

II-090 - ANÁLISE DE ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS EM ESGOTOS GERADOS EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO, NOS MUNICÍPIOS DE JAGUARIÚNA E CAMPINAS, EMPREGANDO A FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X POR REFLEXÃO TOTAL COM RADIAÇÃO SÍNCROTRON.

Luciana Carla Ferreira de Souza⁽¹⁾

Tecnólogo em Saneamento pelo Centro Superior de Educação Tecnológica (CESET/UNICAMP). Especialista em Engenharia Ambiental pela Faculdade de Engenharia Química (FEQ/UNICAMP). Mestre em Engenharia Civil na área de Recursos Hídricos pela Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FEC/UNICAMP). Doutora em Engenharia Civil na área de Saneamento e Ambiente pela FEC/UNICAMP

Felippe Benavente Canteras⁽²⁾

Tecnólogo em Saneamento Ambiental – modalidade de Saneamento Básico pelo Centro Superior de Educação Tecnológica (CESET/UNICAMP). Mestre em Engenharia Civil na área de Saneamento e Ambiente pela Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FEC/UNICAMP). Doutorando em Engenharia Civil na área de Saneamento e Ambiente pela FEC/UNICAMP.

Silvana Moreira⁽³⁾

Formada em Física pela Universidade Estadual Paulista. Mestre em Energia Nuclear na Agricultura pela Universidade de São Paulo. Doutora em Tecnologia Nuclear pela Universidade de São Paulo. Livre docente e professora titular na Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas (FEC/UNICAMP).

Endereço⁽¹⁾: Rua Maranhão, 420. Bairro Centro – Jaguariúna – SP – CEP:13820-000 - Brasil - Tel: +55 (19) 3867-4228 - Fax: +55 (19) 3837-4577 - e-mail: lucarla24@gmail.com

RESUMO

O crescimento industrial e econômico pode ser apontado como uma das principais causas de uma crescente degradação ambiental em todo o mundo. Podemos então apontar esse crescimento desordenado como um dos fatores que são determinantes na poluição e deterioração dos corpos d'água. Tendo em vista esse cenário de crescimento urbano, populacional e industrial, faz-se cada vez mais necessário a presença de estações de tratamento de esgoto, para impedir uma degradação ainda maior dos recursos hídricos. Os metais podem ser apontados como poluentes chave do meio ambiente, principalmente pelo fato de apresentarem diversos graus de toxicidade e fatores de bioacumulação. O termo metal pesado tem conotação de toxicidade, no entanto, entre os elementos denominados metais pesados, estão incluídos elementos essenciais aos seres vivos. É recomendável que se diferenciem os elementos essenciais, como B, Mn, Fe, Cu, Zn e Mo, daqueles não essenciais como Pb, Cd, Hg, As, etc., ainda que todos sejam classificados como metais pesados e potencialmente tóxicos. A região metropolitana de Campinas (RMC) apresentou nas últimas décadas um crescimento industrial e populacional acentuado, causando dessa forma, uma degradação de seus recursos hídricos. Os municípios de Jaguariúna e Campinas, integrados à RMC, ocupam atualmente uma posição de destaque no cenário Estadual e Nacional, apresentando enorme diversidade produtiva e do setor de serviços, bem como um desenvolvimento tecnológico relevante. O objetivo principal do presente estudo foi avaliar a qualidade dos efluentes bruto e tratado das estações de tratamento de esgoto de Jaguariúna (ETE Camanducaia) e Campinas (ETE Anhumas), determinando as concentrações elementares dos elementos potencialmente tóxicos (Cr, Ni, Cu, Zn e Pb), utilizando a técnica de Fluorescência de Raios X por Reflexão Total com Radiação Síncrotron (SR-TXRF), visando a possibilidade de aplicação desses efluentes tratados como reuso, respeitando as legislações vigentes. Dentre os resultados obtidos dos parâmetros analisados, podemos concluir é permitido o lançamento do esgoto tratado de ambas estações em corpos d'água independente do período analisado de acordo com os valores máximos estabelecidos pelo CONAMA 430/11. Já com relação à aplicação na agricultura, os valores medidos ultrapassam os máximos permitidos estabelecidos pela CETESB na norma técnica nº 31 de 2006. Dessa forma, conclui-se que para a aplicação dos efluentes estudados na agricultura, são necessárias melhorias no sistema de tratamento.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de Esgoto, Reuso, Elementos Potencialmente Tóxicos, Radiação Síncrotron, Fluorescência de Raios X.

INTRODUÇÃO

O estado de São Paulo tem se destacado como um grande centro de desenvolvimento industrial e tecnológico nas últimas décadas. A Região Metropolitana de Campinas que integra dezenove cidades, é um exemplo de área altamente urbanizada e industrializada. Como consequência do crescimento acelerado e muitas vezes desordenado, ocorre a poluição dos cursos d'água motivada pelo lançamento de substâncias contaminantes descartadas nos rios, sem o tratamento adequado.

O estudo proposto baseia-se na preocupação com o esgotamento e degradação dos recursos naturais, pois os recursos hídricos regionais já apresentam um quadro crítico de desequilíbrio, devido a má utilização desses recursos e à reversão de 31m³.s de água para o Sistema Cantareira . Em conflito com essa situação de criticidade, além da boa possibilidade do esgoto ser tratado e ser lançado nos mananciais de forma adequada deve-se salientar e buscar a realização da reutilização da água.

A Região Metropolitana de Campinas (RMC) Esta região destaca-se tanto no setor agropecuário quanto no setor industrial, sendo a principal área industrial do interior do Estado de São Paulo que possui modernas plantas de grandes empresas e, em relação à questão urbana, possui a rede urbana mais desenvolvida do interior.

Campinas, a sede da região, tornou-se um dos 20 maiores municípios brasileiros, abrigando 39,9% dos habitantes da RMC. A área de influência do município de Campinas é hoje constituída por uma rede urbana fortemente integrada pela facilidade de acesso, pelas curtas distâncias e pelas boas características do sistema viário.

Em termos ambientais, a RMC convive com a deficiente coleta de esgotos e tratamento deficitário, a despeito da quase universalização dos serviços de abastecimento de água aos domicílios; com as inundações periódicas e o com um transporte altamente dependente de automóveis.

Na bacia do rio Atibaia, destaca-se o setor de esgotamento do ribeirão Anhumas, que compreende vinte e quatro bairros do município de Campinas, sendo a maioria praticamente todo ocupado. Os despejos gerados por estes bairros são encaminhados para a ETE Anhumas, onde é realizado o tratamento e posterior lançamento no ribeirão Anhumas.

A bacia do ribeirão Anhumas corta o município de Campinas no sentido Sul-Norte e tem aproximadamente 70% de sua área localizada no perímetro urbano. Caracteriza-se por apresentar uma importante tendência de crescimento e desenvolvimento devido sua localização, expansão dos polos tecnológicos, grandes universidades, áreas industriais, estabelecimentos comerciais de grande porte e novos loteamentos.

No município de Jaguariúna, a bacia do Camanducaia, apesar de se estender pela região menos populosa do município, apresenta hoje grande expansão urbana, com loteamentos e condomínios em fase de aprovação ou já aprovados. A bacia do Camanducaia já abriga hoje, aproximadamente 5.330 lotes residenciais, áreas de lazer (parques e jardins) e a Estação de Tratamento de Esgoto da cidade – ETE Camanducaia. Localizada na margem direita do rio Camanducaia, a ETE -Camanducaia que trata, atualmente, 43% do esgoto gerado no município, foi projetada para tratar todo esgoto gerado, inclusive o gerado na calha do rio Jaguari. A reversão do esgoto gerado na bacia do rio Jaguari está prevista para o final do ano de 2014, com a conclusão da obra dos emissários.

O processo de tratamento adotado para os despejos do município de Jaguariúna foi o de Lodos Ativados, tipo Aeração Prolongada. A ETE Camanducaia está preparada para receber todo o esgoto do município, tanto da bacia do rio Jaguari, quanto da bacia do rio Camanducaia, provenientes das regiões mais populosas e onde estão instaladas importantes indústrias no município.

A estação de tratamento do Anhumas foi inaugurada em fevereiro de 2007 e é considerada a maior estação de tratamento de esgoto do interior do Brasil, utilizando uma tecnologia mista, associando tratamento biológico (anaeróbio) com físico-químico. Preparada para atender aproximadamente 250.000 pessoas, com vazão média diária de 1.200 L.s⁻¹, recebe toda contribuição do setor de esgotamento do ribeirão Anhumas, aproximadamente 650 L.s⁻¹, o que equivale a pouco mais da metade de sua capacidade em volume.

A reutilização ou reuso de águas residuárias, tem sido praticado em todo o mundo há muitos anos, inclusive com a disposição de esgotos e sua utilização na irrigação. Por outro lado, a crescente demanda de água tem feito do reuso planejado um tema atual e de enorme importância. Devido ao exposto, deve-se considerar o reuso de água como parte de uma atividade mais abrangente que é o uso racional ou eficiente da água, o qual compreende também, a minimização da produção de efluentes e do consumo de água e o controle de perdas e desperdícios.

Dentro dessa ótica, os esgotos tratados têm um papel fundamental no planejamento e na gestão sustentável dos recursos hídricos como um substituto para o uso de águas destinadas a fins agrícolas e de irrigação, entre outros. Ao liberar as fontes de água de boa qualidade para abastecimento público e outros usos prioritários, o uso de esgotos contribui para a conservação dos recursos e acrescenta uma dimensão econômica ao planejamento dos recursos hídricos.

Nesse sentido, este trabalho teve como um dos seus objetivos, a avaliação da qualidade dos efluentes tratados em duas estações de tratamento de esgoto, de duas cidades da Região Metropolitana de Campinas – RMC, Campinas e Jaguariúna, ambas industrializadas e, comparar os dados obtidos com os parâmetros estabelecidos pelas legislações vigentes, tais como, a Resolução CONAMA N°357/2005 que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como, estabelece as condições e padrões de lançamentos de efluentes, complementada pela Resolução CONAMA N°430/2011 que altera a resolução CONAMA N°357/2005, e ainda, a norma técnica da CETESB n°31/2006, que dispõe sobre a aplicação de água de reuso proveniente de estação de tratamento de esgoto doméstico na agricultura.

Fluorescência de Raios X

A Fluorescência de Raios X (XRF) é uma técnica quali-quantitativa, baseada na medida das intensidades (número de raios X detectados por unidade de tempo) dos raios X característicos, emitidos pelos elementos que compõem a amostra, quando excitados por partículas ou ondas eletromagnéticas. Os raios X emitidos por tubos de raios X, ou ainda raios X ou raios gama emitidos por uma fonte radioativa, excitam os elementos químicos presentes, os quais, por sua vez, emitem linhas espectrais com energias características do elemento e cujas intensidades estão relacionadas com a concentração do elemento na amostra.

Quando um elemento de uma amostra é excitado, este tende a ejetar os elétrons do interior dos níveis dos átomos, e como consequência disso, elétrons dos níveis mais externos realizam um salto quântico para preencher a vacância. Cada transição eletrônica constitui uma perda de energia para o elétron. Essa energia, por sua vez, é emitida na forma de um fóton de raios X de energia característica e bem definida para cada elemento. Dessa forma, a técnica pode ser usada para detectar os elementos presentes em amostras desconhecidas. Assim, de modo resumido, a análise por fluorescência de raios X consiste de três fases: excitação dos elementos que constituem a amostra, dispersão dos raios X característicos emitidos pela amostra e detecção desses raios X.

Uma variante da XRF denominada de Fluorescência de Raios X por Reflexão Total (TXRF - Total Reflection X-Ray Fluorescence) vem se desenvolvendo de forma bastante expressiva nos últimos anos, com grande aplicação na análise de elementos traços, na faixa de nanogramas ou ppb (partes por bilhão), em amostras líquidas (na ordem de microlitros μL); em pesquisas ligadas ao monitoramento ambiental (oceanografia, biologia, medicina, indústria, mineralogia, etc.), especificamente, em análises de águas superficiais (pluviais, fluviais e marítimas) e subterrâneas, fluidos biológicos e controle de qualidade de produtos de alta pureza.

Consiste, basicamente, na emissão da radiação incidente a ângulos muito rasos sobre uma superfície refletora de forma a se obter a reflexão total dos raios X. No intuito de diminuir o espalhamento e a excitação dos elementos presentes no material refletor, a técnica de TXRF busca um ângulo de incidência em que todo feixe incidente seja refletido havendo, conseqüentemente, a menor interação possível entre a radiação incidente e o material refletor.

METODOLOGIA

As coletas de efluente bruto e tratado foram realizadas nos horários de maior e menor vazão, nas estações de tratamento de esgoto Camanducaia no município de Jaguariúna e na estação de tratamento de esgoto Anhumas no município de Campinas.

Nas ETEs Anhumas, na cidade de Campinas, e Camanducaia, na cidade de Jaguariúna, o esgoto bruto foi coletado após passar pelo gradeamento dos sólidos grosseiros, antes do efluente chegar à caixa de areia. Já o efluente tratado, foi coletado na calha Parshall final, antes do efluente ser lançado no ribeirão Anhumas e no rio Camanducaia, respectivamente.

As amostras coletadas foram acidificadas em campo, com ácido nítrico (HNO_3) com $\text{pH} < 2$ e conservadas em geladeira a 4°C , imediatamente após a coleta, até a preparação. O volume de 250 mL foi coletado para amostra do efluente bruto e tratado, sendo estes volumes, suficientes para o preparo das amostras e de repetições futuras, quando fosse necessário.

A digestão das amostras foi realizada empregando o método USEPA 3050B. Essa metodologia é uma forma de digestão ácida muito forte, que dissolve praticamente todos os elementos que podem se tornar ambientalmente disponíveis. Os elementos ligados a estruturas de silicato normalmente não são extraídos por essa metodologia. As etapas da digestão são descritas a seguir:

- Foi adicionado 10 mL de HNO_3 1:1 (volume), aqueceu-se até 95°C , mantendo o refluxo por 15 minutos, em seguida a amostra é retirada do aquecimento, até atingir temperatura ambiente;
- Após o resfriamento foram adicionados 5 mL de HNO_3 concentrado, aquecendo novamente a amostra a 95°C e, mantendo o refluxo por 30 minutos. Em seguida a amostra é retirada do aquecimento até atingir a temperatura ambiente.
- Posteriormente foram adicionados 2 mL de água deionizada e desmineralizada e, 10 mL de H_2O_2 (30% em volume). Em seguida a amostra foi aquecida a 95°C e mantida em refluxo por 2 horas.
- Finalmente o material resultante foi filtrado em filtro de éster de celulose de $0,45\ \mu\text{m}$ de porosidade e 47 mm de diâmetro e o volume final aferido para 100 mL.

Para a análise por SR-TXRF, foi retirada uma alíquota de 1 mL de cada amostra e transferida para tubos Eppendorf, onde foram adicionados 100 μL de uma solução de gálio (Ga) com concentração de $102,5\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, usado como padrão interno.

Após esse procedimento, 5 μL da solução foram pipetados no suporte da amostra (lucite ou perspex) e submetidos à secagem com uma lâmpada de infravermelho. As amostras foram preparadas em triplicata e estas, depois de secas, foram armazenadas em placas de Petri que evitam o contato com o meio externo, com o objetivo de prevenir contaminações. As amostras acondicionadas em placas de Petri foram armazenadas em um dessecador. Um branco analítico foi preparado com a finalidade de eliminar possíveis contaminações pelos reagentes empregados.

Durante todo o período analisado, foram coletadas no município de Jaguariúna um total de 22 amostras de esgoto bruto e 22 amostras de esgoto tratado, enquanto que para Campinas foram medidas 24 amostra de esgoto bruto e 24 de esgoto tratado. As medidas foram realizadas na geometria de reflexão total e cada amostra foi medida durante 100 segundos empregando um feixe branco de radiação síncrotron. As medidas foram realizadas na linha de Fluorescência de Raios X do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Validação da Metodologia

Para validar a calibração do sistema de SR-TXRF, foram analisadas duas amostras de referência certificadas, e os resultados obtidos foram comparados com os valores certificados, o Drinking Water Pollutants (DWP) fornecido pela Aldrich contendo poluentes em água potável, e lodo doméstico fornecido pelo National Institute of Standards & Technology - NIST 2781. As Tabelas 1 e 2 apresentam as comparações entre os valores medidos (média de 45 leituras), com o respectivo intervalo de confiança (95%) e os valores certificados para as amostras de referência.

Tabela 1: Comparação dos valores medidos e certificados com os respectivos intervalos de confiança da amostra de referência certificado contendo poluentes em água potável (Drinking Water Pollutants) medidos por SR-TXRF.

Elemento	Valor Medido e Intervalo de Confiança (mg.L ⁻¹)	Valor Certificado e Intervalo de Confiança (mg.L ⁻¹)
Cr	9,72 ± 0,03	9,09 ± 0,45
As	9,17 ± 0,19	9,09 ± 0,45
Se	4,61 ± 0,16	4,54 ± 0,23
Cd	3,97 ± 0,38	4,54 ± 0,23
Ba	79,69 ± 0,31	90,91 ± 4,55
Pb	9,08 ± 0,35	9,09 ± 0,45

Tabela 2 - Comparação dos valores medidos e certificados com os respectivos intervalos de confiança da amostra de referência de lodo doméstico (NIST 2781) medidos por SR-TXRF.

Elemento	Valor Medido e Intervalo de Confiança (mg.L ⁻¹)	Valor Certificado e Intervalo de Confiança (mg.L ⁻¹)
Cr (ppm)	174±0,6	143±14
Cu (ppm)	623±0,3	627,4±13,5
Fe (%)	3,0±0,3	2,8 ± 0,1
Mn (ppm)	992±0,8	745 ± 33
Ni (ppm)	74,5±0,2	80,2 ± 2,3
Pb (ppm)	232±0,4	202,1±6,5
Zn (ppm)	1321±0,3	1273±53

Como pode ser observado pelas Tabelas 1 e 2, os valores medidos das amostras de referência concordam com os valores certificados, confirmando um bom ajuste das curvas de sensibilidade e a adequação da metodologia empregada.

Leituras das Amostras

Após as leituras por SR-TXRF, foram detectados e quantificados 14 elementos: S, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Sr, Ba e Pb. Apenas os elementos mais importantes foram selecionados para a análise no presente trabalho, dando ênfase aos mais tóxicos e com concentrações mais elevadas.

Os resultados das amostras dos efluentes brutos e tratados foram comparados aos valores estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05 alterada e complementada pela 430/11 e pela norma técnica da CETESB n° 31/06. Foi considerada ainda a variação de pluviosidade da região, para ver sua influência na composição do esgoto. Para essa análise, os resultados obtidos em cada coleta foram divididos de acordo com o período em que foram realizadas as coletas, seco ou chuvoso, e tirada a média dos valores obtidos.

Os municípios de Jaguariúna e Campinas apresentam um período seco, que abrange os meses de abril a setembro, bem caracterizado. No período chuvoso, que corresponde aos meses de outubro à março, percebe-se uma grande precipitação nos meses de janeiro, março e dezembro.

Dessa forma, as tabelas 3 e 4 apresentam os valores das concentrações em mg.L⁻¹ para os elementos potencialmente tóxicos escolhidos para essa análise, que são Cr, Ni, Cu, Zn e Pb, para as amostras de esgoto bruto e tratado coletados nas cidades de Campinas e Jaguariúna, respectivamente.

Os resultados obtidos, tanto para a ETE de Campinas quanto para a ETE de Jaguariúna, nenhuma concentração dos elementos analisados foi superior aos valores estabelecidos pela resolução CONAMA 430/11, tanto para os efluentes brutos e tratados. Dessa forma, podemos descartar os efluentes diretamente em corpos d'água, de acordo com os parâmetros analisados.

Tabela 3 - Concentração elementar dos componentes do esgoto coletado na ETE Anhumas no município de Campinas

	Período	Cr	Ni	Cu	Zn	Pb
BRUTO	Seco	0,361±0,012	0,225±0,009	0,424±0,023	1,964±0,064	0,134±0,042
	Chuvoso	0,226±0,016	0,322±0,026	0,510±0,056	1,100±0,085	0,162±0,046
TRATADO	Seco	0,387±0,024	0,219±0,026	0,533±0,046	2,310±0,122	0,263±0,023
	Chuvoso	0,166±0,008	0,188±0,018	0,251±0,037	1,018±0,144	<LMD
CONAMA 430		0,5 mg.L ⁻¹	2,0 mg.L ⁻¹	1,0 mg.L ⁻¹	5,0 mg.L ⁻¹	0,5 mg.L ⁻¹
Norma técnica CETESB 31		0,1 mg.L ⁻¹	0,2 mg.L ⁻¹	0,2 mg.L ⁻¹	2,0 mg.L ⁻¹	0,5 mg.L ⁻¹

* valor acima do estabelecido pelo CONAMA n° 357

Negrito - valor acima da norma técnica CETESB n° 31

Vale ressaltar que durante o início das coletas, a legislação vigente era o CONAMA 357/2005. Dentre os elementos analisados, o único que sofreu alteração com a legislação CONAMA 430/2011 foram as concentrações de Cr. Na legislação anterior, não era feita a especificação química, e era considerada uma concentração de até 0,5mg.L⁻¹. Com a nova legislação, os valores foram divididos em Cr trivalente, cuja concentração máxima é de 1mg.L⁻¹, e Cr hexavalente, tendo seu valor máximo de 0,1mg.L⁻¹.

Como no início das amostragens não foi feita nenhuma preparação para realizar a especificação química do Cr, os valores foram comparados com a CONAMA 357/2005. Para trabalhos futuros, é aconselhado o estudo em separado do Cr, fazendo a quantificação de cada fração do Cr, para verificar se atende ou não a atual legislação.

A maioria do Cr disponível em águas superficiais é encontrado em forma de cromo hexavalente e apenas uma pequena parte em forma de cromo trivalente em compostos orgânicos. O cromo hexavalente pode ser reduzido a cromo trivalente pela matéria orgânica presente na água e eventualmente depositar-se no sedimento. Isso explica a razão para a maior tolerância ao cromo trivalente em esgotos, uma vez que boa parte do cromo hexavalente é reduzida pela presença de matéria orgânica.

Levando em consideração que a maioria do Cr é presente no esgoto na forma trivalente, se compararmos a concentração medida com o MAA para trivalente Cr do CONAMA 430/2011, que é de 1mg.L⁻¹, os resultados obtidos não excedem o limite estabelecido.

Comparando os períodos seco e chuvoso, os elementos Ni, Cu e Pb tiveram médias superiores nos períodos chuvosos, o que não era esperado, para o efluente bruto. Esse acréscimo pode ser devido o carreamento de partículas da atmosfera, além da lixiviação, das fontes antropogênicas como a mineração, instalações de produção de metal, combustão de carvão e combustível, em regiões altamente industrializadas.

Tabela 4 - Concentração elementar dos componentes do esgoto coletado na ETE Camanducaia no município de Jaguariúna.

	Período	Cr	Ni	Cu	Zn	Pb
BRUTO	Seco	0,435±0,014	0,178±0,017	0,330±0,008	1,647±0,030	0,281±0,005
	Chuvoso	0,463±0,012	0,149±0,016	0,213±0,011	1,406±0,048	0,086±0,008
TRATADO	Seco	0,315±0,016	0,179±0,012	0,323±0,024	2,138±0,248	0,149±0,003
	Chuvoso	0,291±0,012	0,145±0,006	0,366±0,047	1,395±0,117	<LMD
CONAMA 430		0,5 mg.L ⁻¹	2,0 mg.L ⁻¹	1,0 mg.L ⁻¹	5,0 mg.L ⁻¹	0,5 mg.L ⁻¹
Norma técnica CETESB 31		0,1 mg.L ⁻¹	0,2 mg.L ⁻¹	0,2 mg.L ⁻¹	2,0 mg.L ⁻¹	0,5 mg.L ⁻¹

* valor acima do estabelecido pelo CONAMA n° 357

Negrito - valor acima da norma técnica CETESB n° 31

Na ETE Camanducaia, nota-se que no cromo, houve um aumento na concentração efluente bruto no período chuvoso, que pode ser causado por descartes clandestinos de efluentes industriais por indústrias de galvanização, mineração e combustão de carvão.

Aumento da concentração do cobre, níquel e zinco no efluente tratado nos períodos chuvoso e seco, na ETE Camanducaia, pode ser devido ao tempo de detenção celular da estação de tratamento de esgoto Camanducaia, causando um arraste dos metais

CONCLUSÕES

Quando comparamos os parâmetros dos efluentes tratados com a legislação CONAMA 357/2005, observamos que todas as estações de tratamento de esgoto apresentaram resultados abaixo desta legislação, portanto, considerando os resultados obtidos, os efluentes tratados podem ser lançados nos cursos d'água visto que atendem aos limites definidos pela legislação vigente.

Em relação ao reuso na agricultura, os efluentes mesmo tratados não podem ser utilizados visto que a concentração de vários elementos são superiores ao permitido, tais como: Cr, Ni, Cu e Zn, na ETE Anhumas (Campinas) e Cr, Cu e Zn na ETE Camanducaia (Jaguariúna). Neste caso as estações de tratamento de esgoto precisam de melhorias, para tornar o processo de tratamento mais eficiente na remoção dos elementos potencialmente tóxicos.

A concentração de um elemento pode ainda ser incrementada após a precipitação e o carreamento de partículas da atmosfera, além da lixiviação, nas regiões de grande industrialização e com empresas de mineração, como por exemplo, o níquel e cobre.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVAREZ, J.; MARCÓ, L. M.; ARROYO, J.; GREAVES, E. D.; RIVAS, R. *Spectrochimica Acta Part B*. 58. 2183-2189 (2003).
2. FAZZA, E. V. Avaliação da água e do sedimento das microbacias dos ribeirões graminha e águas da serra na cidade de Limeira – SP. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Saneamento e Ambiente). Universidade Estadual de Campinas. São Paulo. 2007.
3. CANTERAS, F. B. *American Institute of Physics - Conference Proceedings*. 1412. 278-285 (2010)
4. KLOCKENKÄMPER, R. *Total Reflection X-Ray Fluorescence Analysis*. A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons INC. New York. 245p. 1997.
5. MOREIRA, S.; VIVES, A. E. S.; BRIENZA, S. M. B.; ZUCCHI, O. L. A.; NASCIMENTO FILHO, V. F. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 270, no 1. 147-153 (2006).
6. MOREIRA, S.; VIEIRA, C. B.; CORAUCCI FILHO, B.; STEFANUTTI, R.; JESUS, E. F. O. *Instrumentation Science and Technology*. 33, no 1. 73-85 (2005).
7. NUVOLARI, A.; TELLES, D. D.; RIBEIRO, J. D.; MIYASHITA, N. I.; RODRIGUES, R. B.; ARAUJO, R. **Esgoto sanitário coleta transporte e reuso agrícola**. São Paulo: Edgard Blücher. 1ª ed., v 1, 520 p., 2003.
8. PÉREZ, C. A.; RADTKE, M.; SÁNCHEZ, H. J.; TOLENTINO, H.; NEUENSWANDER, R.; BARG, W.; RUBIO, M.; BUENO, M. I. S.; RAIMUNDO, I. M.; ROHWEDDER, J. R. *X-Ray Spectrom*. 28, 320-326 (1999).
9. USEPA – U. S. Environmental Protection Agency. Acid digestion of sediments, sludges and soils. Disponível em: <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3050b.pdf>. Acesso em 27 de agosto de 2012.
10. VON SPERLING, M. *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*, v.01. Minas Gerais: ABES, 1995.