420
Se	100	36	5	100
Zn	7500	2800	140	2800

Nota: Cetesb: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.

TÉCNICAS ANALÍTICAS

A técnica de FRX é rápida, versátil e dispensa a abertura química, reduzindo os custos e as possibilidades de contaminação da amostra (Fitton, 1997), mas sua aplicação aos biossólidos ainda é incipiente. A técnica é baseada na excitação da amostra por raios X. Um feixe de raios X primários excita raios X secundários (fluorescência de raios X) com comprimentos de onda (λ) típicos dos elementos presentes na amostra. A intensidade dos raios X secundários é usada para determinar os teores dos elementos presentes. As intensidades de fluorescência emitidas são calibradas e transformadas em teores a partir de modelos matemáticos empíricos ou baseados em princípios e grandezas físicas (parâmetros fundamentais).

A calibração empírica é baseada no uso de amostras padrões (materiais de referência certificados) com matriz similar às de interesse. Devido à carência de materiais de referência para lodos de esgotos, o método eficaz para correção dos efeitos de matriz é o baseado nos parâmetros fundamentais associados à absorção de fótons e ao processo de excitação e relaxamento dos raios X (Alfassi, 1998).

Os parâmetros fundamentais são o coeficiente de absorção, a probabilidade que a transição ocorra e a fluorescência produzida. A qualidade dos dados analíticos dependerá também das aproximações e simplificações do modelo matemático. Para tanto, é necessário quantificar todos os elementos presentes na amostra.

A espectrometria de absorção atômica é baseada no fato de que os átomos de um elemento podem absorver radiação eletromagnética quando o elemento é atomizado, sendo o comprimento de onda (l) da luz absorvida específico para cada elemento (Potts, 1993). Todavia, a análise por AAS exige a abertura química das amostras sólidas pela via de métodos padrões de dissolução, que podem acarretar problemas de perda de material, de digestão incompleta e de contaminações.

MATERIAL E MÉTODOS

Para determinar os metais pesados foram utilizados: 1) espectrômetro de fluorescência de raios X seqüencial (Philips, PW2404), equipado com tubo de raios X com ânodo de ródio e potência máxima de 4 kW, do Laboratório Geoquímico do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e 2) espectrômetro de absorção atômica Perkin Elmer AA300, dos Laboratórios da Faculdade de Química da Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas).

Para determinação dos metais pesados por FRX foi usado o aplicativo *UniQuant 5.0*, que avalia as linhas espectrais em tempos pré-definidos. Nessa análise é feito o reconhecimento preliminar da composição da amostra e para obtenção de resultados acurados são medidas as linhas espectrais por tempos pré-determinados, adequados para estatística de contagem quantitativa. Entretanto, isso nem sempre é possível e é dependente das características das amostras. Isso ocorre com os lodos de esgotos, em que a matéria orgânica (MO) é o principal composto da matriz e não pode ser determinada convencionalmente por FRX. É o mesmo caso de amostras que contenham água. Tais constituintes devem ser determinados por outras técnicas e os valores introduzidos como informação adicional, anteriormente aos cálculos.

Nesta pesquisa foram analisadas cinco amostras de lodo coletadas em dezembro de 2001, no pátio da ETE da Companhia de Saneamento de Jundiaí (CSJ), SP, assim caracterizadas: CSJ-01 - na saída do deságüe (pós-centrifugação); CSJ-02 - com cinco dias de deposição na pilha (ambas recém-removidas da lagoa de decantação após residência de três anos); CSJ-03 e CSJ-04 - respectivamente, base e topo da pilha de lodos com 20 dias de deposição; e CSJ-05 - lodo com 60 dias de deposição, ao qual foi adicionado calcário para elevar o pH e eliminar ovos de helmintos. Foram analisados também os materiais certificados SRM 2781 (lodo doméstico) e SRM 2782 (lodo industrial) do *National Institute of Standards & Technology* (NIST), EUA e CRM 144R (lodo doméstico) e CRM 145R (lodo misto) do *Institute for Reference Materials and Measurements* (IRMM), Bélgica.

A preparação das amostras envolveu: 1) tratamento prévio (secagem, homogeneização, quarteamento e moagem) e preparação das pastilhas prensadas para análise por FRX, e 2) digestão ácida ($HNO_3 + HC_l + H_2O_2$) para análise por AAS, modificada e adaptada de Radojevic & Bashkin (1999), a partir de método USEPA.

A determinação da perda ao fogo (PF) fornece a quantidade de compostos voláteis (H_2O e CO_2) da amostra. Foi realizada em duas etapas: 1) secagem em estufa, a 105°C, e 2) calcinação em mufla, a 1000°C,

Tabela 3. Parâmetros analíticos adotados na FRX.

Elemento	Linha	Cristal	Detector	kV	mA	Ângulo 2θ	Tempo de contagem (s)
Cd	KA	LiF220	C	60	40	21,66	20
Pb	KA	LiF220	C	60	40	27,70	20
Zn	KA	LiF220	Duplex	40	60	60,56	40
Cu	KA	LiF220	Duplex	40	60	65,55	40
Ni	KA	LiF220	Duplex	40	60	71,26	40
Fe	KA	LiF220	Duplex	40	60	85,74	8
Mn	KA	LiF220	Duplex	40	60	95,23	8
Cr	KA	LiF220	Duplex	40	60	107,14	30

Notas: C: Detector de cintilação; Duplex: Detector proporcional de fluxo e detector de xenônio selado.

com elevação lenta e gradual da temperatura devido ao elevado teor de MO nos lodos.

A análise de carbono orgânico total (TOC), feita de acordo com Tedesco *et al*. (1995), envolve a oxidação dos compostos orgânicos com dicromato de potássio em presença de H_2SO_4 sob aquecimento. Após a reação, o dicromato residual foi titulado com sulfato ferroso, tendo o-fenantrolina como indicador.

A Tabela 3 apresenta as condições operacionais do espectrômetro de FRX determinadas e adotadas para análise dos elementos em foco nos lodos de esgotos.

Os parâmetros analíticos adotados na AAS [comprimento de onda (λ) e abertura da fenda (nm)] e as faixas de linearidade [μg mL^{-1}] para cada metal pesado são os especificados no manual do equipamento (Perkin Elmer, 1996).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de PF e de TOC (Tabela 4) constituem a matriz da amostra e interferem nos procedimentos de digestão ácida e nas intensidades medidas na FRX.

A Tabela 4 ilustra que os valores de PF correspondem aproximadamente ao dobro dos de TOC. Na determinação da MO com base nos dados do TOC, nota-se que os valores de PF e MO não são equivalentes devido à volatilização do C e de outras espécies, como H, OH e Cl durante a calcinação. Porém, na obtenção do TOC só os compostos orgânicos são oxidados e a porcentagem de MO é obtida a partir do valor de TOC multiplicado por 1,724 (Conceição *et al.*, 1999).

Tabela 4. Resultados PF, TOC e MO determinados nos lodos da CSJ.

Amostra	PF%	TOC%	MO%
CSJ-01	64,5	32,3	55,7
CSJ-02	63,6	32,0	55,2
CSJ-03	56,2	27,5	47,4
CSJ-04	55,2	27,6	47,6
CSJ-05	54,8	24,3	41,9

Nota: MO: TOC x 1,724 (Conceição *et al.*, 1999).

A Tabela 5 apresenta os resultados médios obtidos por FRX a partir do *UniQuant 5.0*, calibrado especificamente para as amostras de lodos, preparadas em duplicata. Dados de carbono, na forma de TOC, foram recalculados a compostos orgânicos e introduzidos previamente aos cálculos de obtenção dos teores. A tabela apresenta também os resultados dos materiais certificados SRM 2781 e 2782. A incerteza associada aos erros certificados corresponde ao intervalo de confiança de 95%. Os materiais de referência CRM 144R e 145R também foram analisados por FRX com o mesmo aplicativo (Tabela 6). Os resultados das duas últimas amostras estão contidos dentro dos intervalos de confiança certificados.

Para análise por AAS, cada uma das soluções obtidas a partir das digestões ácidas das amostras realizadas em duplicata foi objeto de duas determinações pela técnica instrumental AAS. A média dos resultados dessas determinações é apresentada na Tabela 7.

A comparação geral dos resultados obtidos por AAS nos lodos da CSJ e das amostras de referência em relação aos resultados certificados e seus

intervalos de confiança (95%) mostra para alguns elementos teores aquém dos esperados. Porém, deve-se considerar que os valores certificados representam a concentração total do elemento no material de referência e que as digestões ácidas adotadas não são totais, podendo ocorrer a oclusão dos cátions metálicos de interesse na fase não solubilizada (Radojevic & Bashkin, 1999).

Tabela 5. Resultados médios dos lodos das CSJ analisadas por FRX.

Amostras	CSJ					SEM			
	01	02	03	04	05	SEM 1271	SEM 1271#	SEM 1272	SEM 1272#
Fe (%)	2,43	2,54	2,51	2,60	2,84	2,86	2,80 ± 0,10	25,45	26,90 ± 0,70
Cd (ppm)	7,10	6,90	7,30	6,10	5,50	11,80	12,78 ± 0,78	4,40	4,17 ± 0,09
Cr (ppm)	184,00	194,50	185,00	187,50	204,00	207,00	202,00 ± 9,00	109,00	109,00 ± 6,00
Cu (ppm)	118,50	123,00	111,00	112,00	105,50	651,00	627,40 ± 13,50	2470,00	2594,00 ± 52,00
Mn (ppm)	701,00	727,00	674,00	566,50	605,50	829,00	—	258,00	—
Ni (ppm)	42,50	47,50	45,00	44,00	42,50	71,00	80,20 ± 2,30	153,00	154,10 ± 3,10
Pb (ppm)	298,00	323,00	241,50	290,00	198,50	218,00	202,10 ± 6,50	550,00	574,00 ± 11,00
Zn (ppm)	1495,00	1635,00	1360,00	1375,00	940,00	1290,00	1273,00 ± 53,00	1250,00	1254,00 ± 196,00

Nota: # valores certificados dos materiais de referência SRM 2781 e SRM 2782.

Tabela 6. Teores dos materiais de certificados CRM 144R e 145R, obtidos por FRX.

Amostras	CRM 144R		CRM 145R	
	FRX	Valor certificado	FRX	Valor certificado
Cd (ppm)	nd	1,82 ± 0,10	nd	3,50 ± 0,15
Co (ppm)	nd	15,00 ± 0,60	nd	5,61 ± 0,31
Cr (ppm)	96 ± 3	104,00 ± 3,00	nd	—
Cu (ppm)	288 ± 3	308,00 ± 7,00	684 ± 5	696,00 ± 12,00
Hg (ppm)	nd	3,14 ± 0,23	nd	2,01 ± 0,22
Mn (ppm)	194 ± 4	208,00 ± 3,00	144 ± 4	156,00 ± 4,00
Ni (ppm)	38 ± 5	47,70 ± 1,10	232 ± 5	247,00 ± 7,00
Pb (ppm)	109 ± 9	106,00 ± 4,00	292 ± 9	286,00 ± 5,00
Zn (ppm)	897 ± 23	932,00 ± 23,00	2055 ± 62	2122,00 ± 23,00

Nota: nd: não determinado por FRX.

Tabela 7. Teores médios obtidos por AAS nos lodos da CSJ.

Amostras	CSJ					SRM		SEM	
	01	02	03	04	05	2781	2781#	2782	2782#
Cd (ppm)	6,60	7,20	7,10	6,70	5,70	12,00	12,78 ± 0,78	4,60	4,17 ± 0,09
Cr (ppm)	133,00	143,00	101,00	97,40	126,80	90,80	143,00 ± 14,00	43,00	109,00 ± 6,00
Cu (ppm)	430,50	317,00	247,00	253,30	193,00	578,50	627,40 ± 13,50	2477,00	2594,00 ± 52,00
Fe (%)	2,70	2,80	2,80	2,80	2,85	2,70	2,80 ± 0,10	26,70	26,90 ± 0,70
Mn (ppm)	573,50	571,00	509,50	514,50	341,80	674,80	745,00 ± 33,00	220,80	258,00 ± 15,00
Ni (ppm)	34,10	39,50	36,10	36,70	32,40	60,80	80,20 ± 2,30	94,00	154,10 ± 3,10
Pb (ppm)	242,80	259,80	234,30	224,00	232,30	161,50	202,10 ± 6,50	472,50	574,00 ± 11,00
Zn (ppm)	1488,00	1632,30	1388,50	1370,30	925,50	1291,00	1273,00 ± 53,00	1247,00	1254,00 ± 196,00

Nota: # valores certificados das amostras de referência.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos por FRX, em relação aos obtidos por AAS, mostraram uma maior proximidade com os valores certificados dos padrões de referência. Já os teores menores obtidos por AAS são explicáveis pela digestão incompleta dos lodos, razão pela qual o processo de digestão deve ser avaliado com cautela.

A dosagem dos metais pesados nos lodos de esgotos pode ser feita por FRX, com base nos parâmetros fundamentais, de forma rápida, precisa e acurada. A técnica permite uma rápida e eficiente caracterização dos lodos, com vistas à definição de seu potencial para aplicação em solos agrícolas. A utilização do aplicativo nas amostras CRM 144R e 145R atesta a confiabilidade do método.

Os resultados obtidos, em particular por FRX, em alguns casos por AAS, nos lodos de esgotos da CSJ, mostraram concentrações menores do que os limites máximos permitidos pelas normas para aplicação em solos agrícolas. Porém, deve-se frisar que os teores refletem apenas as concentrações dos lodos amostrados na CSJ e que tais valores não podem ser extrapolados para os demais lodos gerados na ETE, que refletirão sempre as características particulares de cada esgoto (sanitário e/ou industrial) tratado na ETE.

AGRADECIMENTOS

À Profa. Dra. Jacinta Enzweiler do Instituto de Geociências da Unicamp e à Cia de Saneamento Jundiaí.

REFERÊNCIAS

Alfassi, Z.B. (1998). *Instrumental multi-element chemical analysis*. Boston: Kluwer. 506p.

Baird, C. (2002). *Química ambiental*. 2a. ed. Porto Alegre: Bookman. 622p.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. (1999). *Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológicos em áreas agrícolas:* critérios para projetos e operação - Norma P 4.230. São Paulo. 32p.

Conceição, M.; Manzatto, C.V.; Araújo, W.S.; Martin Neto, L.; SAAB, S.C.; Cunha, T.J.F. & Freixo, A.A. (1999). *Estudo comparativo de métodos de determinação do teor de matéria orgânica em organossolos*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. p.1-4. (Comunicado Técnico, n.2).

Dudka, S. & Miller, W.P. (1999). Accumulation of potentially toxic elements in plants and their transfer to human food chain. *Journal of Environmental Science Health Part B*, 34, (4):681-708.

Fitton, G. (1997). X-ray fluorescence spectrometry. In: Gill, R. (Ed.). *Modern analytical geochemistry: an introduction to quantitative chemical analysis for earth, environmental and material scientists*. Essex: Longman. p.87-115.

Open University (The 2000). *Recursos hídricos*. Campinas: Unicamp. 146p.

Perkin Elmer. (1996). *Atomic Absorption Spectroscopy: analytical methods*. Norwak: Perkin Elmer. 300p.

Potts, P.J. (1993). Laboratory Methods of Analisys. In: Riddle, C. (Ed.). *Analisys of geological materials*. New York: Marcel Dekker. p.123-220.

Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. (1999). *Uso e manejo de lodo de esgoto na agricultura*. Rio de Janeiro: PROSAB. 97p.

Radojevic, M. & Bashkin, V.N. (1999). *Practical environmental analysis*. Cornwall, UK: Royal Society of Chemistry. 466p.

Tedesco, M.J.; Volkweiss, S.J. & Bohnen, H. (1995). *Análise de solos, plantas e outros materiais*. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia/UFRGS. (Boletim Técnico n° 5).

Tsutiya, M.T. (2002). Características de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: Tsutiya, M.T.; Comparini, J.B.; Sobrinho, P.A.; Hespanhol, I.; Carvalho, P.C.T.; Melfi, A.J.; Melo, W.J. & Marques, M.O. (Ed.). *Biossólidos na agricultura*. São Paulo: ABES/SP. p.89-131.