



### ARTIGOS TÉCNICOS

---

- Impacto da incorporação de espuma em lodo de esgoto com fins agrícolas
- Planos de saneamento básico da bacia do Vale do Itajaí
- Dimensionamento de leitos de secagem de lodo de estações de tratamento de água com emprego de modelos probabilísticos
- Método para diâmetro e fator de atrito: rede de distribuição
- Potencialidade da utilização da areia removida em desarenadores de estação de tratamento de esgoto na construção civil, como material alternativo à areia comercial comum
- Estabilidade de Saxitoxinas GTX 2/3, dc-GTX 2/3 e C1/2 em água de abastecimento e impactos na validação de método analítico



# O site da Revista DAE está repleto de novidades

Assine gratuitamente o boletim  
eletrônico, é só se cadastrar!



No site você  
pode baixar  
o conteúdo  
completo da  
Revista.

---

# editorial

Prezados leitores, nesta edição, teremos os seguintes artigos técnicos:

- Impacto da incorporação de espuma em lodo de esgoto com fins agrícolas;
- Planos de saneamento básico da bacia do Vale do Itajaí;
- Dimensionamento de leitos de secagem de lodo de estações de tratamento de água com emprego de modelos probabilísticos;
- Método para diâmetro e fator de atrito: rede de distribuição;
- Potencialidade da utilização da areia removida em desarenadores de estação de tratamento de esgoto na construção civil, como material alternativo à areia comercial comum;
- Estabilidade de Saxitoxinas GTX2/3, dc-GTX2/3 e C1/2 em água de abastecimento e impactos na validação de método analítico.

**Boa leitura!**



Americo de Oliveira Sampaio

EDITOR-CHEFE



Nº 203

setembro ▸ dezembro 2016

#### Missão

A Revista DAE tem por objetivo a publicação de artigos técnicos e científicos originais nas áreas de saneamento e meio ambiente.

#### Histórico

Iniciou-se com o título Boletim da Repartição de Águas e Esgotos (RAE), em 1936, prosseguindo assim até 1952, com interrupções em 1944 e 1945. Não circulou em 1953. Passou a denominar-se Boletim do Departamento de Águas e Esgotos (DAE) em 1954 e Revista do Departamento de Águas e Esgotos de 1955 a 1959. De 1959 a 1971, passou a denominar-se Revista D.A.E. e, a partir de 1972, Revista DAE. Houve, ainda, interrupção de 1994 a 2007.

#### Publicação

Quadrimestral (janeiro, maio e setembro)

Diretoria de Tecnologia, Empreendimentos e Meio Ambiente - T

Superintendência de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação Tecnológica - TX

Rua Costa Carvalho, 300 - Pinheiros - 05429 000

São Paulo - SP - Brasil

Tel (11) 3388 9422 / Fax (11) 3814 5716

#### Editor-Chefe

Engenheiro Américo de Oliveira Sampaio

#### Editora Assistente

Engenheira Iara Regina Soares Chao

#### Conselho Editorial

Prof. Pedro Além Sobrinho (Universidade de São Paulo – USP), Prof. Cleverton Vitório Andreoli (Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar), Prof. José Roberto Campos (USP), Prof. Dib Gebara (Universidade Estadual Paulista – Unesp), Prof. Eduardo Pacheco Jordão (Universidade Federal do Rio de Janeiro), Prof. Rafael Kospchitz Xavier Bastos (Universidade Federal de Viçosa), Prof. Wanderley S. Paganini (USP e representante da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Sabesp), Profa. Emilia Wanda Rutkowski (Universidade Estadual de Campinas – Unicamp), Prof. Marcos Tadeu (USP). Coordenação do Eng. Américo de Oliveira Sampaio (Sabesp).

#### Jornalista Responsável

Sérgio Lapastina - Mtb: 18276

#### Capa

Parque do Ibirapuera - São Paulo - SP.

Crédito da imagem: Fotógrafo Altair Nascimento

#### Projeto Gráfico, Diagramação e Revisão

Ideorama Comunicação – EIRELI

#### CTP, Impressão e Acabamento

Gráfica Sonora

#### Tiragem

4.160 exemplares

imprensa@revistadae.com.br

ISSN 0101-6040

As opiniões e posicionamentos expressos nos artigos são de total responsabilidade de seus autores e não significam necessariamente a opinião da Revista DAE ou da Sabesp.

**Veja a revista eletrônica na internet:**

<http://www.revistadae.com.br>





▸ Parque do Ibirapuera - São Paulo - SP. Crédito da imagem: Fotógrafo Altair Nascimento

## nesta edição

### 96 EVENTOS

### 97 PUBLICAÇÕES

### ARTIGOS TÉCNICOS

**6** Impacto da incorporação de espuma em lodo de esgoto com fins agrícolas  
*Impact of the scum incorporation in sewage sludge with agricultural purposes*

**19** Planos de saneamento básico da bacia do Vale do Itajaí  
*Plans sanitation basin of Vale Itajaí*

**36** Dimensionamento de leitos de secagem de lodo de estações de tratamento de água com emprego de modelos probabilísticos  
*Design of sludge drying beds of water treatment plants using probabilistic modeling*

**48** Método para diâmetro e fator de atrito: rede de distribuição  
*Diameter and friction factor method: distribution network*

**64** Potencialidade da Utilização da Areia Removida em Desarenadores de Estação de Tratamento de Esgoto na construção civil, como Material Alternativo à Areia Comercial Comum  
*Assessment of the Potential Use of the Grit Removed in Municipal Wastewater Treatment Plants in Civil Construction as an Alternative to the Commercial Sand*

**80** Estabilidade de Saxitoxinas GTX 2/3, dc-GTX 2/3 e C1/2 em água de abastecimento e impactos na validação de método analítico  
*Saxitoxins GTX 2/3, dc-GTX 2/3 and C1/2 stability in drinking water and impacts on the validation of analytical method*



# Impacto da incorporação de espuma em lodo de esgoto com fins agrícolas

*Impact of the scum incorporation in sewage sludge with agricultural purposes*

- **Data de entrada:**  
11/02/2015
- **Data de aprovação:**  
01/12/2015

**Barbara Zanicotti Leite Ross | Charles Carneiro | Clodoaldo José Marques | Fernanda Janaína Oliveira Gomes da Costa | Sandro Froehner | Miguel Mansur Aisse**

DOI 10.4322/dae.2016.002

## Resumo

Foram desaguados separadamente em leitos de secagem na ETE Vassoural, Guarapuava, PR, 5 lotes de espuma e de lodo, produzidos em reator tipo UASB tratando esgotos domésticos. Após o desaguamento foram realizadas 3 misturas nas proporções 10, 20 e 50 % em massa de espuma em lodo. Os parâmetros avaliados foram: sólidos totais e voláteis, óleos e graxas, coliformes termotolerantes, *Salmonella* spp., ovos viáveis de helmintos, N (Kjedahl,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NO}_3^-$ ), C orgânico, a concentração total dos elementos P, K, Na, S, Ca, Mg, Ar, Ba, Cd, Pb, Cu, Cr, Hg, Mo, Ni, Se e Zn. Os tratamentos não apresentaram variância significativa ( $P_{0,05}$ ) para nenhum dos parâmetros, indicando que a incorporação de espuma nas proporções de 10, 20 e 50% em massa não alterou a composição do lodo de esgoto destinado ao uso agrícola.

**Palavras-chave:** espuma, lodo anaeróbio de esgoto, reator UASB.

## Abstract

*Five treatments of municipal dewatered scum and sewage sludge from a UASB reactor were tested in drying beds, in terms of proportion of each one into the blend, considering agricultural soils as disposal. The treatments were the addition of 10, 20 and 50% of scum mass in the mix scum/sewage sludge. The parameters monitored are: volatile and total solids; oils and greases; fecal coliforms; *Salmonella* spp; helminthes viable eggs; NKjedahl,  $\text{N-NH}_4^+$ ,  $\text{N-NO}_2^-$ ,  $\text{N-NO}_3^-$ ; C organic; total concentration of P, K, Na, S, Ca, Mg, Ar, Ba, Cd, Pb, Cu, Cr, Hg, Mo, Ni, Se and Zn. Significant statistical difference ( $P_{0,05}$ ) were not observed for all parameters, which suggests that the scum addition from 10 up to 50% in the blend does not promote variation in the sewage sludge composition.*

**Keywords:** scum, sewage sludge, UASB reactor.

**Barbara Zanicotti Leite Ross**<sup>1</sup> – Pesquisadora da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar). Engenheira de Alimentos pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR). Mestre em Tecnologia Química pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Doutora no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental da UFPR (2015).

**Charles Carneiro**<sup>1</sup> – Gerente de Pesquisa e Desenvolvimento da Sanepar. Professor do Mestrado em Governança e Sustentabilidade do Instituto Superior de Administração e Economia da Fundação Getúlio Vargas (ISAE/FGV) e da Pós-Graduação em Economia e Meio Ambiente da UFPR. Pós-Doutor em Engenharia e Ciência da Água pelo Instituto de Educação para as Águas (UNESCO-IHE).

**Clodoaldo José Marques**<sup>1</sup> – Técnico em Química. Gestor de estação de tratamento de esgotos da Sanepar.

**Fernanda Janaína Oliveira Gomes da Costa**<sup>1</sup> – Pesquisadora da Sanepar. Engenheira de Alimentos pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela mesma universidade. Doutora em Engenharia de Alimentos pela UFPR.

**Sandro Froehner**<sup>2</sup> – Professor adjunto do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA) e do curso de Engenharia Ambiental da UFPR.

**Miguel Mansur Aisse**<sup>2</sup> – Professor associado do PPGERHA e do curso de Engenharia Civil da UFPR. Doutor em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP).

\* **Endereço para correspondência:** <sup>1</sup> Rua Engenheiro Antônio Batista Ribas, 151 – Tarumã – Curitiba-PR – CEP 82800-130. E-mail do autor principal: barbarazl@sanepar.com.br. | <sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental – Universidade Federal do Paraná – Departamento de Hidráulica e Saneamento. Centro Politécnico – Jardim das Américas – Curitiba-PR – CEP 81531-990.

## INTRODUÇÃO

As três principais tecnologias utilizadas em países da América Latina e Caribe para o tratamento de esgotos domésticos são lagoas de estabilização, lodos ativados e reator anaeróbico de fluxo ascendente em manto de lodo (UASB), que possuem diferenças significativas na concepção, *design* e padrões de eficiência. Segundo Chernicharo (2004), o reator UASB é a alternativa mais empregada nos novos projetos de estações de tratamento no Brasil, porém necessita de pós-tratamento para que o efluente atinja os padrões preconizados pela legislação e de melhorias para diminuir problemas operacionais relacionados à retirada de espuma (SOUZA, 2006). Ocasionalmente, o acúmulo de espuma gera problemas hidráulicos e operacionais, além de diminuição na eficiência do tratamento. Seu manejo no interior dos reatores não é uma operação fácil e a destinação do resíduo é outro fator dificultador, especialmente em função da variabilidade na composição e do alto teor de umidade.

A espuma é constituída geralmente por materiais flutuáveis e não degradados, notadamente Óleos e Graxas (O&G), ceras, sabões, lodo e material particulado de forma geral (SILVA et al., 2005; SOUZA et al., 2006), muito embora a quantidade e características dependam da composição do substrato e do sistema preliminar de tratamento (LOBATO et al., 2007). Esses materiais, ao flotar na superfície dos reatores UASB e na ausência de um dispositivo que impeça sua saída com o esgoto tratado, acumulam-se, formando a espuma. Cabe destacar a diferença entre espuma e espuma: apesar de ambas serem menos densas que a água, flutuam na superfície de reatores e apresentam O&G, bolhas de gás aderidas e micro-organismos, os processos de formação têm origens distintas, de modo que o controle é particularizado (SOUZA, 2006). Normalmente, a espuma ocorre em tanques de aeração quando as taxas de inclusão de ar são elevadas; além disso, a concentração de sólidos em suspensão, a relação alimento/microrganismo (F/M) e a baixa vazão de entrada

são fatores que levam à formação de espuma em tanques de lodos ativados (WEF; ASCE; EWRI, 2005). Quanto mais eficiente for o tratamento preliminar, menos espuma será formada e melhor será a qualidade dessa composição.

Nos reatores UASB, o acúmulo de espuma ocorre em dois compartimentos distintos: na superfície da área de decantação e no interior do separador trifásico, os quais apresentam diferenças funcionais importantes na formação da espuma. No interior do separador, há um importante desprendimento de biogás, enquanto na superfície do decantador não deve haver esse desprendimento. A liberação de gases no interior do separador poderia ter um efeito controlador sobre a espessura e consistência da camada de espuma, devido à turbulência que causa na superfície hídrica (SOUZA et al., 2006).

De acordo com Souza et al. (2006), a formação de espuma é intensificada quando os reatores UASB operam com baixos tempos de detenção; isso porque a alta velocidade ascensional aumenta a quantidade de sólidos arrastados para a superfície do reator, contribuindo para uma maior formação de espuma. Estudo com três reatores UASB-piloto mostrou que, com tempo de detenção hidráulica menor (5 h) e maior velocidade ascensional (1,1 m/h), ocorreu maior arraste e/ou flotação da biomassa dos reatores. Outro parâmetro de operação dos reatores UASB que pode influenciar a formação da espuma é o descarte de lodo. A não retirada do excedente com frequência adequada provoca uma maior perda de sólidos para o compartimento de decantação, ocasionando a elevação da taxa de produção de espuma e a possível deterioração da qualidade do efluente final (LOBATO et al., 2007; SOUZA et al., 2007). Em experimento desenvolvido por Souza et al. (2006), os Sólidos em Suspensão Totais (SSTs) foram carregados da zona de digestão para a zona de decantação sem terem condições de retornar para a zona de digestão, comprometendo o teor de SSTs no efluente e na camada de espuma.

Em uma avaliação realizada no estado do Paraná, estimou-se que o volume de espuma representa 0,12% da vazão de esgoto tratada pela Estação de Tratamento de Esgotos (ETE), predominando, entre os destinos dados após a retirada, o uso do leito de secagem, a disposição em vala dentro da própria ETE e a disposição em aterro sanitário municipal (ROSS et al., 2013).

Independentemente do processo e características de formação da espuma, há necessidade de promover seu correto descarte. Nesse sentido, este estudo busca avaliar o impacto, influência e concentração adequada da adição de espuma ao lodo de esgoto direcionado à disposição agrícola.

### MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado na ETE Vassoural, em Guarapuava (PR), com coordenadas -25.383115, -51.463737 (Figura 1), que trata a vazão de 240 L/s (vazão idêntica à nominal), durante os meses de maio a agosto de 2013. Inaugurada em 2010, está localizada à margem do rio Cascavelzinho, próximo à PR170. Seu sistema de tratamento é composto pelo preliminar (gradeamento manual de 20 mm, peneiramento de 6 mm, desarenador ciclônico e calha Parshall), três reatores UASB com capacidade nominal de 80 L/s e um filtro biológico percolador com distribuidor rotativo seguido de decantador para o pós-tratamento do efluente.

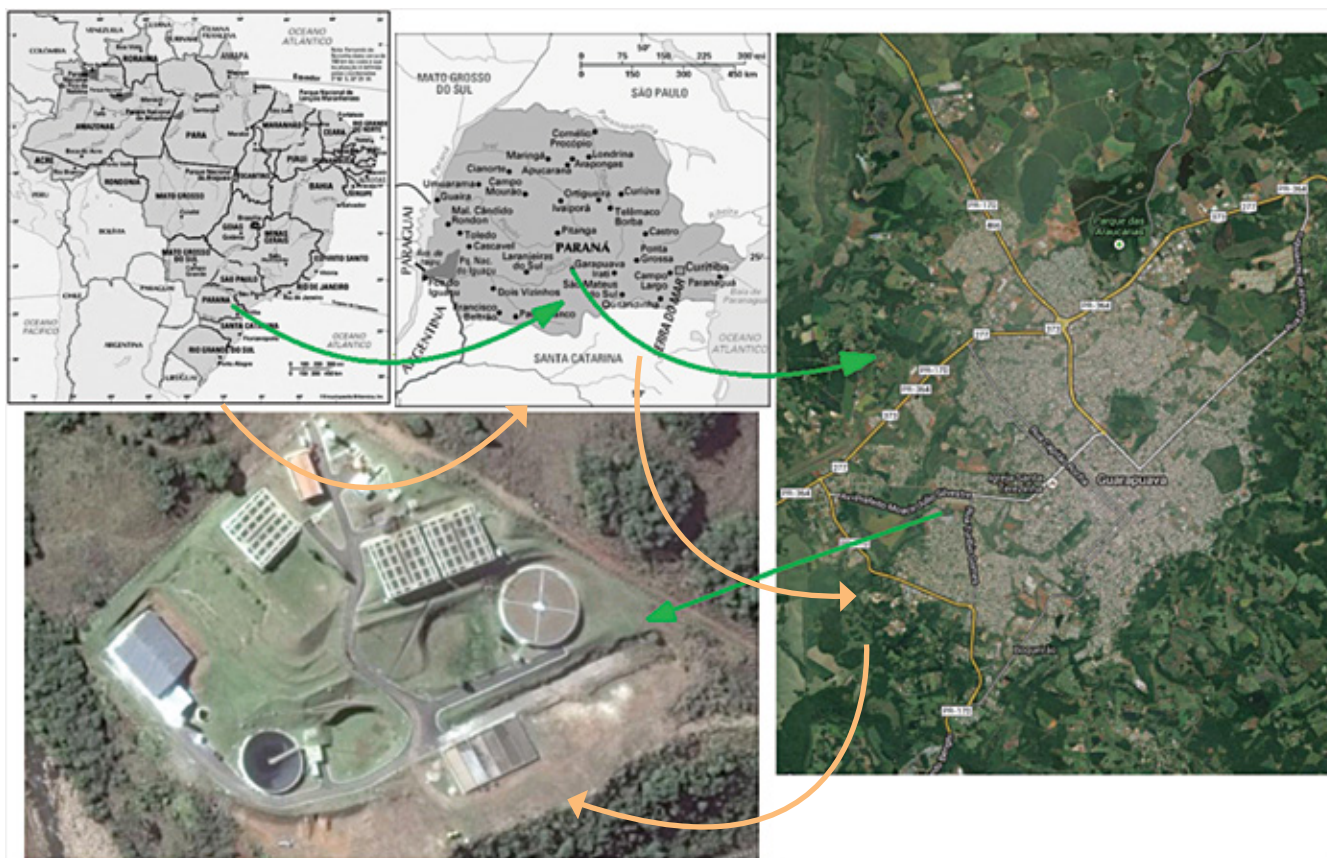


Figura 1 – Localização da ETE Vassoural – Guarapuava-PR.

Fonte: Google Maps (2015).



A ETE realiza retiradas semanais de espuma, em um volume aproximado de 360 m<sup>3</sup>, sendo esse material desaguado em leitos de secagem, chegando ao volume de 10 m<sup>3</sup>. Os leitos de secagem foram construídos de acordo com o preconizado pela NBR 12209 (ABNT, 2011), tendo sido realizadas cinco descargas consecutivas, nos meses de junho a setembro de 2013. O leito utilizado para o desaguamento da espuma recebeu uma camada extra de areia em sua superfície; no leito utilizado para o desaguamento de lodo, a camada possuía a espessura aproximada de 2 cm, enquanto no outro leito a espessura era de 5 cm. Foi completada a carga máxima dos leitos, chegando a 45 cm de altura.

Para determinar a quantidade de espuma a ser incorporada no lodo de esgoto, considerou-se a rotina operacional de descartes de lodo e de espuma, de modo que a incorporação absorvesse todo o conteúdo de espuma descartado semanalmente na ETE. Assim, os seguintes tratamentos foram definidos:

- **Tratamento 1:** 10% em massa seca de espuma desaguada em lodo de esgoto desaguado;

- **Tratamento 2:** 20% em massa seca de espuma desaguada em lodo de esgoto desaguado;
- **Tratamento 3:** 50% em massa seca de espuma desaguada em lodo de esgoto desaguado;
- **Tratamento 4:** 100% de lodo (foi mantida uma amostra de lodo sem espuma para controle das alterações).

Foram avaliados os parâmetros requisitados para o lodo classe A pela Resolução CONAMA nº 375/2006, que regulamenta a disposição agrícola do lodo de esgoto no Brasil (em função da ausência de uma legislação específica para espuma), complementados com a determinação da série de sólidos e O&G. Cabe destacar que essa legislação veta a utilização de material lipídico oriundo da superfície de reatores anaeróbios na agricultura, notadamente em função do grande número de materiais inservíveis que acabam por se acumular na espuma. Apesar desse veto, torna-se importante realizar tal avaliação, para que existam novas informações e parâmetros que fomentem a revisão da legislação atual.

**Quadro 1** – Parâmetros avaliados.

Análise	Método
Sólidos totais e voláteis	APHA – AWWA – WPCI – <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> , 2012 (código 2540).
O&G	APHA – AWWA – WPCI – <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> , 2012 (código 5520).
Coliformes termotolerantes	APHA – AWWA – WPCI – <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> , 2012 (código 9223).
<i>Salmonella spp.</i>	APHA – AWWA – WPCI – <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> , 2012 (código 9260).
Ovos viáveis de helmintos	US Environmental Protection Agency – <i>Environmental Regulations and Technology – Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge (Including Domestic Septage). Under 40 CFR Part 503. Appendix I – Test Method for Detecting, Enumerating, and Determining the Viability of Ascaris Ova in Sludge</i> , EPA/625/R-92/013, 2003, p. 166.
N <sub>Kjeldahl</sub> , NH <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> e NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	APHA – AWWA – WPCI – <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> , 2012 (código 4500).
P <sub>total</sub>	APHA – AWWA – WPCI – <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> , 2012 (código 4500P).
C <sub>org</sub> , K, Na, S, Ca e Mg	U.S. EPA – <i>Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical Chemical Methods</i> – SW-846.
Ar, Ba, Cd, Pb, Cu, Cr, Hg, Mo, Ni, Se e Zn	U.S. EPA – <i>Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical Chemical Methods</i> , SW-846.

A preservação, transporte e armazenamento das amostras para a caracterização da espuma e do lodo seguiram as especificações detalhadas pelo procedimento 9060 B – *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). O Quadro 1 apresenta as análises realizadas e sua respectiva metodologia, de acordo com o recomendado pela Resolução CONAMA nº 375/2006. As amostras foram avaliadas antes da realização das misturas e depois do término do processo de higienização.

Os parâmetros avaliados, citados no Quadro 1, foram utilizados como apoio para a comparação e verificação da possibilidade de incorporação de espuma em lodo de esgoto. Além disso, foi verificado se a mistura de espuma em lodo de esgoto atende ao preconizado na legislação brasileira (Resolução CONAMA nº 375/2006), que contém os critérios e procedimentos para a disposição agrícola do lodo de esgoto, independentemente do fato de a referida legislação vetar o uso agrícola de materiais como a espuma.

A homogeneização dos tratamentos foi realizada por meio de equipamento (betoneira CSM® 600 L), com carregador automático. Adotou-se a dosagem de 50% de cal virgem em peso seco de lodo para fins de higienização. Esse procedimento

atende à legislação brasileira (CONAMA, 2006) no tocante à redução de atratividade a vetores, por permitir a permanência do pH das misturas acima de 12 por 2 h e aumentar o poder alcalinizante da mistura; conseqüentemente, a aceitabilidade do lodo de esgoto pelos agricultores é maior.

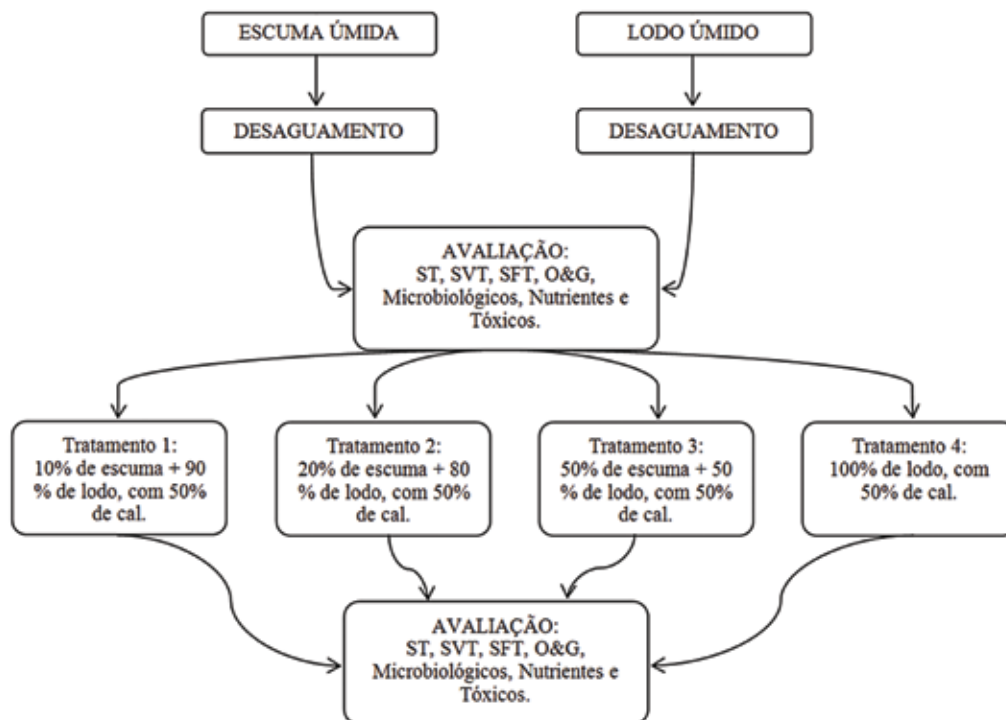
Para elaboração do tratamento com 100% de lodo, a betoneira foi abastecida com 250 kg de lodo desaguado e 125 kg de cal. Ligou-se o equipamento na rotação de 28 rpm, durante 10 min, procedimento empírico para permitir a adequada mistura do lodo com a cal; na sequência, o conteúdo foi colocado em pátio coberto para aguardar o tempo de cura (30 dias). Não foi utilizada a carga completa da betoneira, para que a mistura fosse mais eficiente. O mesmo procedimento foi realizado para os tratamentos 1, 2 e 3.

O delineamento utilizado em campo foi de blocos ao acaso, com cinco repetições em cada, totalizando 20 parcelas amostrais. Na Figura 2, apresentam-se a espuma, o lodo e a mistura obtida no experimento, enquanto a Figura 3 mostra uma síntese do planejamento experimental. Por fim, o teste de análise de variância (ANOVA) foi aplicado para avaliação de variâncias entre os tratamentos, após a normalização dos resultados obtidos.



**Figura 2** – Espuma e lodo desaguados antes do processo de mistura e mistura pronta para estabilização, após adição de cal virgem.





**Figura 3** – Planejamento experimental para avaliar a interferência da mistura de espuma em lodo de esgoto.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Desaguamento de espuma e lodo de esgoto em leitos de secagem

Observa-se, na Tabela 1, que o desaguamento, tanto da espuma quanto do lodo de esgoto, ocorreu em períodos bastante curtos. Na descarga 1, precisou-se de um mês para atingir teores de Sólidos Totais (STs) superiores a 20%, o que é justificado pelo alto índice de pluviosidade no período. O experimento levou três meses para

ser desenvolvido, período em que a temperatura oscilou de 5,6 a 27 °C. Apesar de ser oficialmente inverno, houve temperaturas bastante altas e com grande variação durante cada descarga. Apesar dos bons resultados no leito de secagem, o material resultante deve ser denominado “desaguado”, uma vez que o teor de STs no fim do processo não ultrapassou 30%. Para teores de STs superiores a 60%, pode-se considerar o material “seco” (ANDREOLI et al., 2001).

**Tabela 1** – Desempenho do desaguamento de espuma em função da pluviosidade no período de cada descarga.

Descarga	Pluviosidade total no período (mm)	Tempo de desaguamento (dias)	ST inicial (%)		ST final (%)	
			Lodo	Escuma	Lodo	Escuma
1	426,5	36	0,86	0,36	26,06	20,04
2	90,0	13	6,52	3,50	19,36	26,61
3	13,0	8	2,15	0,54	19,79	23,60
4	0,0	7	3,72	0,92	15,69	17,84
5	2,0	7	4,18	0,91	20,53	26,18

### Características físico-químicas da espuma e do lodo de esgoto

As Tabelas 2 a 4 apresentam valores de estudos de caracterização de espuma e lodo de esgoto produzidos em reatores UASB no Brasil, comparativamente aos gerados neste estudo. A espuma da ETE avaliada apresenta concentração de STs e de Sólidos Voláteis Totais (SVTs) inferior à do lodo anaeróbico, o que é esperado, pois ela não passou por nenhum processo anterior de desaguamento. O tempo de acúmulo superior neste estudo e a utilização de uma escumadeira para remoção do excesso de esgoto também podem ter contribuído para essas diferenças. Quanto à relação SVT/ST, as espumas avaliadas por Ross et al. (2013) apresentaram valores muito próximos aos de literatura, conforme apresentado na Tabela 2, sugerindo que a espuma não estava estabilizada, diferentemente do lodo de esgoto anaeróbico, que apresentou uma relação SVT/ST de 0,47 (maior estabilidade). O mesmo ocorreu com a espuma da ETE Vassoural, que apresentou teor mais elevado de analitos inorgânicos comparativamente, contribuindo para essa diferenciação (Tabela 2). O teor de O&G da espuma apresentou significativa

diferença entre as ETEs avaliadas, variando de 28 g/kg de STs a 126 g/kg; essa variação pode ser decorrente de diferentes teores de O&G no esgoto afluente e do tempo de acúmulo da espuma. A espuma da ETE Vassoural não foi avaliada quanto ao pH, Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) (Tabela 1).

Os valores encontrados e esperados para coliformes termotolerantes e *Salmonella spp.* (Tabela 3) no lodo e espuma foram elevados quando comparados aos limites preconizados pela Resolução CONAMA nº 375/2006, visto que os materiais não eram higienizados, evidenciando a necessidade de controle microbiológico.

Os valores de  $P_{total}$  na espuma e lodo da ETE Vassoural foram muito próximos; o mesmo aconteceu para  $N_{Kjedhal}$  e Ca, sendo os valores da ETE Vassoural menores que os observados por Ross et al. (2013) em trabalho sobre a região da Grande Curitiba. Ainda, para a série nitrogenada, S, K e Na, a espuma da ETE Vassoural apresentou teores inferiores aos observados no estudo citado. Já no lodo, os teores de S e K foram menores que na espuma, enquanto os de Na e Mg foram maiores (Tabela 4).

**Tabela 2** – Teores observados na espuma e lodo de esgoto da ETE Vassoural e outros trabalhos correlatos.

Parâmetro (unidade)	Espuma						Lodo	
	ETE Vassoural <sup>1</sup>	Ross et al. (2013)		Souza et al. (2007)	Oliveira et al. (2007)	Souza et al. (2006)	ETE Vassoural <sup>1</sup>	Bittencourt et al. (2011, 2012) <sup>2</sup>
		ETE Atuba Sul	ETE Padilha Sul					
STs (%)	22,87 (±3,85)	18,18(±4,94)	18,75 (±3,95)	11,2	3,8	9	20,29 (±3,73)	51,7
SVTs (%)	12,08(±4,65)	13,01(±4,57)	11,86 (±1,74)	NR	NR	NR	12,02 (±4,58)	23,23
SVT/ST (---)	0,53	0,71	0,64	0,74	0,73	0,7	0,59	0,47
O&G (g/kg)	126(±81)	66(±29)	28(±15)	NR	NR	NR	91 (±98)	NR

**Notas:** <sup>1</sup> DP = desvio padrão, avaliação de cinco amostras. <sup>2</sup> Lodo submetido ao processo de estabilização alcalina prolongada. NR = não realizado. Os resultados de avaliação deste trabalho e os obtidos por ROSS et al. (2013) decorrem de um estudo em escala real, enquanto os apresentados por Souza et al. (2006), Souza et al. (2007) e Oliveira et al. (2007) ocorreram em estação-piloto; nestes casos, o controle de qualidade sobre o esgoto bruto é muito maior, assim como as variações são menores.



**Tabela 3** – Teores de micro-organismos observados na espuma e lodo de esgoto da ETE Vassoural e outros trabalhos correlatos.

Parâmetro (unidade)	Escuma			Limite Resolução CONAMA nº 375/2006	Lodo
	ETE Vassoural <sup>1</sup>	Ross et al. (2013)			ETE Vassoural <sup>1</sup>
		ETE Atuba Sul	ETE Padilha Sul		
Coliformes termotolerantes (UFC/g)	24206 (±48081)	22337 (±17556)	38698 (±25655)	< 1.000	15252 (±26367)
<i>Salmonella spp.</i> (UFC/g)	19374 (±27475)	103015 (±18473)	3844 (±3005)	0/10g de ST	15015 (±19709)
Ovos viáveis de helmintos (Ovo/g)	1,40 (±0,55)	NR	NR	< 0,25	< 1 (±0,00)

Notas: <sup>1</sup> DP = desvio padrão, avaliação de cinco amostras. UFC = unidade formadora de colônia. NR = não realizado.

**Tabela 4** – Teores de elementos químicos observados na espuma e lodo de esgoto da ETE Vassoural e outros trabalhos correlatos.

Parâmetro (unidade)	Escuma			Limite CONAMA	Lodo		
	ETE Vassoural 1 ETE Atuba Sul	Ross et al. (2013)			ETE Vassoural <sup>1</sup>	Bittencourt et al. (2011, 2012) <sup>2</sup>	Andreoli et al. (2001) <sup>2</sup>
		ETE Padilha Sul	ETE Padilha Sul				
C <sub>org</sub> (%)	24,26 (±10,37)	52,01 (±26,00)	65,48 (±16,24)	NE	15,52 (±13,60)	NR	20,1
P <sub>total</sub> (%)	0,087 (±0,10)	2,97 (±3,83)	1,02 (±0,95)	NE	0,111 (±0,14)	NR	0,67
N <sub>Kjedhal</sub> (%)	0,33 (±0,29)	1,24 (±0,44)	1,54 (±0,32)	NE	0,32 (±0,27)	NR	2,22
N NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/kg)	40,64 (±19,38)	2828 (±2527)	2695 (±1709)	NE	27,22 (±14,77)	NR	NR
N NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/kg)	62,94 (±137,67)	63,53 (±18,99)	74,70 (±36,85)	NE	2,86 (±4,59)	NR	NR
N NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/kg)	4,92 (±7,65)	16,92 (±12,86)	20,36 (±6,37)	NE	< 1,0 (±0)	NR	NR
K (%)	0,021 (±0,02)	0,24 (±0,11)	0,60 (±0,43)	NE	0,037 (±0,04)	NR	0,95
Na (%)	0,028 (±0,02)	0,81 (±0,38)	1,02 (±0,56)	NE	0,047 (±0,04)	NR	NR
S (mg/kg)	8,88 (±14,97)	18,19 (±21,52)	16,61 (±8,77)	NE	3,29 (±4,43)	NR	NR
Ca (%)	0,925 (±0,38)	27,06 (±14,22)	21,39 (±9,34)	NE	0,803 (±0,43)	NR	0,83
Mg (%)	0,265 (±0,23)	5,14 (±3,24)	4,78 (±2,99)	NE	0,359 (±0,35)	NR	0,3
As (mg/kg)	<10 (±0)	< 10 (±0)	< 10 (±0)	41	<10 (±0)	7,9	NR
Ba (mg/kg)	<10 (±0)	< 10 (±297)	< 10 (±0)	1300	<10 (±0)	106	NR
Cd (mg/kg)	2,4 (±3,0)	< 1 (±0)	< 1 (±0)	39	1,8 (±1,7)	5,2	NR
Pb (mg/kg)	19 (±12)	< 1 (±18)	< 1 (±0)	300	18 (±23)	44	NR
Cu (mg/kg)	66 (±19)	70 (±57)	79 (±54)	1500	88 (±62)	99	NR
Cr (mg/kg)	10 (±11)	< 1 (±5)	< 1 (±0)	1000	14 (±19)	<2,0	NR
Hg (mg/kg)	<10 (±0)	< 10 (±0)	< 10 (±0)	17	<10 (±0)	0,4	NR
Mo (mg/kg)	<10 (±0)	< 10 (±0)	< 10 (±0)	50	<10 (±0)	13	NR
Ni (mg/kg)	40 (±75)	< 1 (±0)	< 1 (±0)	420	14 (±19)	20	NR
Se (mg/kg)	< 1 (±0)	< 10 (±0)	< 10 (±0)	100	< 1 (±0)	1,1	NR
Zn (mg/kg)	126 (±106)	227 (±97)	474 (±491)	2800	316 (±322)	916	NR

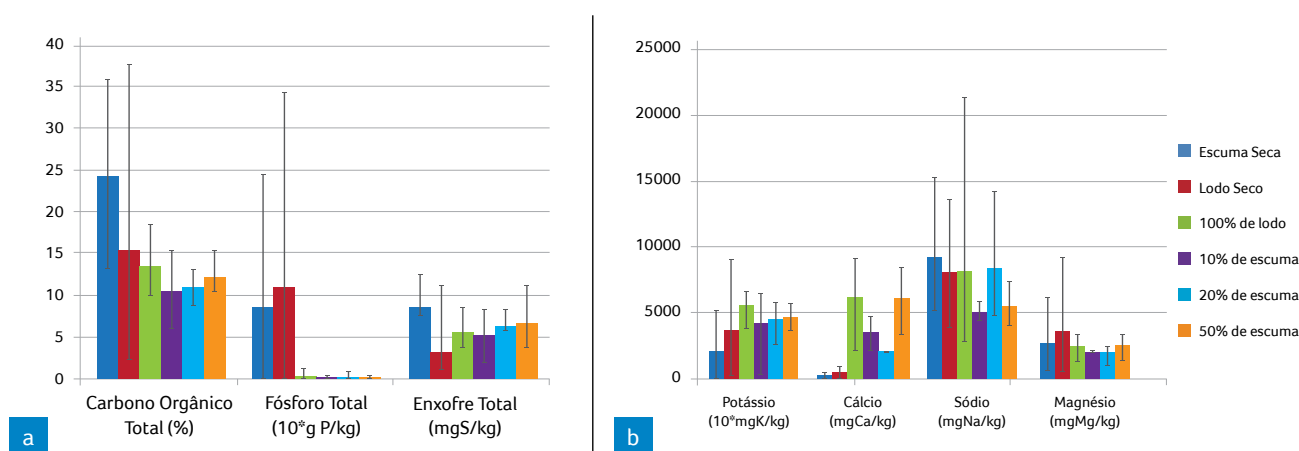
Notas: <sup>1</sup> DP = desvio padrão, avaliação de cinco amostras. <sup>2</sup> lodo submetido ao processo de estabilização alcalina prolongada. NE = não existente. NR = não realizado.

As espécies inorgânicas encontradas na espuma foram comparadas com o lodo de ETE avaliado por Bittencourt et al. (2012). Os elementos Ba, Cd, Pb, Cu e Zn apresentaram-se em valores inferiores aos encontrados em lodo de esgoto, enquanto As, Hg, Mo Ni e Se foram semelhantes e Cr e Ni, ligeiramente superiores. Cabe ressaltar que em todos os casos os valores foram bem inferiores aos preconizados na legislação (Tabela 4). Por outro lado, os teores de Cd, Pb, Cu, Cr e Ni foram expressivos, quando comparados ao encontrado no trabalho de Ross et al. (2013). Acredita-se que pode ser

devido ao uso de agrotóxicos na bacia, os quais chegam à ETE por meio de *runoff*, infiltração na rede ou mesmo devido à menor diluição de cargas tóxicas (Tabela 4).

### AVALIAÇÃO DAS MISTURAS DE ESCUMA E LODO DE ESGOTO

Os parâmetros dos tratamentos avaliados estão apresentados nas Figuras 4 a 8. Os dados foram avaliados quanto à influência dos componentes da espuma e do lodo de esgoto nos tratamentos e suas tendências de comportamento.



Nota: Valores de P e K ampliados em escala de dez vezes.

**Figura 4** – Influência da adição de espuma em lodo de esgoto para (a)  $C_{org}$ ,  $P_t$  e S e (b) K, Ca, Na e Mg.

O teor de  $C_{org}$  (Figura 4a) no lodo de esgoto desaguado e na espuma foi superior aos teores encontrados nas amostras com 100% de lodo e nas misturas. Assim, após as misturas, observou-se uma redução desses valores, devido provavelmente à adição de lodo e do efeito da adição da cal. O  $P_t$  (Figura 4a) apresentou significativa redução nos materiais desaguados; antes da higienização, estes já possuíam teores superiores aos encontrados após o procedimento de caleação. Andreoli (1999) já observa-

va a influência da calagem na redução dos teores de  $P_t$  no lodo para uso agrícola. Por sua vez, para S (Figura 4a), Na, K e Mg (Figura 4b), entende-se que não houve variação expressiva em suas concentrações, não havendo interferência nem da adição de espuma nas misturas, nem da cal para a higienização. Já os teores de Ca das misturas (Figura 4b) foram bem superiores aos encontrados antes do procedimento de higienização, fato já esperado, uma vez que o agente sanitizante é à base de CaO.



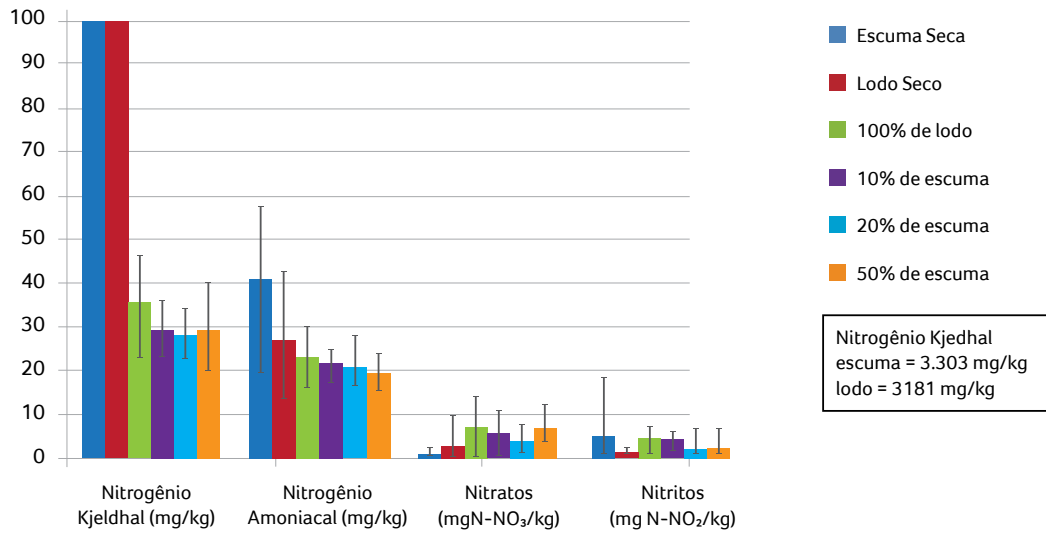


Figura 5 – Comportamento de N em relação à adição de espuma em lodo de esgoto.

Para N, observa-se na Figura 5 que a elevação do pH ocasionada pela adição de CaO proporcionou uma elevada liberação de gases nitrogenados; já os teores de  $N_{Kjedhal}$  reduziram bastante nas misturas e nas amostras com 100% de lodo. N é o componente de principal interesse no lodo de esgoto, muitas vezes utilizado como fator limitante para a definição da dosagem máxima de aplicação

em solos, devido à possibilidade de lixiviação em forma de nitratos e, conseqüentemente, contaminação do freático (MALAVOLTA, 1980; MELLO, 1984). Entre as formas de N,  $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$  e  $NO_2^-$  são encontrados em menor quantidade. A volatilização de  $NH_4^+$ , a instabilidade de  $NO_2^-$  e o potencial de lixiviação de  $NO_3^-$  são fatores que podem estar associados a isso.

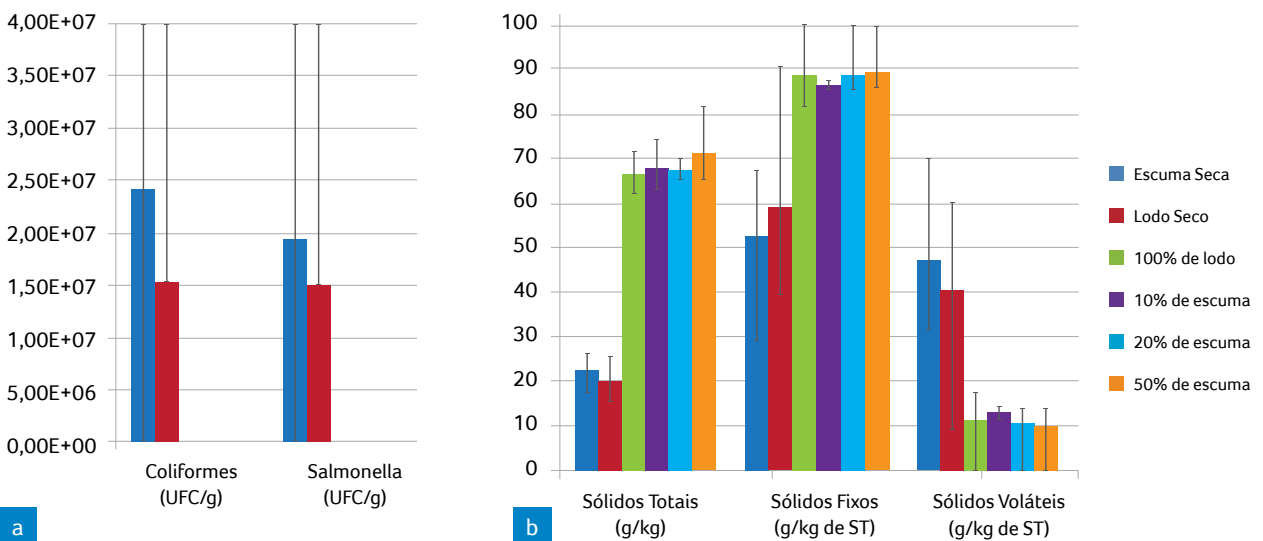


Figura 6 – Impacto da adição de espuma em lodo de esgoto para (a) coliformes termotolerantes, ovos viáveis de helmintos e Salmonella spp. e (b) STs, sólidos fixos e voláteis.

Em relação à atividade microbiológica (Figura 6a), verifica-se que o processo de estabilização alcalina prolongada foi bastante efetivo; anteriormente, encontravam-se quantidades significativas de coliformes termotolerantes e *Salmonella spp.*, praticamente eliminadas com a adição de CaO. Já os valores para contagem de ovos viáveis de helmintos, tanto antes da higienização quanto depois desse procedimento, indicaram média para todas as amostras de < 1 ovo/g de STs para o lodo e 1,4 ovo/g de STs para a espuma; por essa razão, não foram exibidos em figuras.

A higienização de lodos pela via química com uso de CaO elimina os micro-organismos pela alteração da natureza coloidal do protoplasma celular e também resulta em elevação do pH da massa de lodo, maximizando a efetividade do processo. O lodo será considerado seguro caso o pH tenha ficado acima de 12 por no mínimo 72 h, a temperatura seja superior a 52 °C por 12 h, minimamente, e seque ao ambiente até que o teor de sólidos seja superior a 50% (ANDREOLI et al., 2001). Observa-se na Figura 6b que as amostras após a caleação tiveram o teor de STs acima de 50% em todos os casos, evidenciando que houve higienização. A caleação também

contribuiu para o aumento no teor de sólidos fixos das misturas.

Os elementos inorgânicos avaliados (Cu, Zn e Cr) são micronutrientes necessários às plantas, mas podem assumir condição fitotóxica se em altas concentrações, muito embora esses limites variem significativamente entre os vegetais (MARSCHNER, 1986; MENGEL; KIRKBY, 1987). Os elementos Pb e Cr podem estar presentes no CaO e isso pode explicar o pequeno aumento observado nas misturas. Já Ni, Zn e Cd não apresentaram alteração entre os tratamentos e os materiais brutos. Observou-se que o lodo e a espuma desaguados possuíam teores muito superiores de Cu antes da aplicação da cal. Ressalta-se que a análise foi realizada por absorção atômica, com abertura da amostra com digestão ácida com ácido nítrico e clorídrico, assim como todos os elementos do grupo inorgânico, o que corresponde à determinação do valor total do elemento por kg de amostra seca. Acredita-se que o elemento possa ter complexado e se depositado no fundo do local de armazenagem, ficando excluído da amostragem.

Os elementos Ba, As, Hg, Mo e Se não apresentaram variação durante as análises, estando bem abaixo dos limites estipulados por lei.

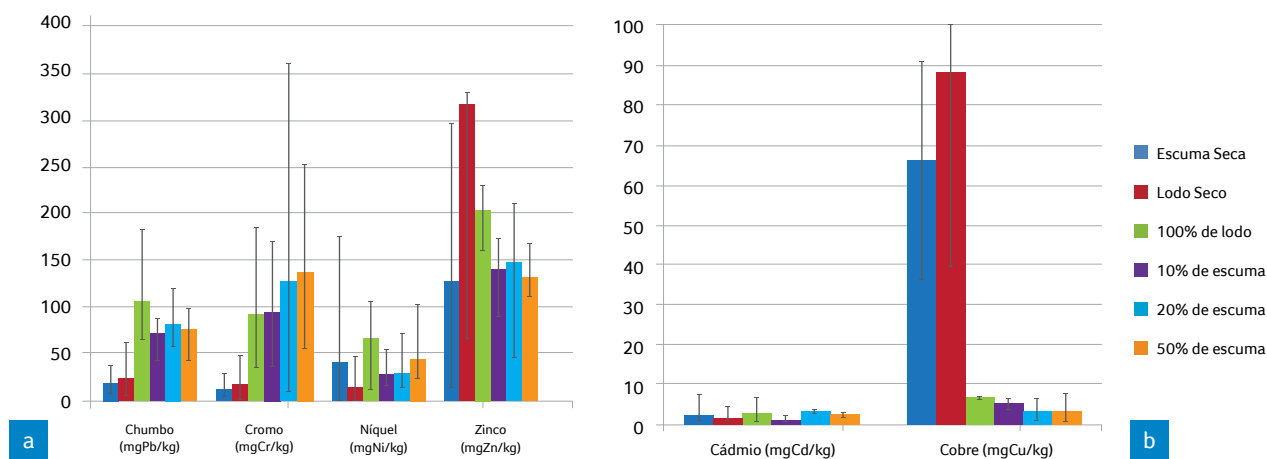
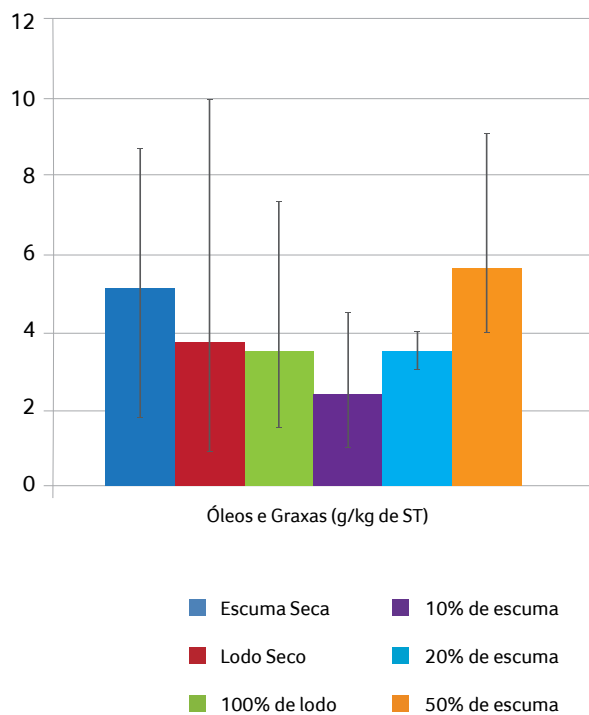


Figura 7 – Impacto da adição de espuma em lodo de esgoto para (a) Pb, Cr, Ni e Zn e (b) Cd e Cu.



**Figura 8** – Comportamento do teor de O&G em relação à adição de espuma em lodo de esgoto.

A incorporação de espuma no lodo de esgoto tende a causar um aumento no teor de O&G (Figura 8), porém a mistura com 20% de espuma apresentou um resultado ligeiramente inferior, diferindo do esperado.

Não foram observadas variâncias significativas ( $P_{0,05}$ ) entre as médias, o que indica que a inclusão de espuma nas proporções de 10%, 20% e 50% não alterou estatisticamente a composição do lodo de esgoto para nenhuma das variáveis, mesmo com o grande desvio padrão existente entre os resultados, que foi minimizado pela normalização dos dados. Os parâmetros de *Salmonella spp.* e as espécies inorgânicas As, Ba, Hg, Mo e Se não variaram durante as análises; por essa razão, não foram submetidos à avaliação estatística. A fim de proceder a uma avaliação estatística mais consistente, seriam necessárias mais amostragens, que permitiriam uma redução no desvio padrão encontrado.

## CONCLUSÕES

Foram desaguados separadamente em leitos de secagem cinco lotes de espuma e cinco lotes de lodo anaeróbio de esgoto e, após esse procedimento, foram realizadas três misturas com as dosagens de 10%, 20% e 50% de espuma em lodo e um lote com 100% de lodo foi mantido. Os tratamentos passaram pelo processo de estabilização alcalina prolongada pela adição de cal em 50% do peso seco, os lotes foram avaliados em laboratório e os resultados receberam tratamento estatístico.

Os teores de  $C_{org}$  e de  $P_{total}$  apresentaram redução, ou seja, os materiais desaguados, antes da mistura e higienização, possuíam teores superiores ao encontrado após o procedimento de caleação. Os teores de Ca das misturas foram bem superiores aos encontrados antes do procedimento de higienização, fato já esperado, visto que o agente sanitizante é a cal. Com relação aos elementos S, Na, K e Mg, entende-se que não houve variação significativa em suas concentrações, não havendo interferência nem da adição de espuma nas misturas, nem da cal para a higienização. Quanto à avaliação do conjunto de N, tem-se que a elevação do pH, ocasionada pela adição de cal, proporcionou uma liberação de N para a atmosfera. Encontraram-se quantidades significativas de coliformes termotolerantes e *Salmonella spp.* nos lotes de espuma e lodo desaguados, porém com o processo de higienização as concentrações desses micro-organismos ficaram bem abaixo do exigido pela Resolução CONOMA nº 375/2006. Com relação à contagem de ovos de helmintos, tanto antes da higienização das misturas quanto depois desse procedimento, obteve-se a média de 1 ovo/g de matéria seca. Não foi observada diferença significativa entre os valores encontrados para os elementos inorgânicos avaliados e o teor de sólidos foi aumentado para todos os tratamentos. A incorporação de espuma no lodo de esgoto tende a causar um aumento no teor de O&G, exceto na mistura com 20% de espuma, que apresentou um resultado ligeiramente inferior, diferindo do esperado.



As amostras foram submetidas à avaliação estatística pelo teste ANOVA, o qual não encontrou diferenciação estatística entre as médias, significando que a inclusão de espuma nas proporções de 10%, 20% e 50% não alterou a composição do lodo de esgoto destinado ao uso agrícola.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT, NBR 12.209: **Elaboração de Projetos Hidráulicos-Sanitários de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários**. Rio de Janeiro, 2011.

ANDREOLI, C. V.. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura e sua influencia em características ambientais no agroecossistema**. 1999. 278 p. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) Universidade Federal do Paraná, 1999.

ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F.. (Org.) **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG; Curitiba: SANEPAR, 2001. 484 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 6).

APHA, AWWA, WEF. **Standard methods for examination of water and wastewater**, 22. ed. Washington: Publication Office American Public Health Association, APHA, AWWA, WEF, 2012.

BITTENCOURT, S.; SERRAT, B.M.; AISSE, M.M.; GOMES, D.. Sewage sludge usage in agriculture: a case study of its destination in Curitiba Metropolitan Region, Paraná, Brazil. *In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA*, 10, Minas Gerais, 23-27 out. 2011. 1 CD-ROM.

BITTENCOURT, S.; SERRAT, B. M.; AISSE, M.M.; MARIN, L.M.K.S.; SIMÃO, C.C.. **Aplicação de lodos de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto em solo degradado**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 17, p. 315-324, 2012.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. Resolução n. 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências.

CHERNICHARO, C.A.L.. **Tecnologias Nacionais para Tratamento Anaeróbio de Esgotos**. Seminário sobre Gerenciamento do Saneamento em Comunidades Planejadas. Curitiba: Alphaville Graciosa, 2004.

LOBATO, L.C.S.; CHERNICHARO, C.A.L.; OLIVEIRA FILHO, J.M.; MORAES, O.J.S.. Avaliação de desempenho da pré-operação dos reatores UASB ETE Onça: capacidade instalada 2,05 m<sup>3</sup>/s. *In: CON-*

GRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIASANITÁRIA E AMBIENTAL, 24, Belo Horizonte, 3-7 set. ABES, 2007. 1 CD ROM.

MALAVOLTA, E. (1980) **Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo**. São Paulo, Edit. Agronômica Ceres, 528 p.

MARSCHNER, H. (1986). **Mineral Nutrition of Higher Plants**. London, Academic Press, 674 p.

MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R.I.; NETTO A.C.; KIEHL J.C.. **Fertilidade do solo**. 2 ed. Piracicaba, SP, 1984. p.400.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. (1987). **Principles of Plant Nutrition**. 4ª edição, Editora International Potash Institute, Switzerland, 665 p.

OLIVEIRA, J.P.; SILVA, J.S.C.; PEREIRA NETO, G.P.; BASTOS, G.S.M.; CHERNICHARO, C.A.L.. Avaliação comparativa do desempenho de reator UASB convencional e reator UASB com dois estágios de coleta de biogás no tratamento de esgotos domésticos. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL*, 24, Belo Horizonte, 3-7 set. ABES, 2007. 1 CD-ROM.

ROSS, B.Z.L.; CARNEIRO, C.; AISSE, M.M.; FROEHNER S.. Caracterização da espuma produzida em reatores anaeróbios de manta de lodo, estado do Paraná. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL*, 27, 2013, Goiânia. Anais... Goiânia: ABES, 2013. 1 pen drive.

SILVA, S.Q.; ZERBINI, A.M.; GODINHO, V.M.; CHERNICHARO, C.A.L. (2005) Caracterização morfológica de micro-organismos presentes em espuma de reatores UASB tratando esgotos domésticos. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL*, 23, Campo Grande 18-23 set. ABES, 2005. 1 CD-ROM.

SOUZA, C.L.. **Estudo quantitativo e qualitativo de espuma acumulada em reatores UASB tratando esgotos domésticos**. 105 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

SOUZA, C.L.; AQUINO, S.F.; CHERNICHARO, C.A.L.. Production and characterization of scum and its role in odour control in UASB reactors treating domestic wastewater. **Water Science & Technology**, v. 54, p. 201-208, 2006.

WEF (WATER ENVIRONMENT FEDERATION); AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE); ENVIRONMENTAL AND WATER RESOURCES INSTITUTE (EWRI). **Biological nutrient removal operation in wastewater treatment plant**. Manual of practice 29. WEF, ASCE, EWRI, USA, 2005.

# Planos de saneamento básico da bacia do Vale do Itajaí

## *Plans sanitation basin of Vale Itajaí*

- **Data de entrada:**  
23/10/2013
- **Data de aprovação:**  
11/12/2015

Joice Andrea de Souza | Alceu de Castro Galvão Junior

DOI 10.4322/dae.2016.003

### Resumo

Este trabalho tem como objetivo verificar a conformidade dos Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB) da bacia hidrográfica do Vale do Itajaí e regulados pela Agência Intermunicipal de Regulação – AGIR em relação ao conteúdo mínimo disposto na Lei n. 11.445/2007, que estabeleceu as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Com base em uma lista de checagem desenvolvida com os itens do conteúdo mínimo, além de alguns procedimentos que deveriam ser efetivados quando da concepção dos Planos, foi constatado que nenhum dos 10 PMSB abrangeu todos os itens mencionados no conteúdo mínimo na Lei n. 11.445/2007. O item relacionado aos procedimentos que devem ser observados quando da elaboração dos PMSB foi o menos atendido, enquanto o PMSB de Rio dos Cedros foi o mais homogêneo entre os 10 analisados. Por fim, foram elencadas propostas que poderão ser executadas quando da revisão desses PMSB, em prazo não superior a quatro anos da sua elaboração e anteriormente ao Plano Plurianual.

**Palavras-chave:** Lei n. 11.445/2007. Conteúdo mínimo. Plano Municipal de Saneamento Básico.

### ABSTRACT

*This study aims to check the compliance of Itajaí Valley river basin's Municipal Basic Sanitation Plans (PMSB), regulated by the Intermunicipal Regulatory Agency – (AGIR), related to the minimum content of the Law 11.445/2007, which set national guidelines for basic sanitation. Based on a checklist developed from the minimum content of MBSP, as well as some procedures that should be carried out when the plans have been designed, it was found that none of the 10 PMSB completely covered all the items mentioned in the minimum content of Law 11.445/2007. The item related to the procedures to be followed when drafting PMSB was the least attended, while the Rio dos Cedros PMSB was the most homogeneous among the 10 analyzed. Finally, some proposals have been chosen to be executed when reviewing these plans, within a period not exceeding four years of their establishment and before the Multi-Year Plan.*

**Keywords:** Law n. 11.445/2007. Minimum content. Municipal Basic Sanitation Plan.

#### Joice Andrea de Souza

Contadora pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Especialista em Controle Externo nas Concessões de Serviços Públicos pela Fundação ENA Brasil. Analista em contabilidade do Ministério Público do Estado de Santa Catarina (MPSC).

#### Alceu de Castro Galvão Junior

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP). Doutor em Saúde Pública pela mesma universidade. Analista de regulação da Agência Reguladora do Estado do Ceará (ARCE). Atualmente, exerce o cargo de coordenador de Saneamento da Secretaria das Cidades do Estado do Ceará.

## INTRODUÇÃO

A Lei nº 11.445/2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, obriga os titulares a elaborar seus Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSBs), desenvolvidos com a intenção de planejar adequadamente o setor, integrando de forma harmônica esses serviços públicos.

De acordo com esse marco regulatório, os serviços públicos de saneamento básico são essenciais para os seres humanos, devendo, portanto, ser prestados com base em alguns princípios, os quais estão discriminados no art. 2º da Lei nº 11.445/2007. Nesse rol, cabe destacar o princípio da universalização, conceituado como a ampliação progressiva do acesso de todos os domicílios ocupados ao saneamento básico (art. 3º, inciso III).

A prestação do serviço público de saneamento básico deve ser realizada conforme o estabelecido no PMSB, observando os requisitos mínimos de qualidade e eficiência dispostos nas normas de regulação, bem como nos contratos de prestação dos serviços. Quando da elaboração do PMSB, buscam-se a universalização do acesso e a integração dos quatro componentes de serviços públicos de saneamento básico (abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas), para o alcance da salubridade ambiental e da saúde pública. Ademais, conforme Souza (2010), a prestação dos serviços públicos de saneamento básico deve ser embasada no planejamento prévio, que tem como instrumento o PMSB.

O plano deve, portanto, ser confeccionado com fundamento nos aspectos técnicos, econômicos, financeiros e sociais de determinado município, a fim de efetivar realmente o que foi planejado. O PMSB orientará a prestação dos serviços públicos de saneamento básico, apresentando alguns requisitos mínimos quando da sua elaboração. Tais requisitos são detalhados pormenorizadamente no art. 19 da Lei nº 11.445/2007:

Art. 19. A prestação de serviços públicos de saneamento básico observará plano, que poderá ser específico para cada serviço, o qual abrangerá, no mínimo:

I - diagnóstico da situação e de seus impactos nas condições de vida, utilizando sistema de indicadores sanitários, epidemiológicos, ambientais e socioeconômicos e apontando as causas das deficiências detectadas;

II - objetivos e metas de curto, médio e longo prazos para a universalização, admitidas soluções graduais e progressivas, observando a compatibilidade com os demais planos setoriais;

III - programas, projetos e ações necessárias para atingir os objetivos e as metas, de modo compatível com os respectivos planos plurianuais e com outros planos governamentais correlatos, identificando possíveis fontes de financiamento;

IV - ações para emergências e contingências;

V - mecanismos e procedimentos para a avaliação sistemática da eficiência e eficácia das ações programadas.

O referido artigo, em seu § 3º, menciona que os PMSBs devem ser compatíveis com os Planos das Bacias Hidrográficas em que estiverem inseridos. Além disso, em conformidade com o parágrafo único do art. 20, compete às agências reguladoras a verificação do cumprimento dos PMSBs por parte dos prestadores de serviços.

Nesse sentido, o PMSB deve ser elaborado com base em elementos que desenvolvam efetivamente os serviços públicos de saneamento básico. Além da integralidade e universalidade desses serviços com qualidade, o plano deve ser confeccionado em compatibilidade com os



recursos econômicos e financeiros do município e com os demais planos governamentais existentes, como, por exemplo, o Plano Plurianual e o Plano Diretor, devendo garantir o controle social, tanto na sua elaboração quanto na sua efetivação e revisão. Tal argumento é confirmado por Alochio (2010, p. 66-67):

A Lei prevê a necessidade tanto de consolidação quanto de compatibilização. A consolidação é a manutenção de seus textos atualizados, respeitando-se as alterações e adequações que forem surgindo. A compatibilização será a adequação do plano de cada serviço para uma gestão integrada de todo o saneamento. Inclusive, os planos de saneamento básico de cada titular deverão ser compatíveis com os planos das bacias hidrográficas em que estiverem inseridos. Isso não implica afronta à autonomia do ente da Federação: pelo contrário, apenas evita que o interesse isolado de um ente Federado venha a violar o interesse maior de todos os cointeressados em uma bacia hidrográfica. Se assim não for, o superdimensionamento do consumo de água em um dado plano poderá acarretar escassez para os demais Municípios componentes dessa bacia.

Outro aspecto importante quando da confecção do PMSB é mencionado pelo Ministério das Cidades (BRASIL, 2009, p. 42-43):

O Plano Municipal de Saneamento Básico não deve ser visto como um produto eminentemente técnico, de difícil elaboração e entendimento por leigos. Esta visão tecnocrática do planejamento deve ser modificada. O Plano como instrumento de planejamento deve ser fruto de um processo de decisão político-social, devendo-se ter o cuidado para não trans-

formá-lo em peça meramente técnica, elaborada para atender demandas locais. Os estudos de Braga (1995) sobre o fracasso dos planos diretores de desenvolvimento integrado de municípios paulistas ilustrou essa questão. O autor identificou dois motivos principais: i) a obrigatoriedade da elaboração do plano não foi suficiente para que os agentes públicos municipais percebessem a importância do planejamento enquanto um processo eficiente de gestão, sendo visto apenas como exigência burocrática e inútil ou como um instrumento útil apenas para facilitar a obtenção de recursos financeiros; e ii) a elaboração da maioria dos planos por órgãos ou empresas estranhas à administração municipal, inviabilizou a sua implementação, pois os planos podem ficar interessantes tecnicamente, mas inviáveis politicamente ou não ficam bons nem técnica, nem politicamente devido os elaboradores não conhecerem a realidade local, ou pode tornar-se algo estranho à administração municipal que não participou de sua elaboração e, assim, não o considera como um instrumento legítimo, não se interessando por sua implementação.

Portanto, o PMSB deve ser entendido pelos municípios como uma forma real e factível de planejamento da prestação de seus serviços públicos de saneamento básico e não exclusivamente como um instrumento burocrático para acesso aos recursos orçamentários da União.

Os municípios devem também preparar, concomitantemente com a confecção do PMSB, indicadores que sejam possíveis de ser identificados e controlados para a averiguação futura da efetividade ou melhoria da prestação dos serviços públicos de saneamento básico.

Segundo Alochio (2010, p. 66), “planificar não será mera questão de estilo, não bastará em si o planejamento, mas demandará acompanhamento constante, um serviço de prestação continuada tanto quanto o próprio saneamento”. Por conseguinte, após a aprovação do PMSB, ele necessitará ser retroalimentado mediante ajustes ou medidas corretivas, a fim de que se aprimore o planejamento inicial.

Essa conduta também é prevista na legislação, quando menciona que os PMSBs serão revistos periodicamente em prazo não superior a quatro anos, anteriormente à elaboração do Plano Plurianual.

Oficialmente, não há números de quantos municípios já elaboraram seu PMSB, porém as várias prorrogações de prazo demonstram que essa obrigatoriedade do marco legal ainda está longe de ser alcançada. Pesquisa do Instituto Trata Brasil (ITB, 2014) apontou que, das cem maiores cidades brasileiras, somente 12 estavam aderentes aos requisitos da Lei nº 11.445/2007, em termos de conteúdo dos PMSBs, controle social e regulação.

De acordo com informações da Associação Brasileira de Agências de Regulação (ABAR, 2013),<sup>1</sup> um dos poucos estados com maiores índices de elaboração do PMSB é Santa Catarina, com cerca de 70% dos municípios com seus planos finalizados. Portanto, o principal desafio no estado é a efetivação desses instrumentos de planejamento. Para seu acompanhamento, em Santa Catarina há diversas agências reguladoras de serviços públicos de saneamento básico, entre as quais, a Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento (ARIS), a Agência Reguladora de Serviços de Saneamento Básico do Estado de Santa Catarina (Agesan), a Agência Intermunicipal de Regulação, Controle e Fiscalização de Serviços Públicos Municipais do

Médio Vale do Itajaí (AGIR), a Agência Reguladora de Saneamento de Tubarão (AGR) e a Agência Municipal de Regulação dos Serviços de Água e Esgotos de Joinville (AMAE).

Como os PMSBs devem ser compatíveis com os Planos das Bacias Hidrográficas em que os municípios estão inseridos, buscou-se analisar uma bacia hidrográfica que fosse regulada por uma mesma agência, a fim de obter uma visão regionalizada do planejamento e de suas interfaces com a regulação. Com base no Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos do Estado de Santa Catarina (SIRHES-C)<sup>2</sup> e no mapa das agências reguladoras atuantes em Santa Catarina,<sup>3</sup> identificou-se a bacia hidrográfica do Vale do Itajaí, contendo 14 municípios regulados pela mesma agência, a AGIR.

Apesar do resultado satisfatório quanto à elaboração dos PMSBs, não há no estado avaliação quanto ao atendimento desses planos no tocante ao conteúdo mínimo listado no art. 19 da Lei nº 11.445/2007. Nesse sentido, referida avaliação também contribui para identificar a motivação e o papel dos PMSBs, “investigando se eles tendem a ser elaborados apenas com vistas ao cumprimento da legislação ou por convicção dos reais benefícios que podem ser alcançados ao utilizá-los como ferramenta de gestão” (LISBOA et al., 2013).

## OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar o conteúdo do PMSB, com base no art. 19 da Lei nº 11.445/2007, dos municípios integrantes da bacia hidrográfica do Vale do Itajaí, cuja regulação está sob competência da AGIR.

1 Disponível em: <http://abar.org.br/2012/11/14/agesan-divulga-panorama-dos-planos-municipais-de-saneamento-basico-em-santa-catarina/>. Acesso em: 9 maio 2013.

2 Disponível em: [http://www.aguas.sc.gov.br/mapas/mapas\\_publicado](http://www.aguas.sc.gov.br/mapas/mapas_publicado). Acesso em: 9 maio 2013.

3 Disponível em: <http://www.casan.com.br/ckfinder/userfiles/files/MapaAgenciasReguladoras.pdf#960>. Acesso em: 9 maio 2013.

**Quadro 1** – Identificação dos planos analisados.

Município	Plano			Homologação		Data da 1ª revisão
	Elaboração	Volume	Data	Documento	Data	
Ascurra	MPB/Sanetal <sup>1</sup>	I a VI	12/2011	Lei Compl. nº 126	21/05/12	21/05/16
Benedito Novo	MPB/Sanetal <sup>1</sup>	I a VI	12/2011	Lei nº 1.658	14/03/12	14/03/16
Blumenau	Prefeitura	I	03/2009	Decreto nº 8.907	16/04/09	16/04/13
Brusque	BSA <sup>2</sup>	I	10/2012	Decreto nº 7.087	08/04/13	08/04/17
Doutor Pedrinho	MPB/Sanetal <sup>1</sup>	I a VI	12/2011	Decreto nº 8	06/03/12	06/03/16
Gaspar	Prefeitura/SAMAE	I	03/2010	Decreto nº 3.876	06/04/10	06/04/14
Indaial	BSA <sup>2</sup>	I	05/2011	Lei Compl. nº 120	20/12/11	20/12/15
Pomerode	Prefeitura <sup>3</sup>	I	07/2011	Decreto nº 2.599	12/07/11	12/07/15
Rio dos Cedros	MPB/Sanetal <sup>1</sup>	I a VI	12/2011	Lei nº 1.736	17/04/12	17/04/16
Timbó	BSA <sup>2</sup>	I	04/2012	Decreto nº 2.829	14/08/12	14/08/16

**Notas:** <sup>1</sup> Consórcio MPB/Sanetal. <sup>2</sup> Bureau de Serviços em Engenharia Ambiental Ltda. <sup>3</sup> Não menciona no plano quem o elaborou, subentendendo que foi a prefeitura.

## METODOLOGIA

Os municípios localizados na bacia hidrográfica do Vale do Itajaí e regulados pela AGIR são: Apiúna, Ascurra, Benedito Novo, Blumenau, Botuverá, Brusque, Doutor Pedrinho, Gaspar, Guabiruba, Indaial, Pomerode, Rio dos Cedros, Rodeio e Timbó. De acordo com as informações disponibilizadas pela mencionada agência, desses 14 municípios, três não fizeram e/ou não aprovaram o PMSB (Apiúna, Guabiruba e Rodeio) e um está em fase de preparação (Botuverá), restando dez municípios para a averiguação dos seus planos, conforme o Quadro 1.

Na metodologia empregada para análise dos dez PMSBs, foram estudados os procedimentos constantes em dois trabalhos científicos, nos quais o objeto da presente pesquisa está inserido: Basílio Sobrinho (2011) e Pereira (2012). Adaptaram-se e aperfeiçoaram-se os questionários de análise do plano desses dois trabalhos, selecionando os pa-

râmetros ou aspectos mais relevantes relacionados ao conteúdo mínimo.

Salienta-se que houve a realização de um pré-teste nos PMSBs de Blumenau e Gaspar, escolhidos aleatoriamente. O pré-teste resultou na inclusão de novos quesitos nas metodologias adaptadas de Basílio Sobrinho (2011) e Pereira (2012), com a finalidade de diferenciar a abrangência territorial nas fases de diagnóstico e prognóstico, identificar e examinar as características e as situações atuais dos serviços de saneamento básico, divulgar os objetivos e as metas de curto, médio e longo prazo desses quatro componentes do saneamento básico e averiguar alguns aspectos da aprovação do plano quando promulgado por lei municipal.

Assim, a análise do PMSB dos dez municípios catarinenses situados na bacia hidrográfica do Vale do Itajaí e regulados pela AGIR foi dividida em cinco itens e elaborada de modo a contemplar o conteúdo mínimo estabelecido no art. 19 da Lei nº 11.445/2007, da seguinte forma:



1. Diagnóstico da situação e de seus impactos na condição de vida (inciso I): neste item, foram observados os aspectos de saúde e epidemiologia, meio ambiente e recursos hídricos, sociais e econômicos, a abrangência territorial e as características dos serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, com o objetivo de investigar a existência dessas informações ou indicadores nos planos, além das possíveis causas das deficiências encontradas.
2. Objetivos e metas (incisos II e III, §§ 3º e 8º): foram examinados, neste item, o detalhamento dos objetivos e metas de curto, médio e longo prazo para a universalização, por componente do saneamento básico, além da forma de acompanhamento das metas e prazos fixados; a estruturação dos programas, projetos e ações para a universalização dos serviços; a solução para inclusão da parcela da população com baixa renda nas metas de universalização; a identificação dos investimentos necessários, bem como das possíveis fontes de financiamento; a compatibilidade com os demais planos, como, por exemplo, o Plano da Bacia Hidrográfica no qual o município está inserido, o Plano Plurianual e o Plano Diretor; e a abrangência territorial pretendida quando da execução dos PMSBs.
3. Mecanismos e procedimentos para avaliação sistemática das ações programadas (inciso V): neste item, averiguou-se a existência de aspectos relacionados à gestão setorial, regulação e controle social e de indicadores para avaliação da eficiência e eficácia dos serviços, com a demonstração das metas e prazos desses indicadores.
4. Ações para emergências e contingências (inciso IV): foi verificada a presença nos planos dessas ações.
5. Demais diretrizes (§§ 1º, 2º, 4º e 5º): neste item, foram apreciados aspectos que não estão diretamente relacionados ao conteúdo mínimo, mas cujos procedimentos devem ser realizados na concepção dos planos, sendo divididos em três subtens: (i) os planos podem ser aprovados por meio de lei ou decreto, porém foram considerados apenas se, quando promulgados por lei municipal, contivessem: a instituição do conselho responsável pelo controle social, a designação da entidade reguladora e a identificação da estrutura constante na prefeitura incumbida da administração do PMSB; (ii) a presença do prazo de sua revisão, não superior a quatro anos e antes da confecção do Plano Plurianual; (iii) a efetivação da participação da sociedade quando da elaboração dos planos, com a ampla divulgação dos estudos que os fundamentaram, assim como a ocorrência de audiências e consultas públicas sobre o referido objeto.

Ressalta-se que cada PMSB foi analisado conforme os itens pormenorizados anteriormente, verificando se estavam presentes totalmente (confere), parcialmente (confere parcialmente) ou não (não confere) nos referidos planos, além da existência de determinada situação quando a análise de um item não fosse pertinente (não aplicável).

Para melhor observação e interpretação dos resultados, foram também construídos para cada município gráficos do tipo radar.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, é apresentada a avaliação realizada nos planos dos dez municípios situados na bacia hidrográfica do Vale do Itajaí e regulados pela AGIR, a fim de verificar se foram elaborados de acordo com o conteúdo mínimo contemplado no art. 19 da Lei nº 11.445/2007.

**Quadro 2** – Diagnóstico da situação e de seus impactos na condição de vida.

Denominação	PMSBs									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>2.1 Aspectos de saúde e epidemiologia</b>										
a) O plano utilizou informações ou indicadores relativos às doenças de veiculação hídrica (diarreia, cólera, hepatite, entre outras).	S	S	N	N	S	S	N	N	S	S
b) O plano utilizou informações ou indicadores de morbidade, mortalidade, entre outros.	S	S	N	S	S	S	N	S	S	S
c) O plano analisou e tratou as informações ou indicadores para apontar possíveis causas de deficiências.	S	S	X	S	S	S	X	S	S	S
<b>2.2 Aspectos ambientais e de recursos hídricos</b>										
a) O plano identificou a bacia hidrográfica em que o município está inserido.	S	S	S	S	S	S	N	S	S	S
b) O plano caracterizou a bacia hidrográfica em termos de área, sub-bacias, principais recursos hídricos etc.	S	S	S	S	S	S	N	S	S	S
c) O plano utilizou informações ou indicadores ambientais e/ou de recursos hídricos (qualidade ambiental, disponibilidade hídrica etc.).	S	S	S	S	S	S	N	S	S	S
d) O plano analisou e tratou as informações ou indicadores para apontar possíveis causas de deficiências.	S	S	S	S	S	S	X	S	S	S
<b>2.3 Aspectos socioeconômicos</b>										
a) O plano utilizou informações ou indicadores de evolução populacional (censos do IBGE).	S	S	S	S	S	S	N	S	S	S
b) O plano utilizou informações ou indicadores socioeconômicos do município (PIB, IDH, renda <i>per capita</i> , Bolsa Família etc.).	P	P	S	S	P	S	N	S	P	S
c) O plano identificou as situações em que se pode inferir o nível de renda da população.	S	S	N	N	S	N	N	N	S	N
d) O plano analisou e tratou as informações ou indicadores para apontar possíveis causas de deficiências.	S	S	N	N	S	N	X	N	S	N
<b>2.4 Abrangência territorial atual</b>										
a) O plano abrangeu o distrito sede – zona urbana.	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
b) O plano abrangeu o distrito sede – zona rural.	S	S	N	S	S	S	S	S	S	S
c) O plano abrangeu demais distritos ou localidades – zona urbana.	N	P	N	P	S	P	N	P	P	N
d) O plano abrangeu demais distritos ou localidades – zona rural.	N	N	N	N	N	P	N	P	P	N
<b>2.5 Aspectos do saneamento básico</b>										
a) O plano identificou e analisou as características e a situação dos serviços de abastecimento de água.	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
b) O plano identificou e analisou as características e a situação dos serviços de esgotamento sanitário.	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
c) O plano identificou e analisou as características e a situação dos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos.	S	S	S	N	S	S	S	S	S	S
d) O plano identificou e analisou as características e a situação dos serviços de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas.	S	S	S	N	S	S	S	S	S	S

**Notas:** S - confere; N - não confere; P - confere parcialmente; X - não aplicável | 1 - Ascurra; 2 - Benedito Novo; 3 - Blumenau; 4 - Brusque; 5 - Doutor Pedrinho; 6 - Gaspar; 7 - Indaial; 8 - Pomerode; 9 - Rio dos Cedros; 10 - Timbó.

Conforme a metodologia descrita anteriormente, a referida avaliação é pormenorizada nos subitens a seguir.

## DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO E DE SEUS IMPACTOS NA CONDIÇÃO DE VIDA

O diagnóstico da situação e de seus impactos na condição de vida foi fragmentado em aspectos de

saúde e epidemiologia, meio ambiente e recursos hídricos, sociais e econômicos, com o apontamento de possíveis causas de suas deficiências, além da abrangência territorial e do detalhamento das características e situações atuais dos quatro componentes dos serviços de saneamento básico, conforme demonstrado no Quadro 2.

## OBJETIVOS E METAS

Este item foi apreciado com base em quatro sub-ítem: objetivos e metas de curto, médio e longo prazo para a universalização; programas, projetos e ações para a universalização dos serviços, englobando também a verificação da inclusão da

população de baixa renda nas referidas metas, além dos investimentos necessários e das possíveis fontes de financiamento; compatibilidade com os demais planos; e abrangência territorial observada nos itens anteriores, de acordo com o verificado no Quadro 3.

**Quadro 3 – Objetivos e metas.**

Denominação	PMSBs									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>3.1 Objetivos e metas de curto, médio e longo prazo para universalização</b>										
a) O plano apresentou os objetivos e metas de curto, médio e longo prazo do serviço de abastecimento de água.	S	S	N	S	S	N	S	N	S	S
b) O plano apresentou os objetivos e metas de curto, médio e longo prazo do serviço de esgotamento sanitário.	S	S	P	S	S	S	S	N	S	S
c) O plano apresentou os objetivos e metas de curto, médio e longo prazo do serviço de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos.	S	S	N	N	S	N	S	N	S	S
d) O plano apresentou os objetivos e metas de curto, médio e longo prazo do serviço de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas.	S	S	N	N	S	N	S	N	S	S
e) As metas e prazos para universalização foram definidos de forma a permitir seu acompanhamento e que favoreçam a divulgação de resultados, mesmo que parciais, por meio de avaliações periódicas e permanentes.	S	S	P	S	S	P	S	N	S	S
<b>3.2 Programas, projetos e ações para a universalização dos serviços</b>										
a) O plano estruturou os programas, projetos e ações, sendo um programa uma série de inter-relacionados e específicos projetos e tarefas adicionais (ações), que juntos atingem um número de objetivos de uma meta estratégica.	S	S	P	P	S	S	P	S	S	P
b) O plano identificou ou apontou solução para inclusão da população de baixa renda nas metas de universalização.	N	N	S	S	N	N	S	N	N	S
c) O plano apresentou investimentos necessários.	S	S	P	S	S	P	S	P	S	S
d) O plano identificou possíveis fontes de financiamento.	S	S	P	S	S	S	S	S	S	S
<b>3.3 Compatibilidade com demais planos</b>										
a) O plano observou a compatibilidade com os objetivos e metas do Plano de Bacia Hidrográfica, suas diretrizes e estratégias.	S	S	S	N	S	S	N	S	S	N
b) O plano observou a compatibilidade com os objetivos e metas de outros planos (Plano Plurianual, Plano Diretor etc.), suas diretrizes e estratégias.	S	S	P	S	S	S	S	P	S	S
<b>3.4 Abrangência territorial</b>										
a) O plano abrangeu o distrito sede – zona urbana.	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
b) O plano abrangeu o distrito sede – zona rural.	S	S	N	S	S	P	S	S	S	S
c) O plano abrangeu demais distritos ou localidades – zona urbana.	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
d) O plano abrangeu demais distritos ou localidades – zona rural.	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N

**Notas:** S - confere; N - não confere; P - confere parcialmente; X - não aplicável | 1 - Ascurra; 2 - Benedito Novo; 3 - Blumenau; 4 - Brusque; 5 - Doutor Pedrinho; 6 - Gaspar; 7 - Indaial; 8 - Pomerode; 9 - Rio dos Cedros; 10 - Timbó.

## MECANISMOS E PROCEDIMENTOS PARA AVALIAÇÃO SISTEMÁTICA DAS AÇÕES PROGRAMADAS

Os mecanismos e procedimentos para avaliação sistemática das ações programadas para os serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo de águas pluviais urbanas foram classificados em dois subitens, relacionados à presença de: aspectos da gestão municipal, da regulação e do controle social; e indicadores, com estabelecimento de suas metas e prazos, para avaliação da eficiência e eficácia dos serviços, conforme se pode observar no Quadro 4.

## AÇÕES PARA EMERGÊNCIAS E CONTINGÊNCIAS

Foi averiguado que, dos dez PMSBs estudados, sete estabeleceram ações para emergências e contingências integralmente, enquanto três, parcialmente, de acordo com o demonstrado no Quadro 5.

### DEMAIS DIRETRIZES

Este item foi partilhado em três subitens, relativos ao prazo de revisão do plano não superior a quatro anos e anteriormente ao Plano Plurianual; à participação da sociedade mediante consultas e audiências públicas e ampla divulgação de todo o processo; e à aprovação em lei municipal, contendo alguns itens primordiais sobre gestão, regulação e controle social, conforme certificado no Quadro 6.

**Quadro 4** – Mecanismos e procedimentos para avaliação sistemática das ações programadas.

Denominação	PMSBs									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>4.1 Gestão, regulação e controle social</b>										
a) O plano analisou a gestão municipal (existência, modelo, estrutura etc.).	S	S	N	P	S	N	P	P	S	P
b) O plano analisou a regulação (existência, modelo, estrutura etc.).	S	S	S	P	S	S	P	N	S	P
c) O plano analisou o controle social (existência, modelo, estrutura etc.).	S	S	P	S	S	P	P	P	S	S
<b>4.2 Eficiência e eficácia do plano</b>										
a) O plano apresentou indicadores para avaliação da eficiência e eficácia dos serviços.	S	S	P	S	S	P	S	P	S	S
b) O plano estabeleceu metas e prazos para os indicadores.	S	S	N	S	S	N	S	N	S	S

**Notas:** S - confere; N - não confere; P - confere parcialmente; X - não aplicável | 1 - Ascurra; 2 - Benedito Novo; 3 - Blumenau; 4 - Brusque; 5 - Doutor Pedrinho; 6 - Gaspar; 7 - Indaial; 8 - Pomerode; 9 - Rio dos Cedros; 10 - Timbó.

**Quadro 5** – Ações para emergências e contingências.

Denominação	PMSBs									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>5 Ações para emergências e contingências</b>										
a) O plano estabeleceu ações de emergências e contingências.	S	S	P	S	S	P	S	P	S	S

**Notas:** S - confere; N - não confere; P - confere parcialmente; X - não aplicável | 1 - Ascurra; 2 - Benedito Novo; 3 - Blumenau; 4 - Brusque; 5 - Doutor Pedrinho; 6 - Gaspar; 7 - Indaial; 8 - Pomerode; 9 - Rio dos Cedros; 10 - Timbó.



**Quadro 6 – Demais diretrizes.**

Denominação	PMSBs									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>6.1 Revisões</b>										
a) O plano estipulou revisões em prazo não superior a quatro anos e anteriormente ao Plano Plurianual.	S	S	S	S	S	S	P	P	S	S
<b>6.2 Participação</b>										
a) Houve ampla divulgação do plano e dos estudos que o fundamentaram, de forma integral, inclusive internet.	S	S	P	P	S	S	N	N	S	P
b) Houve realização de audiências ou consultas públicas, com recebimento de sugestões e críticas.	S	S	N	S	S	S	N	N	S	S
<b>6.3 Aprovação do plano</b>										
a) O plano foi aprovado por lei municipal.	S	S	N	N	N	N	S	N	S	N
b) Se foi aprovado por lei, houve instituição formal do conselho responsável pelo controle social.	N	N	X	X	X	X	S	X	N	X
c) Se foi aprovado por lei, houve designação da entidade reguladora responsável pelo acompanhamento do seu cumprimento.	N	N	X	X	X	X	N	X	N	X
d) Se foi aprovado por lei, houve identificação da estrutura administrativa da prefeitura, responsável pela sua administração.	N	N	X	X	X	X	S	X	N	X

**Notas:** S - confere; N - não confere; P - confere parcialmente; X - não aplicável | 1 - Ascurra; 2 - Benedito Novo; 3 - Blumenau; 4 - Brusque; 5 - Doutor Pedrinho; 6 - Gaspar; 7 - Indaial; 8 - Pomerode; 9 - Rio dos Cedros; 10 - Timbó.

## ANÁLISE GERAL DOS PLANOS

Após estudo pormenorizado dos dez PMSBs (Ascurra, Benedito Novo, Blumenau, Brusque, Doutor Pedrinho, Gaspar, Indaial, Pomerode, Rio dos Cedros e Timbó), verificou-se que nenhum deles atendeu completamente ao conteúdo mínimo disposto no art. 19 da Lei nº 11.445/2007.

Outra forma de visualizar os dados apresentados nos Quadros 2 a 6 é por meio do cálculo dos percentuais de atendimento dos itens analisados, no qual se considerou isoladamente cada um, com

base no seu atendimento total, parcial ou não atendimento/aplicação, de acordo com o verificado na Tabela 1.

Para melhor observação dos dados da Tabela 1, foi elaborado gráfico de radar desses percentuais de atendimento do conteúdo mínimo nos planos analisados, para cada município, conforme apresentado na Figura 1. Observa-se visualmente que, por exemplo, para o caso de Ascurra, dos 15 itens analisados, dez tiveram atendimento integral, com o menor nível de atendimento relacionado à aprovação do PMSB por lei (item 5.3).

**Tabela 1** – Percentual de atendimento dos itens analisados.

Denominação	PMSBs										Média
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<b>1 Diagnóstico da situação e de seus impactos na condição de vida</b>											
1.1 Aspectos de saúde e epidemiologia	100	100	0	67	100	100	0	67	100	100	<b>73,40</b>
1.2 Aspectos ambientais e de recursos hídricos	100	100	100	100	100	100	0	100	100	100	<b>90,00</b>
1.3 Aspectos socioeconômicos	88	88	50	50	88	50	0	50	88	50	<b>60,20</b>
1.4 Abrangência territorial atual	50	63	25	63	75	75	50	75	75	50	<b>60,10</b>
1.5 Aspectos do saneamento básico	100	100	100	50	100	100	100	100	100	100	<b>95,00</b>
<b>2 Objetivos e metas</b>											
2.1 Objetivos e metas de curto, médio e longo prazo para universalização	100	100	20	60	100	30	100	0	100	100	<b>71,00</b>
2.2 Programas, projetos e ações para a universalização dos serviços	75	75	63	88	75	63	88	63	75	88	<b>75,30</b>
2.3 Compatibilidade com demais planos	100	100	75	50	100	100	50	75	100	50	<b>80,00</b>
2.4 Abrangência territorial	50	50	25	50	50	38	50	50	50	50	<b>46,30</b>
<b>3 Mecanismos e procedimentos para avaliação sistemática das ações programadas</b>											
3.1 Gestão, regulação e controle social	100	100	50	67	100	50	50	33	100	67	<b>71,70</b>
3.2 Eficiência e eficácia do plano	100	100	25	100	100	25	100	25	100	100	<b>75,50</b>
<b>4 Ações para emergências e contingências</b>											
4.1 Ações para emergências e contingências	100	100	50	100	100	50	100	50	100	100	<b>85,00</b>
<b>5 Demais diretrizes</b>											
5.1 Revisões	100	100	100	100	100	100	50	50	100	100	<b>90,00</b>
5.2 Participação	100	100	25	75	100	100	0	0	100	75	<b>67,50</b>
5.3 Aprovação do plano	25	25	0	0	0	0	75	0	25	0	<b>15,00</b>

**Notas:** 1 - Ascurra; 2 - Benedito Novo; 3 - Blumenau; 4 - Brusque; 5 - Doutor Pedrinho; 6 - Gaspar; 7 - Indaial; 8 - Pomerode; 9 - Rio dos Cedros; 10 - Timbó.

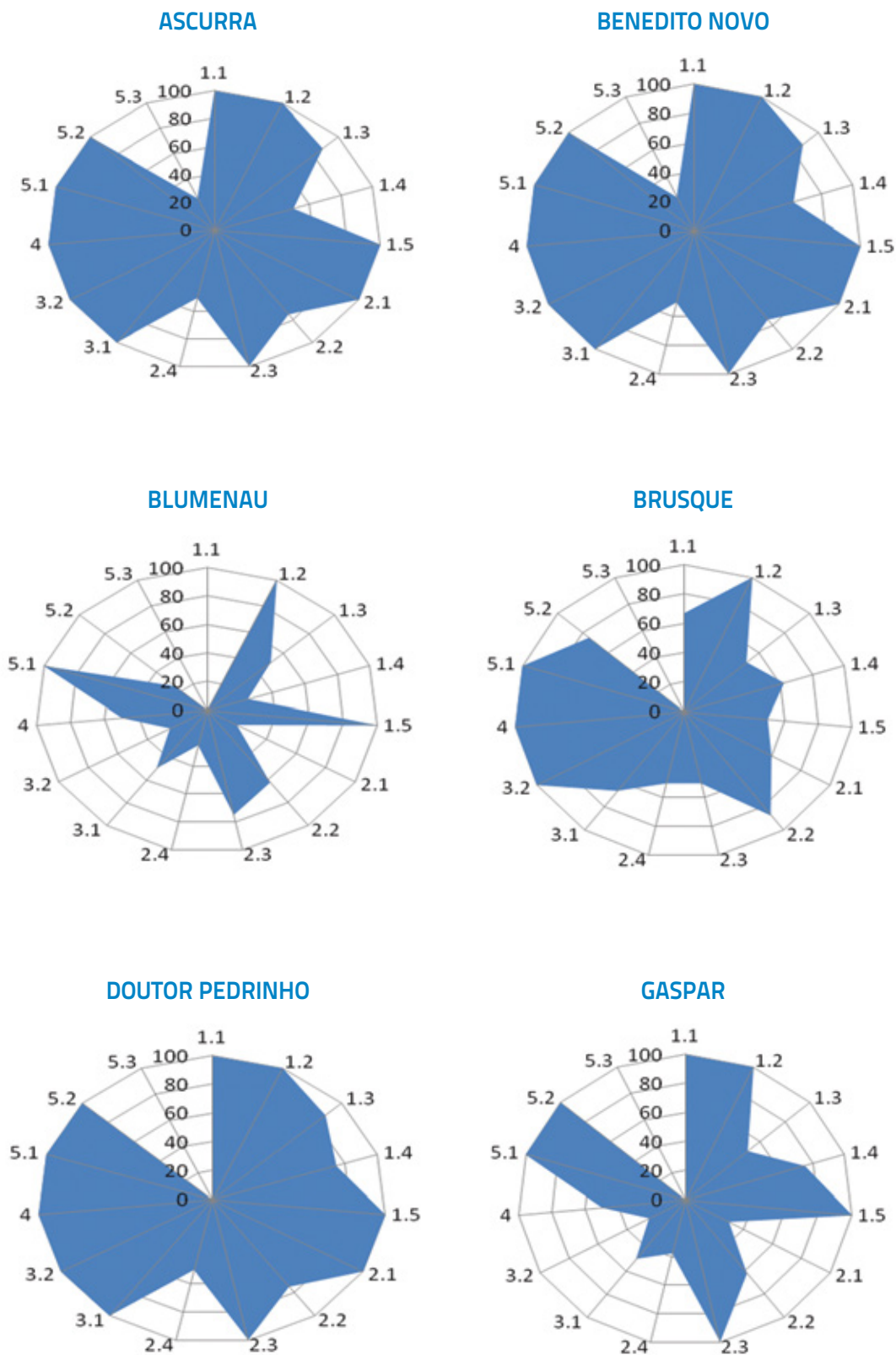
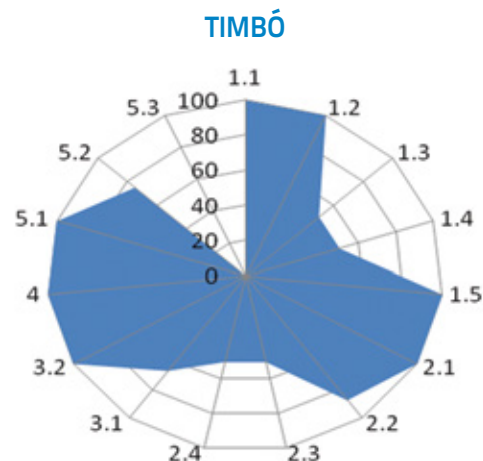
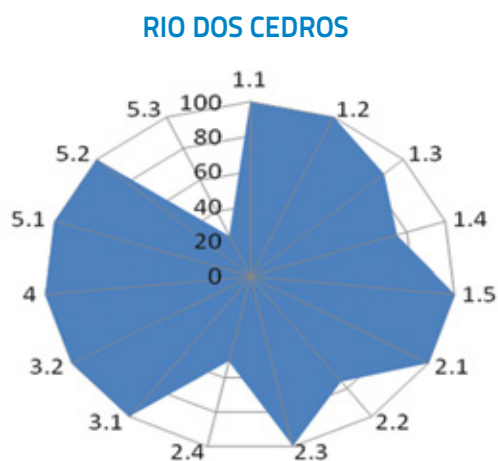
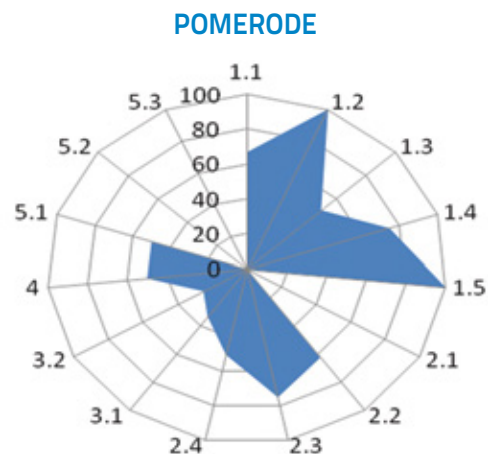
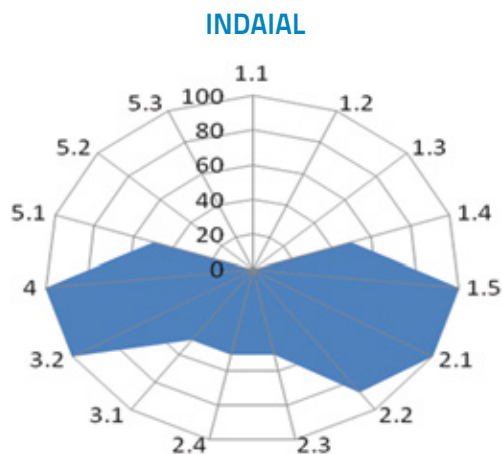


Figura 1 – Radar dos percentuais de atendimento do conteúdo mínimo nos planos analisados, por município.

**Notas:**

- 1.1 Aspectos de saúde e epidemiologia
- 1.2 Aspectos ambientais e de recursos hídricos
- 1.3 Aspectos socioeconômicos
- 1.4 Abrangência territorial atual
- 1.5 Aspectos do saneamento básico
- 2.1 Objetivos e metas de curto, médio e longo prazo para universalização
- 2.2 Programas, projetos e ações para a universalização dos serviços
- 2.3 Compatibilidade com demais planos
- 2.4 Abrangência territorial
- 3.1 Gestão, regulação e controle social
- 3.2 Eficiência e eficácia do plano
- 4 Ações para emergências e contingências
- 5.1 Revisões
- 5.2 Participação
- 5.3 Aprovação do plano

Considerando o exposto nos Quadros 2 a 6, na Tabela 1 e na Figura 1, são apresentados a seguir os principais aspectos observados quando da análise conjunta dos planos:

- No diagnóstico da situação e de seus impactos na condição de vida (itens 1.1 a 1.5), as áreas de meio ambiente, recursos hídricos e saneamento básico foram as mais abordadas nos PMSBs, faltando a informação desses aspectos apenas nos planos de Indaial e Brusque. As informações obtidas no diagnóstico são relevantes, pois devem ser traduzidas na forma de indicadores, para que se possam estabelecer metas condizentes com as reais necessidades da população e a disponibilidade de recursos financeiros para seu cumprimento, em termos de programas, projetos e ações (GALVÃO JUNIOR, 2014).



- No tocante aos objetivos e metas, os programas, projetos e ações para a universalização dos serviços e a abrangência territorial pretendida (itens 2.1 a 2.4) foram os itens menos apresentados, havendo o estabelecimento parcial ou sua não realização em cada um dos dez municípios. Ao pesquisar oito PMSBs, Pereira e Heller (2013) observaram que em nenhum deles foram verificados objetivos e metas para todos os quatro componentes do plano, bem como não foram apresentados indicadores para curto, médio e longo prazo, também para cada um dos componentes.
- Já nos mecanismos e procedimentos para avaliação sistemática das ações programadas (itens 3.1 e 3.2), somente em quatro municípios (Ascurra, Benedito Novo, Doutor Pedrinho e Rio dos Cedros) houve a apreciação completa dos subitens concernentes aos aspectos da gestão municipal, regulação, controle social e indicadores para avaliação da eficiência e eficácia dos serviços.
- As ações para emergências e contingências (item 4) estão presentes no PMSB de sete municípios (Ascurra, Benedito Novo, Doutor Pedrinho, Rio dos Cedros, Brusque, Indaial e Timbó).
- No item “demais diretrizes” (itens 5.1 a 5.3), foram mencionados os procedimentos que devem ser observados quando da elaboração dos PMSBs e não os aspectos relativos diretamente ao conteúdo mínimo. A aprovação dos planos foi a menos cumprida, pois 60% deles foram aprovados mediante decreto, em vez de lei. De acordo com Galvão Junior (2013), a aprovação do PMSB por lei poderia minimizar riscos para o operador, em caso de delegação dos serviços, haja vista que as metas do contrato devem estar associadas às metas do plano. Por outro lado, dificultaria eventual atualização do PMSB por

parte do município, em função de alteração da conjuntura política.

- Ressalta-se que, ao considerar cada um dos subitens verificados nos dez PMSBs, se pôde averiguar que, naqueles que apresentaram parcialmente, não estabeleceram ou, ainda, nos quais não foi possível realizar a análise, o item em que mais ocorreu essas situações foi o “demais diretrizes”, seguido por “mecanismos e procedimentos para avaliação sistemática das ações programadas”, “objetivos e metas”, “ações para emergências e contingências” e, por último, “diagnóstico da situação e de seus impactos na condição de vida”.
- Por fim, com base nos radares de atendimento do conteúdo mínimo apresentado nos planos, verificou-se que o PMSB mais homogêneo foi o de Rio dos Cedros, seguido, respectivamente, pelos de Benedito Novo, Ascurra, Doutor Pedrinho, Timbó, Brusque, Gaspar, Indaial, Pomerode e, por último, Blumenau, o que significa que o PMSB de Rio dos Cedros atendeu mais ao conteúdo mínimo do que os demais.

Com essa avaliação, o não atendimento completo do conteúdo mínimo estipulado no art. 19 da Lei nº 11.445/2007 pode ser decorrente do início da cultura de transparência das ações dos entes públicos (demais diretrizes), bem como do planejamento (objetivos e metas e ações para emergências e contingências) e do controle efetivo e eficaz (mecanismos e procedimentos para avaliação sistemática das ações programadas), além da falta de estrutura de gestão setorial nos municípios (diagnóstico da situação e de seus impactos na condição de vida). No tocante à gestão setorial, Lisboa et al. (2013) já havia identificado em análise sobre os PMSBs grande dificuldade quanto à disponibilidade de profissionais nos municípios e à sua qualificação técnica.

Sendo assim, os municípios devem aperfeiçoar esses aspectos quando da revisão dos referidos planos. Cabe ressaltar que, consoante o § 4º da Lei nº 11.445/2007, os PMSBs devem ser revistos periodicamente, em prazo não superior a quatro anos e anterior à concepção do Plano Plurianual. Dessa forma, os itens que não foram confeccionados integral ou parcialmente podem ser executados na revisão desses planos.

Posto isso, após o estudo dos dez PMSBs da bacia do Vale do Itajaí, as contribuições para a revisão desses planos são elencadas nos subitens seguintes.

- 1) Diagnóstico da situação e de seus impactos na condição de vida:
  - a. Aspectos de saúde e epidemiologia: identificar as deficiências, relacionando-as com as informações e os indicadores encontrados; e associar os indicadores e informações das doenças de veiculação hídrica, mortalidades e morbidades com os indicadores dos serviços de saneamento básico.
  - b. Aspectos ambientais e de recursos hídricos: relacionar outros indicadores ambientais e/ou de recursos hídricos, para verificar as causas das suas deficiências e analisá-los em conjunto com os indicadores e informações dos quatro componentes de serviços de saneamento básico.
  - c. Aspectos socioeconômicos: apresentar a evolução populacional, acompanhada da projeção da demanda dos quatro componentes do saneamento básico; exibir os indicadores socioeconômicos em série histórica, acrescidos de informações que os interpretem; e embasar, tanto em informações quanto nos indicadores evidenciados, os apontamentos das possíveis causas das deficiências relacionadas aos aspectos socioeconômicos.
- 2) Objetivos e metas:
  - a. Objetivos e metas de curto, médio e longo prazo para universalização: estabelecer os objetivos propostos para a universalização dos quatro componentes de serviços de saneamento básico, quantificando-os e estipulando prazos de curto, médio e longo prazo (metas).
  - b. Programas, projetos e ações para a universalização dos serviços: detalhar os programas, separando-os posteriormente em projetos de curto, médio e longo prazo, de modo a apresentar suas justificativas e sua execução mediante ações; descrever objetivamente e com clareza a inclusão nas metas de universalização da população de baixa renda; e estipular os valores dos investimentos com base nos valores de mercado, além de detalhá-los por projetos e ações.
  - c. Compatibilidade com demais planos: especificar claramente a compatibilidade dos Planos da Bacia Hidrográfica do Vale do Itajaí, Diretores, Plurianuais, entre outros.
  - d. Abrangência territorial: distribuir os quatro componentes de serviços de saneamento básico em distritos e localidades nas zonas urbanas e rurais, para que as metas, programas e projetos possam ser acompanhados, principalmente pela agência reguladora.
  - e. Aspectos do saneamento básico: pormenorizar as características e as situações dos quatro componentes de serviços de saneamento básico, a fim de conhecer os serviços disponibilizados atualmente, para que o planejamento dos seus prognósticos (metas, programas, projetos e ações) seja realizado eficazmente.

- 3) Mecanismos e procedimentos para avaliação sistemática das ações programadas:
  - a. Gestão, regulação e controle social: estabelecer as diretrizes e os objetivos a serem realizados quanto aos aspectos de gestão, regulação e controle social.
  - b. Eficiência e eficácia do plano: relatar os indicadores para avaliação da eficiência e eficácia dos quatro componentes de serviços de saneamento básico, abrangendo as metas e prazos desses indicadores, além da descrição de suas fórmulas e avaliações.
- 4) Ações para emergências e contingências: detalhar as ações para emergências e contingências dos quatro componentes de serviços de saneamento básico, informando também as principais origens e ocorrências dos eventos emergenciais e contingenciais, assim como os órgãos ou entidades envolvidos (Corpo de Bombeiros, Serviço de Atendimento Móvel de Urgência – SAMU etc.).
- 5) Demais diretrizes:
  - a. Revisão: realizar a revisão dos planos em prazo não superior a quatro anos e anteriormente à elaboração do Plano Plurianual, devendo analisar anualmente o que foi proposto e o que está sendo realizado efetivamente.
  - b. Participação social: informar os meios (rádio, jornal, internet etc.) que foram utilizados na divulgação do plano e dos estudos que o fundamentaram; e descrever todas as informações referentes às audiências e consultas públicas realizadas quando da elaboração e revisão dos planos, englobando período, local, presentes, assuntos tratados, resultados, entre outros.
  - c. Aprovação do plano: instituir o conselho responsável pelo controle social; designar a entidade reguladora incumbida de acompanhar e fiscalizar o cumprimento do plano; e identificar a estrutura administrativa da prefeitura encarregada pela sua gestão.

## CONCLUSÕES

A verificação do atendimento do conteúdo mínimo constante no art. 19 da Lei nº 11.445/2007 no PMSB dos municípios situados na bacia hidrográfica do Vale do Itajaí e regulados pela AGIR (Ascunha, Benedito Novo, Blumenau, Brusque, Doutor Pedrinho, Gaspar, Indaial, Pomerode, Rio dos Cedros e Timbó) demonstrou que nenhum deles apresentou completamente o conteúdo mínimo presente no referido artigo.

Como os PMSBs deverão ser revistos em prazo não superior a quatro anos e anteriormente ao Plano Plurianual, foram confeccionadas recomendações para essas revisões em cada um dos itens elencados no conteúdo mínimo definido na lei supracitada. Com efeito, os planos devem ser utilizados como instrumento de planejamento da prestação dos serviços públicos de saneamento básico, contendo todas as diretrizes mencionadas na referida lei. Além disso, devem ser retroalimentados por meio de ajustes ou medidas corretivas, quando de suas revisões, a fim de que se corrija e/ou se aprimore o planejamento inicial realizado, e ainda de confeccionar subsídios e elementos possíveis de ser identificados e controlados para a averiguação futura da efetividade das diretrizes e objetivos propostos e da melhoria da prestação dos serviços públicos de saneamento básico.

Para recomendação de trabalhos futuros, propõe-se que sejam examinados os PMSBs situados em outras bacias hidrográficas do estado de Santa Catarina, de modo também a verificar a presença do conteúdo mínimo estabelecido na Lei nº 11.445/2007 e, quando possível, a relação geral desse conteúdo em todos os planos gerados e os procedimentos de revisão executados até o momento.

Salienta-se que o acompanhamento do cumprimento dos itens estabelecidos nos planos analisados deve ser realizado pela AGIR, haja vista que, consoante o parágrafo único do art. 20 da

Lei nº 11.445/2007, é de sua incumbência essa verificação. Outro órgão que pode também averiguar essa efetividade é o Ministério Público de Santa Catarina, pois na elaboração do seu Plano Geral de Atuação de 2013 foi definida como prioridade estadual a realização do programa de saneamento básico, que tem como objetivo aumentar o índice de esgotamento sanitário e a eficiência dos sistemas de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, resultando no aumento do número de municípios com Planos de Saneamento e do percentual da população beneficiada com sistema de esgotamento sanitário.

## REFERÊNCIAS

- ALOCHIO, L. H. A. Direito do Saneamento: introdução à lei de diretrizes nacionais de saneamento básico (Lei Federal nº 11.445/2007). 2 ed. São Paulo: Millennium, 2010.
- BASÍLIO SOBRINHO, G. **Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB)**: instrumento para universalização do abastecimento de água e do esgotamento sanitário. 2011. 113 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- BRASIL. **Lei Ordinária n.º 11.445**, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis ns. 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei n. 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Brasília, 2007. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm). Acesso em: 26 de março de 2013.
- Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Programa de Modernização do Setor Saneamento (PMSS). **Instrumentos das políticas e da gestão dos serviços públicos de saneamento básico**. Brasília: Editora, 2009. 239 p. (Lei Nacional de Saneamento Básico: perspectivas para as políticas e a gestão dos serviços públicos. v. 1)
- GALVÃO JUNIOR, A. C. **Planos Municipais de Saneamento Básico**. São Paulo: Revista DAE, n. 193, p. 6-15, set-dez. 2013.
- ITB – Instituto Trata Brasil. **Diagnóstico da situação dos planos municipais de saneamento básico e da regulação dos serviços nas 100 maiores cidades brasileiras**. São Paulo, 2014. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/datafiles/estudos/diagnostico/estudo-completo.pdf>. Acesso em: 1 de junho de 2014.
- LISBOA, S. S.; HELLER, L.; SILVEIRA, R. B. **Desafios do planejamento municipal de saneamento básico em municípios de pequeno porte**: a percepção dos gestores. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 18, n. 14, p. 341-348, out-dez. 2013.
- PEREIRA, T. S. T. **Conteúdo e Metodologia dos Planos Municipais de Saneamento Básico**: um olhar para 18 casos no Brasil. 2012. 192 p. Monografia de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão e Tecnologia do Saneamento) – Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Brasília.
- PEREIRA, T. S. T.; HELLER, L. **Avaliação de Planos de Saneamento Básico**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, 2013, Goiânia. **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2013.
- SOUZA, R. P. **Planejamento dos Serviços de Saneamento Básico na Lei Federal nº 11.445, de 5 de Janeiro de 2007**. In: MOTA, C. et al; MOTA, C. (Org.). Saneamento Básico no Brasil: Aspectos Jurídicos da Lei Federal nº 11.445/2007. São Paulo: Quartier Latin, 2010. p. 23-52.



# Dimensionamento de leitos de secagem de lodo de estações de tratamento de água com emprego de modelos probabilísticos

## *Design of sludge drying beds of water treatment plants using probabilistic modeling*

- **Data de entrada:**  
05/07/2015
- **Data de aprovação:**  
29/12/2015

DOI 10.4322/dae.2016.004

Vivian Ane Lopes Cabral | Demétrius Brito Viana | Rafael Kopschitz Xavier Bastos

### Resumo

Apresenta-se neste trabalho um exercício de dimensionamento de leito de secagem de lodo de decantador de estação de tratamento de água (ETA) com emprego de modelagem probabilística. Nesta abordagem são consideradas incertezas associadas às variáveis de entrada do modelo de dimensionamento: vazão, turbidez da água bruta, dose de sulfato de alumínio e concentração de sólidos no lodo armazenado no decantador (dados primários de controle operacional da ETA da Universidade Federal de Viçosa – UFV); densidade de sólidos no lodo, altura da camada de lodo no leito e concentração de sólidos na torta (dados de literatura). Foram testados três cenários: três, seis e doze meses de armazenamento do lodo no decantador. As estimativas de volume de lodo acumulado no decantador e, por conseguinte, as de demanda de área para o leito de secagem, não foram elevadas e não foram observadas grandes diferenças entre os três cenários considerados. Em decorrência da modelagem probabilística os resultados de demanda de área são expressos em termos de distribuição de probabilidades e discutidos em termos de escolhas envolvendo margem de segurança e custos associados a eventuais sub ou superdimensionamento.

**Palavras-chave:** leito de secagem, lodo de ETA, modelagem probabilística.

### Abstract

*This paper presents a designing exercise of a water treatment plant (WTP) sludge drying bed using probabilistic modeling. Such an approach takes into account uncertainties associated with the input variables of the design models: flow rate, raw water turbidity, aluminum sulfate dose and the sludge solids concentration (primary data from the operational control of the University of Viçosa WTP); sludge solids density; sludge depth in the drying bed, and the dried sludge solids concentration (literature data). Three scenarios were assessed: three, six and twelve months of sludge storing in the settling tank. The estimates of the sludge volumes accumulated in the settling tank, thus of the required drying bed area, were not high and no large differences between the three scenarios were noticed. With probabilistic modeling, the results of land area requirements are expressed in terms of probability distribution and were discussed based on choices involving safety margins and costs associated with possible under- or overdesigning.*

**Keywords:** Sludge drying beds. WTP sludge. Probabilistic modeling.

**Vivian Ane Lopes Cabral** - Engenheira ambiental. Doutoranda em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa.\*

**Demétrius Brito Viana** - Engenheiro ambiental. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa. Engenheiro da Fundação Nacional de Saúde.

**Rafael Kopschitz Xavier Bastos** - Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Juiz de Fora. PhD em Engenharia Sanitária pela University of Leeds. Professor do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa.

\* **Endereço para correspondência:** Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Civil. Viçosa-MG. CEP 36570-000. Telefone: (31) 3899 2356. Fax: (31) 3899-1481. E-mail: ane.cabral@yahoo.com.br.

## INTRODUÇÃO

O tratamento do lodo de Estações de Tratamento de Água (ETAs) visa, basicamente, à remoção de água, de forma a viabilizar o transporte e a disposição final do resíduo. Para tanto, podem ser utilizados sistemas naturais, como lagoas de lodo e leitos de secagem, ou processos mecanizados, como centrífugas e filtros-prensa. Os processos naturais possuem grande potencial de aplicação onde haja condições climáticas favoráveis e disponibilidade de área. Comparativamente às lagoas de lodo, os leitos de secagem apresentam como vantagens a obtenção, em menor tempo, de torta de lodo desidratado com maior concentração de sólidos, além de operação e manutenção mais fáceis (REALI, 1999).

O dimensionamento de leitos de secagem de lodo de ETA não é normatizado. Usualmente, são adotadas abordagens tão simples quanto a estimativa da área necessária com base no volume e na altura do lodo a ser mantido no leito de secagem (ou da taxa de aplicação de sólidos por unidade de área, em kg.m<sup>2</sup>) (RICHTER, 2001). Entretanto, para isso, é preciso que se disponha de dados de produção de massa de sólidos por volume de água tratada. Idealmente, tal informação deve advir de medições de campo e do cômputo de balanço de massa ao longo da ETA. Na ausência dessas informações, pode-se recorrer a modelos preditivos empíricos que relacionem a produção de sólidos com as características da água e do tratamento empregado.

No entanto, nessa abordagem, como em qualquer modelo preditivo, incertezas em torno das variáveis de entrada são propagadas pelo modelo e se fazem

refletir na variável resposta, podendo, por fim, comprometer a confiabilidade do projeto. Nos chamados modelos determinísticos, as variáveis de entrada são assumidas em valores únicos e, por conseguinte, a resposta é também expressa por meio de um único valor, sujeito a sub ou superestimativas. Assim, é preciso critério na definição dos valores das variáveis de entrada, como, por exemplo, valores típicos ou médios. Alternativamente, a modelagem probabilística (estocástica) permite considerar incertezas (incerteza propriamente dita e variabilidade)<sup>1</sup> associadas ou inerentes a cada variável de entrada. Nessa abordagem, as variáveis de entrada são descritas em intervalos de valores e de acordo com determinada distribuição de probabilidades, a propagação das incertezas pelo modelo é realizada por meio de técnicas de amostragem aleatória e, por conseguinte, os resultados também são expressos em termos de distribuição de probabilidades (MORGAN; HENRION, 2003). Isso proporciona flexibilidade na tomada de decisão, ou seja, permite cotejar aspectos técnicos e econômicos para a solução final.

Com tal abordagem, apresenta-se neste trabalho um exercício de dimensionamento de leitos de secagem para desaguamento do lodo do decantador da Estação de Tratamento de Água da Universidade Federal de Viçosa (ETA UFV).

<sup>1</sup> A incerteza verdadeira decorre do desconhecimento do comportamento de determinada variável, processo ou fenômeno que se quer modelar e, por conseguinte, pode ser reduzida por meio de investigação, como, por exemplo, monitoramento. A variabilidade expressa um comportamento intrínseco a uma variável, processo ou fenômeno, atribuível à heterogeneidade ou diversidade natural; assim, não pode ser reduzida por meio de investigação, apenas mais bem conhecida e descrita (MORGAN; HENRION, 2007).

## METODOLOGIA

Para a estimativa da produção de sólidos, foi utilizado o modelo empírico para ETAs que empregam sulfato de alumínio como coagulante, expresso na Equação 1 (KAWAMURA, 1991 apud REALI, 1999). A estimativa se faz em termos de massa de sólidos sedimentados por m<sup>3</sup> de água tratada num determinado período de acúmulo de lodo no decantador em função da turbidez da água bruta e da dose de coagulante aplicada. Considerou-se neste trabalho que toda a massa de sólidos gerados na ETA UFV seria acumulada na etapa de decantação.

$$\text{Equação 1: } M_s = \frac{(k_1 D + k_2 T) \times Q \times t}{1000}$$

Em que:

- $M_s$  = produção de sólidos (kg de sólidos por m<sup>3</sup> de água tratada);
- $D$  = dose de sulfato de alumínio (mg L<sup>-1</sup>);
- $T$  = turbidez da água bruta (uT);
- $Q$  = vazão de água tratada (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>);
- $t$  = período de acúmulo de lodo (s);
- $K_1$  = relação estequiométrica entre a dose de coagulante e a formação do precipitado de hidróxido (adimensional);
- $K_2$  = relação entre sólidos suspensos totais e turbidez (adimensional).

A partir da estimativa da massa de sólidos armazenada no decantador, é possível estimar a massa de lodo correspondente em função da concentração de sólidos esperada no lodo, bem como o volume de lodo, considerando uma dada densidade (Equações 2 e 3). Para a estimativa

da densidade do lodo, utilizou-se a equação apresentada por Richter (2001), em função da concentração de sólidos esperada no lodo, da densidade dos sólidos esperada e da densidade da água (Equação 4). O cálculo da área da unidade de desaguamento de lodo, neste caso, um leito de secagem convencional, é baseado no volume de lodo a desaguar e na altura da camada de lodo no leito (Equação 5).

$$\text{Equação 2: } M_L = M_s / C$$

$$\text{Equação 3: } V_L = M_L / \bar{\delta}_L$$

$$\text{Equação 4: } \bar{\delta}_L = [1/(C/\bar{\delta}_s)] + [(1-C)/\bar{\delta}]$$

$$\text{Equação 5: } A = V_L / h$$

Em que:

- $M_L$  = estimativa da massa de lodo gerada;
- $M_s$  = massa de sólidos estimada;
- $C$  = concentração de sólidos esperada no lodo;
- $V_L$  = volume de lodo;
- $\bar{\delta}_s$  = densidade dos sólidos esperada no lodo;
- $\bar{\delta}$  = densidade da água, considerada igual a 1.000 kg/m<sup>3</sup>;
- $\bar{\delta}_L$  = densidade do lodo;
- $A$  = área do leito de secagem;
- $h$  = altura de lodo no leito de secagem.

Para o ajuste de funções densidade de probabilidades às variáveis “turbidez da água bruta”, “dose de coagulante” e “vazão da ETA”, foi utilizado o banco de dados de quatro anos de monitoramento horário da ETA UFV. Para testar a aderência das séries de dados a funções densidade de probabilidades, foram utilizados os testes Qui-quadrado ( $\chi^2$ ), Kolmogorov-Smirnov (KS), Anderson

Darling (AD), além do gráfico de probabilidades. Para as variáveis sobre as quais não se dispunha de séries de dados, foram adotadas faixas de valores (com base em informações da literatura, em dados pontuais de concentração de sólidos e de densidade dos sólidos do lodo da ETA UFV  $\pm 25\%$  e em valores típicos de vazão de água tratada na estação) e distribuições uniformes ou triangulares. A distribuição uniforme se apresenta como opção apropriada quando se é capaz de identificar intervalos de valores possíveis de ser assumidos pela variável em questão, mas não a probabilidade de ocorrência de valores intermediários entre o mínimo e o máximo. A distribuição triangular pode ser entendida como uma representação conservadora da distribuição normal, portanto, cujos valores intermediários têm maior probabilidade de ocorrência que os extremos, mas envolvendo elevado grau de incerteza. Como indicado por Morgan e Henrion (2003), a opção por essas duas distribuições, apesar de simples e um tanto arbitrarias, pode ser conveniente quando o comportamento de uma variável não é bem conhecido e contribui para evitar interpretações demasiada e injustificadamente detalhadas dos resultados de um modelo.

Os modelos expressos nas Equações 1 a 5 foram simulados por meio de 10.000 iterações, com emprego da técnica de amostragem aleatória (das variáveis de entrada dos modelos) de hipercubos latinos. Todos esses testes e simulações foram feitos com o programa @Risk versão 5.5 (Palisade Corporation). Os resultados obtidos das simulações no @Risk foram expressos por meio de histogramas de frequência, considerando três períodos de acúmulo de lodo no decantador: três, seis e 12 meses. O volume de lodo acumulado no decantador em cada período e, assim, o volume a ser desaguado no leito de secagem foram

comparados, a fim de subsidiar a decisão sobre intervalos entre limpezas do decantador.

Adicionalmente, por meio de análise de sensibilidade, procurou-se identificar as variáveis de entrada cujas variações mais nitidamente influenciaram a variação da resposta “área para desaguamento em leitos de secagem”. Para isso, utilizou-se o coeficiente de correlação de Spearman, ou posto-ordem  $r_s$  de Spearman, que é uma medida não paramétrica e, portanto, independente do tipo de distribuição das variáveis. Nesse teste, os coeficientes determinam a probabilidade associada com a ocorrência de correlação entre uma dada variável de entrada e a de saída, utilizando *rankings* de valores e não os valores em si (como no caso do coeficiente de correlação linear) – variam entre -1 e 1, sendo que, quanto mais próximo de zero, menor a correlação entre as variáveis e, quanto mais distante de zero (próximo a -1 ou 1), maior a correlação. Enfim, quanto mais alta a correlação entre uma variável de entrada e a de saída, mais importante a variável de entrada na determinação do valor de saída (SPIEGEL, 1993).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As faixas de valores e as funções densidade de probabilidades adotadas para cada variável utilizada no dimensionamento do leito de secagem, além dos parâmetros que definem essas funções, estão apresentadas na Tabela 1. A Tabela 2 apresenta os resultados da previsão da massa de sólidos e de lodo acumulada no decantador para os três períodos analisados, em termos da mediana e do percentil 95 das distribuições de frequência resultantes. Na Figura 1, apresentam-se os histogramas de distribuição de probabilidades das estimativas de massa de sólidos e de lodo para os períodos avaliados.



**Tabela 1** – Variáveis de entrada utilizadas no dimensionamento do leito de secagem da ETA UFV e respectivas distribuições de probabilidades.

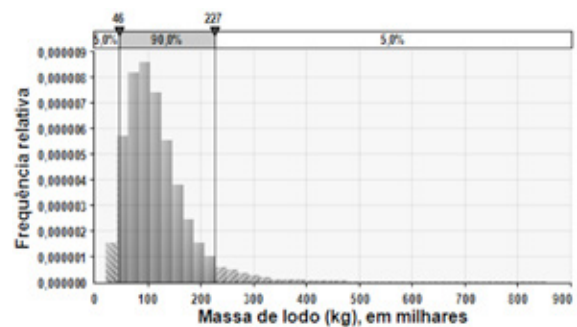
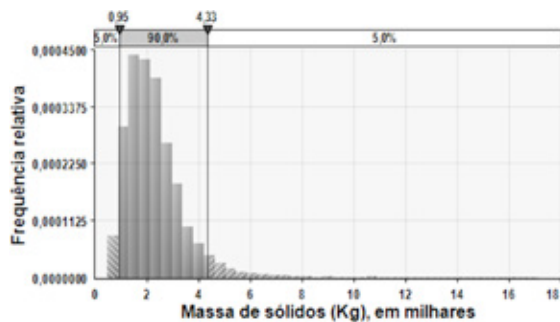
Variável de entrada	Distribuição	Fonte	Média ± desvio padrão <sup>5</sup> ou valor mais provável <sup>6</sup>	Mín.	Máx.
Turbidez da água bruta (uT)	Log normal	ETA UFV <sup>1</sup>	19,07 ± 22,22	-	-
Dose de coagulante (mg L <sup>-1</sup> )	Log logística	ETA UFV <sup>1</sup>	3,95 ± 9,28	-	-
Vazão (L s <sup>-1</sup> )	Triangular	ETA UFV <sup>1</sup>	50 <sup>5</sup>	40	70
K <sub>1</sub>	Uniforme	Literatura <sup>2</sup>	-	0,23	0,26
K <sub>2</sub>	Uniforme	Literatura <sup>2</sup>	-	1,0	2,0
Concentração de sólidos no lodo – 3 meses (%)	Uniforme	ETA UFV <sup>3</sup>	-	1,5	2,5
Concentração de sólidos no lodo – 6 meses (%)	Uniforme	ETA UFV <sup>3</sup>	-	2,9	4,8
Concentração de sólidos no lodo – 12 meses (%)	Uniforme	ETA UFV <sup>3</sup>	-	4,5	7,5
Densidade dos sólidos (kg m <sup>-3</sup> )	Uniforme	ETA UFV <sup>3</sup> Literatura <sup>4</sup>	-	1.700	2.300
Altura da camada de lodo no leito (m)	Uniforme	Literatura <sup>2</sup>	-	0,2	0,6
Concentração de sólidos na torta (%)	Uniforme	Literatura <sup>2</sup>	-	20	25

**Notas:** <sup>1</sup> Dados horários, janeiro de 2005 a fevereiro de 2011. <sup>2</sup> Reali (1999). <sup>3</sup> Dados pontuais ± 25% (margem de segurança). <sup>4</sup> Richter (2001). <sup>5</sup> Parâmetros que definem as distribuições. <sup>6</sup> Valor com maior incidência no banco de dados.

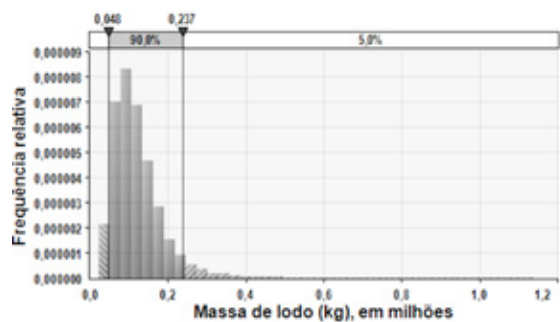
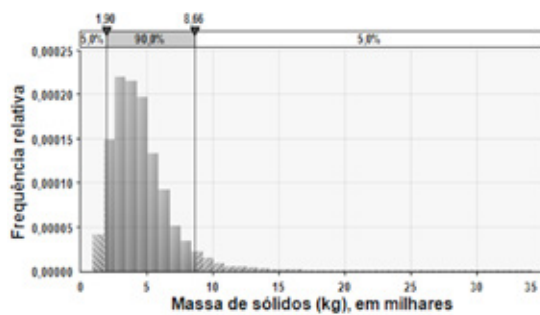
**Tabela 2** – Estimativas da massa (kg) de sólidos e de lodo armazenados no decantador da ETA UFV ao longo de três, seis e 12 meses – medianas e do percentil 95.

Período de acúmulo no decantador	Variável estimada	Mediana	95%
3 meses	Massa de sólidos	2.058,4	4.330,5
	Massa de lodo	103.945,7	228.123,2
6 meses	Massa de sólidos	4.579	8.661
	Massa de lodo	107.522,2	233.381,7
12 meses	Massa de sólidos	8.348	17.562,6
	Massa de lodo	140.326,8	309.403,6

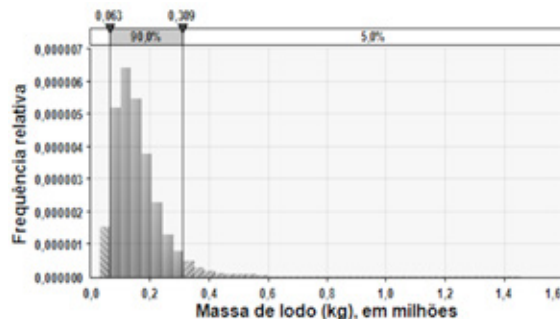
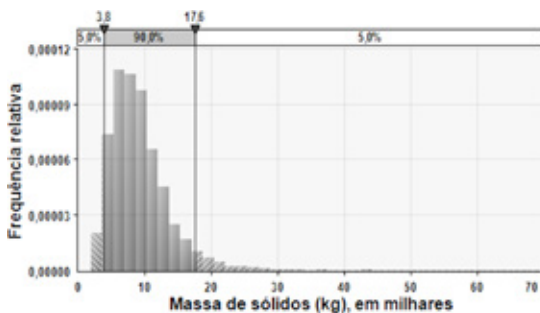
**Figura 1** – Histogramas de distribuição de probabilidade das estimativas de massa de sólidos e de lodo armazenados no decantador da ETA UFV ao longo de: (a) três, (b) seis e (c) 12 meses.



(a)



(b)



(c)

Comparadas com valores obtidos em outros estudos (SARON; LEITE, 2003; SOUZA; CORDEIRO, 2005), as estimativas efetuadas indicam geração de sólidos relativamente baixa na ETA UFV. Isso se deve, certamente, à turbidez predominantemente baixa da água bruta (mediana de 9,3 uT), pois a estimativa de sólidos se baseia na turbidez da

água bruta e na dose de coagulante empregada, estando essas duas variáveis relacionadas positivamente (quando a turbidez da água bruta aumenta, em geral, dosa-se mais coagulante para o tratamento da água). A ETA UFV é de pequeno porte (vazão em torno de 50 L.s<sup>-1</sup>), o que também ajuda a explicar as baixas estimativas de massa

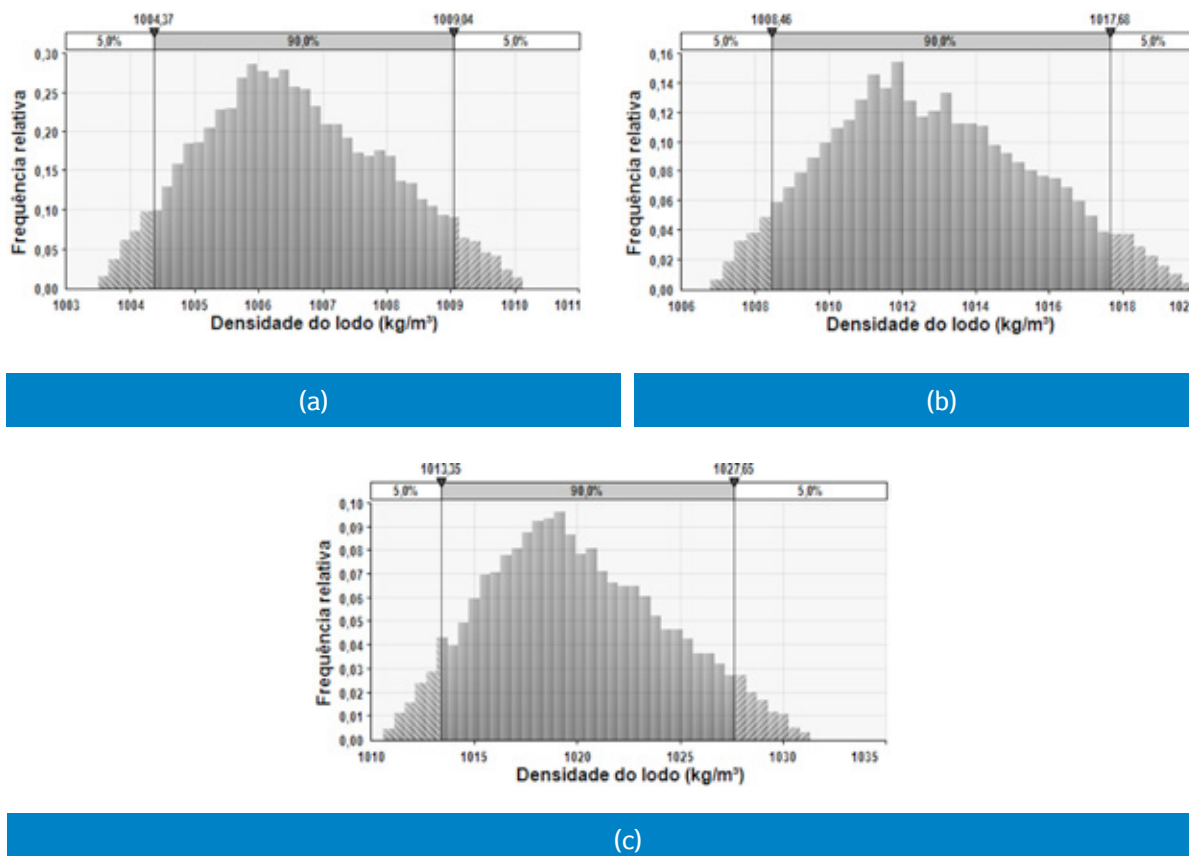
de sólidos acumulada no decantador para os três períodos analisados. Naturalmente, a massa de sólidos acumulada no decantador aumenta (consideravelmente) com o passar do tempo, à medida que aumenta o volume total de água tratada.

Em termos de massa de lodo úmido acumulada no decantador, o comportamento é diferente. Ocorre, sim, incremento ao longo do tempo, porém é bem mais discreto do que o observado para a massa de sólidos, devido ao adensamento natu-

ral do lodo mantido no interior do decantador por longos períodos de tempo. Em resumo, as estimativas de massa de lodo acumulada ao longo dos três períodos considerados (três, seis e 12 meses) não diferiram tanto entre si.

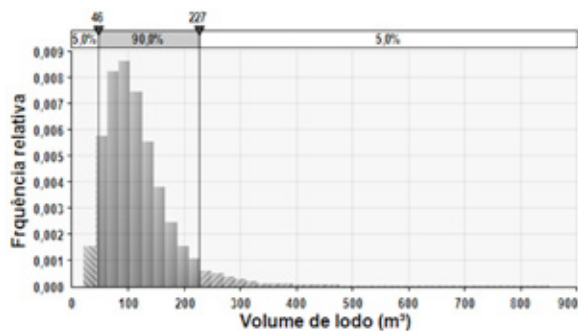
Com base nas estimativas de densidade (Figura 2) e de massa de lodo acumulada no decantador, foram feitas estimativas de volume de lodo a ser descartado do decantador e encaminhado para processos de desaguamento (Tabela 3 e Figura 3).

**Figura 2** – Histogramas de distribuição de probabilidade das estimativas de densidade do lodo armazenado no decantador da ETA UFV ao longo de (a) três, (b) seis e (c) 12 meses.

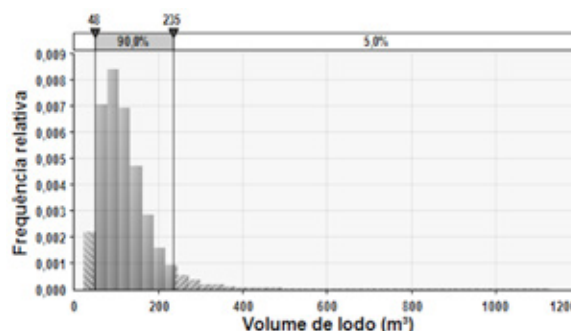


**Tabela 3** – Estimativa do volume de lodo ( $m^3$ ) armazenado no decantador da ETA UFV ao longo de três, seis e 12 meses (medianas e percentis 95).

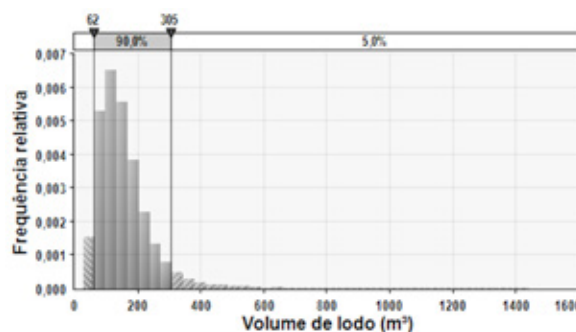
Período	Mediana	95%
3 meses	104	226
6 meses	106	231
12 meses	138	304



(a)



(b)



(c)

**Figura 3** – Histogramas de distribuição de probabilidade das estimativas do volume de lodo armazenado no decantador da ETA UFV ao longo de (a) três, (b) seis e (c) 12 meses.

Verifica-se que as estimativas de volume de lodo acumulado no decantador não são altas, inclusive, sem grandes diferenças entre os três períodos considerados, resultado do aumento apenas discreto da massa de lodo de um período para outro. Como já comentado, isso se deve ao incremento da concentração de sólidos e, por outro lado, ao decréscimo da massa de água do lodo. Nota-se que praticamente não há diferenças entre as estimativas de volume de lodo gerado em três e seis

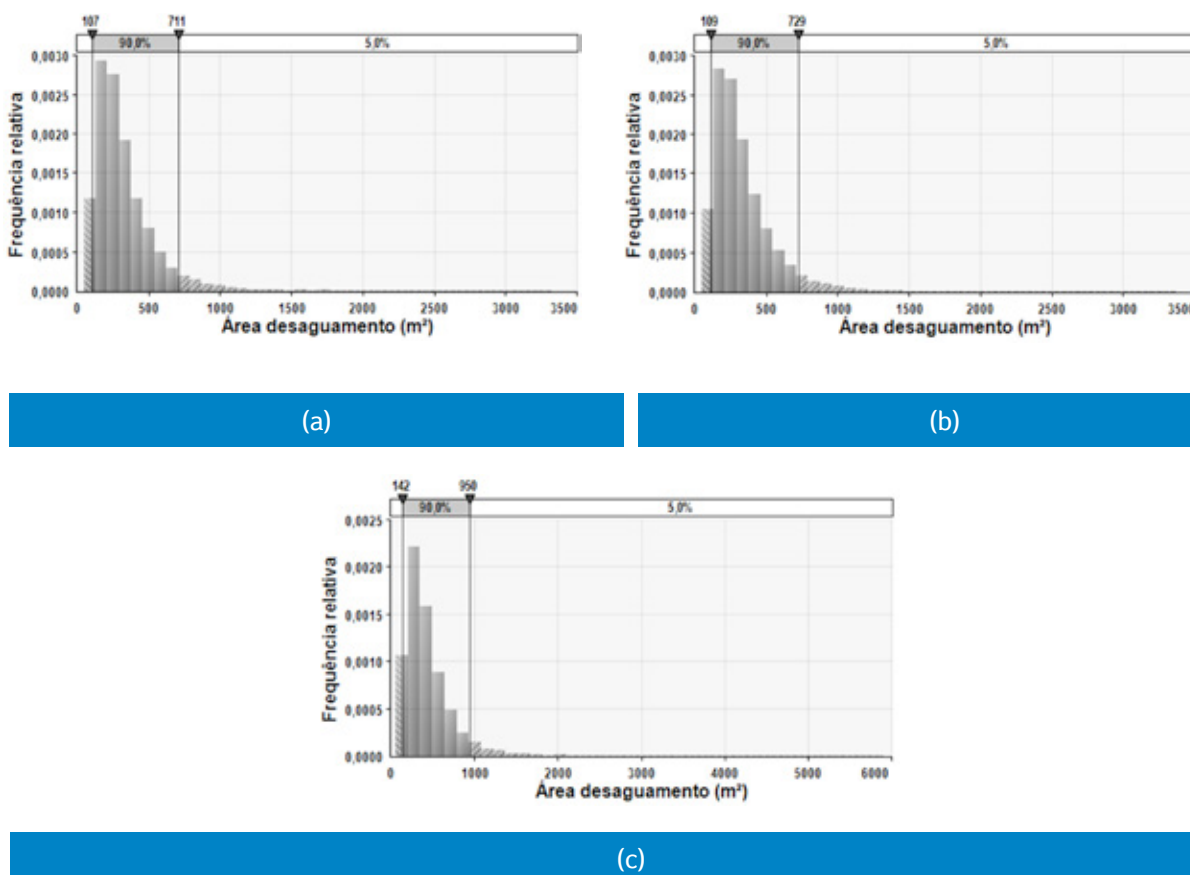
meses de operação da ETA UFV, porque a concentração de sólidos esperada para seis meses é praticamente o dobro da de três meses. Mesmo quando se considera o período de um ano, o incremento de volume de lodo acumulado não é tão elevado (em torno de 30%, se tomadas as medianas como referência).

Em resumo, esses resultados sugerem que as operações de limpeza do decantador da ETA UFV po-

dem se dar em intervalos relativamente longos, sem que isso represente grande aumento de volume de lodo armazenado e, portanto, de demanda de área para implantação de unidade de desaguamento de lodo. Acredita-se que a adoção de intervalos mais longos deve, inclusive, favorecer o próprio processo de desaguamento, devido ao adensamento do lodo no decantador – dependendo do tempo de armazenamento, o decantador passa a funcionar como um decantador-adensador. Com efeito, isso foi verificado durante experimento de desaguamento de lodo da ETA UFV em leito-piloto de secagem: o lodo retirado do decantador com período de retenção de 12 meses apresentou concentração de sólidos de 6,5% (BASTISTA; CABRAL, 2011). Tais condições, como citado por Richter (2001), além de minimizar a área

necessária ao desaguamento, diminuem o tempo de secagem do lodo no leito. Contudo, como adverte Reali (1999), essa situação favorece o surgimento de condições anaeróbias no lodo, o que pode comprometer a qualidade da água tratada, devido à dissolução de metais presentes no lodo (por exemplo, Fe, Mn, Al e metais pesados).

A Figura 4 apresenta os resultados de previsão de demanda de área para implantação de leitos de secagem para desaguamento dos volumes estimados de lodo: distribuições de probabilidade resultantes nos três cenários considerados para o acúmulo de lodo no decantador – três, seis e 12 meses. Na Tabela 4, os resultados são resumidos em termos das medianas e percentis 95 das distribuições de probabilidade.



**Figura 4** – Histogramas de distribuição de probabilidade das estimativas da área de leitos de secagem necessária ao desaguamento do lodo armazenado no decantador da ETA UFV ao longo de (a) três (b), seis e (c) 12 meses.



**Tabela 4** – Estimativa da demanda de área (m<sup>2</sup>) de leitos de secagem para desaguamento do lodo armazenado no decantador da ETA UFV ao longo de três, seis e 12 meses – medianas e percentis 95.

Período de acúmulo	Mediana	95%
3 meses	268,7	690,2
6 meses	274,6	716,9
12 meses	356,9	930,4

As estimativas de demanda de área não foram elevadas. Mesmo tomando como referência o valor do percentil 95 referente a 12 meses de armazenamento de lodo no decantador, a estimativa de área necessária é inferior à sugerida por Richter (2001) como limite prático para utilização do leito de secagem como unidade de desaguamento do lodo (1.500 m<sup>2</sup>). A opção pelo valor do percentil 95 constituiria solução com margem de segurança, porém conservadora, ou seja, considerando os parâmetros de projeto e as incertezas em torno destes parâmetros, a probabilidade de que a área adotada se mostre insuficiente seria de apenas 5%. Na prática, essa solução pode representar superdimensionamento da unidade e, conseqüentemente, aumento desnecessário de custos. A adoção da mediana

implica redução acentuada de área (mais de 60%) e, assim, economia na construção, porém a segurança do dimensionamento se vê diminuída. Entretanto, o eventual subdimensionamento do leito de secagem resultaria apenas em taxa de aplicação de sólidos acima do previsto e em conseqüências como aumento do tempo de desaguamento do lodo e/ou produção de torta menos desidratada.

Na Tabela 5, estão apresentados os resultados do teste de correlação não paramétrica de Spearman utilizado para análise de sensibilidade da simulação, ou seja, para avaliar quanto a variação das variáveis de entrada influenciou na variação da resposta – área necessária para o desaguamento do lodo gerado.

**Tabela 5** – Coeficiente de correlação de Spearman entre as variáveis de entrada do modelo de dimensionamento dos leitos de secagem e a variável resposta – área necessária para desaguamento do lodo.

Variável de entrada <sup>1</sup>	Correlação de Spearman
Altura do leito	-0,60
Turbidez da água bruta	0,44
Dose de coagulante	0,41
K <sub>2</sub>	0,30
Concentração de sólidos no lodo	-0,28
Vazão	0,26
Densidade dos sólidos	-0,01

Nota: <sup>1</sup> Ordenadas em ordem decrescente do coeficiente de Spearman.

A altura da camada de lodo no interior do leito foi a variável que mais impactou a variação da resposta (área dos leitos de secagem), naturalmente com relação inversa, isto é, quanto maior a altura de lodo, menor a demanda de área. Na Equação 5, nota-se que, uma vez estimado o volume de lodo (com todas as incertezas envolvidas), a área dos leitos de secagem depende somente da altura de lodo no leito. Como critério de projeto, poderia ter sido adotado valor único para a altura da camada de lodo no leito, mas optou-se por assumir faixas de valores (0,2-0,6 m) que respondessem por variações (incertezas) operacionais no descarte do lodo. Por outro lado, conforme já discutido, a própria decisão final sobre a área dos leitos a ser adotada (por exemplo, se baseada na mediana ou no percentil 95) irá se refletir na altura de lodo. Em resumo, essa será uma decisão de projeto: espessuras menores da camada de lodo implicam áreas maiores para desaguamento do lodo e menores taxas de aplicação de sólidos, demandam menor tempo de secagem ou, para um mesmo tempo, alcançam teor de sólidos mais elevado; isso, comparativamente às camadas de lodo mais profundas, quando se opta pela menor área e, conseqüentemente, maior taxa de aplicação de sólidos.

A turbidez da água bruta e a dose de coagulante (variáveis correlacionadas entre si, diga-se de passagem), nessa ordem, revelaram-se também ser importantes na determinação da área dos leitos de secagem. Esses são dados de monitoramento da ETA em questão, sobre os quais foram ajustadas funções densidade de probabilidades. Portanto, as incertezas aqui são devidas à variabilidade, intrínsecas a essas variáveis. Isso revela a importância da disponibilidade de bancos de dados robustos e confiáveis sobre turbidez da água

bruta e dose de coagulante para a previsão das áreas de leitos de secagem utilizando modelos empíricos, bem como da sua caracterização estatística adequada.

O coeficiente  $K_2$ , que expressa a relação entre sólidos suspensos totais e turbidez da água bruta, utilizada na estimativa de produção de massa de sólidos ( $M_s$ ) – kg de sólidos por  $m^3$  de água tratada – a partir do modelo empírico expresso pela Equação 1, e a concentração de sólidos no lodo também tiveram alguma importância na previsão da área para desaguamento do lodo. A variação em torno do coeficiente  $K_2$  foi assumida entre valores mínimo e máximo obtidos da literatura (REALI, 1999), segundo distribuição uniforme. As incertezas, neste caso, podem ser atribuídas à incerteza verdadeira, decorrente do desconhecimento da relação entre sólidos suspensos totais e turbidez da água bruta no caso específico da ETA UFV. Isso significa que a investigação, caso a caso, dessa relação tende a reduzir a incerteza sobre essa variável e, conseqüentemente, aumentar a confiabilidade da estimativa de demanda de área dos leitos de secagem. Para a variável “concentração de sólidos”, apenas a margem de segurança de 25% em torno de dados pontuais da estação foi utilizada para computar a variabilidade associada a ela. Aqui também se está perante incertezas verdadeiras, portanto, reduzíveis por meio de investigação.

No caso da vazão, os valores que definiram a distribuição triangular adotada (mínimo, máximo e valor de maior incidência) e, assim, sua variabilidade foram baseados em planilhas de registros diários da ETA UFV. Portanto, são dados confiáveis. No entanto, resultados diferentes podem advir de situações em que as variações de vazão da ETA sejam diferentes.

## CONCLUSÕES

De forma talvez pioneira, apresenta-se aqui um estudo de caso de dimensionamento de leito de secagem de lodo de ETA com base em modelagem probabilística, isto é, levando em consideração incertezas em torno de variáveis de entrada do modelo de dimensionamento. Os resultados, expressos em termos de distribuição de probabilidades, permitem flexibilidade na tomada de decisão, de acordo com aspectos técnicos e econômicos. O exercício aqui desenvolvido teve como base formulações empíricas disponíveis na literatura, cujas variáveis de entrada se encontram referendadas em bancos de dados de monitoramento da ETA em questão e outras, apenas em dados de literatura. Sugere-se, pois, que refinamentos futuros da técnica e dos modelos aqui empregados tenham por base, ao máximo possível, dados de campo e específicos de cada ETA em análise.

## REFERÊNCIAS

- BATISTA, L.A.; CABRAL, V.A.L. **Ensaio com lodo do decantador da ETA UFV: caracterização, desaguamento em leito de secagem e possibilidades de aproveitamento**. Projeto Final de Curso, Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2011.
- CORDEIRO, J.S. Remoção natural de água de lodos de ETAs utilizando leitos de secagem e lagoas de lodo. In: REALI, M.A.P. (coordenador). **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água**. 240p. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 1999.
- KAWAMURA, S. **Integrated Design of Water Treatment Facilities**. New York: John Wiley & Sons **apud** REALI, M.A.P. (coordenador). **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água**. 240p. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 1999.
- MORGAN, M. G.; HENRION, M. **Uncertainty: a guide to dealing with uncertainty in quantitative risk and policy analysis**. 325 p. Cambridge: Cambridge university press, 2003.
- PALISADE CORPORATION. Manual do usuário. @Risk. **Add-In do Microsoft® Excel para simulação e análise de riscos**, versão 5.5, 2009.
- REALI, M.A.P. (coordenador). **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água**. 240p. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 1999.
- RICHTER, C.A. **Tratamento de lodos de estações de tratamento de águas**. 102p. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2001.
- SARON, A.; LEITE, V.M.B. Quantificação de lodo em estação de tratamento de água. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, João Pessoa. **Anais eletrônicos...** João Pessoa: ABES, 2003.
- SOUZA, F.G.C.; CORDEIRO, J.S. Quantificação de sólidos em estação de tratamento de água convencional de ciclo completo com decantador de alta taxa. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, Campo Grande-MS. **Anais eletrônicos...** Campo Grande: ABES, 2005.
- SPIEGEL, M. R.; tradução e revisão técnica: CONSENTINO P. **Estatística**. 643 p. 3ª ed. São Paulo: Makron Books, 1993.

# Método para diâmetro e fator de atrito: rede de distribuição

- **Data de entrada:** 26/10/2015
- **Data de aprovação:** 05/01/2016

## *Diameter and friction factor method: distribution network*

Renata Shirley de Andrade Araújo | Alessandro de Araújo Bezerra

DOI 10.4322/dae.2016.005

### Resumo

Além dos limites de velocidade presentes na NBR 12218/1994, em algumas companhias de saneamento, é exigido que o máximo gradiente hidráulico seja igual a 8m/km, como estabelecido na antiga NB 594/1977, uma vez que isso permite a ampliação de vazão. Neste trabalho desenvolveu-se uma tabela de seleção de diâmetros, a ser aplicada em trechos de redes de distribuição, que atende os critérios de velocidade da NBR 12218/1994 e visa atender, ao máximo possível, o critério de gradiente hidráulico da NB 594/1977. A tabela foi comparada às três mais usuais e apresentou diâmetros que atendem principalmente à norma atual. Com o uso da nova tabela, foram desenvolvidas equações para o cálculo do fator de atrito em função da vazão, que apresentaram bons resultados quando comparados à Colebrook e White. Por fim, foram realizadas nove simulações de dimensionamento de uma rede de distribuição para comprovar a eficiência da tabela de seleção de diâmetros e as equações para cálculo do fator de atrito.

**Palavras-chave:** seleção de diâmetros; fator de atrito; redes de distribuição.

### Abstract

*Some sanitation companies set the actual velocity limits in the Brazilian NBR 12218/1994 and the old hydraulic gradient limit on the NB 594/1977 to design a water distribution network. A diameters selection table was developed to agree with the velocity limits and, as much as possible, to agree with the hydraulic gradient limit. The developed table was compared to the three most usual tables and presents diameter that mainly agrees with the NBR 12218/1994. With the developed table using, it was developed friction factor equations that depend only on the flow. These equations presented good results when compared to Colebrook and White equations. Finally, nine simulations of sizing a water distribution network were performed to prove the efficiency of the developed diameters selection table and of the developed friction factor equations.*

**Keywords:** diameters selection; friction factor; water distribution networks.

**Renata Shirley de Andrade Araújo**<sup>1</sup> - Doutoranda em Recursos Hídricos da Universidade Federal do Ceará (UFC). Mestra em Recursos Hídricos pela mesma universidade. Engenheira civil pela mesma universidade. Professora assistente do Departamento de Recursos Hídricos, Geotecnia e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Piauí (UFPI).

**Alessandro de Araújo Bezerra** - Doutorando em Recursos Hídricos da UFC. Mestre em Recursos Hídricos pela mesma universidade. Engenheiro civil pela mesma universidade. Professor assistente do Departamento de Recursos Hídricos, Geotecnia e Saneamento Ambiental da UFPI.

\* **Endereço para correspondência:** <sup>1</sup> Universidade Federal do Piauí – Campus Universitário Ministro Petrônio Portella – Centro de Tecnologia – Departamento de Recursos Hídricos, Geotecnia e Saneamento Ambiental (Bloco 7) – Ininga – Teresina-PI. Telefone: (86) 3237-1825. E-mail: renatashirley@ufpi.edu.br.

## INTRODUÇÃO

Uma das mais comuns dificuldades ao projetar uma rede de distribuição de água é definir o diâmetro a ser utilizado para o dimensionamento de seus trechos, uma vez que, para alguns intervalos de vazão, mais de um diâmetro atende ao estabelecido pela NBR 12218:1994.

Como critério de dimensionamento, a citada norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) determina que a velocidade mínima nas tubulações da rede deve ser de 0,6 m/s, enquanto a máxima deve ser de 3,5 m/s.

Para Tsutiya (2006), as baixas velocidades favorecem a durabilidade, do ponto de vista de desgaste por atrito, e minimizam os efeitos de transitórios hidráulicos, mas facilitam o depósito de materiais existentes na água. Heller e Pádua (2010) apresentam que o limite mínimo de 0,6 m/s deve ser adotado para minimizar o desgaste da tubulação por atrito e o depósito de materiais em suspensão existentes na água.

Tsutiya (2006) ainda alerta que velocidades altas permitem menores diâmetros, ou seja, menores custos de aquisição e assentamento de tubulação, porém causam ruídos ao longo do escoamento, facilitam o desgaste da tubulação por atrito e cavitação, aumentando os custos de manutenção, além de causar maiores perdas de carga, o que aumenta os custos com bombeamento ou altura de reservatório. Por sua vez, Heller e Pádua (2010) informam que o limite máximo de 3,5 m/s deve ser adotado para minimizar o desgaste das tubulações e acessórios devido ao atrito e o efeito de ruídos desagradáveis, assim como para limitar o gradiente hidráulico dos trechos da tubulação.

Discorrem, ainda, que redes de distribuição de água são dimensionadas para atender a uma projeção populacional e que, muitas vezes, devido a problemas como crescimento desordenado, adensamento populacional ou aumento do consumo *per capita* da região, a vazão nas tubulações costu-

ma ser maior que a prevista, aumentando, também, a velocidade projetada. Assim, não é aconselhado projetar os trechos das redes de distribuição com velocidades muito próximas de 3,5 m/s.

Apesar de não haver nada estabelecido pela NBR 12218:1994, alguns autores, como Cardoso et al. (2008), acreditam que os diâmetros das tubulações de uma rede de distribuição de água dependem, também, da magnitude da perda de carga admissível no sistema pelo projetista.

Segundo Tsutiya (2006), a antiga norma da ABNT – NB 594:1977 – recomendava que os limites máximos de vazão para cada diâmetro e material das tubulações secundárias fossem aqueles cujo gradiente hidráulico não superasse 8 m/km. Esse critério acabou sendo ampliado para tubulações principais. Vários autores, em suas pesquisas ou projetos, continuam a usar o critério do máximo gradiente hidráulico como limitante na vazão dos trechos de uma rede de distribuição, como, por exemplo, Gameiro (2003) e Barreto et al. (2006).

Além disso, algumas prefeituras, como a de Rio Acima (2013), em Minas Gerais, e a de Vitória (2009), no Espírito Santo, assim como algumas companhias de saneamento, como, por exemplo, a Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE, 2010) e a Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA, 2004), utilizam o critério do máximo gradiente hidráulico de 8 m/km como limitante de vazão em cada trecho das redes de distribuição. A justificativa das companhias de saneamento para a adoção desse critério é que permite a ampliação de vazão dentro das tubulações, excluindo a necessidade de substituição por diâmetros maiores.

Com base no grande uso dos dois critérios de dimensionamento (limites de velocidade e de gradiente hidráulico), tabelas ou gráficos que apresentassem os limites de vazão para os diâmetros de redes de distribuição que atendessem, ao máximo possível, a ambos os critérios facilitariam



bastante o trabalho de projetistas e pesquisadores no que se trata de implantação, ampliação, manutenção e outros estudos sobre redes de distribuição de água.

Há muito tempo, buscam-se novas equações empíricas para a substituição da equação de Colebrook-White para o cálculo do fator de atrito por equações mais simples de ser aplicadas. Assim, de posse de uma tabela de diâmetros que atenda aos critérios mencionados, é possível criar equações para o cálculo do fator de atrito que auxiliem o dimensionamento de redes de distribuição sem a necessidade de cálculos iterativos, como exige a equação de Colebrook-White.

### OBJETIVOS

Obter os limites de vazões máximas e mínimas para cada diâmetro comercial de tubulações em PVC para redes de distribuição de água, visando a atender, ao máximo, aos critérios de velocidade estabelecidos pela atual NBR 12218:1994 e aos critérios de gradiente hidráulico determinados

na antiga NB 594:1977. De posse dos limites, criar equações empíricas, que atendam a esses limites, para o cálculo do fator de atrito. Além disso, aplicar o conceito criado no cálculo de uma rede de distribuição e comparar os resultados e atendimento à norma vigente considerando a utilização da tabela de diâmetros proposta e das três tabelas mais usuais para seleção de diâmetro de redes de distribuição, além de uma das equações desenvolvidas.

### METODOLOGIA

É de conhecimento geral, entre pesquisadores e projetistas, que a utilização do PVC para diâmetros com até 500 mm, em redes de distribuição de água, é prioridade, sendo aceita por critérios técnicos e, principalmente, econômicos.

Inicialmente, para cada um dos diâmetros internos dos tubos de PVC, apresentados na Tabela 1, com base nos limites de velocidade estabelecidos pela NBR 12218:1994, foram calculadas suas vazões mínimas e máximas.

**Tabela 1** – Material e diâmetro interno (DI) para cada diâmetro nominal (DN).

Material	DN (mm)	DI (mm)
PVC PBA CL12	50	54,6
PVC PBA CL12	60	68,2
PVC PBA CL12	75	77,2
PVC PBA CL12	100	100,0
PVC DEFoFo	150	156,4
PVC DEFoFo	200	204,2
PVC DEFoFo	250	252,0
PVC DEFoFo	300	299,8
PVC DEFoFo	350	347,6
PVC DEFoFo	400	394,6
PVC DEFoFo	500	489,4

Fonte: Tigre S/A – Tubos e Conexões (2011).

Utilizando a Equação 1, de Swamee-Jain, também para cada diâmetro interno, foram calculadas as vazões máximas considerando o critério do máximo gradiente hidráulico de 8 m/km estabelecido pela NB 594:1977 e ainda utilizado por várias entidades de saneamento.

$$Q = -\frac{\pi D^2 \sqrt{gDJ}}{\sqrt{2}} \log\left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{1,78v}{D\sqrt{gDJ}}\right) \quad 1$$

Em que: Q (m<sup>3</sup>/s) é a vazão máxima, D (m) é o diâmetro interno da tubulação, g (9,806 m/s<sup>2</sup>) é a aceleração da gravidade, J (0,008 m/m) é o gradiente hidráulico, ε (0,00006 m, conforme recomenda Tigre S/A – Tubos e Conexões [2011]) é a rugosidade absoluta do tubo de PVC e v (1,01 x 10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s, conforme recomenda Rossman [2000]) é a viscosidade cinemática da água.

Em seguida, por meio da Equação 2, de Colebrook-White, e da Equação 3, de Darcy-Weisbach, foi possível encontrar os valores de perda de carga unitária, mínimos e máximos, para cada diâmetro.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log\left(\frac{\varepsilon}{3,71D} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}}\right) \quad 2$$

Em que: f (adimensional) é o fator de atrito e Re<sub>y</sub> (adimensional) é o número de Reynolds para cada valor de velocidade e diâmetro.

$$J = \frac{f V^2}{D 2g} \quad 3$$

Os cálculos realizados possibilitaram a construção da Tabela 2, que apresenta para cada diâmetro as vazões mínima e máxima para os dois critérios, velocidade máxima para o critério do máximo gradiente hidráulico e perdas de carga unitária mínima e máxima.

**Tabela 2 – Vazões e gradientes hidráulicos mínimos e máximos.**

DN (mm)	DI (mm)	Qmin (L/s)	Q (L/s) p/ 8m/km	Qmax (L/s)	V(m/s) p/ 8m/km	J min (m/m)	J max (m/m)
50	54,6	1,405	1,342	8,195	0,573	0,0087	0,2456
60	68,2	2,192	2,436	12,786	0,667	0,0066	0,1862
75	77,2	2,809	3,393	16,383	0,725	0,0056	0,1597
100	100,0	4,712	6,764	27,489	0,861	0,0041	0,1161
150	156,4	11,527	22,168	67,241	1,154	0,0024	0,0671
200	204,2	19,650	44,865	114,622	1,370	0,0017	0,0485
250	252,0	29,926	78,128	174,566	1,566	0,0013	0,0376
300	299,8	42,355	123,417	247,071	1,748	0,0011	0,0305
350	347,6	56,938	182,080	332,137	1,919	0,0009	0,0255
400	394,6	73,376	254,021	428,028	2,077	0,0008	0,0219
500	489,4	112,868	446,719	658,394	2,375	0,0006	0,0170

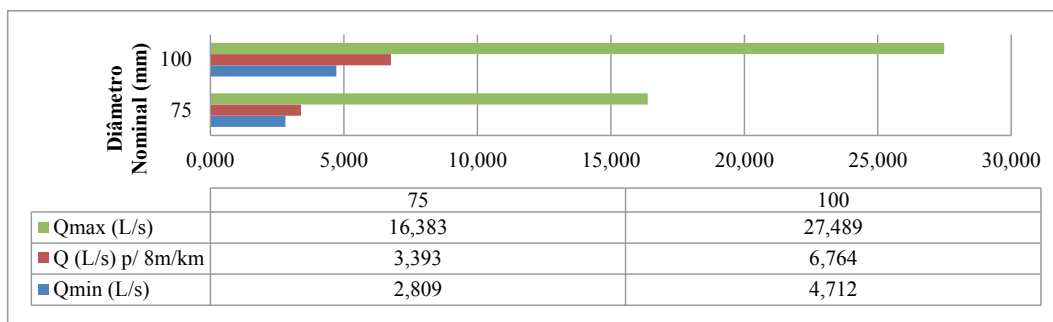


Figura 1 – Relação entre as vazões para DN75 e DN100.

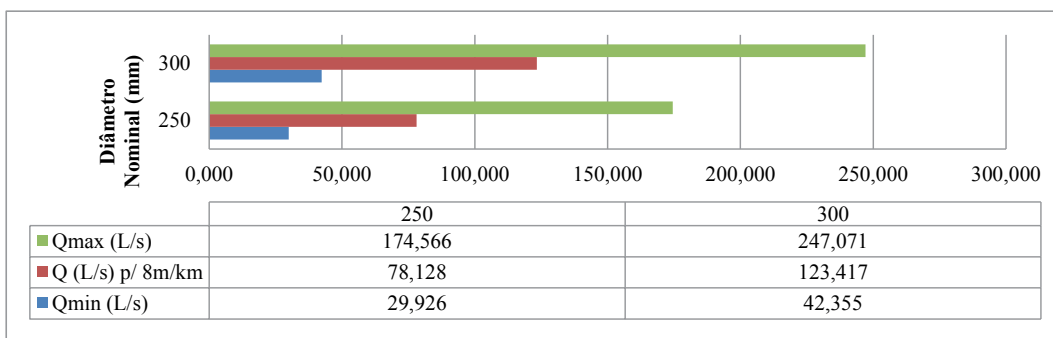


Figura 2 – Relação entre as vazões para DN250 e DN300.

Para facilitar a análise da Tabela 2 e a criação da tabela final de limites de vazões para cada diâmetro, foram criados gráficos que relacionam as vazões de diâmetros subsequentes; por exemplo, a Figura 1 apresenta a relação entre os diâmetros de 75 e 100 mm de PVC PBA e a Figura 2, a relação entre os diâmetros de 250 e 300 mm de PVC DEFoFo.

Atualmente, para selecionar os diâmetros de trechos das redes de distribuição, os projetistas optam pelos valores estabelecidos na Tabela 3.

Em virtude do ano de publicação da tabela de Martins (1976 apud TSUTIYA, 2006), não era usual o DN60. Para encontrar o valor de vazão máxima inserido na Tabela 3, foi desenvolvida uma equação parabólica  $Q(L/s) \times DI(mm)$  envolvendo apenas os diâmetros de PVC PBA.

Além da tabela, Porto (2006) apresenta uma equação (4) para o cálculo da velocidade máxima em função do diâmetro.

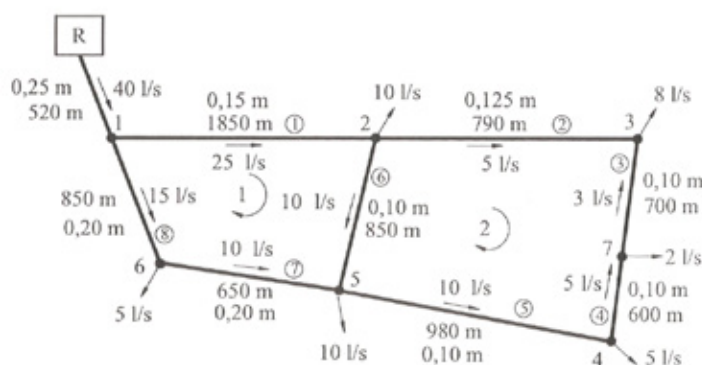
$$V_{max}(m/s) = 0,60 + 1,5D(m) \quad 4$$

Com o auxílio da Tabela 2 e dos gráficos que relacionam as vazões de diâmetros subsequentes, foi possível criar uma tabela que atendesse, ao máximo possível, aos critérios de velocidade estabelecidos pela atual NBR 12218:1994 e aos critérios de gradiente hidráulico determinados na antiga NB 594:1977. Além da tabela, os diâmetros podem ser selecionados mediante gráficos ou equações. Os valores encontrados foram comparados com os valores usuais apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3** – Valores usuais de limites de vazão por diâmetro.

Martins (1976 apud TSUTIYA, 2006)			Azevedo Netto (1998), Heller e Pádua (2010)			Porto (2006)		
DN (mm)	DI (mm)	Qmax (L/s)	DN (mm)	DI (mm)	Qmax (L/s)	DN (mm)	DI (mm)	Qmax (L/s)
50	54,6	1,00	50	54,6	1,40	50	54,6	1,34
60	68,2	1,57	60	68,2	2,30	60	68,2	1,95
75	77,2	2,20	75	77,2	4,00	75	77,2	3,14
100	100	4,70	100	100	8,00	100	100	5,89
150	156,4	14,10	150	156,4	18,00	150	156,4	14,67
200	204,2	28,30	200	204,2	35,00	200	204,2	28,27
250	252	53,90	250	252	54,00	250	252	47,86
300	299,8	84,80	300	299,8	85,00	300	299,8	74,22
350	347,6	125,00	350	347,6	125,00	350	347,6	108,72
400	394,6	176,00	400	394,6	176,00	400	394,6	150,80
500	489,4	314,00	500	489,4	314,00	500	489,4	265,10

Fonte: Adaptado de Martins (1976 apud TSUTIYA, 2006), Azevedo Netto (1998), Heller e Pádua (2010) e Porto (2006).

**Figura 3** – Rede de distribuição simulada.

Fonte: Porto (2006).

De posse de um novo formato de seleção de diâmetros, ao atendê-lo, desenvolveram-se equações empíricas para o cálculo do fator de atrito. Para cada diâmetro comercial de PVC, dentro de seus limites de vazões, pela equação de Colebrook-White, foram calculados fatores de atrito para dez valores de vazão. Assim, com a utilização do *software* Microsoft Excel, foram traçadas as linhas de tendência e, conseqüentemente, desenvolvidas equações para o cálculo do fator de atrito.

As equações desenvolvidas relacionam o fator de atrito em função apenas da vazão, tendo como pré-requisito, para sua utilização, a seleção do diâmetro por meio da tabela proposta neste trabalho. Dependendo da precisão desejada, pode-se optar por calcular o fator de atrito de duas formas: com uma equação só ou com a utilização de uma equação diferente por diâmetro.

Com base nos dados usuais de diâmetros apresentados na Tabela 3 e na tabela de diâmetros

proposta neste trabalho, foi calculada a rede de distribuição apresentada por Porto (2006), mostrada na Figura 3. Foram realizadas nove simulações na rede, calculadas pela equação de Hardy-Cross, das quais sete tiveram suas perdas de carga calculadas pelo método de Hazen-Williams e a seleção do diâmetro realizado, respectivamente, pela tabela de Martins (1976 apud TSUTIYA, 2006), de Azevedo Netto (1998), de Porto (2006), pela tabela proposta neste trabalho, com o pré-dimensionamento pela tabela de Martins (1976 apud TSUTIYA, 2006) e atualização do diâmetro a cada iteração para atender à NBR 12218:1994, com o pré-dimensionamento pela tabela de Azevedo Netto (1998) e atualização do diâmetro e com o pré-dimensionamento pela tabela de Porto (2006) e atualização do diâmetro.

A oitava simulação foi realizada com a utilização da tabela de diâmetro proposta e a perda de carga calculada por meio da equação de Darcy-Weisbach, com o fator de atrito calculado pela equação de Colebrook-White. Finalmente, a nona simulação foi realizada com a utilização da tabela proposta e a perda de carga calculada pela equação universal da perda de carga, com o fator de atrito calculado pela equação proposta neste trabalho.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando a Tabela 2 e a Figura 1, percebe-se que a vazão de 3,393 L/s, para o diâmetro de 75 mm, apresenta o máximo gradiente hidráulico, ou seja, 8 m/km. Entretanto, essa mesma vazão, para o diâmetro de 100 mm, apresenta velocidade inferior a 0,6 m/s, sendo, para esse diâmetro, a vazão que oferece a velocidade mínima aceita pela norma brasileira igual a 4,712 L/s. Assim, as vazões situadas entre 3,393 e 4,712 L/s não atendem ao critério de máximo gradiente hidráulico citado na antiga NB 594:1977, utilizando DN75, nem atendem ao critério de veloci-

dade mínima estabelecido pela NBR 12218:1994, utilizando DN100. Dessa forma, visando a obedecer à norma vigente, para esse intervalo de vazão foi adotado o menor diâmetro nominal entre os dois, mesmo obtendo perdas de carga unitária superiores a 8 m/km.

Esse conceito foi considerado para todos os diâmetros de PVC PBA (50, 60, 75 e 100 mm), tendo em vista que situações homólogas ocorreram para essa faixa de diâmetros.

No entanto, analisando a Tabela 2 e a Figura 2, percebe-se que a vazão de 78,128 L/s, para o diâmetro de 250 mm, apresenta o máximo gradiente hidráulico, ou seja, 8 m/km, sendo que esse valor de vazão, para o diâmetro de 300 mm, apresenta velocidade superior a 0,6 m/s. Para esse diâmetro, a vazão de 42,355 L/s fornece a velocidade mínima estabelecida por norma. Assim, as vazões situadas entre 42,355 e 78,128 L/s atendem a ambos os critérios: o critério de máximo gradiente hidráulico citado na antiga NB 594:1977, utilizando DN250, e o critério de velocidade mínima estabelecido pela NBR 12218:1994, utilizando DN300. Dessa forma, visando a menores custos, para esse intervalo de vazão foi adotado o menor diâmetro nominal entre os dois, sendo que a vazão inicial de DN300 apresenta velocidade superior a 0,6 m/s. Esse conceito foi considerado para todos os diâmetros de PVC DEFoFo (150, 200, 250, 300, 350, 400 e 500 mm), tendo em vista que situações homólogas ocorreram para essa faixa de diâmetros.

Por possuírem pequenas vazões, as tubulações de pequenos diâmetros apresentam pequenas velocidades, já as de grande diâmetro, por terem o limite de vazão dado pela perda de carga unitária, também não obtiveram velocidades próximas a 3,5 m/s, sendo a maior velocidade encontrada igual a 2,375 m/s, para o diâmetro de 500 mm.



**Tabela 4** – Seleção de diâmetro e seus limites.

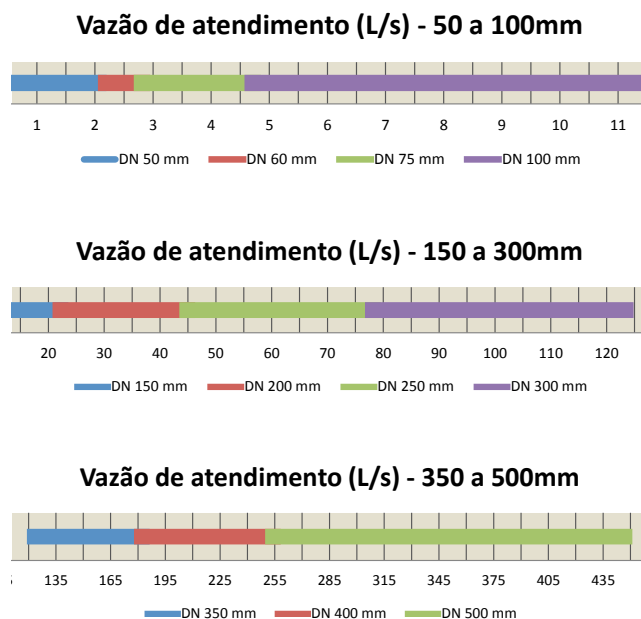
Material	DN (mm)	DI (mm)	Qmax (L/s)	Vmin (m/s)	Vmax (m/s)	J min (m/m)	J max (m/m)
PVC PBA CL12	50	54,6	2,192	-	0,936	-	0,0198
PVC PBA CL12	60	68,2	2,809	0,600	0,769	0,0066	0,0104
PVC PBA CL12	75	77,2	4,712	0,600	1,007	0,0056	0,0148
PVC PBA CL12	100	100,0	11,527	0,600	1,468	0,0041	0,0218
PVC DEFoFo	150	156,4	22,168	0,600	1,154	0,0024	0,0080
PVC DEFoFo	200	204,2	44,865	0,677	1,370	0,0021	0,0080
PVC DEFoFo	250	252	78,128	0,900	1,566	0,0028	0,0080
PVC DEFoFo	300	299,8	123,417	1,107	1,748	0,0034	0,0080
PVC DEFoFo	350	347,6	182,080	1,301	1,919	0,0038	0,0080
PVC DEFoFo	400	394,6	254,021	1,489	2,077	0,0042	0,0080
PVC DEFoFo	500	489,4	446,719	1,350	2,375	0,0027	0,0080

A Tabela 4 apresenta, para cada diâmetro de tubulação de PVC, a vazão máxima, as velocidades mínimas e máximas e os gradientes hidráulicos mínimos e máximos, ou seja, mostra os valores de vazão propostos neste trabalho para seleção do diâmetro dos trechos de uma rede de distribuição de água.

A fim de fornecer uma escolha de diâmetro mais direta, a Figura 4 permite a seleção do diâmetro pelo método visual.

Como os tubos de PVC PBA e PVC DEFoFo apresentaram comportamentos diferentes quanto ao máximo gradiente hidráulico e mínima velocidade em diâmetros subsequentes, para escolher um diâmetro para a rede utilizando equações, por meio do método proposto, foi necessário dividir a faixa de diâmetros entre PBA e DEFoFo.

Os limites de vazão para tubos de PVC PBA em função de seus diâmetros nominais apresentaram um comportamento que se adapta melhor a uma curva do tipo logaritmo, como mostra a Figura 5.

**Figura 4** – Seleção direta de diâmetro.

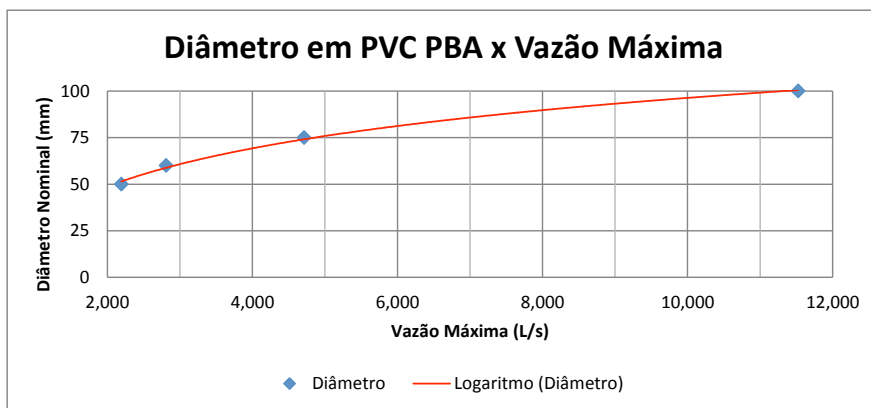


Figura 5 – Linha de tendência dos diâmetros de PVC PBA.

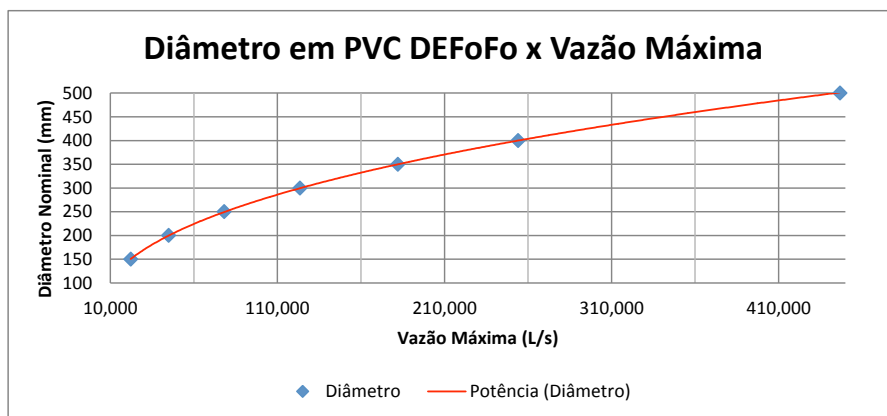


Figura 6 – Linha de tendência dos diâmetros de PVC DEFoFo.

Já os limites de vazão para tubos de PVC DEFoFo em função de seus diâmetros nominais apresentaram um comportamento que se adapta melhor a uma curva do tipo potência, como mostra a Figura 6.

Assim, para escolher um diâmetro de PVC PBA, deve-se calcular o diâmetro pela Equação 5 e

adotar o diâmetro comercial imediatamente superior. De forma semelhante, para PVC DEFoFo, utiliza-se a Equação 6.

Pela Figura 7, percebe-se que as vazões máximas presentes, para cada diâmetro, estabelecidas neste estudo são sempre maiores que as usuais apresentadas na Tabela 3.

$$D_{PBA}(\text{mm}) = 29,5795 \ln[Q(\text{L/s})] + 28,2690 \quad 5$$

$$D_{DEFoFo}(\text{mm}) = 43,6297[Q(\text{L/s})]^{0,4} \quad 6$$

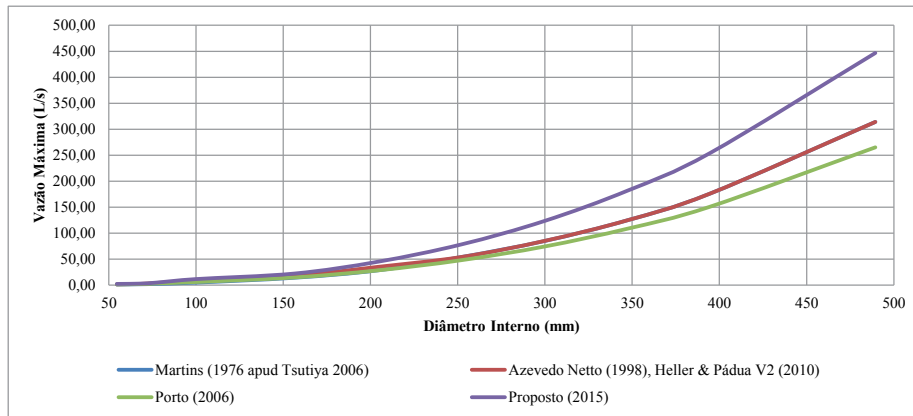


Figura 7 – Comparação entre as tabelas de diâmetros.

As Figuras 8 a 11 apresentam as faixas de funcionamento de velocidade e perda de carga unitária para cada diâmetro nominal, para as tabelas de seleção de diâmetro, respectivamente, de Martins (1976 apud TSUTIYA, 2006), de Azevedo Netto (1998), de Porto (2006) e para a Tabela 4 proposta neste trabalho.

Como se pode observar na Figura 8, pela tabela de Martins (1976 apud TSUTIYA, 2006), em nenhum caso da faixa de vazões, para tubos de PVC PBA, a velocidade mínima é atingida. Para tubos de PVC DEFOFO, os três menores diâmetros comerciais apresentam vazões com velocidades abaixo da mínima. Entretanto, ao analisar o gradiente hidráulico, para todos os diâmetros, o critério de 8 m/km é obedecido.

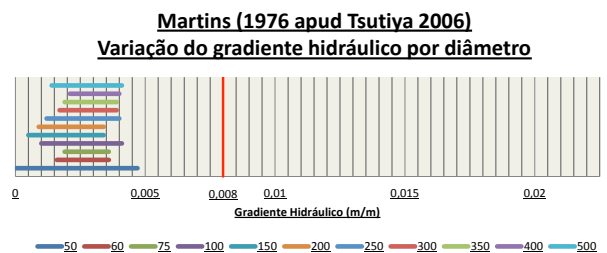
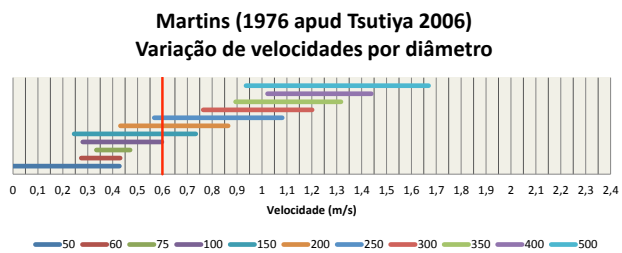


Figura 8 – Faixas de velocidade e perda de carga unitária por diâmetro pela tabela de Martins (1976 apud TSUTIYA, 2006).

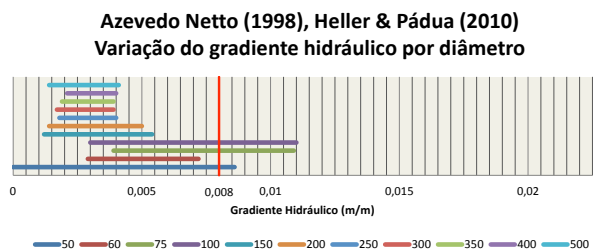
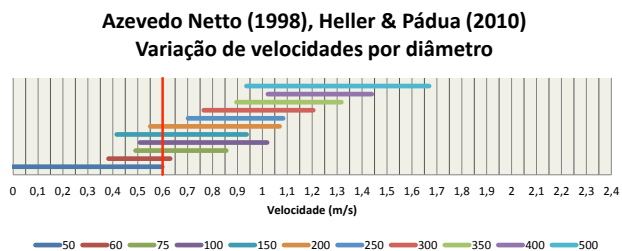
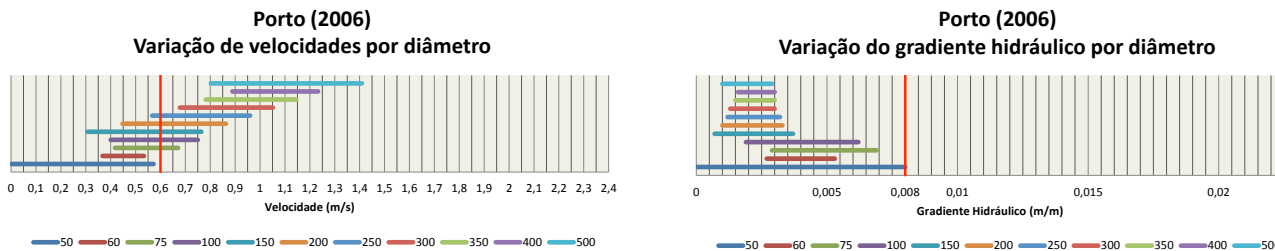


Figura 9 – Faixas de velocidade e perda de carga unitária por diâmetro pela tabela de Azevedo Netto (1998).



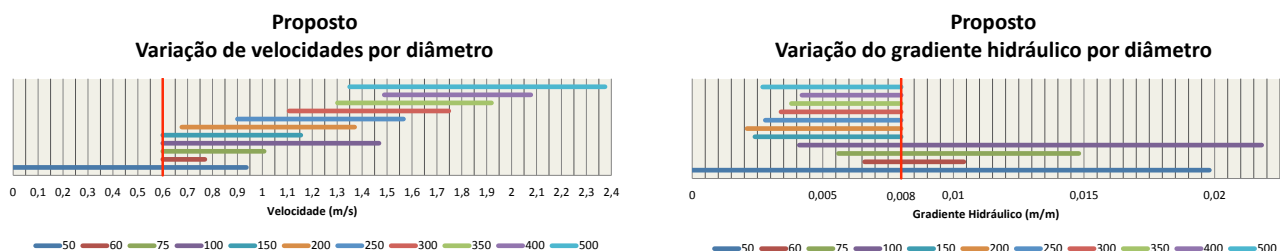
**Figura 10** – Faixas de velocidade e perda de carga unitária por diâmetro pela tabela de Porto (2006).

Pela Figura 9, utilizando a tabela de Azevedo Netto (1998), observa-se que os seis menores diâmetros comerciais de PVC apresentam vazões com velocidades abaixo da mínima. Para os trechos com DN50, não é possível alcançar a velocidade mínima estabelecida pela NBR 12218:1994. Entretanto, ao analisar o gradiente hidráulico, apenas três diâmetros ultrapassam o limite máximo estabelecido, variando, no máximo, 3 m/km para DN100.

A Figura 10 mostra que, utilizando a tabela de Porto (1998), os sete menores diâmetros comerciais de PVC apresentam vazões com velocidades abaixo da mínima. Para os trechos com DN50 e DN60, não é possível alcançar a velocidade mínima estabelecida pela NBR

12218:1994. Entretanto, ao analisar o gradiente hidráulico, para todos os diâmetros, o critério de 8 m/km é obedecido.

De acordo com o que se observa na Figura 11, ao utilizar a Tabela 4 proposta neste trabalho, apenas o diâmetro mínimo indicado pela NBR 12218:1994 apresenta vazões com velocidades abaixo da mínima, porém não há como atender a esse critério para vazões abaixo de 1,40 L/s utilizando DN50. Ao analisar o gradiente hidráulico, para todos os diâmetros de PVC PBA, há vazões em que o critério de 8 m/km não é obedecido. Isso ocorre para que o diâmetro imediatamente superior atenda ao critério de velocidade mínima. Já os diâmetros de PVC DEFoFo atendem ao critério de máximo gradiente hidráulico.



**Figura 11** – Faixas de velocidade e perda de carga unitária por diâmetro pela Tabela 4 de seleção de diâmetros proposta neste trabalho.

Utilizando os diâmetros determinados por meio dos limites de vazões estabelecidos pela Tabela 4 e calculando o fator de atrito pela equação de Colebrook-White, desenvolveram-se equações empíricas para o cálculo do fator de atrito, por diâmetro, com base nos gráficos das Figuras 12 e 13, que foram desenvolvidos mediante o uso de dez valores de vazões igualmente espaçadas.

Repetindo o procedimento apresentado nas Figuras 12 e 13 e variando os diâmetros comerciais, foi possível desenvolver as Equações 7 a 17, que calculam o fator de atrito para cada diâmetro comercial de PVC em função apenas da vazão, em L/s.

Juntando todos os valores de fator de atrito encontrados em um único gráfico (Figura 14), tem-se a Equação 18, que calcula o fator de atrito em função apenas da vazão, em L/s, para qualquer valor de vazão entre 0,0 e 446,719 L/s. A Equação 18, assim como as Equações 7 a 17, tem como pré-requisito o uso da Tabela 4, para definição do diâmetro a ser utilizado, e do PVC com rugosidade absoluta igual a 0,00006 m, conforme recomenda Tigre S/A – Tubos e Conexões (2011).

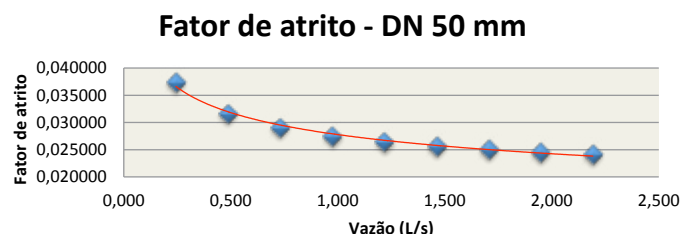


Figura 12 – Fator de atrito x vazão para DN50.

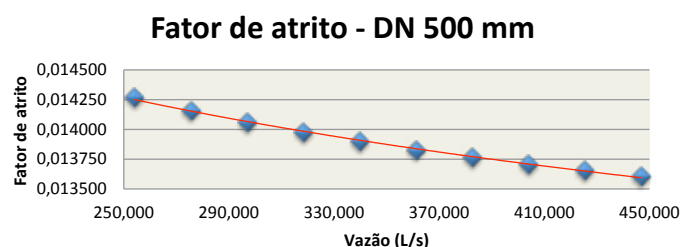


Figura 13 – Fator de atrito x vazão para DN500.

$$f_{50} = 0,027777[Q(L/s)]^{-0,195596} \quad \mathbf{7}$$

$$f_{60} = 0,027462[Q(L/s)]^{-0,148940} \quad \mathbf{8}$$

$$f_{75} = 0,027331[Q(L/s)]^{-0,139315} \quad \mathbf{9}$$

$$f_{100} = 0,026934[Q(L/s)]^{-0,125532} \quad \mathbf{10}$$

$$f_{150} = 0,027446[Q(L/s)]^{-0,129263} \quad \mathbf{11}$$

$$f_{200} = 0,026802[Q(L/s)]^{-0,119249} \quad \mathbf{12}$$

$$f_{250} = 0,025636[Q(L/s)]^{-0,106940} \quad \mathbf{13}$$

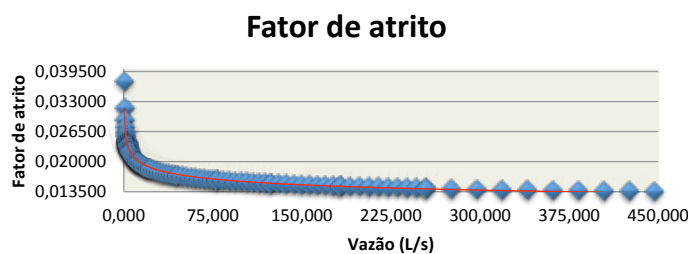
$$f_{300} = 0,024625[Q(L/s)]^{-0,097904} \quad \mathbf{14}$$

$$f_{350} = 0,023748[Q(L/s)]^{-0,090894} \quad \mathbf{15}$$

$$f_{400} = 0,022977[Q(L/s)]^{-0,085184} \quad \mathbf{16}$$

$$f_{500} = 0,022626[Q(L/s)]^{-0,083493} \quad \mathbf{17}$$





$$f = 0,026811[Q(L/s)]^{-0,115995}$$

18

Figura 14 – Fator de atrito x vazão para DN50 a DN500.

Ao empregar as Equações 7 a 17 para o cálculo do fator de atrito, analisando os 110 valores de vazão utilizados e comparando os valores encontrados com os da equação de Colebrook-White, encontrou-se um erro médio de 0,16%. Os maiores erros foram encontrados nas pequenas vazões, sendo o erro máximo de 2,17%, para a vazão de 0,244 L/s.

Os valores de fator de atrito encontrados com o uso da Equação 18, para os 110 dados de vazão utilizados, quando comparados aos da equação de Colebrook-White, apresentaram erro médio de 1,27%. Os maiores erros encontrados foram para vazões menores que 1,0 L/s, sendo os erros máximos de 15,62%, 7,98% e 4,37%, respectiva-

mente, para as vazões de 0,244, 0,487 e 0,731 L/s. Excluindo as vazões inferiores a 1,0 L/s, o erro máximo encontrado não chega a 3,0%.

Para melhor analisar os resultados da utilização da tabela de seleção de diâmetros e equações para o cálculo do fator de atrito desenvolvidas neste trabalho, foi dimensionada a rede de distribuição apresentada na Figura 3.

Para cada simulação, a Tabela 5 apresenta o número de trechos, com diâmetro superior a 50 mm, não atendidos no critério de velocidade mínima estipulado pela NBR 12218:1994 e o número de trechos que não atenderam ao critério de máximo gradiente hidráulico.

Tabela 5 – Resumo das simulações de dimensionamento da rede de distribuição.

Simulação	Método para cálculo de J	Tabela utilizada para seleção de diâmetros	Trechos que não atenderam $V_{min} \leq 0,6$ m/s	Trechos que não atenderam $J \leq 8$ m/km
1	Hazen-Willians	Martins (1976 apud TSUTUYA, 2006)	5	0
2	Hazen-Willians	Azevedo Netto (1998)	2	0
3	Hazen-Willians	Porto (2006)	5	0
4	Hazen-Willians	Proposta	0	2
5	Hazen-Willians	Pré-dimensionamento Martins e atualização do D	0	2
6	Hazen-Willians	Pré-dimensionamento Azevedo Netto e atualização do D	0	2
7	Hazen-Willians	Pré-dimensionamento Porto e atualização do D	0	2
8	Darcy-Weisbach	Proposta com f de Colebrook- White	0	2
9	Darcy-Weisbach	Proposta com f proposto pela Equação 18	0	2

Como mostra a Tabela 5, utilizando as tabelas de seleção de diâmetro propostas por Martins (1976 apud TSUTIYA, 2006), Azevedo Netto (1998) e Porto (2006) para o dimensionamento dos trechos da rede de distribuição, há trechos com diâmetro nominal maior que DN50, com velocidades abaixo do mínimo estabelecido pela norma vigente.

É válido citar que, ao utilizar a tabela de seleção de diâmetros proposta neste trabalho e qualquer uma das três tabelas citadas como pré-dimensionamento, atualizando o diâmetro a cada iteração para atender ao critério de velocidade mínima, além de atender a esse critério, têm-se os mesmos resultados de vazão e diâmetro para todos os trechos da rede de distribuição. Isso mostra que utilizar a Tabela 4 como dimensionamento gerou os mesmos resultados que a utilização das tabelas usuais como pré-dimensionamento.

Analisando a 8ª e 9ª simulações, em que foi utilizada a fórmula universal para o cálculo da perda de carga, obtiveram-se os mesmos diâmetros e uma diferença nas vazões, em L/s, na terceira casa decimal, o que gerou um erro máximo de 20 cm de coluna d'água na perda de carga dos trechos. Para a 9ª simulação, foi utilizada a Equação 18 para o cálculo dos fatores de atrito, o que mostra uma ótima precisão no seu uso.

Na Tabela 5, também é possível perceber que as três primeiras simulações atenderam ao critério de máximo gradiente hidráulico, mas não ao critério de velocidade mínima. Já da 4ª à 9ª simulação, cumpriu-se o critério de velocidade mínima, mas não o de máximo gradiente hidráulico.

A Tabela 6 apresenta a última iteração do cálculo de Hardy-Cross da 4ª simulação, a Tabela 7, da 8ª simulação e a Tabela 8, da 9ª simulação.

**Tabela 6** – Última iteração do cálculo de Hardy-Cross da rede de distribuição – 4ª simulação.

ANEL	TRECHO	COMPRIMENTO (m)	VAZÃO (L/s)	DIÂMETRO (mm)	VELOCIDADE (m/s)	PERDA DE CARGA	
						UNITÁRIA	TRECHO
1	1-2	1850	25,831	204,2	0,79	0,003016	5,58052
	5-6	650	-9,169	100	1,17	-0,014365	-9,33730
	6-1	850	-14,169	156,4	0,74	-0,003640	-3,09368
	2-5	850	6,709	100	0,85	0,008059	6,85046
						SOMATÓRIO	0,00000
2	5-2	850	-6,709	100	0,85	-0,008059	-6,85046
	2-3	790	9,122	100	1,16	0,014230	11,24161
	3-7	700	1,122	54,6	0,48	0,005618	3,93231
	7-4	600	-0,878	54,6	0,37	-0,003566	-2,13931
	4-5	980	-5,878	100	0,75	-0,006310	-6,18414
						SOMATÓRIO	0,00000

**Tabela 7** – Última iteração do cálculo de Hardy-Cross da rede de distribuição – 8ª simulação.

ANEL	TRECHO	COMP. (m)	VAZÃO (L/s)	DIÂMETRO (mm)	VELOC. (m/s)	FATOR DE ATRITO	PERDA DE CARGA	
							UNITÁRIA	TRECHO
1	1-2	1850	25.877	204.2	0.79	0.01818	0.002836	5.24569
	5-6	650	-9.123	100	1.16	0.02038	-0.014029	-9.11908
	6-1	850	-14.123	156.4	0.74	0.01948	-0.003433	-2.91824
	2-5	850	6.760	100	0.86	0.02114	0.007990	6.79163
							SOMATÓRIO	
								0.00000
2	5-2	850	-6.760	100	0.86	0.02114	-0.007990	-6.79163
	2-3	790	9.117	100	1.16	0.02038	0.014012	11.06947
	3-7	700	1.117	54.6	0.48	0.02686	0.005714	3.99949
	7-4	600	-0.883	54.6	0.38	0.02803	-0.003724	-2.23417
	4-5	980	-5.883	100	0.75	0.02155	-0.006166	-6.04317
							SOMATÓRIO	
								0.00000

**Tabela 8** – Última iteração do cálculo de Hardy-Cross da rede de distribuição – 9ª simulação.

ANEL	TRECHO	COMP. (m)	VAZÃO (L/s)	DIÂMETRO (mm)	VELOC. (m/s)	FATOR DE ATRITO	PERDA DE CARGA	
							UNITÁRIA	TRECHO
1	1-2	1850	25.884	204.2	0.79	0.01838	0.002869	5.30720
	5-6	650	-9.116	100	1.16	0.02075	-0.014260	-9.26874
	6-1	850	-14.116	156.4	0.73	0.01972	-0.003473	-2.95205
	2-5	850	6.767	100	0.86	0.02148	0.008134	6.91359
							SOMATÓRIO	
								0.00000
2	5-2	850	-6.767	100	0.86	0.02148	-0.008134	-6.91359
	2-3	790	9.117	100	1.16	0.02075	0.014262	11.26684
	3-7	700	1.117	54.6	0.48	0.02647	0.005627	3.93922
	7-4	600	-0.883	54.6	0.38	0.02720	-0.003615	-2.16916
	4-5	980	-5.883	100	0.75	0.02183	-0.006248	-6.12332
							SOMATÓRIO	
								0.00000

### CONCLUSÕES

O método apresentado para seleção dos diâmetros em trechos de redes de distribuição de água atende aos limites de velocidade recomendados pela NBR 12218:1994, exceto para o diâmetro mínimo indicado (DN50).

Os diâmetros referentes a tubos de PVC DEFo-Fo atendem ao critério de gradiente hidráulico máximo estabelecido pela antiga NB 594:1977 e por entidades de saneamento, porém, para atender à norma vigente da ABNT, o mesmo não ocorre para tubos de PVC PBA.

Com a utilização da tabela proposta neste trabalho, há folga entre a velocidade máxima encontrada para as tubulações – 2,375 m/s para o diâmetro de 500 mm – e a máxima estabelecida por norma – 3,5 m/s –, como recomendam Heller e Pádua (2010).

As tabelas de seleção de diâmetros de Martins (1976 apud TSUTIYA, 2006), Azevedo Netto (1998) e Porto (2006) alcançam, como prioridade, o atendimento do critério de máximo gradiente hidráulico recomendado na antiga NB 594:1977. Já a Tabela 4 de seleção de diâmetros, proposta neste trabalho, visa a atender, primordialmente, o estabelecido pela NBR 12218:1994, norma vigente para projeto de rede de distribuição de água.

Apesar de haver, em catálogo de fabricante de tubo de PVC, tabelas com simulações de vazões superiores às máximas propostas, por diâmetro, é importante verificar, experimentalmente, o desgaste dos tubos de maiores diâmetros para perda de carga unitária de 8 m/km, uma vez que as três tabelas atualmente mais utilizadas apresentam, para tubos com diâmetro superior a 200 mm, gradiente hidráulico máximo de 5 m/km.

A utilização simultânea da Tabela 4 para seleção de diâmetros e das equações propostas para cálculo do fator de atrito apresenta boa precisão e é recomendada. O erro relativo encontrado com o uso da Equação 18 para vazões menores que 1,0 L/s não resulta em grandes erros absolutos, uma vez que vazões pequenas geram perdas de carga pequenas, não havendo grande influência nos cálculos de uma rede de distribuição.

O uso da Tabela 4, em uma rede de distribuição, mostrou que ela pode ser aplicada diretamente para o dimensionamento dos trechos, com base em cada vazão. Já as três tabelas usuais devem ser utilizadas apenas como base de pré-dimensionamento, a fim de atender ao que determina, como velocidade mínima, a NBR 12218:1994.

## REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12218**: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1994.
- Azevedo Netto, J. M. **Manual de Hidráulica**. 8ª ed. São Paulo: Blucher, 1998.
- Barreto, G. C., Gomes, D. M., Gutierrez, L. A. C. L., Pereira, J. A. R. **Impacto da setorização no abastecimento de água em áreas urbanas**. VI SEREA - Seminário Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água. João Pessoa, 2006.
- Cardoso, G. G. G., Frizzone, J. A., Rezende, R. **Fator de atrito em tubos de polietileno de pequenos diâmetros**. Acta Scientiarum: Agronomy, Vol 30, p. 299-305, 2008.
- Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE. **Normas Técnicas para Projetos de Sistemas de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário Cagece**. Versão 02. Fortaleza, 2010.
- Companhia pernambucana de saneamento – COMPESA. **Proposta de atualização da norma interna SOP – 092**. Recife, 2004.
- Gameiro, R. C. P. G. **Dimensionamento otimizado de redes de distribuição de água com a utilização de algoritmos genéticos**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, 2003.
- Heller, L.; Pádua, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. Universidade Federal de Minas Gerais: Editora UFMG, 2010.
- Porto, R. M. **Hidráulica Básica**. 4ª ed. São Carlos: EESC/USP, 2006.
- Prefeitura Municipal de Rio Acima – Minas Gerais. **Diagnóstico e diretrizes para melhoria do sistema de abastecimento de água**. Vol 1. Rio Acima, 2013.
- Prefeitura Municipal de Vitória – Espírito Santo. **Especificação para elaboração do projeto de abastecimento de água**. Secretaria de Desenvolvimento da Cidade – SEDEC. Vitória, 2009.
- Rossman, L. A. **Epanet 2 – User's manual**. National risk management research laboratory office of research and development U.S. Environmental Protection Agency. Cincinnati – OH, 2000.
- Tigre S/A – Tubos e Conexões. **Infraestrutura água** – Catálogo técnico. Joinville – SC, 2011.
- Tsutiya, M. T. **Abastecimento de água**. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

# Potencialidade da utilização da areia removida em desarenadores de estação de tratamento de esgoto na construção civil, como material alternativo à areia comercial comum

*Assessment of the potential use of the grit removed in municipal wastewater treatment plants in civil construction as an alternative to the commercial sand*

- **Data de entrada:**  
28/06/2015
- **Data de aprovação:**  
10/02/2016

Nayara Batista Borges | José Roberto Campos | Javier Mazariegos Pablos | Gilcimar Trento Ferreira

DOI 10.4322/dae.2016.006

## Resumo

Mesmo com o alto nível de tecnologia envolvido nos processos e operações que compõem as estações de tratamento de esgoto (ETE), a questão da destinação final dos resíduos sólidos removidos no tratamento preliminar de ETE ainda carece de estudos, tanto em pesquisas quanto em projetos de novas estações; visando, principalmente, a utilização dos subprodutos passíveis de aproveitamento. Apesar de não receber a devida importância, uma vez que a prática comum é o lançamento desse tipo de resíduo em aterros sanitários sem a preocupação com reúso, redução, recuperação e impactos ambientais, atualmente, esse resíduo passou a ser considerado um dos problemas no gerenciamento de estações no que se refere ao manuseio, tratamento e destinação final. Nesse contexto, o presente artigo tem como objetivo demonstrar a potencialidade da utilização da areia residual removida nos desarenadores do tratamento preliminar de estações de tratamento de esgoto, como agregado para argamassa e concreto não estrutural na construção civil. Esta pesquisa tomou como referência a ETE Monjolinho de São Carlos-SP. Os resultados permitiram constatar que a areia residual apresenta elevada porcentagem de sólidos totais fixos (96,1%), alto teor de umidade (17,3%) e densidade expressiva de coliformes totais [média de  $3,84 \times 10^7$  (100 mL)<sup>-1</sup>] e fecais [média de  $5,22 \times 10^5$  (100 mL)<sup>-1</sup>]. O procedimento de limpeza e secagem da areia utilizada na pesquisa foi eficaz, uma vez que obteve as seguintes eficiências de remoção: cerca de 99,4% de umidade, 69,3% de sólidos totais voláteis e 5 log de E.Coli. Após limpeza e secagem da areia residual, diferentes teores desse material foram utilizados na confecção de corpos de prova, que foram submetidos a ensaios de resistências, lixiviação, solubilização e determinação de absorção de água. De forma comparativa, foram realizados os mesmos ensaios com a areia comercial comum (areia de referência), proporcionando uma análise mais clara e completa do estudo. Diante dos resultados de resistências obtidos e considerando a ideia de utilizar a maior proporção de material residual que seria descartado na ETE, recomenda-se a utilização de até 70% de areia residual como agregado miúdo em argamassas de cimento e cal e concreto magros (não estrutural). Os resultados dos ensaios de lixiviação e solubilização classificaram as argamassas e os concretos preparados com e sem substituição da areia comercial pela areia residual como resíduos classe II A, não perigosos e não inertes.

**Palavras-chave:** agregado miúdo, areia residual, aproveitamento de areia em ETEs, construção civil, desarenadores, tratamento preliminar.

## Abstract

Even with the high level of technology involved in the processes and operations that make up the wastewater treatment plants (WWTPs), the question of disposal of solid waste removed in the primary treatment of WWTP still needs studies, both in research as in the design of new plants; aiming mainly the use of byproducts. Although not given due importance, since the common practice is the launch of this type of waste in landfills without concern for re-use, reduction, recovery and environmental impacts, currently, this waste is now considered one of the management problems concerning handling, treatment and disposal. In this context, this article demonstrates the potential use of residual sand removed from grit chambers, which are used in the primary treatment of Wastewater Treatment Plants (WWTPs), as an alternative material to commercial sand, such as aggregate mortar and non-structural concrete in civil construction. This research took as a reference the WWTP Monjolinho of São Carlos-SP. The results indicated that the residual sand has a high percentage of total fixed solids (96.1%), high moisture content (17.3%) and significant total coliform [average of  $3.84 \times 10^7$  (100 mL)<sup>-1</sup>] and fecal coliform densities [average of  $5.22 \times 10^5$  (100 mL)<sup>-1</sup>]. The sand cleaning and drying procedure used in the research was effective, since it achieved the following removal efficiencies: about 99.4% of moisture, 69.3% of total volatile solids and 5-log E. Coli. After cleaning and drying the residual sand, different amounts of this material were used to prepare the test specimens, which underwent tensile tests leaching, solubilization and determination of water absorption. For comparative purposes, the same tests with the common commercial sand were performed (reference sand), providing a clearer and more complete analysis of the study. From the results obtained and the resistance considering the idea of using the largest proportion of waste material that would be discarded at the WWTP, it is recommended to use up to 70% residual sand as fine aggregate in cement and lime mortar and thin concrete (nonstructural). The results of leaching and dissolution tests rated the mortars and concrete prepared with and without replacement of sand by commercial residual waste sand as class II A, and non-hazardous non-inert.

**Keywords:** construction, fine aggregate, grit chambers, preliminary treatment, residual sand, sand reuse from WWTPs.

---

**Nayara Batista Borges** (\*) - Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa. Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo – Escola Engenharia de São Carlos.

**José Roberto Campos** - Engenheiro Civil pela Universidade de São Paulo. Professor titular da Universidade de São Paulo – Escola Engenharia de São Carlos.

**Javier Mazariegos Pablos** - Engenheiro Elétrico pela Universidade de São Paulo. Professor doutor da Universidade de São Paulo – Escola Engenharia de São Carlos.

**Gilcimar Trento Ferreira** - Engenheiro Ambiental pela UNICASTELO. Chefe do setor de operação da ETE Monjolinho do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) São Carlos- SP.

**Endereço para correspondência** (\*): Avenida trabalhador são-carlense, 400, CEP: 13566-590, São Carlos – SP/Brasil. E-mail: naybatista@yahoo.com.br

---



## INTRODUÇÃO

Uma das funções do tratamento preliminar é a retenção de sólidos grosseiros: minerais, sementes, cascas de ovos, penas de aves, pedaços de ossos, cabelo e outros, que são genericamente denominados “areia”. A finalidade da remoção desse material no tratamento de esgoto é eliminar ou minimizar os efeitos adversos ao funcionamento das partes componentes das instalações componentes da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE).

O material removido pelos desarenadores possui, geralmente, entre 35% e 80% de sólidos na fase seca e de 1% a 55% de sólidos voláteis (WATER ENVIRONMENT FEDERATION, 1998). Segundo os dados disponibilizados, por exemplo, sobre a ETE de Dr. Hélio Seixo de Britto (ETE Goiânia), a porcentagem de sólidos voláteis na areia retida, nos meses de julho a outubro, foi de 41,3% em relação aos sólidos totais e, nos meses de novembro e dezembro, essa porcentagem foi da ordem de 9% (SILVIA; CARVALHO, 2007).

Os resíduos removidos nos desarenadores são classificados como classe II A (não perigosos e não inertes), segundo a NBR 10004 (ABNT, 2004), apresentando porcentagens médias de 25,5% de umidade, densidades médias de *E. coli* de  $2,7 \times 10^6$  (100 mL)<sup>-1</sup> e ovos de helminto de 0,6 ovos g<sup>-1</sup> (TOMIELLO, 2008; YAMANE 2007).

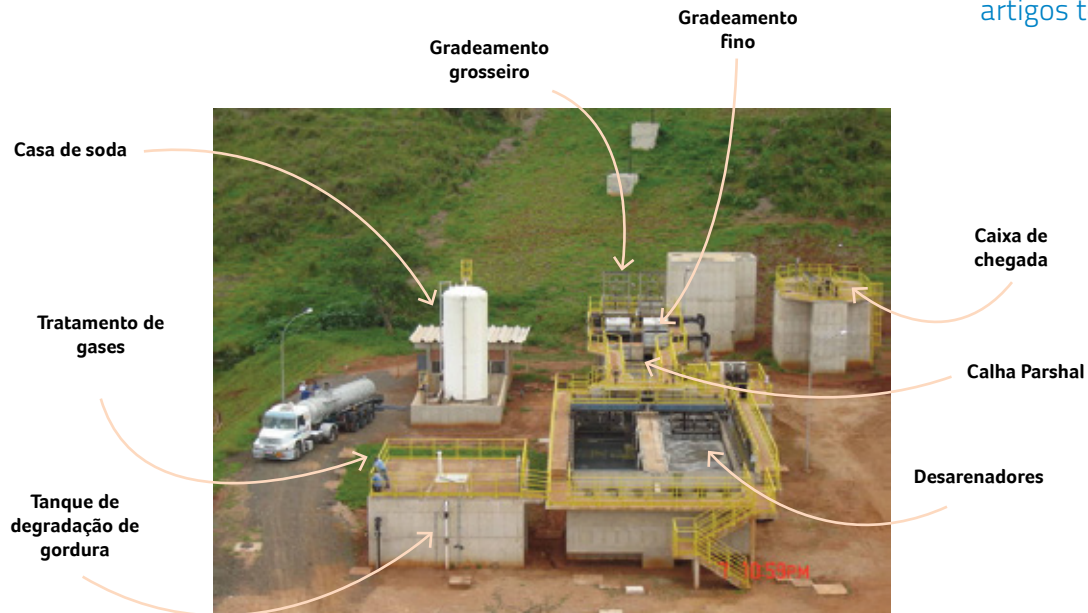
No Brasil, a prática comum no que se refere ao descarte da areia proveniente de ETEs é dispô-la no próprio terreno da estação (enterramento ou empilhamento) ou encaminhá-la para aterros. De forma geral, não há preocupação relacionada às potencialidades associadas ao seu aproveitamento direto, redução ou recuperação do volume gerado e impactos ambientais. A disposição em aterros brasileiros, além de representar custo da ordem de R\$ 160,00 t<sup>-1</sup> (valor em maio de 2014, contabilizados gastos inerentes ao transporte e disposição), ocupa volume que poderia ser efetivamente destinado aos resíduos domésticos. A

título de comparação, nos Estados Unidos, em algumas grandes ETEs, o resíduo dos desarenadores é incinerado conjuntamente com outros sólidos, tais como: material gradeado e lodos biológicos diversos. Em alguns estados americanos, existem leis ambientais que obrigam a estabilização com cal antes da disposição em aterro sanitário (MET-CALF; EDDY, 2003).

A utilização da areia removida em desarenadores em ETEs na construção civil surge como opção, com a premissa de que seja realizada sua higienização, com o objetivo de eliminar ou reduzir significativamente a densidade de micro-organismos patogênicos e remover matéria orgânica. Todavia, esse assunto, apesar de promissor, ainda é pouco explorado, pois, além do potencial benefício econômico, implica ganhos no aspecto ambiental, mediante a possível redução que pode ser alcançada na atividade de extração de areia comercial (isto é, empregada na construção civil) de leitos/margens de rios, que causa intenso dano à qualidade das águas.

Atualmente, há grande preocupação em relação aos resíduos, por se tratar de problema ambiental e também por acarretar gastos cada vez mais elevados para transporte e disposição apropriado desse material. Dessa forma, a utilização desses resíduos para produzir outros materiais pode reduzir o consumo de energia, as distâncias de transporte, como também contribuir para a redução da poluição decorrente.

Há várias pesquisas comprovando a viabilidade técnica da reutilização como agregado de alguns resíduos gerados na construção civil, como areia de fundição, areia de britagem (produto secundário do processo de beneficiamento de pedra britada), entre outros. Outra fonte de matéria-prima utilizada na construção civil é os resíduos do saneamento básico, como o lodo gerado em estações de tratamento de água e ETEs. Pesquisas têm demonstrado a potencialidade da utilização desses



**Figura 1** – Unidades e equipamentos componentes do tratamento preliminar da ETE Monjolinho – São Carlos-SP.

resíduos na confecção de concreto ou incorporação em argamassas, em substituição parcial de algum dos seus componentes (cimento ou areia), visando à redução no custo e no impacto ambiental.

Nesse contexto, o presente trabalho busca avaliar a potencialidade do aproveitamento da areia removida em ETEs como agregado miúdo para argamassa e concreto não estrutural na construção civil, após lavagem e secagem.

## MATERIAL E MÉTODOS

### ETE Monjolinho – São Carlos-SP

A pesquisa foi desenvolvida no tratamento preliminar da ETE Monjolinho, localizada na cidade de São Carlos (SP). O sistema de tratamento implantado na ETE tem capacidade para atender à vazão média de  $636 \text{ L s}^{-1}$  e vazão máxima de  $1.050 \text{ L s}^{-1}$ , sendo constituído por tratamento preliminar, seguido por reatores anaeróbios de fluxo ascendente de manta de lodo (UASB), floculação, flotação por ar dissolvido, desinfecção com radiação ultravioleta e pós-aeração. O lodo gerado na flotação e nos reatores UASB é desaguado por centrífugas.

O tratamento preliminar (Figura 1) da referida ETE é constituído por:

- grades mecanizadas do tipo cremalheira com espaçamento entre barras de 2 cm;
- grades mecanizadas do tipo escada com espaçamento livre entre lâminas de 3 mm;
- calha Parshall com garganta de 0,915 m;
- desarenadores aerados com remoção simultânea de areia e de óleos e graxas;
- sistema aeróbio para degradação de óleos e graxas, removidos no desarenador aerado;
- tratamento de gases.

O resíduo sedimentável é removido em intervalos regulares dos desarenadores por bombas submersíveis e encaminhado para equipamentos “classificadores” de areia e, a seguir, para caçamba.

De acordo com os dados operacionais de janeiro de 2012 a março de 2014, a ETE apresentou valor médio de vazão de  $527 \text{ L s}^{-1}$ , resultando nos seguintes parâmetros para cada desarenador: vazão de ar de  $5 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ , taxa de aplicação média de  $720 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$  e tempo de detenção

hidráulica de 6 min. A quantidade de areia removida, na ocasião da pesquisa, foi de  $25 \text{ t.mês}^{-1}$ , correspondente a  $18,3 \text{ kg (1.000 m}^3\text{)}^{-1}$ . Atualmente, o preço pago por tonelada pelo transporte e disposição desse resíduo no aterro sanitário de São Carlos é de cerca de R\$ 160,00 (transporte: 43% e disposição: 57%).

### CARACTERIZAÇÃO DA AREIA RESIDUAL REMOVIDA NOS DESARENADORES

Para caracterização da areia residual, foram coletadas seis amostras, em diferentes épocas do ano. Cada amostragem constituiu uma coleta, durante duas horas de operação dos classificadores de areia, em que cerca de 70 kg de areia foram dispostos sobre lona plástica. A areia foi revolvida e uma amostra de aproximadamente 2 kg, retirada para determinação dos seguintes parâmetros: série de sólidos totais, umidade, coliformes totais e fecais. Após, foi encaminhada à unidade experimental abrigada em uma estufa agrícola com 6,0 m de comprimento, 4,0 m de largura e 3,0 m de altura para procedimento de limpeza e secagem. Os gases exalados foram retirados da unidade por exaustor do tipo axial, de capacidade de  $1.500 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$  e pressão de serviço de 6 mmca.

Para determinação de coliformes totais e fecais, misturaram-se, durante 5 min, 20 g de areia residual com 200 mL de água deionizada. Após a mistura, a amostra foi mantida em repouso durante 24 h e, depois desse tempo, o sobrenadante foi analisado de acordo com os *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).

Para duas dessas amostras, também foi efetuada determinação da distribuição granulométrica. Após, determinou-se a concentração de sólidos totais voláteis e fixos, para verificar as porcentagens de matéria orgânica e do resíduo inerte das frações retidas nesse ensaio.

### DEFINIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DE LIMPEZA E SECAGEM DA AREIA RESIDUAL

As possibilidades de utilização ou aproveitamento da areia em estado bruto, ou seja, sem lavagem, secagem e classificação, são praticamente inexistentes. Devido a isso, foi realizado procedimento de limpeza e secagem (peneiramento, lavagem e secagem), com o intuito de reduzir a umidade, a matéria orgânica e a densidade de micro-organismos patogênicos, tornando-a segura do ponto de vista microbiológico para as possíveis aplicações desejadas.

Primeiramente, os resíduos coletados foram dispostos em duas baias, durante cinco dias, cada uma com 1,2 m de comprimento e 0,6 m de largura, para a drenagem/evaporação do líquido (esgoto) coletado com o material. Posteriormente, a areia residual foi peneirada (peneira de abertura de 1,18 mm) para remoção de materiais maiores, tais como: bitucas de cigarro, sementes, pedras, palitos de fósforo, entre outros. Após, efetuou-se lavagem em betoneira (capacidade total do tambor de 63 L) com água potável e hipoclorito de sódio, com concentração de 12%, visando à inativação de micro-organismos e possível oxidação da matéria orgânica agregada na areia. Para cada lavagem, foram estabelecidos os seguintes parâmetros: relação areia/água potável de 0,51, relação da solução de hipoclorito de sódio/água potável de 0,03 e tempo de mistura de 10 min. Por fim, a areia lavada foi disposta em quatro baias (cada uma com 0,6 m de comprimento, 0,6 m de largura e 0,2 m de altura total) para secagem durante dez dias. Na Figura 2 estão ilustradas as etapas do procedimento de limpeza e secagem da areia residual.

Após procedimento de limpeza e secagem, foram realizadas para quatro amostras as seguintes determinações: distribuição granulométrica, massa unitária, massa específica aparente, série de



**Figura 2** – Etapas da limpeza e secagem do material sedimentável: (a) unidade experimental; (b) peneiramento; (c) secagem; (d) lavagem.

sólidos totais, umidade e coliformes totais e fecais. Tais determinações também foram feitas para areia comercial de referência. Ressalta-se que a areia de referência também foi submetida à etapa de peneiramento (abertura de 1,18 mm), antes da realização das análises.

#### ENSAIOS: CONCRETO E ARGAMASSAS

Para ensaios de controle para o concreto, foram confeccionados corpos de prova cilíndricos (100 mm de diâmetro e 200 mm de altura) com traço 1:3:2 (cimento:areia:brita), em massa. Os componentes do concreto utilizados na pesquisa foram: cimento Portland do tipo CP-II-E-32, brita nº 1 (granulometria variando de 9,5 a 19 mm), areias residual e comercial e água (relação água/cimento foi estabelecida na faixa de 0,5 a 0,7).

Foram realizados ensaios utilizando substituição total da areia comum pela areia residual e ensaios com substituição parcial nas proporções de 30%, 50%, 70% e 80%. Nos ensaios com substituição

total (100% de areia residual), foram analisadas as idades de cura de 28 dias e 91 dias e os seguintes parâmetros foram avaliados: resistências à compressão axial, conforme a NBR 5739 (ABNT, 1994) e à tração por compressão diametral, segundo determinação da NBR 7222 (ABNT, 1994); absorção de água, conforme a NBR 9778 (ABNT, 2005); lixiviação e solubilização, conforme a NBR 10005 (ABNT, 2004) e a NBR 10006 (ABNT, 2004), respectivamente. Já nos ensaios com substituição parcial, analisou-se apenas a idade de 28 dias e foram verificadas as resistências à compressão axial e à tração por compressão diametral.

Também, foram avaliadas as possibilidades de utilização da areia residual em argamassa para revestimento externo. Para tanto, foram moldados corpos de prova cilíndricos (50 mm de diâmetro e 100 mm de altura) com traço 1:1:6 (cimento:cal hidratada:areia), em massa, e realizados ensaios de resistência à compressão axial, lixiviação e solubilização na idade de 28 dias.

**Tabela 1** – Classificação de argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005).

Resistência característica (Mpa)					
Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Classe 6
≤ 2,0	1,5 a 3,0	2,5 a 4,5	4,0 a 6,5	5,5 a 9,0	≥ 8,0

Os aglomerantes utilizados foram o cimento Portland CP-II-E-32 e a cal hidratada do tipo CH-II. As argamassas foram preparadas substituindo a areia comercial pela areia residual nas porcentagens crescentes de 0%, 30%, 50% e 100%. A relação água/cimento foi estabelecida em 1,2.

A preparação, moldagem e cura dos corpos de prova foram executadas de forma padronizada e seguindo o que prescreve a NBR 5738 (ABNT, 2003), para melhor confiabilidade dos resultados obtidos.

Podem-se definir as resistências características do concreto à compressão ( $f_{ck}$ ) e à tração ( $f_{ctk}$ ) como valor mínimo estatístico acima do qual ficam situados 95% dos resultados experimentais, sendo determinadas pelas seguintes equações (ANDOLFATO, 2002):

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,65 \times s \quad 1$$

$$f_{ctk} = f_{cm} - 1,65 \times s \quad 2$$

Em que:  $f_{cm}$  é a média aritmética dos valores de  $f_c$  para o conjunto de corpos de prova ensaiados e  $s$  é o desvio padrão.

Para classificar as argamassas em relação ao requisito resistência à compressão, foram utilizadas as características da NBR 13281 (ABNT, 2005), conforme apresentado na Tabela 1.

## RESULTADOS

### Caracterização e procedimento de limpeza e secagem da areia residual

Na Tabela 2, estão apresentados os resultados das determinações relacionadas com a areia residual removida nos desarenadores, antes e depois do procedimento de limpeza e secagem, e a areia de referência.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 2, verificou-se que:

- Os resíduos, antes do procedimento de limpeza e secagem, apresentaram elevada porcentagem de sólidos totais fixos, alto teor de umidade e densidade expressiva de coliformes totais e fecais, demonstrando a necessidade de tratamento com o objetivo de eliminar ou reduzir significativamente a densidade de micro-organismos patogênicos, a fim de tornar a areia segura do ponto de vista microbiológico, bem como diminuir a quantidade de água e material orgânico, viabilizando as possíveis aplicações desejadas.
- O procedimento de limpeza e secagem utilizado foi eficaz, obtendo-se as seguintes eficiências de remoção: 99,4% de umidade e 69,3% de sólidos totais voláteis, além de decaimento bacteriano médio de 5 log para Coliformes totais e *E.Coli*.



**Tabela 2** – Determinações referentes aos resíduos removidos no desarenador antes e após procedimento de limpeza e secagem da areia de referência.

Parâmetro	Unidade	Areia residual		Areia referência
		Antes (n=6)	Após (n=4)	(n=1)
Coliformes totais	UFC.(100 mL) <sup>-1</sup>	3,84E+07	1,96E+02	1,6 x 10 <sup>3</sup>
E. coli	UFC.(100 mL) <sup>-1</sup>	5,22E+05	Ausência	Ausência
Sólidos totais	(%)	85,2 ± 3,60	99,9 ± 0,39	99,9
Sólidos totais fixos	(%)	96,9 ± 1,07	99,0 ± 0,13	99,9
Sólidos totais voláteis	(%)	3,1 ± 1,07	1,0 ± 0,13	0,1
Porcentagem de umidade	(%)	14,8 ± 3,69	0,10 ± 0,39	0,1

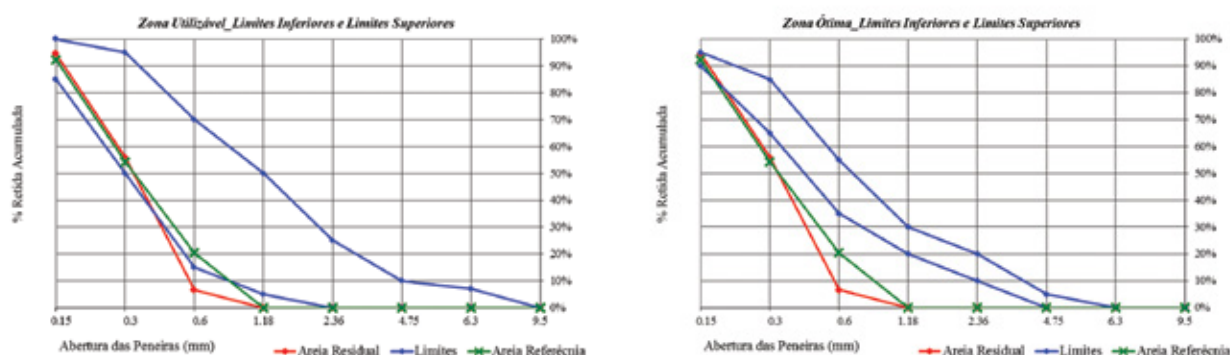
Nota: n = número de amostras.

- A areia residual após procedimento de limpeza e secagem apresentou características semelhantes às da areia de referência, mostrando valores pouco superiores para sólidos totais voláteis, *E. coli* e umidade.

Na Figura 3, encontram-se os resultados das análises granulométricas da areia residual após limpeza e secagem e da areia de referência, assim como os limites das zonas ótima e utilizável, prescritos na NBR 7211 (ABNT, 2009) para recepção e produção de agregados miúdos. Ressalta-se que, apesar de essa norma não se aplicar a agregados obtidos por processos industriais, como subprodutos, e a materiais reciclados ou mistura desses

agregados, servirá de subsídio para comparação com material deste estudo.

Nota-se que as curvas granulométricas apresentaram características semelhantes. Para ambas as curvas, a porcentagem acumulada foi menor que o limite inferior (5%) para abertura de 1,18 mm. A areia residual também apresentou porcentagem acumulada menor que o limite inferior (15%) para abertura de 0,60 mm. A explicação para tal fato é que foram removidos todos os resíduos com dimensões maiores durante a etapa de peneiramento (peneira de 1,18 mm), tanto da areia residual quanto da areia de referência. Essa etapa foi fundamental para reduzir parcela da matéria orgânica da areia residual.



**Figura 3** – Análise granulométrica da areia residual após procedimento de limpeza e secagem e da areia de referência e limites da NBR 7211 (ABNT, 2009).



Destaca-se que podem ser utilizados como agregado miúdo para concreto materiais com distribuição granulométrica diferente das zonas apresentadas na Figura 3, desde que estudos prévios de dosagem comprovem sua aplicabilidade.

Verificou-se menor concentração de resíduos orgânicos nas frações retidas nas peneiras de abertura menor, demonstrando que, para reduzir a parcela de matéria orgânica da areia residual, é fundamental a etapa de peneiramento.

Na Tabela 3, apresentam-se os resultados dos agregados (areia e brita) utilizados na composição do concreto. Como agregado miúdo, utilizaram-se a areia residual (removida nos desarenadores) e a areia de referência e, como agregado graúdo, empregou-se a brita nº 1.

É importante conhecer as características dos materiais utilizados na composição do concreto, pois elas influenciam a resistência, durabilidade e dosagem do concreto. Conforme os valores apresentados na Tabela 3, verificou-se que a areia residual e a areia de referência apresentaram características bastante semelhantes. Ambas revelaram baixo módulo de finura, indicando a presença de alta porcentagem de matéria fina. Ressalta-se que alta porcentagem de matéria fina exige aumento da água de amassamento e, conseqüentemente, de cimento, para o mesmo fator água/cimento, tornando o concreto mais dispendioso. Além disso, o material inferior a 0,076 mm pode misturar-se com o cimento, criando descontinuidade na mistura e reduzindo a resistência do concreto. Por outro lado, o concreto sem o material fino é pouco trabalhável, sujeito a maior permeabilidade e agentes agressivos.

**Tabela 3** – Características dos agregados utilizados na composição do concreto.

Parâmetro	Unidade	Norma ABNT	Agregado		
			Areia residual	Areia de referência	Brita nº 1
Massa unitária	kg L <sup>-1</sup>	NM 45/06	1,45	1,60	1,57
Massa específica aparente	g cm <sup>-3</sup>	NM 52/09	2,44	2,62	
Diâmetro máximo característico	mm	NBR 248/03	1,18	1,18	6,30
Módulo de finura		NBR 248/03	1,57	1,67	4,84

**Tabela 4** – Resultados dos ensaios de controle para concreto confeccionado com 100% de areia residual ou 100% de areia de referência aos 28 e 91 dias de cura.

Parâmetro	Areia residual				Areia de referência			
	Número de amostras		Valor médio		Número de amostras		Valor médio	
	28 dias	91 dias	28 dias	91 dias	28 dias	91 dias	28 dias	91 dias
Resistência à compressão axial (MPa)	20,0	10,0	9,7	9,9	5,0	5,0	19,8	22,4
Resistência à tração por compressão diametral (MPa)	16,0	8,0	1,1	1,2	4,0	4,0	2,1	2,2
Absorção de água (%)	12,0	6,0	6,2	4,9	3,0	3,0	7,5	6,8

**Tabela 5** – Parâmetros com valores superiores aos máximos estabelecidos na NBR 10004 (ABNT, 2004) no extrato para os corpos de prova, aos 28 e 91 dias de cura.

Parâmetro	Unidade	28 dias		91 dias		Limite máximo no extrato
		Areia de referência	Areia residual	Areia de referência	Areia residual	
Alumínio	mg Al L <sup>-1</sup>	0,25	0,35	0,26	0,45	0,20
Bário	mg Ba L <sup>-1</sup>	0,79	1,96	1,24	0,86	0,70
Cádmio	mg Cd L <sup>-1</sup>	0,004	0,054	0,017	0,042	0,005
Chumbo	mg Pb L <sup>-1</sup>	< LD	0,25	0,20	0,10	0,01
Ferro total	mg Fe L <sup>-1</sup>	0,12	0,27	0,35	0,69	0,30
Surfactantes	mg LAS L <sup>-1</sup>	0,75	0,83	0,50	0,90	0,50

## ENSAIOS COM CORPOS DE PROVA

Na Tabela 4, encontram-se os resultados de controle para concreto dos corpos de prova confeccionados com 100% de areia residual e 100% de areia de referência com idade de ruptura de 28 e 91 dias.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 4, verificou-se que:

- Os corpos de prova confeccionados com areia de referência apresentaram valores de resistência superiores aos fabricados com 100% de areia residual.
- As resistências à compressão axial e à tração por compressão diametral foram maiores com o aumento da idade de ruptura. No caso da resistência à compressão axial, o aumento médio foi aproximadamente de 2,4% para areia residual e 11,5% para areia de referência. Já para a resistência à tração por compressão diametral, o aumento foi de 9,4% para areia residual e 4,9% para areia de referência.
- Os ensaios de absorção revelaram que o concreto confeccionado com areia de referência apresentou maior absorção de água que o elaborado com areia residual, para ambos os tempos de cura analisados.

Os resultados dos ensaios de solubilização dos concretos fabricados com 100% de areia residual e 100% de areia de referência, aos 28 e 91 dias, foram muito semelhantes entre si, com alguns parâmetros pouco acima do limite máximo estabelecido pelo Anexo G da NBR 10004 (ABNT, 2004), para ambos os corpos de prova, conforme apresentado na Tabela 5.

De acordo com os resultados dos ensaios de lixiviação dos concretos preparados com areia residual e de referência aos 28 e 91 dias de cura, verificou-se que os valores de todos os parâmetros analisados foram inferiores aos limites estabelecidos no extrato de lixiviado – Anexo F da NBR 10004 (ABNT, 2004). Portanto, os resultados dos ensaios de lixiviação e solubilização classificaram os concretos confeccionados com areia residual e areia de referência, para ambas as idades analisadas, como resíduos classe II A, não perigosos e não inertes.

Visando a aumentar a resistência à compressão axial dos corpos de prova, foi avaliada a substituição parcial da areia residual por areia comercial comum. Na Tabela 6, encontram-se os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial e à tração por compressão diametral, que utilizaram as seguintes porcentagens da areia residual: 100%, 80%, 70%, 50%, 30% e 0%, como agregado miúdo na preparação do concreto.

**Tabela 6** – Resultados dos ensaios de resistência dos corpos de prova confeccionados com substituição total e parcial da areia comercial por areia residual comum aos 28 dias de cura.

Parâmetro	Resistência à compressão axial (MPa)					
	100% AR+ 0% AC	80% AR+ 20% AC	70% AR+ 30% AC	50% AR+ 50% AC	30% AR+ 70% AC	0% AR+ 100% AC
	n=20	n=5				
Mínimo	6,8	10,8	12,3	13,6	17,0	19,6
Máximo	12,5	11,0	13,4	15,7	18,1	20,1
Média aritmética	9,7	10,9	12,8	14,9	17,4	19,8
Mediana	9,1	11,0	12,8	15,2	17,1	19,8
Desvio padrão	1,4	0,1	0,5	0,7	0,4	0,2
f <sub>ck</sub>	7,3	10,8	12,0	13,7	16,7	19,5
Parâmetro	Resistência à tração por compressão diametral (MPa)					
	100% AR+ 0% AC	80% AR+ 20% AC	70% AR+ 30% AC	50% AR+ 50% AC	30% AR+ 70% AC	0% AR+ 100% AC
	n=16	n=3				n=4
Mínimo	0,8	1,6	1,7	1,6	1,8	1,6
Máximo	1,5	2,0	2,0	1,8	2,0	2,4
Média aritmética	1,1	1,7	1,8	1,7	1,9	2,1
Mediana	1,1	1,6	1,7	1,8	1,8	2,2
Desvio padrão	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,3
f <sub>ctk</sub>	0,8	1,4	1,5	1,6	1,7	1,6

Notas: n = número de amostras. AR = areia residual. AC = areia comercial.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 6, verificou-se que:

- Houve acréscimo nos valores de  $f_{ck}$  e  $f_{ctk}$  à medida que se aumentou a quantidade de areia comercial. No caso da resistência característica à compressão, os aumentos em relação aos ensaios com 100% de areia residual foram: 46,6%, 63,7%, 86,9%, 127,1% e 165,1%, respectivamente, para as seguintes porcentagens de areia comercial adicionada: 20%, 30%, 50%, 70% e 100%. Para os valores de  $f_{ctk}$ , para as mesmas proporções de areia comum adicionadas, os aumentos foram de 69,3%, 89,0%, 93,6%, 109,9% e 97,0%.
- A resistência do concreto à tração variou entre 8,2% (100% de areia comercial) e 12,8% (substituição de 20% e 30% de areia residual por comercial) da resistência à compressão.
- Os resultados de resistência do concreto preparado com a mistura de areia residual com areia comercial comum em todas as proporções analisadas foram satisfatórios para utilizações sem função estrutural, tendo em vista que seus valores de  $f_{ck}$  foram superiores a 10 MPa – limite mínimo previsto na NBR 15116 (ABNT, 2004).
- Com os resultados referentes à resistência característica à compressão ( $f_{ck}$ ), uma proporção de 80% de areia residual e 20% de areia comercial poderia ser utilizada (maior que 10 MPa); contudo, por segurança, seria mais apropriado considerar a proporção de 70% de areia residual e 30% de areia comercial.

**Tabela 7** – Resultados dos ensaios de resistência das argamassas preparadas com substituição total e parcial de areia residual por areia de comercial comum aos 28 dias de cura.

Parâmetro	Compressão axial (MPa)			
	100% AC+ 0% AR	70% AC+ 30% AR	50% AC+ 50% AR	0% AC+ 100% AR
	n=4			
Mínimo	6,0	5,7	5,2	5,0
Máximo	8,3	6,0	7,1	5,9
Média aritmética	7,4	5,8	6,2	5,4
Mediana	7,7	5,8	6,3	5,3
Desvio padrão	0,9	0,1	0,7	0,3
fck	5,97	5,61	5,02	4,82

Notas: n = número de amostras. AR = areia residual. AC = areia comercial

Na Tabela 7, estão apresentados os resultados das resistências à compressão axial, aos 28 dias, das argamassas preparadas com substituição da areia comercial pela areia residual nas porcentagens crescentes de 0%, 30%, 50% e 100%.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 7, verificou-se que:

- Houve redução da resistência à compressão axial à medida que aumentou a substituição da areia comercial pela areia residual. As reduções em relação às argamassas sem incorporação de areia residual (100% AC + 0% AR) foram de aproximadamente 6,0%, 15,9% e 19,2%, para, respectivamente, as adições de 30%, 50% e 100% de areia residual.
- Todas as argamassas avaliadas foram classificadas como classe 4, de acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2005) (Tabela 1), para assentamento e revestimento de paredes e

tetos, pois as resistências características à compressão, aos 28 dias, foram superiores a 4,0 MPa e inferiores a 6,0 MPa.

Os resultados dos ensaios de solubilização das argamassas preparadas com substituição da areia comercial pela areia residual nas porcentagens de 0%, 30%, 50% e 100%, aos 28 dias, foram muito semelhantes entre si, com alguns parâmetros pouco acima do limite máximo estabelecido pela NBR 10004 (ABNT, 2004), conforme apresentado na Tabela 8.

De acordo com os resultados de lixiviação das argamassas preparadas com substituição da areia comercial pela areia residual nas porcentagens de 0%, 30%, 50% e 100%, aos 28 dias, verificou-se que os valores de todos os parâmetros analisados foram inferiores aos limites estabelecidos no extrato de lixiviado. Portanto, os resultados dos ensaios de lixiviação e solubilização classificaram essas argamassas como resíduos classe II A, não perigosos e não inertes.

**Tabela 8** – Parâmetros superiores aos valores máximos no extrato para os corpos de prova aos 28 dias de cura.

Parâmetro	Unidade	100% AC+ 0% AR	70% AC+ 30% AR	50% AC+ 50% AR	0% AC+ 100% AR	Limite máximo no extrato
Alumínio	mg ALL-1	0,37	0,40	0,48	0,76	0,20
Bário	mg Ba.L-1	2,22	2,59	3,89	2,19	0,70
Cádmio	mg Cd.L-1	0,017	0,015	0,021	0,018	0,005
Chumbo	mg Pb.L-1	0,08	0,06	-	-	0,01
Cianetos	mg CN-.L-1	-	0,076	0,118	0,108	0,07
Fenóis totais	mg C6H5OH.L-1	0,031	0,122	0,207	0,023	0,010
Nitratos	mg N.L-1	-	-	13,43	21,68	10,00
Surfactantes	mg LA. L-1	-	-	0,75	1,25	0,50

## VIABILIDADE ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO DA AREIA RESIDUAL

A Tabela 9 mostra a estimativa total para o aproveitamento da areia removida nos desarenadores da ETE Monjolinho. Ressalta-se que para estimativa considerou-se a produção média de areia removida nos desarenadores da estação, de 25 t.mês<sup>-1</sup> (dados disponibilizados em maio de 2014 pela gerência do Serviço Autônomo de Água e Esgoto – SAAE de São Carlos).

Conforme os dados apresentados na Tabela 9, o custo estimado para a ETE Monjolinho aproveitar a areia residual removida nos desarenadores seria em torno de R\$ 5.357,43 por mês. Desse valor, deve ser descontado o retorno financeiro que a areia trará para a estação.

De acordo com os dados do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil, o preço da areia fina, no estado de São Paulo, é em torno de R\$ 56,00.m<sup>-3</sup>, sem considerar o valor do transporte (maio de 2014). Com base no resultado da massa específica da areia residual de 1,45 kg.L<sup>-1</sup> (Tabela 3), tem-se que o preço da tonelada de areia possível para aproveitamento seria de R\$ 38,62.

Na Tabela 10, apresenta-se a comparação entre as despesas com a areia removida nos desarenadores da ETE Monjolinho (custo mensal da quantidade de areia a ser transportada e disposta no aterro sanitário) e o custo para possível aproveitamento dessa areia. Ressalta-se que, no cálculo do valor agregado da areia residual, se considerou a taxa de 0,1% de material não aproveitável (sólidos removidos na etapa de peneiramento).

**Tabela 9** – Custo total para aproveitamento da areia residual na ETE Monjolinho – São Carlos-SP (maio de 2014).

Discriminação	Custo por tonelada (R\$.t <sup>-1</sup> )	Custo ETE Monjolinho (R\$.mês <sup>-1</sup> )
Operação	190,36	4.759,00
Implantação	21,76	544,03
Manutenção	2,18	54,40
Total	-	5.357,43

**Tabela 10** – Comparação entre possíveis alternativas para areia removida na ETE Monjolinho: aproveitamento e disposição em aterros em R\$.mês<sup>-1</sup> (maio de 2014).

Alternativa para areia	Custo	Benefício	Custo total final
Aproveitamento	5.357,43	868,97	4.488,47
Disposição em aterro sanitário	4.000,00	-	4.000,00

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 10, verificou-se que o aproveitamento da areia resultou em maiores custos que sua disposição em aterro sanitário. Ressalta-se que essa comparação é específica para cada ETE, tendo em vista que envolve o custo do transporte, o qual é diretamente proporcional à distância entre a estação e o aterro credenciado para receber esse tipo de resíduo, e o custo da disposição. Segundo informações da Gerência, a ETE Monjolinho apresentou custo total para dispor a areia em aterros sanitários inferior aos valores disponibilizados por outras ETES da região, que variou na faixa de 200,00 a 250,00 R\$.t<sup>-1</sup>. Portanto, sob ponto de vista econômico, a vantagem do aproveitamento da areia está condicionada ao porte da ETE e a distância da mesma ao aterro sanitário, sendo mais vantajosa para ETES de grande porte (maior valor do benefício em função

da maior produção de areia) e situadas em locais onde os aterros sanitários são mais distantes.

## CONCLUSÕES

- Verificou-se a viabilidade da utilização da areia residual, removida nos desarenadores de ETES, como agregado miúdo na incorporação de argamassas para revestimento e preparação de concreto não estrutural, desde que seja submetida ao procedimento de limpeza e secagem. Esse procedimento tem como objetivo reduzir significativamente a densidade de micro-organismos patogênicos e remover matéria orgânica, uma vez que esse tipo de resíduo apresentou alto teor de umidade (17,3%), quantidade significativa de sólidos totais voláteis (3,9%) e densidades expressivas de coliformes totais [ $3,84 \times 10^7$  (100 mL)<sup>-1</sup>] e fecais [ $5,22 \times 10^5$  (100 mL)<sup>-1</sup>].



- O procedimento de limpeza e secagem da areia residual adotado nesta pesquisa foi eficaz, uma vez que obteve as seguintes eficiências de remoção: em torno de 99,4% de umidade, 69,3% de sólidos totais voláteis e 5 log de *E. coli*. Tal procedimento envolveu a implantação de uma edificação coberta, do tipo agrícola, e compreendeu etapas de peneiramento, lavagem e secagem da areia residual.
- Foi comprovada a viabilidade técnica – a partir das resistências à compressão e à tração diametral – e ambiental da potencialidade de aproveitamento da mistura da areia residual com areia comercial na construção civil.
- Os resultados dos ensaios de resistência à compressão das argamassas demonstraram que, independentemente da proporção das areias utilizadas, todos os corpos de prova foram classificados como P4 (resistência à compressão na faixa de 4,0 a 6,5 MPa), de acordo com os requisitos da NBR 13281 (ABNT, 2005).
- Diante dos resultados de resistências obtidos e considerando a ideia de utilizar a maior proporção de material residual que seria descartado na ETE, tendo em vista que os resíduos são um problema no gerenciamento de estações no que se refere ao manuseio, tratamento e destinação final, recomenda-se a utilização de 70% de areia residual como agregado miúdo em argamassas de cimento e cal e concreto magro (não estrutural).
- Os resultados dos ensaios de lixiviação e solubilização classificaram as argamassas e os concretos confeccionados com areia residual e areia de referência como resíduos classe II A, não perigosos e não inertes. Os dados apresentados nesta pesquisa alertam para a necessidade de promover discussão sobre os limites da norma NBR 10004 (ABNT, 2004) quanto aos parâmetros vigentes de determinados elementos em matérias-primas destinadas à construção civil.
- Também, constatou-se que o aproveitamento da areia residual no preparo de concretos e argamassas é uma alternativa ambientalmente correta, uma vez que promove redução de quantidades consideráveis desse material a ser dispostas em aterros ou devolvidas, bem como reduções significativas no consumo de agregados naturais.
- Sob o ponto de vista econômico, a vantagem do aproveitamento dos resíduos removidos nos desarenadores está condicionada ao porte da ETE e a distância da mesma ao aterro sanitário.
- Por fim, diante dos resultados obtidos nesta pesquisa e priorizando as questões ambientais, tecnológicas e científicas, recomenda-se, para desenvolvimento de trabalhos futuros, que sejam realizados estudos complementares dos corpos de prova confeccionados com areia residual para verificação da sua durabilidade, entre eles: resistência mecânica a médio e longo prazo, com idade de pelo menos 91 dias; resistência a sulfatos; e resistência à penetração de cloretos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) pelo auxílio financeiro e incentivo à pesquisa (Processo nº 2011/5134-6); à administração do SAAE e à equipe técnica da ETE Monjolinho de São Carlos pela ajuda prestada durante toda a pesquisa; e aos técnicos dos Laboratórios de Saneamento e de Construção Civil da Universidade de São Paulo em São Carlos pela disposição, estímulo e auxílio durante a realização das análises e ensaios.

## REFERÊNCIAS

Associação Brasileira De Normas Técnicas (1998). **NBR 67**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cones. Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_. **NBR 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, RJ, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, RJ, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação – Procedimentos. Rio de Janeiro, RJ, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 10005**: Lixiviação de resíduos – Procedimentos. Rio de Janeiro, RJ, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 10006**: Solubilização de resíduos – Procedimentos. Rio de Janeiro, RJ, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos. Rio de Janeiro, RJ, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro. 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro. 2005.

\_\_\_\_\_. **NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro. 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739**: Concreto – Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, RJ, 2007.

\_\_\_\_\_. **NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro. 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro. 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 7222**: Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, RJ, 2011.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AWWA - AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WEF - WATER ENVIRONMENT FEDERATION. 2005. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21ª ed. APHA, AWWA, WEF, Washington, DC, EUA.

BORGES, N.B. **Aproveitamento dos resíduos gerados no tratamento preliminar de estações de tratamento de esgoto**. 2014. 240 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

METCALF; EDDY. **Wastewater engineering: Treatment disposal and reuse**. 4th ed. New York: McGraw-Hill Inc. 1819p. 2003.

SILVA, M. F.; CARVALHO, E. H. **Otimização do tratamento preliminar da ETE-Goiânia**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte:ABES. 2007.

TOMIELLO, E. C. **Análise dos resíduos sólidos de desarenador do tratamento preliminar de esgotos sanitários da Cidade de Maringá – PR**. Maringá – PR. 2008.130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

WATER ENVIRONMENT FEDERATION (1998) **Design of municipal wastewater treatment plants**. Water Environment Federation of practice n.8 4.ed v2.Alexandrina, USA: Water Environment Federation and American Society of Civil Engineers.

YAMANE, L. H. **Avaliação da higienização do resíduo de caixa de areia de estações de tratamento de esgoto**. 2007. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2007.

# Estabilidade de Saxitoxinas GTX 2/3, dc-GTX 2/3 e C1/2 em água de abastecimento e impactos na validação de método analítico

- **Data de entrada:**  
03/12/2014
- **Data de aprovação:**  
11/02/2016

*Saxitoxins GTX 2/3, dc-GTX 2/3 and C1/2 stability in drinking water and impacts on the validation of analytical method*

Marianna Correia Aragão | Ana Zélia Abreu | José Capelo Neto

DOI 10.4322/dae.2016.007

## Resumo

Vários relatos indicam que cianobactérias produtoras de Saxitoxinas estão cada vez mais presentes em lagos no Brasil e no mundo. Apesar disso, a maioria dos métodos analíticos apresentados na literatura são focados na análise de Saxitoxinas em moluscos marinhos, ficando os métodos para água potável subavaliados. Este trabalho teve como objetivo validar uma metodologia analítica para quantificação de Saxitoxinas GTX2/3, dc-GTX2/3 e C1/2 utilizando cromatografia líquida de alta eficiência e verificar os impactos da estabilidade destas toxinas neste processo. As toxinas C1/2 sofreram degradação rápida, o que impossibilitou a conclusão de sua validação. Para as outras toxinas, o método provou ser seletivo, eficiente, exato, preciso e robusto, exceto para baixas concentrações. Apesar da significativa redução do limite de quantificação comparativamente à literatura recente, os mesmos ficaram acima do valor máximo permitido para Saxitoxinas pela portaria MS 2914/2011, sugerindo que a agregação de uma etapa de pré-concentração é fundamental. Os resultados sugerem também que, devido à instabilidade destas toxinas, sua detecção em águas naturais ou tratadas podem ser comprometidas se os procedimentos de coleta e preservação não seguirem técnicas apropriadas.

**Palavras-chave:** Estabilidade de Saxitoxinas; Validação de método analítico, CLAE-DFI

## Abstract

*Several reports indicate that saxitoxin-producing cyanobacteria are increasingly present in lakes in Brazil and world-wide. Nevertheless, most analytical methods reported in the literature are focused on the analysis of marine shellfish, leaving methods for drinking water understudied. This study had as objectives to validate an analytical methodology for quantification of saxitoxins GTX2/3, dc-GTX2/3 and C1/2 using high performance liquid chromatography and verify the impact of the toxins stability in the process. Toxins C1/2 suffered rapid degradation, which prevented the completion of its validation. For the other toxins, the method proved to be selective, efficient, accurate, precise and robust, except for the low concentrations. Despite the significant reduction of the limit of quantification as compared to recent literature, they were still above the amount allowed by MS 2914/2011 for drinking water, suggesting that incorporation of a pre-concentration step is necessary. The results also suggest that, due to the instability of these toxins, their detection in natural or treated waters can be compromised if the collection and preservation procedures do not follow appropriate techniques.*

**Keywords:** Saxitoxins stability; Analytical method validation; HPLC-FLD.

**Marianna Correia Aragão<sup>1</sup>** - Mestre em Engenharia Civil/Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará (UFC).

**Ana Zélia Abreu<sup>1</sup>** - Engenheira Ambiental pela Universidade Federal do Ceará (UFC).

**José Capelo Neto<sup>1</sup>** - Pós doutorado pela Universidade do Sul da Austrália/Adelaide. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental a Universidade Federal do Ceará.

\* **Endereço para correspondência:** <sup>1</sup> Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Seção Laboratorial de Qualidade de Água (SELAQUA), Bloco 720, Universidade Federal do Ceará, Av. Humberto Monte, s/n, 60451-970, Fortaleza – CE, Brasil. e-mail: capelo@ufc.br

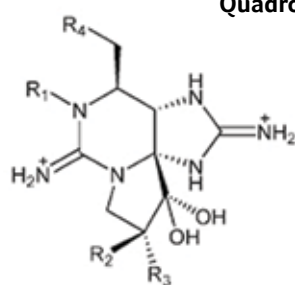
## INTRODUÇÃO

As cianotoxinas são metabólitos secundários produzidos por cianobactérias, como *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Anabaena circinalis* e *Planktothrix sp.*, por exemplo, e dinoflagelados dos gêneros *Alexandrium*, *Gymnodinium* e *Pyrodinium* em ambientes de água doce e marinhos (HARA et al., 2013). As cianotoxinas apresentam estruturas químicas (Quadro 1) e propriedades toxicológicas diversificadas (SIVONEN; JONES, 1999; HUMPAGE et al., 2010) e são classificadas de acordo com o modo de ação nos organismos: neurotoxinas (anatoxina-a, anatoxina-a(s) e Saxitoxinas – STX, também conhecidas como *Paralytic Shellfish Poisoning*

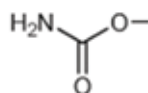
– PSP), hepatotoxinas (microcistinas, nodularina, cilindrospermopsina) e endo ou dermatotoxinas (lipopolissacarídeos, lingbiatoxinas e aplisiatoxinas) (MONDARDO, 2009).

As Saxitoxinas são classificadas basicamente em três grupos: carbamato, N-sulfocarbamoil e decarbamoil. As toxinas do grupo carbamato são as mais potentes e dentre elas estão: Saxitoxina (STX), Neo-saxitoxinas (NEO) e Goniautoxinas (GTX1-4). Goniautoxinas são as toxinas mais abundantes nas amostras de extratos de moluscos, estando presentes em 75% a 85% das amostras analisadas (ANDRINOLO et al., 2002; ZHANG et al., 2013).

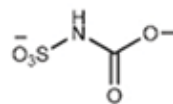
**Quadro 1** – Estruturas químicas das toxinas do grupo PSP.



Toxinas carbamato



Toxinas N-sulfocarbamoil



Toxinas decarbamoil



R1	R2	R3		R4	
-H	-H	-H	STX	GTX	dc-STX <sup>a</sup>
-H	-H	-OSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	GTX2	C1	dc-GTX2
-H	-OSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-H	GTX3	C2	dc-GTX3
-OH	-H	-H	NEO	GTX6	dc-NEO
-OH	-H	-OSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	GTX1	C3	dc-GTX1
-OH	-OSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-H	GTX4	C4	

Fonte: Adaptado de Lawrence et al. (2005).

Notas: a dc-STX = decarbamoilSaxitoxinas.

**Quadro 2** – Vantagens e desvantagens dos métodos de detecção de cianotoxinas.

Método	Vantagens	Desvantagens
Bioensaio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixo custo.</li> <li>• Facilidade no uso.</li> <li>• Obtenção de outras informações sobre toxicidade.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não apresenta diferenciação de toxicidade entre toxinas.</li> <li>• Sacrifício de animais.</li> </ul>
ELISA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta sensibilidade.</li> <li>• Rapidez e facilidade no uso.</li> <li>• Análise de alto desempenho.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto custo.</li> <li>• Necessidade de métodos cromatográficos complementares.</li> <li>• Não apresenta resultados distintos entre variantes.</li> </ul>
CLAE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tempo menor de análise.</li> <li>• Alta resolução.</li> <li>• Resultados quantitativos.</li> <li>• Alta sensibilidade.</li> <li>• Versatilidade e automação.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto custo.</li> <li>• Falta de detector universal sensível.</li> <li>• Necessidade de experiência dos operadores.</li> </ul>

Com o incremento das notificações de intoxicação humana e animal a partir de água de reservatórios superficiais, o estudo das cianobactérias e dos efeitos causados por seus metabólitos tem sido intensificado. Intoxicações causadas por cepas tóxicas de cianobactérias já foram registradas em países como Austrália, Inglaterra, China, Brasil e África do Sul (FALCONER; HUMPAGE, 2005). Mais especificamente, em vários reservatórios do estado do Ceará, a comunidade fitoplanctônica apresentou dominância de cianobactérias, compondo aproximadamente 90% do número de indivíduos (BARROS, 2013). Em todos os açudes investigados na pesquisa de Barros (2013), a contribuição de *Cylindrospermopsis raciborskii* foi maior que 70% em todas as amostras coletadas. No Reservatório Sítios Novos, por exemplo, seis classes de organismos fitoplanctônicos foram identificadas, isoladas e tiveram sua toxicidade avaliada. Alguns desses organismos se mostraram produtores de STX: *Cylindrospermopsis raciborskii* produzindo STX e decarbamoilSaxitoxinas (dc-STX) e *Planktothrix agardhii* produzindo decarbamoilgoniautoxinas (dc-GTX) (LOPES, 2013). Depois do acidente ocorrido em uma clínica de hemodiálise em Pernambuco, em 1996, as autoridades sanitárias brasileiras passaram a dar atenção especial à questão

de intoxicações por cianotoxinas, culminando na inclusão do limite máximo de STX de 3,0 µg.L<sup>-1</sup> na Portaria MS nº 2.914/2011.

Os métodos de detecção usados para identificar e quantificar as toxinas presentes na água variam em grau de sofisticação e informações que fornecem, sendo os critérios da seletividade e sensibilidade dois dos mais importantes para a escolha do método (CHORUS; BARTRAM, 1999). As principais metodologias de detecção e quantificação de cianotoxinas em amostras de águas na atualidade incluem bioensaios, imunoensaios (ELISA) e técnicas cromatográficas (Cromatografia Líquida de Alta Eficiência – CLAE). As vantagens e desvantagens de cada método estão especificadas de forma simplificada no Quadro 2.

A CLAE, utilizando coluna de fase reversa e Detector de Fluorescência (DFI), é utilizada para quantificação de STX (LAWRENCE et al., 2005; OSHIMA, 1995). Entre os métodos descritos na literatura utilizando CLAE-DFI, destaca-se o método oficial aprovado pela Comissão Europeia para detecção e quantificação de várias STX por derivatização pré-coluna (AOAC, 2005). Entretanto, esse método foi validado apenas para extratos de mariscos (CEFAS, 2008; TURNER, 2009).

He et al. (2005) analisaram amostras de fitoplâncton marinho utilizando o método de oxidação pré-coluna com modificações significativas em relação aos métodos até então propostos. Os autores analisaram NEO-STX, STX, GTX1/4 e GTX2/3 e obtiveram boa recuperação e baixos limites de detecção. Diener et al. (2006), por sua vez, propuseram um método similar ao de Oshima (1995), mas usando uma única corrida com diferentes fases móveis para separar e quantificar GTX1, GTX2, GTX3, GTX4, NEO-STX, dc-STX e STX em suplementos alimentares, encontrando também baixos limites de detecção. Já Silvino e Capelo-Neto (2014) validaram com sucesso uma variante do método proposto por Lawrence et al. (2005) para detecção e quantificação de STX e dc-STX provenientes do cultivo da cianobactéria *Cylindrospermopsis raciborskii*. Entretanto, não foram encontrados na literatura registros de validação de método para análise de GTX2/3, dc-GTX2/3 e C1/2 em amostras de água bruta ou tratada.

Dentro desse contexto, este trabalho tem como objetivo principal validar uma metodologia de detecção e quantificação das cianotoxinas GTX2/3, dc-GTX2/3 e C1/2 por cromatografia líquida de alta eficiência, com detecção por fluorescência e derivação pré-coluna, utilizando água tratada como matriz. Como objetivo secundário, estudou-se a estabilidade dessas toxinas e seu impacto nos procedimentos analíticos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Ampolas contendo os padrões de GTX2/3, dc-GTX2/3 e C1/2 foram adquiridas no Institute for Marine Bioscience (Halifax, Canadá) e mantidas em solução de ácido clorídrico 0,003 M e ácido acético 0,01 M com volume aproximado de 0,5 mL. Os outros reagentes utilizados foram: ácido acético concentrado (Sigma-Aldrich – grau HPLC), ácido clorídrico (Cinética Reagentes & Soluções – grau analítico), ácido periódico e peróxido de hidrogênio (Vetec Química Fina – grau analítico), fosfato de sódio e hidróxido de sódio (Dinâmica Química – grau analítico), tiosulfato de sódio pentahidratado (Synth – grau analítico), acetonitrila (Merck – grau HPLC), formiato de amônio e metanol (Vetec Química Fina – grau HPLC).

As soluções Estoque 1 foram preparadas a partir da diluição dos padrões em ácido acético 0,01 M em balões volumétricos de 10 mL. O Estoque 1 foi mantido protegido da luz, em pH 4 e a -20 °C. Segundo Lawrence et al. (2005), a validade dessa solução é de um ano se mantida no escuro e a uma temperatura abaixo de 4 °C. A solução de trabalho MIX teve como objetivo facilitar a preparação das amostras e foi preparada diluindo 1,3 mL de cada solução Estoque 1 em ácido acético 0,1 mM em um balão volumétrico de 10 mL. As concentrações dos padrões, das soluções Estoque 1 e da solução de trabalho MIX foram calculadas a partir das concentrações dos padrões e da massa molar de cada toxina, de acordo com a Tabela 1.

**Tabela 1** – Concentrações das toxinas presentes nos padrões, Estoque 1 e MIX.

Toxina	Padrão (μmol.L <sup>-1</sup> )	Massa molar (g.mol <sup>-1</sup> )	Padrão (μg.L <sup>-1</sup> )	Estoque 1 (μg.L <sup>-1</sup> )	MIX (μg.L <sup>-1</sup> )
GTX2/3	157,6	395,4	62.315,04	2.636,60	342,75
dc-GTX2/3	142,1	352,3	50.061,83	2.565,40	333,50
C1/2	147,3	475,4	70.026,42	3.315,50	431,02



A metodologia de validação de GTX2/3, dc-GTX2/3 e C1/2 por CLAE-DFI foi desenvolvida para avaliar a presença dessas toxinas em água tratada após a desinfecção. A água foi coletada da rede pública de abastecimento a partir da torneira de entrada, antes da caixa d'água. Uma gota de tiosulfato de sódio 0,05 M para cada 25 mL de amostra de água tratada foi adicionada, com o objetivo de remover o cloro residual. De forma a permitir a detecção via DFI, foram adicionados grupos cromóforos às moléculas das toxinas por meio da oxidação das amostras com peróxido de hidrogênio. Um volume de 100 µL da amostra foi adicionado em um *vial* contendo 250 µL de solução de hidróxido de sódio 1 M e 25 µL de solução peróxido de hidrogênio 10% m/v. Posteriormente, o *vial* foi homogeneizado e, após 2 min, 20 µL de ácido acético glacial foram adicionados, com a finalidade de parar a reação de oxidação. Uma alíquota de 20 µL foi utilizada para injeção no cromatógrafo. As condições cromatográficas para a quantificação das toxinas foram baseadas no método desenvolvido por Lawrence et al. (2005), com algumas modificações. Foi utilizado um cromatógrafo Agilent Technologies, modelo 1260 Infinity. Tal sistema consistia de dois reservatórios e uma bomba de alimentação de fase móvel, um injetor de amostra (*loop* de 20 µL), uma coluna de fase reversa mantida a 30 °C (Phenomenex C18, 150 mm x 4,6 mm D.I., 4 µm de tamanho de partícula) e um detector de fluorescência (Agilent Technologies, modelo 1260 Infinity). A fase móvel foi constituída de (A) formiato de amônio (0,1M) e (B) formiato de amônio (0,05 M) com acetonitrila (5%), tendo como gradiente de eluição inicialmente 100% da fase móvel A, mudando nos primeiros 7,5 min de 0% a 20% da fase móvel B, passando posteriormente, nos 3,5 min seguintes, de 20% a 80% da fase móvel B e nos 2 min finais retornando a 100% da fase móvel A. O fluxo do eluente foi de 1,5 mL.min<sup>-1</sup>, o detector foi ajustado nos comprimentos

de onda de 340 nm em excitação e 390 nm em emissão e o tempo total de corrida foi de 13 min.

As características investigadas no processo de validação para demonstração do desempenho do método foram: seletividade, linearidade e faixa de trabalho, Limites de Detecção (LD) e de Quantificação (LQ), precisão e exatidão e robustez. Os parâmetros de validação do método foram definidos de acordo com a Resolução ANVISA nº 899/2003, o método desenvolvido por Youden e Steiner (1975) e recomendado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO, 2010) e o guia de validação proposto pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2011). A estabilidade das toxinas nas soluções ao longo do tempo também foi investigada.

#### SELETIVIDADE

A avaliação da seletividade foi realizada a partir da comparação do cromatograma da matriz isenta da substância de interesse e da matriz contendo as toxinas. O teste foi feito em três concentrações diferentes e cada amostra foi injetada duas vezes. Para a constatação da existência ou não do efeito matriz, foram comparadas duas curvas analíticas com o MIX, uma utilizando como diluente a matriz e a outra, água deionizada. Em cada uma das curvas, foram analisados seis pontos, ou seja, seis amostras independentes. O paralelismo entre as curvas foi verificado utilizando a distribuição *t* de Student para a comparação dos coeficientes angulares das retas.

#### ESTABILIDADE DA SOLUÇÃO DE TRABALHO MIX

A estabilidade foi avaliada numa única concentração da solução de trabalho MIX (342,75 µg.L<sup>-1</sup> para GTX2/3, 333,50 µg.L<sup>-1</sup> para dc-GTX2/3 e 472,01 µg.L<sup>-1</sup> para C1/2), comparando as concentrações iniciais aos resultados obtidos com a mesma solução ao longo de 43 dias.

**Tabela 2** – Concentrações das toxinas utilizadas na linearidade e faixa de trabalho.

Toxina	Concentrações ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )					
GTX2/3	10,28	20,57	34,28	51,41	68,55	102,83
dc-GTX2/3	10,01	20,01	33,35	50,03	66,70	100,05

**Tabela 3** – Concentrações de GTX2/3 e dc-GTX2/3 utilizadas para a determinação da exatidão.

Toxina	Concentrações ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )					
	E1	E2	E3	E4	E5	E6
GTX2/3	10,71	21,42	42,84	85,69	171,38	342,75
dc-GTX2/3	10,42	20,84	41,69	83,38	166,75	333,50

## LINEARIDADE E FAIXA DE TRABALHO

A linearidade e a faixa de trabalho foram avaliadas utilizando as curvas de calibração em seis concentrações diferentes e água deionizada como diluente (Tabela 2), somente para as toxinas GTX2/3 e dc-GTX2/3, uma vez que C1/2 degradou-se rapidamente, não tendo sido possível prosseguir com sua validação. As concentrações da faixa de trabalho foram escolhidas considerando as concentrações de STX equivalentes encontradas frequentemente em reservatórios superficiais no estado do Ceará (CAGECE, 2013). Três curvas foram realizadas, sendo cada ponto da curva injetado em duplicata. Utilizou-se o método de regressão linear para a obtenção das equações da reta e a análise da correlação linear pelo método dos mínimos quadrados.

## LD E LQ

LD e LQ foram estabelecidos por meio da análise de soluções de concentrações conhecidas e decrescentes até o menor nível detectável e quantificável. Os limites foram determinados pelo método do sinal-ruído, em que é feita uma comparação das amostras em baixa concentração com o branco dessas amostras. As relações sinal-ruído utili-

zadas para LD e LQ foram 3:1 e 10:1, respectivamente (RIBANI et al., 2004).

## PRECISÃO

A repetitividade foi usada para identificar a precisão do método. Foi realizada analisando três concentrações e três repetições para cada concentração. As concentrações utilizadas para as duas toxinas foram de 6,86, 13,71 e 20,57  $\mu\text{g.L}^{-1}$  e de 6,67, 13,34 e 20,01  $\mu\text{g.L}^{-1}$ , para GTX2/3 e dc-GTX2/3, respectivamente. Como a Resolução ANVISA nº 899/2003 não explicita o critério de aceitação dos resultados de precisão, utilizaram-se como referência os critérios aplicados na validação em fármacos, produtos para alimentação animal e medicamentos veterinários do MAPA (2011).

## EXATIDÃO

A exatidão foi verificada utilizando padronização externa, visto que a matriz empregada (água tratada) não continha GTX2/3, nem dc-GTX2/3. As concentrações dos padrões externos são apresentadas na Tabela 3. Os testes foram realizados em triplicata.

**Quadro 3** – Condições normais e alteradas para a análise da robustez.

Variável		Condições normais		Condições alteradas
Concentração da fase móvel	A	0,10 M	a	0,12 M
Estabilidade da solução de trabalho	B	Oxidar a amostra após a diluição	b	Oxidar a amostra após 30 min da diluição
Temperatura da coluna	C	30 °C	c	33 °C
Agitação	D	Manual	d	Vórtex
Tempo de injeção	E	Injetar a amostra após oxidação	e	Injetar a amostra após 15 min da oxidação
Tamanho da amostra	F	100 µL	f	110 µL
Tempo de oxidação	G	2 min	g	2,3 min

## ROBUSTEZ

A robustez foi determinada a partir do método desenvolvido por Youden e Steiner (1975) e recomendado pelo INMETRO (2010), uma vez que não há referência para esse teste na metodologia da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2005). Sete parâmetros analíticos foram escolhidos para a avaliação, os quais foram alterados, sendo os efeitos dessas alterações avaliados no fim de cada uma das oito análises. A variância ( $s^2$ ) foi utilizada para verificar se o efeito na alteração dos parâmetros foi significativo ou não. O Quadro 3 mostra os parâmetros avaliados e suas respectivas alterações, sendo as condições “normais” representadas por letras maiúsculas e as condições alteradas por letras minúsculas. A robustez foi analisada em triplicata para as concentrações 27,42 µg.L<sup>-1</sup> para GTX2/3 e 26,68 µg.L<sup>-1</sup> para dc-GTX2/3. Os resultados foram avaliados quanto a mudanças na área do pico e no Tempo de Retenção (TR).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Análises físico-químicas da matriz

De forma a fornecer maior conhecimento sobre a matriz utilizada, a caracterização físico-química da água tratada é apresentada no Quadro 4. Os procedimentos analíticos para essa caracterização foram baseados nas metodologias descritas pela American Public Health Association (APHA, 2005).

### C1/2

A partir dos cromatogramas apresentados na Figura 1, observa-se que as toxinas C1/2 eluíram no tempo de 6,84 min, próximo ao obtido por Lawrence et al. (2005) para extratos de mexilhão após a limpeza com extração em fase sólida (SPE) C18. A constatação da não interferência da matriz foi avaliada a partir da comparação entre as duas curvas analíticas (Figura 2), as quais se mostraram paralelas. Os coeficientes angulares das curvas apresentaram uma diferença inferior a 1% e o teste t (Po=5%) mostrou que eles não são significativamente diferentes.

**Quadro 4** – Caracterização físico-química da água tratada usada como matriz.

Parâmetro	Unidade	Resultado
Turbidez	$\mu\text{T}$	0,35
Cor aparente	$\mu\text{H}$	2,5
pH	-	7,78
Alcalinidade – hidróxidos	$\text{mg CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$	< 0,01
Alcalinidade – carbonatos	$\text{mg CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$	< 0,01
Alcalinidade – bicarbonatos	$\text{mg CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$	105,18
Dureza total	$\text{mg CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$	156,44
Cálcio	$\text{mg Ca}\cdot\text{L}^{-1}$	23,76
Magnésio	$\text{mg Mg}\cdot\text{L}^{-1}$	23,31
Condutividade	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	639
Cloreto	$\text{mg Cl}\cdot\text{L}^{-1}$	12,7
Sódio	$\text{mg Na}\cdot\text{L}^{-1}$	39,93
Potássio	$\text{mg K}\cdot\text{L}^{-1}$	10,72
Nitrato	$\text{mg N-NO}_3\cdot\text{L}^{-1}$	0,02
Nitrito	$\text{mg N-NO}_2\cdot\text{L}^{-1}$	< 0,001
Amônia – Nesslerização	$\text{mg N/NH}_3\cdot\text{L}^{-1}$	0,32
Alumínio	$\text{mg Al}\cdot\text{L}^{-1}$	0,07
Fluoreto	$\text{mg F}\cdot\text{L}^{-1}$	0,8
Manganês	$\text{mg Mn}\cdot\text{L}^{-1}$	< 0,02
Ferro total	$\text{mg Fe}\cdot\text{L}^{-1}$	0,02
Oxigênio consumido	$\text{mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$	2,75
Carbono orgânico total	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	8,27

A solução Estoque 1 de toxinas C1/2 foi completamente degradada em menos de uma semana, mesmo tendo sido protegida da luz e a uma temperatura de  $-20\text{ }^\circ\text{C}$ , transformando-se em toxinas do grupo carbamato (GTX2/3, STX e NEO) (dados não apresentados). A diminuição das concentra-

ções das toxinas C1/2, mesmo em um pH baixo (3 a 5), foi observada anteriormente por Indrasena e Gill (2000) e European Union Reference Laboratory for Marine Biotoxins (EURLMB, 2011), mas numa velocidade menor. Portanto, não foi possível finalizar o processo de validação para as toxinas C1/2.

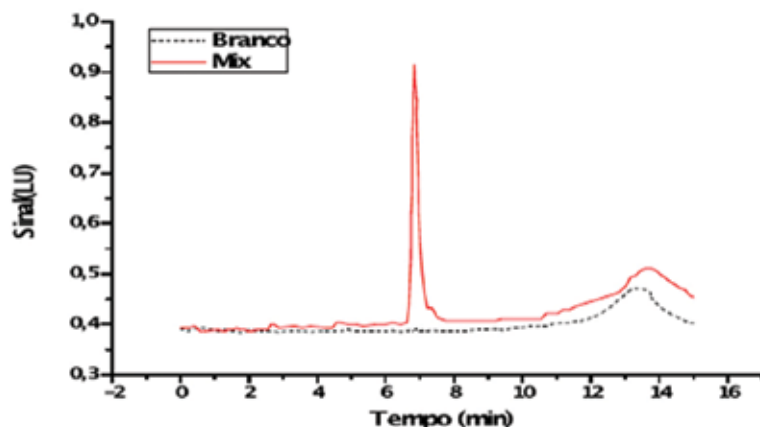


Figura 1 – Cromatogramas da matriz sem (linha pontilhada) e com (linha vermelha) toxina C1/2.

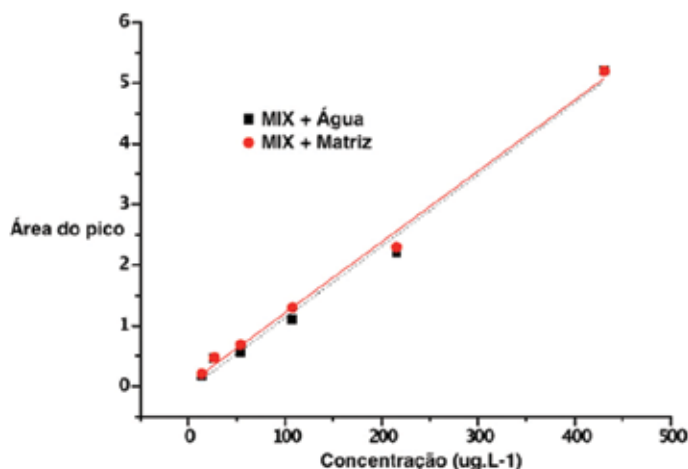


Figura 2 – Curvas analíticas para C1/2 obtidas por MIX + água deionizada e MIX + matriz.

### GTX2/3 E DC-GTX2/3 Estabilidade das toxinas

Apesar de todos os requisitos de preservação de amostra sugeridos por Indrasena e Gill (2005) terem sido obedecidos, percebeu-se uma diminuição nas concentrações das toxinas. Segundo o Centre for Environment, Fisheries and Aquaculture Science (CEFAS, 2008), caso seja manti-

da nas condições adequadas, a solução de trabalho pode ser utilizada em até um ano. Já para Indrasena e Gill (2005), GTX2/3 e dc-GTX2/3 apresentam degradação significativa em aproximadamente três a quatro meses a 25 °C e pH 7. No caso desta pesquisa, a solução de trabalho MIX, mantida protegida da luz, em pH 4 e a -20 °C, apresentou diminuição da concentração em 61% ao longo de 43 dias (Figura 3).

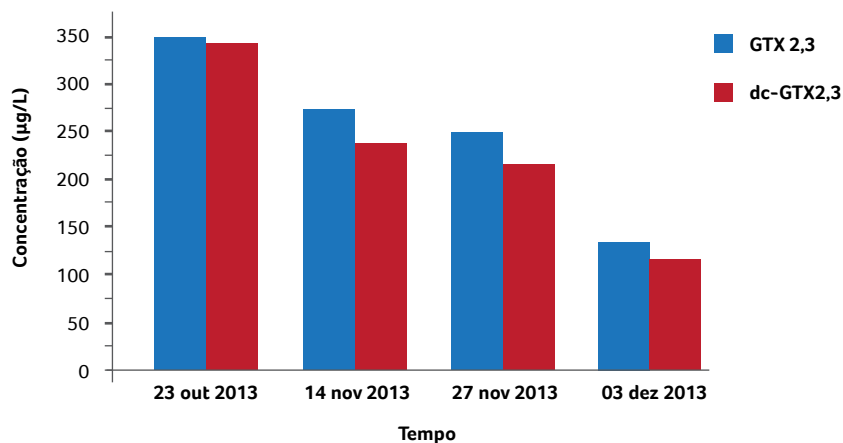


Figura 3 – Diminuição da concentração da solução MIX de GTX2/3 e dc-GTX2/3 ao longo do período de estudo.

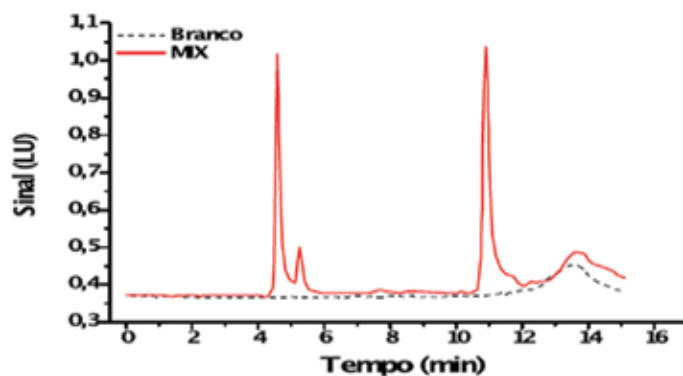


Figura 4 – Cromatogramas obtidos pela matriz isenta de toxina (branco) e com presença de toxina (MIX).

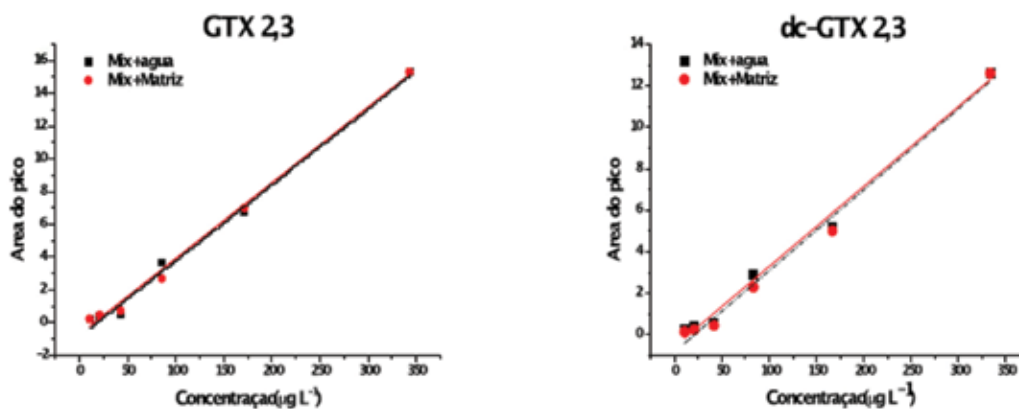


Figura 5 – Curvas analíticas para GTX2/3 e dc-GTX2/3 obtidas com MIX + água deionizada e MIX + matriz.



**Tabela 4** – Parâmetros das curvas analíticas das curvas MIX + água deionizada e MIX + matriz para GTX2/3 e dc-GTX2/3.

	Eq. da reta	R <sup>2</sup> (coeficiente de correlação)	Valor P (t de Student)
<b>GTX2/3</b>			
MIX + água deionizada	$y = 0,0935x - 0,2694$	0,9968	0,94
MIX + matriz	$y = 0,0947x - 0,3825$	0,9964	
<b>dc-GTX2/3</b>			
MIX + água deionizada	$y = 0,0763x - 0,1608$	0,9972	0,96
MIX + matriz	$y = 0,0773x - 0,4031$	0,9865	

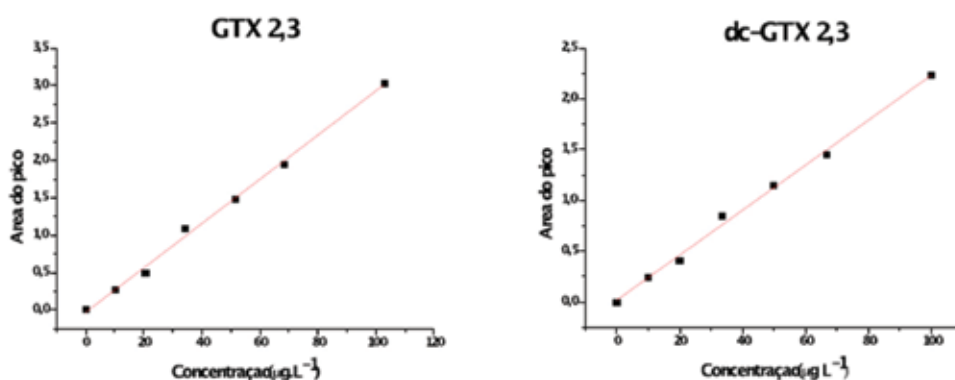
## SELETIVIDADE

A partir dos cromatogramas apresentados na Figura 4, pode-se afirmar que o método desenvolvido para a análise de GTX2/3 e dc-GTX2/3 é seletivo, pois as toxinas eluíram em tempos diferentes (10,73 min para GTX2/3 e 4,61 min para dc-GTX2/3) e na mesma sequência observada por Lawrence et al. (2005). Não foi observada interferência da matriz na detecção dessas toxinas.

A não interferência da matriz no procedimento analítico foi identificada a partir da comparação das curvas analíticas da Figura 5, as quais se apresentaram paralelas. Percebeu-se que os coeficientes de correlação foram iguais considerando o nível de confiança de 95% (Tabela 4), confirmando, portanto, a inexistência do efeito matriz.

## LINEARIDADE

As concentrações escolhidas para o método variaram de 10,28 a 102,83  $\mu\text{g.L}^{-1}$  e de 10,01 a 100,05  $\mu\text{g.L}^{-1}$ , para GTX2/3 e dc-GTX2/3, respectivamente. Essas faixas de concentração foram escolhidas considerando a abrangência das concentrações de STX encontradas em reservatórios superficiais na região (CAGECE, 2013). Na Figura 6 e Tabela 5, pode-se verificar a linearidade, apresentando coeficientes de correlação acima de 0,99 e indicando que as áreas dos picos são linearmente proporcionais às concentrações, conforme exigido pela ANVISA (2005). Comparando os coeficientes de correlação deste estudo com os obtidos para STX por Halme et al. (2012) ( $R^2 = 0,9768$ ), percebe-se uma melhoria significativa dos resultados obtidos nesta pesquisa em relação aos da literatura atual.



**Figura 6** – Relação área do pico versus concentração obtida para GTX2/3 e dc-GTX2/3.

**Tabela 5** – Faixas de trabalho utilizadas nas curvas de calibração de GTX2/3 e dc-GTX2/3.

Toxina	Faixa da curva ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Eq. da reta	R2
GTX2/3	10,28 a 102,83	$y = 0,0296x - 0,0305$	0,997
dc-GTX2/3	10,01 a 100,05	$y = 0,0221x + 0,0184$	0,996

**Tabela 6** – LD e LQ do instrumento e do método para cada toxina.

Toxina	Concentração ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )			
	Instrumento		Método	
	LD	LQ	LD	LQ
GTX2/3	0,69	1,21	2,74	4,80
dc-GTX2/3	0,68	1,18	2,67	4,67

**Quadro 5** – LD e LQ para STX e dc-STX apresentados na literatura.

Referência	Silvino e Capelo-Neto (2013)	Freitas (2007)	CEFAS (2008)	Halme et al. (2012)
Técnica/deteção	HPLC-FLD	HPLC-FLD	HPLC-FLD	HILIC-MS/MS
Método de oxidação	Pré-coluna	Pós-coluna	Pré-coluna	*
Tipo de matriz	Extrato de cianobactérias CR-T3 pós-extração	Água deionizada com toxina após lise celular CR-T3	Extrato de molusco	Matriz de algas
LD ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	STX – 2,53 dc-STX – 1,83	STX – 3,0 dc-STX – 3,0	STX – 18,0 dc-STX – 7,0	STX – 3,0 dc-STX – ***
LQ ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	STX – 3,45 dc-STX – 2,24	**	STX – 40,0 dc-STX – 10,0	STX – 11,0 dc-STX – ***

**Notas:** HILIC-MS/MS = cromatografia líquida com interação hidrofílica acoplada a um espectrômetro de massa (HILIC-MS/MS). \* Não necessitou oxidar a amostra devido à utilização de um espectrômetro de massa. \*\* Não apresentou o dado de LQ. \*\*\* O trabalho analisou apenas STX.

**Tabela 7** – Resultados do parâmetro de precisão para GTX2/3 e dc-GTX2/3 em três diferentes concentrações.

Toxina	Coeficiente de variação (%)		
	6,86 µg L <sup>-1</sup>	13,71 µg L <sup>-1</sup>	20,57 µg L <sup>-1</sup>
GTX2/3	12,42	5,58	10,59
dc-GTX2/3	12,43	5,59	10,58

**Tabela 8** – Resultados do parâmetro de exatidão para GTX2/3 e dc-GTX2/3 em seis diferentes concentrações.

Toxina	Exatidão (%)					
	E1	E2	E3	E4	E5	E6
GTX2/3	185,65	115,65	84,77	100,80	92,45	102,15
dc-GTX2/3	178,25	118,71	80,07	98,81	96,60	101,01

## LD E LQ

Os valores encontrados para LD e LQ do instrumento e do método são apresentados na Tabela 6. LD e LQ do instrumento foram determinados a partir das áreas dos picos obtidos dos cromatogramas e LD e LQ do método foram calculados considerando a diluição das amostras durante a etapa de oxidação. Os valores de LD e LQ do instrumento e de LD do método mostraram-se inferiores ao valor exigido pela Portaria MS nº 2.914/2011 (3,0 µg L<sup>-1</sup>), enquanto o LQ do método ficou acima. De qualquer forma, os LQs do instrumento mostraram-se inferiores aos resultados obtidos por outros autores para STX diferentes (Quadro 5), indicando um bom potencial do procedimento analítico ora implementado.

## PRECISÃO

Os valores dos coeficientes de variação para os testes de precisão, expressos na Tabela 7, não ultrapassaram o valor máximo permitido de 11,7% (MAPA, 2011), com exceção do resultado para a concentração de 6,86 para GTX2/3 e 6,67 µg L<sup>-1</sup> para dc-GTX2/3. Esse fato pode ter ocorrido devido ao decréscimo das concentrações observado em baixas concentrações. Os resultados revelam que o método fornece precisão aceitável segundo a referência adotada utilizando o parâmetro da repetitividade, para concentrações igual ou superior a 13,71 µg L<sup>-1</sup> e 13,34 µg L<sup>-1</sup>, para GTX2/3 e dc-GTX2/3, respectivamente. Silvino e Capelo-Neto (2014) analisaram a precisão de método similar para STX e dc-STX em concentrações entre 4,48 e 13,44 µg L<sup>-1</sup> e de 3,96 a 11,89 µg L<sup>-1</sup>,

**Tabela 9** – Valores dos efeitos obtidos a partir dos resultados das áreas dos picos e do TR, de acordo com o teste de Youden e Steiner (1975).

Variável	Área do pico		TR	
	GTX2/3	dc-GTX2/3	GTX2/3	dc-GTX2/3
Concentração da fase móvel	-0,0908	-0,0858	-0,1211	0,0396
Estabilidade da solução de trabalho	0,1192	0,0825	0,0571	0,0314
Temperatura da coluna	-0,1042	-0,0075	0,7838	0,1266
Agitação durante a oxidação	-0,0575	-0,0458	0,0056	-0,0109
Tempo de injeção após oxidação	-0,0442	0,0275	0,0059	0,0323
Tamanho da amostra	-0,1608	-0,1708	0,0137	0,0141
Tempo de oxidação	-0,0008	-0,0625	-0,0121	-0,0179
$s^2$	0,1919	0,1693	0,6012	0,1076

respectivamente. Para o teste de repetitividade, os coeficientes de variação variaram entre 0,23% e 7,50 % para a área do pico. Deve-se levar em consideração, entretanto, que as toxinas STX e dc-STX são mais estáveis que as utilizadas nesta pesquisa (INDRASENA; GILL, 2000).

## EXATIDÃO

Seis diferentes concentrações, entre 10,42 e 342,75  $\mu\text{g.L}^{-1}$ , foram utilizadas para a avaliação da exatidão. Os valores obtidos pelo método (Tabela 8) ficaram dentro da faixa de 80% a 110%, de acordo com o guia de validação proposto pelo MAPA (2011), com exceção dos valores obtidos para as menores concentrações. Novamente, isso pode ter acontecido devido à instabilidade da toxina em menores concentrações.

## ROBUSTEZ

Comparando os valores de referência e os valores dos efeitos obtidos a partir das respostas das áreas dos picos (Tabela 9), percebe-se que as áreas dos picos não são influenciadas pela variação de nenhum parâmetro. Já com relação às respostas do TR, observa-se que todos os resultados foram menores do que o valor do critério  $s^2$ , exceto o do parâmetro temperatura da coluna, conforme também observado por Silvino e Capelo-Neto (2014) e Cassini et al. (2013). Portanto, o método apresentou sensibilidade à variação da temperatura da coluna em 3 °C. Essa sensibilidade não deve representar um problema na prática, uma vez que o sistema cromatográfico consegue manter a temperatura da coluna com uma diferença inferior a  $\pm 0,1$  °C.

## CONCLUSÕES

A toxina C1/2 sofreu degradação rápida durante o experimento, o que impossibilitou a conclusão de sua validação. Observou-se, entretanto, que existem uma boa seletividade e uma correlação próxima entre o sinal e a concentração, indicando uma boa linearidade na faixa de trabalho escolhida. Os resultados obtidos permitem concluir que o método empregado para análise de GTX2/3 e dc-GTX2/3 é seletivo, eficiente, exato, preciso e robusto, com exceção da precisão e exatidão para baixas concentrações. Já os limites de quantificação do método (4,80 µg.L<sup>-1</sup> para GTX2/3 e 4,67 µg.L<sup>-1</sup> para dc-GTX2/3) ficaram acima do valor permitido pela Portaria MS nº 2.914/2011. Esses resultados sugerem que um método de concentração pré-análise (SPE, liofilização ou evaporação) é necessário para atender ao requerimento da portaria, contribuindo também para minimizar os erros analíticos encontrados em baixas concentrações.

Observou-se também que a estabilidade das soluções mais diluídas dessas toxinas apresentou uma validade menor que a encontrada na literatura. Isso sugere não só que todo o processo de validação, mas também a análise e amostragem de águas tratada e natural, deve ser executado em um curto espaço de tempo. A instabilidade dessas toxinas em condições controladas, principalmente no caso das toxinas C1/2, permite inferir que sua detecção em águas naturais ou tratadas é improvável, a menos que técnicas de coleta de amostras e técnicas analíticas apropriadas sejam adotadas.

## AGRADECIMENTOS

Os pesquisadores agradecem à Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento para o desenvolvimento das pesquisas e à Companhia de Água e

Esgoto do Ceará (Cagece) e seus colaboradores pelo apoio e informações disponibilizadas.

## REFERÊNCIAS

- ANDRINOLO, D.; IGLESIAS, V.; GARCÍA, C.; LAGOS, N. **Toxicokinetics and toxicodynamics of gonyautoxins after an oral toxin dose in cats.** *Toxicon* 40, 2002. p.700.
- ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RE nº 899/2004, de 25 maio de 2003.** Diário Oficial da União. Brasília. 2005.
- AOAC (2005). **Official Methods of Analysis**, 18th ed. AOAC International, Gaithersburg, MD. Method 2005.06.
- APHA/AWWA/WEF. **Standard Methods for Examination of Water & Wastewater.** 21st Edition. USA: Baltimore, Maryland, 2005.
- BARROS, M. U. G. **Prospecção de *Cylindrospermopsis raciborskii* em reservatórios no ceará e efeitos da depleção de nutrientes na sua concentração celular.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, 2013, p.100.
- CAGECE - Companhia de Água e Esgoto do Ceará -. **Comunicação Pessoal**, 2013.
- CASSINI, S. T. A.; ANTUNES, P. W. P.; KELLER, R. **Validação de método analítico livre de acetoneitrila para análise de microcistinas por cromatografia líquida de alta eficiência.** *Química Nova* 36 (8), 2013, p. 1208-1213.
- CEFAS. **Refinement and in-house validation of the AOAC HPLC method (2005.06): the determination of paralytic shellfish poisoning toxins in mussels by liquid chromatography and fluorescence detection.** Final report. 2008.
- CHORUS, I. & BARTRAM, J. **Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management.** New York and London.: E&FN Spon. 1999.
- DIENER, M.; ERLER, K.; HILLER, S.; CHRISTIAN, B.; LUKAS, B. **Determination of Paralytic Shellfish Poisoning (PSP) toxins in dietary supplements by application of a new HPLC/FD method.** *Eur Food Res Technol* 224: 2006, p.147-151
- EURLMB - **European Union Reference Laboratory for Marine Biotoxins** -Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN). Espanha, 2011.
- FALCONER, I. R. & HUMPAGE, A. R. Health Risk Assessment of Cyanobacterial (Bluegreen Algal) Toxins in Drinking Water. **International Journal of Environment Research and Public Health** 2, 2005, p. 43-50.
- FREITAS, M. S. (2007) **Remoção de microcistina e Saxitoxinas por meio de oxidação com hipoclorito de sódio:** avaliação em escala de bancada. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, p. 107.

- HALME, M.; RAPINOJA, M. L.; KARJALAINEN, M.; VANNINEN, P. **Verification and quantification of saxitoxin from algal samples using fast and validated hydrophilic interaction liquid chromatography-tandem mass spectrometry method**. *Journal of Chromatography B* 880, 2012, p. 50-57.
- HARA, Y.; DONG, J.; UEDA, H. **Open-sandwich immunoassay for sensitive and broadrange detection of a shellfish toxin gonyautoxin**. *Analytica Chimica Acta* 793, 2013, p. 107- 113.
- HE, H.Z.; LI, H.B.; JIANG, Y.; CHEN, F. **Determination of paralytic shellfish poisoning toxins in cultured microalgae by high-performance liquid chromatography with fluorescence detection**. *Anal Bioanal Chem* 383: 2005, p.1014-1017
- HUMPAGE, A.R.; MAGALHAES, V.F.; FROSCIO, S.M. Comparison of analytical tools and biological assays for detection of paralytic shellfish poison toxin. *Anal Bioanal Chem* 397, 2010, 1655-1671.
- INDRASANA, W.M. & GILL, T.A.,. Thermal degradation of partially purified paralytic shellfish poison toxins at different times, temperatures, and pH. *Journal of Food Science* 65 (6), 2000, 948-953.
- INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial DQOCGCRE-008: **Orientação sobre validação de métodos analíticos**. Coordenação Geral de Acreditação. Rio de Janeiro, 2010.
- LAWRENCE, J.F.; NIEDZWIADK, B.; MENARD, C. Quantative determination of paralytic shellfish poisoning toxins in shellfish by using prechromatographic oxidation and liquid chromatography with fluorescence detection. *Journal of AOAC International*, 88, 2005, p. 1714-1732.
- LOPES, I. K. C. **Identificação de cianobactérias produtoras de Saxitoxinas em reservatório de usos múltiplos no semiárido cearense**. 2013. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, área de concentração em Saneamento Ambiental) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA), Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, 2013.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Guia de validação e controle de qualidade analítica: fármacos** em produtos para alimentação e medicamentos veterinários. Brasília, 2011.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. SECRETARIA DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE. Portaria nº 2914/2011. Brasília, 2011.
- MONDARDO, R. I. **Avaliação da filtração em margem como pré-tratamento à filtração direta descendente na remoção de células de cianobactérias e Saxitoxinas**. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis - SC, Brasil, 2009.
- OSHIMA, Y. Postcolumn derivatization liquid chromatographic method for paralytic shellfish toxins. *Journal AOAC International* 78, 1995. p. 528 – 532.
- RIBANI, M.; BOTTOLI, C. B. G.; COLLINS, C. H.; JARDIM, I. C. S. F.; MELO, L. F. C. Validação em métodos cromatográficos e eletroforéticos. *Química Nova* 27, 2004, p. 771- 780.
- SILVINO, L.S. & CAPELO-NETO, J. Validation of analytical method for saxitoxin detection (STX and dc-STX) by high performance liquid chromatography with fluorescence detector and pre-column derivation. *Revista AIDIS* 7 (3):. 2014, 243-258.
- SIVONEN, K. & JONES, G. **Em Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management**. Chorus, I.; Bartram, J., eds., CRC Press: London, 1999, cap. 3.
- TURNER, A.D.; NORTON, D.M.; HATFIELD, R.G.; MORRIS, S.; REESE, A.R.; ALGOET, M.; LEES, D.N. Refinement and extension of AOAC method 2005.06 to include additional toxins in mussels: single laboratory validation. *Journal AOAC International* 92: 2009, 190-207
- YOU DEN, W. J. & STEINER E. H. Statistical Manual of the AOAC – Association of Official Analytical Chemistry, AOAC International: Arlington, 48, 1975, p. 88. ZHANG, R.; ZHANG, C.; YANG, X.; QIN, X.; LIN, H.; ZHAO, Y. A novel method for preparing complete antigens of gonyautoxin 2,3 and their feature of immunogenicity. *Toxicon* 68, 2013, p. 24-29.



Mês	Data	Evento	Local
Setembro	11 a 14	31º Simpósio Anual da Watereuse	Tampa Marriot Waterside Hotel & Marina Tampa, Flórida Mais informações: <a href="https://watereuse.org/news-events/conferences/annual-watereuse-symposium/">https://watereuse.org/news-events/conferences/annual-watereuse-symposium/</a>
	14 a 16	17º Encontro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENASB)	Centro Cultural Vila Flor Guimarães, Portugal Mais informações: <a href="http://apesb.org/pt/historial-03.php">http://apesb.org/pt/historial-03.php</a>
	14 a 16	Asia Membrane Technology Expo 2016	Expo Venue – Hall 106 –Bangkok International Trade & Exhibition Center Bangkok, Tailândia Mais informações: <a href="http://www.bitec.co.th">www.bitec.co.th</a>
	16 a 19	6º Simpósio sobre Corrosão Kurt- Schwabe	Cracóvia, Polónia Mais informações: <a href="http://home.agh.edu.pl/~schwabe/">http://home.agh.edu.pl/~schwabe/</a>
	20 e 21	Curso de Tratamento de Efluentes – Dificuldades Operacionais	Mais informações: <a href="http://www.acquasolution.com/acqua/portfolio/tratamento-de-efluentes-mo-04-dificuldades-operacionais/">http://www.acquasolution.com/acqua/portfolio/tratamento-de-efluentes-mo-04-dificuldades-operacionais/</a>
	20 a 23	FENAGUA 2016 – XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XX Encontro Nacional de Perfuradores de Poços	Campinas, São Paulo Mais informações: <a href="http://www.abas.org/xixcabas/index.php">http://www.abas.org/xixcabas/index.php</a>
	28 e 29	X Seminário Internacional sobre Remediação e Revitalização de Áreas Contaminadas	SENAC Santo Amaro – Avenida Engenheiro Eusébio Stevaux, 823 Santo Amaro, São Paulo Mais informações: <a href="http://seminario.ekosbrasil.org/">http://seminario.ekosbrasil.org/</a>
Outubro	9 a 13	48º Congresso Brasileiro de Geologia	Porto Alegre, Rio Grande do Sul Mais informações: <a href="http://www.48cbg.com.br/">http://www.48cbg.com.br/</a>
	17 e 18	2016 WaterReuse Potable Reuse Summit	The Skirvin Hilton Hotel Oklahoma City, Oklahoma Mais informações: <a href="https://watereuse.org/news-events/conferences/potable-reuse-summit/">https://watereuse.org/news-events/conferences/potable-reuse-summit/</a>
Novembro	1 a 3	AMTA Technology Transfer Workshop	Monterrey, México Mais informações: <a href="http://www.amtaorg.com/event/amta-technology-transfer-workshop-nov-1-3-2016">http://www.amtaorg.com/event/amta-technology-transfer-workshop-nov-1-3-2016</a>
	3 e 4	The International Workshop Coastal Water Quality	Santos, São Paulo Mais informações: <a href="http://revistadae.com.br/site/evento/2415-The-International-Workshop-Coastal-Water-Quality">http://revistadae.com.br/site/evento/2415-The-International-Workshop-Coastal-Water-Quality</a>
	15 a 17	Smart City Expo World Congress	Barcelona, Espanha Mais informações: <a href="http://www.smartcityexpo.com/en/">http://www.smartcityexpo.com/en/</a>
	29 de novembro a 2 de dezembro	Polutec 2016 Feria del Medio Ambiente	Eurexpo Lyon, França Mais informações: <a href="http://www.pollutec.com">http://www.pollutec.com</a>



## Restauração de sistemas fluviais

**Valter Lúcio de Pádua**

### Manole

A obra reúne capítulos que unem esforços para minorar o impacto de intervenções em sistemas fluviais e adotar medidas de restauração dos rios degradados. Alia conhecimento técnico com adaptação à realidade da bacia hidrográfica e considera os aspectos socioculturais, político-institucionais, legais, econômicos e ambientais relacionados ao tema. Além de apresentar fundamentos relevantes sobre a restauração fluvial, como ecossistema fluvial, hidrologia e qualidade química da água, traz estudos de casos de importantes rios ao redor do mundo, o que a torna essencial para estudantes, profissionais e interessados das áreas ambientais, químicas, fluviais, hidrológicas, hidráulicas, entre outras.

Mais informações: <http://www.manole.com.br>



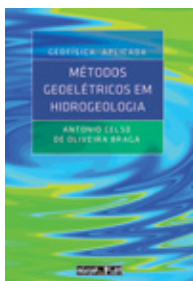
## Exercícios de hidráulica básica – 5ª edição

**Rodrigo de Melo Porto**

### EESC

Este livro é resultado da reunião de problemas propostos em testes e provas, desde 1970, dos cursos de Hidráulica da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e Universidade de São Paulo (USP), bem como retirados e/ou adaptados da literatura citada na bibliografia. Conta com 315 exercícios (e suas respostas) sobre hidráulica dos condutos forçados e livres, devendo ser usado como complemento do livro Hidráulica básica.

Mais informações: <http://www.edusp.com.br/detlivro.asp?ID=230017>



## Geofísica aplicada: métodos geoeletricos em hidrogeologia

**Antonio Celso de Oliveira Braga**

### Oficina de Textos

As recentes crises hídricas em diversas regiões do Brasil colocaram em pauta a importância de fontes subterrâneas, como os aquíferos. Mas como descobrir o local adequado para perfurar um poço? Como investigar a qualidade da água escondida no subsolo? E como proteger essas reservas naturais da contaminação? Este livro é capaz de unir o conhecimento teórico a questões extremamente práticas. Antônio Braga explica como detectar reservas subterrâneas e plumas contaminantes utilizando a geofísica – mais especificamente, as técnicas de sondagem elétrica e caminhamento elétrico. Com sólida experiência de campo, o autor orienta a coleta e a interpretação de dados a partir de exemplos: há estudos para a perfuração de poços em diferentes tipos de aquífero, como os granulares, cársticos e costeiros, além de sondagens para a identificação de contaminantes provenientes de aterros sanitários, cemitérios, vazamentos de gasolina e óleo diesel, contaminação por produtos químicos, entre outros fatores. Dedicado a estudantes e profissionais que trabalham com geociências e meio ambiente, Geofísica aplicada: métodos geoeletricos em hidrogeologia proporciona ao leitor informações e subsídios para a avaliação e a escolha da metodologia mais adequada para cada situação.

Mais informações: <http://www.ofitexto.com.br/geofisica-aplicada-metodos-geoeltricos-em-hidrogeologia/p>



## Biogeografia: dinâmicas e transformações da natureza

**Adriano Figueiró**

### Oficina de Textos

Uma das áreas de conhecimento mais fascinantes, a biogeografia trata da relação entre os seres vivos, a sociedade e os diferentes elementos das paisagens, suas dinâmicas e transformações ao longo do tempo.

**Mais informações:** <http://www.ofitexto.com.br/biogeografia-dinamicas-e-transformacoes-da-natureza/p>



## Sensoriamento remoto para desastres

**Tania Maria Sausen e Maria Silvia Pardi Lacruz**

### Oficina de Textos

O livro constitui uma ferramenta sólida de gestão de desastres: inundações e enxurradas, secas e estiagens, incêndios florestais, deslizamentos de terra e derramamentos de óleo são objeto de estudo. As aplicações de dados de sensoriamento remoto abrangem o monitoramento e a prevenção contra desastres, bem como as fases de mitigação, preparação, resposta e recuperação.

**Mais informações:** <http://www.ofitexto.com.br/sensoriamento-remoto-para-desastres/p>



## Manual para aproveitamento emergencial de águas cinza do banho e da máquina de lavar

**Wolney Castilho Alves, Luciano Zanella, Jordana Rodrigues de Castro, Rayana Santiago de Queiroz**

### Publicação do IPT

IPT lança manual para aproveitamento de águas do banho e de máquinas de lavar. O manual apresenta os cuidados recomendados ao seu uso a partir de soluções simples que não requerem construções, instalação de equipamentos especiais ou mesmo reformas residenciais.

**Mais informações:** [http://www.ipt.br/download.php?filename=1334-Manual\\_para\\_aproveitamento\\_emergencial\\_de\\_aguas\\_cinza\\_do\\_banho\\_e\\_da\\_maquina\\_de\\_lavar.pdf](http://www.ipt.br/download.php?filename=1334-Manual_para_aproveitamento_emergencial_de_aguas_cinza_do_banho_e_da_maquina_de_lavar.pdf)



## Manual para captação emergencial e uso doméstico de água de chuva

**Luciano Zanella, Guilherme Mariotto e Mariana de Toledo Marchesi**

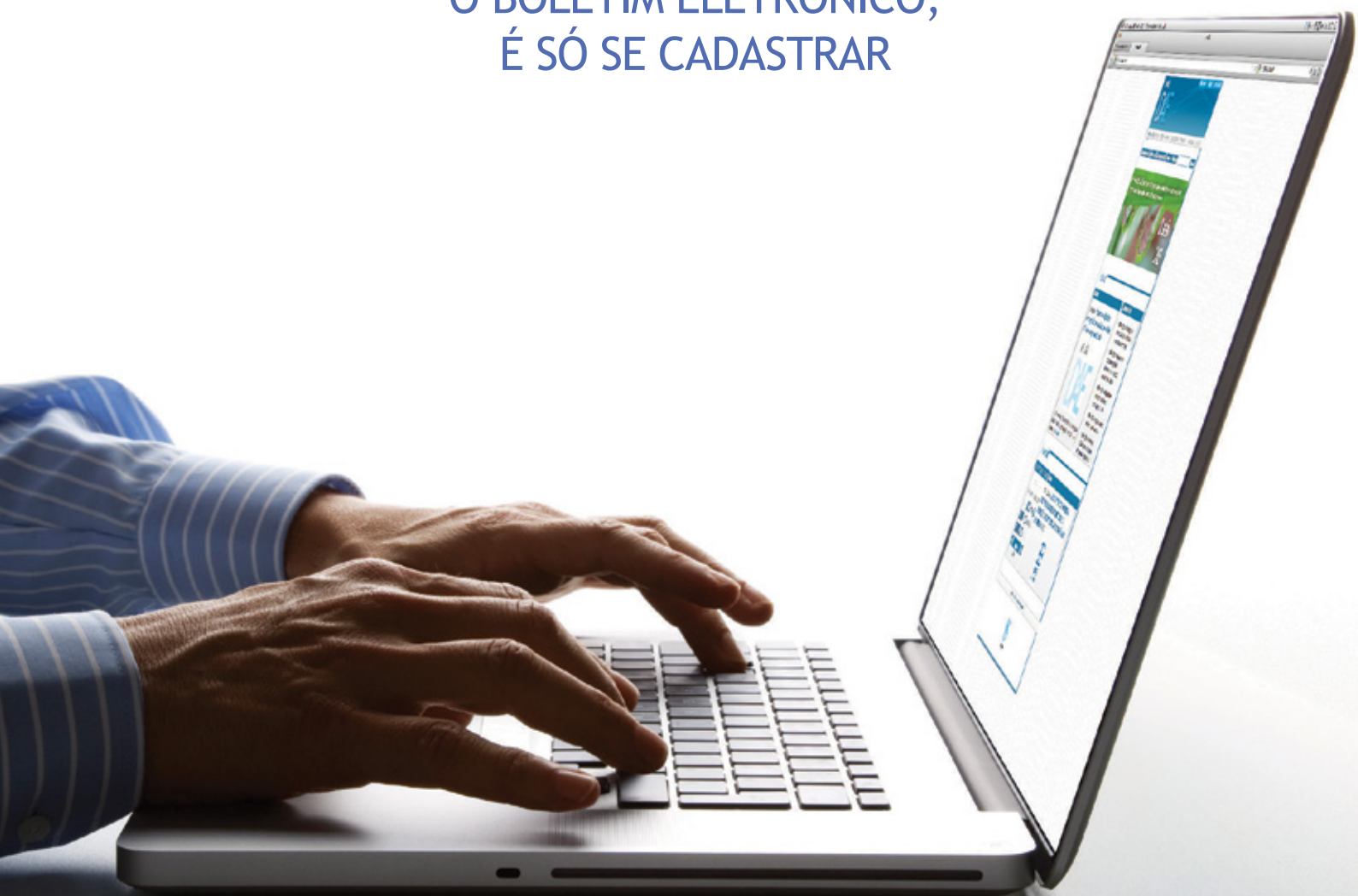
### Publicação do IPT

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) lançou o Manual para Captação Emergencial e Uso Doméstico de Água de Chuva, que reúne orientações para a criação de sistemas caseiros de aproveitamento emergencial de águas pluviais, considerando boas práticas para a captação, armazenamento e utilidade doméstica.

**Mais informações:** [http://www.ipt.br/download.php?filename=1200-Manual\\_para\\_captacao\\_emergencial\\_e\\_uso\\_domestico\\_de\\_AGUA\\_DA\\_CHUVA.pdf](http://www.ipt.br/download.php?filename=1200-Manual_para_captacao_emergencial_e_uso_domestico_de_AGUA_DA_CHUVA.pdf)

# O site da Revista DAE está repleto de novidades

ASSINE GRATUITAMENTE  
O BOLETIM ELETRÔNICO,  
É SÓ SE CADASTRAR





# cada obra conta

**Interligação Rio Grande-Alto Tietê**  
Água para mais de um milhão de pessoas.



**Reservatórios metálicos**  
20 reservatórios melhoram a distribuição de água.



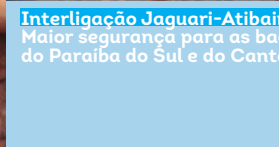
**Ampliação da ETA Alto da Boa Vista**  
Tecnologia de membranas ultrafiltrantes na ampliação do Sistema Guarapiranga.



**Sistema São Lourenço**  
Maior obra de abastecimento em execução no país.



**Interligação Jaguari-Atibainha**  
Maior segurança para as bacias do Paraíba do Sul e do Cantareira.



**Interligação Rio Guaiú-Alto Tietê**  
Redução da dependência do Sistema Cantareira.



**Adutora do ABC**  
Mais de 250 mil pessoas beneficiadas na zona sul da capital.



É importante cada um continuar fazendo a sua parte. Porque, juntos, estamos vencendo a maior seca dos últimos 86 anos. **Contamos com a sua colaboração.**

