

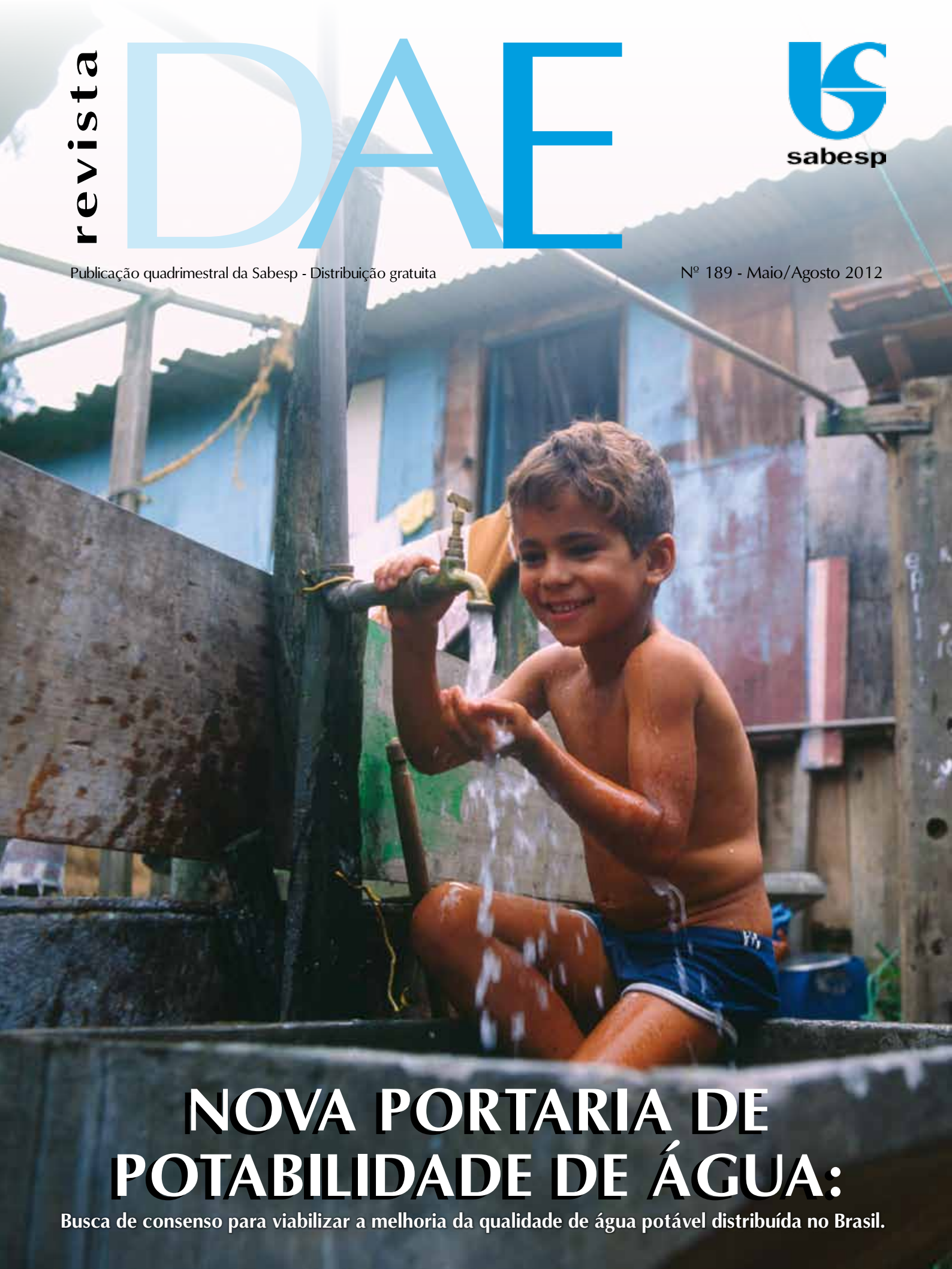
revista

# DAE



Publicação quadrimestral da Sabesp - Distribuição gratuita

Nº 189 - Maio/Agosto 2012



## **NOVA PORTARIA DE POTABILIDADE DE ÁGUA:**

Busca de consenso para viabilizar a melhoria da qualidade de água potável distribuída no Brasil.

# revista DAE

## **Missão**

A Revista DAE tem por objetivo a publicação de artigos técnicos e científicos originais nas áreas de saneamento e do 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. Passou a denominar-se 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. Interrupção de 1993 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

## **Assistente Editorial**

Engenheira Iara Regina Soares Chao

## **Conselho Editorial**

Prof. Pedro Além Sobrinho (USP), Prof. Cleverson Vitório Andreoli (Cia. de Saneamento do Paraná – Sanepar), Prof. José Roberto Campos (USP), Prof. Dib Gebara (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 Sabesp), Profª Emilia Wanda Rutkowski (Unicamp), Prof. Marcos Tadeu (USP e representante do Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT). Coordenação do Engº Américo de Oliveira Sampaio (Sabesp).

## **Jornalista Responsável**

Sérgio Lapastina - Mtb: 18276

**Capa:** Arquivo Sabesp

Diagramação, CTP, Impressão e acabamento

**Art Printer** Gráficos e Editores Ltda.

**Projeto grafico:** Alex Petená

**Tiragem:** 4.500 exemplares

imprensa@revistadae.com.br

**ISSN 01016040**

**Veja a Revista Eletrônica na internet:**

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

## NOVA PORTARIA DE POTABILIDADE DE ÁGUA:

### Busca de consenso para viabilizar a melhoria da qualidade de água potável distribuída no Brasil

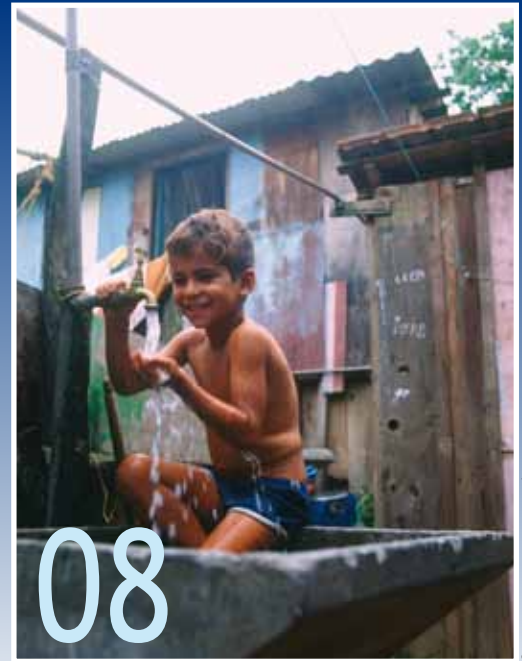


foto capa acervo Sabesp

#### Artigos técnicos

16 Adaptação do Indicador de Salubridade Ambiental – ISA para análise de empreendimentos do Programa de Arrendamento Residencial – PAR em Aracaju/SE

*Indicator of Environmental Health– IEH Adaptation For Analysis of the Social Housing Program – SHP in Aracaju/SE*

26 Pesquisa em escala de demonstração do tratamento combinado de lixiviado

*Research on combined treatment of landfill leachate*

40 Avaliação da Toxicidade de Lixiviados de Aterro Sanitário em Sistema de Lagoas de Estabilização com Testes de Toxicidade Aguda (*Daphnia magna*)

*Toxicity Evaluation of Landfill Leachate in Stabilization Ponds by Acute Toxicity Tests (*Daphnia magna*)*

50 Efeitos da intercloração na duração da carreira de de filtração e na formação de THM em águas de abastecimento (estudo de caso)

*Effects of the inter-chlorination in the filtration run and THM formation in drinking water treatment*

#### Procedimentos operacionais e empreendimentos

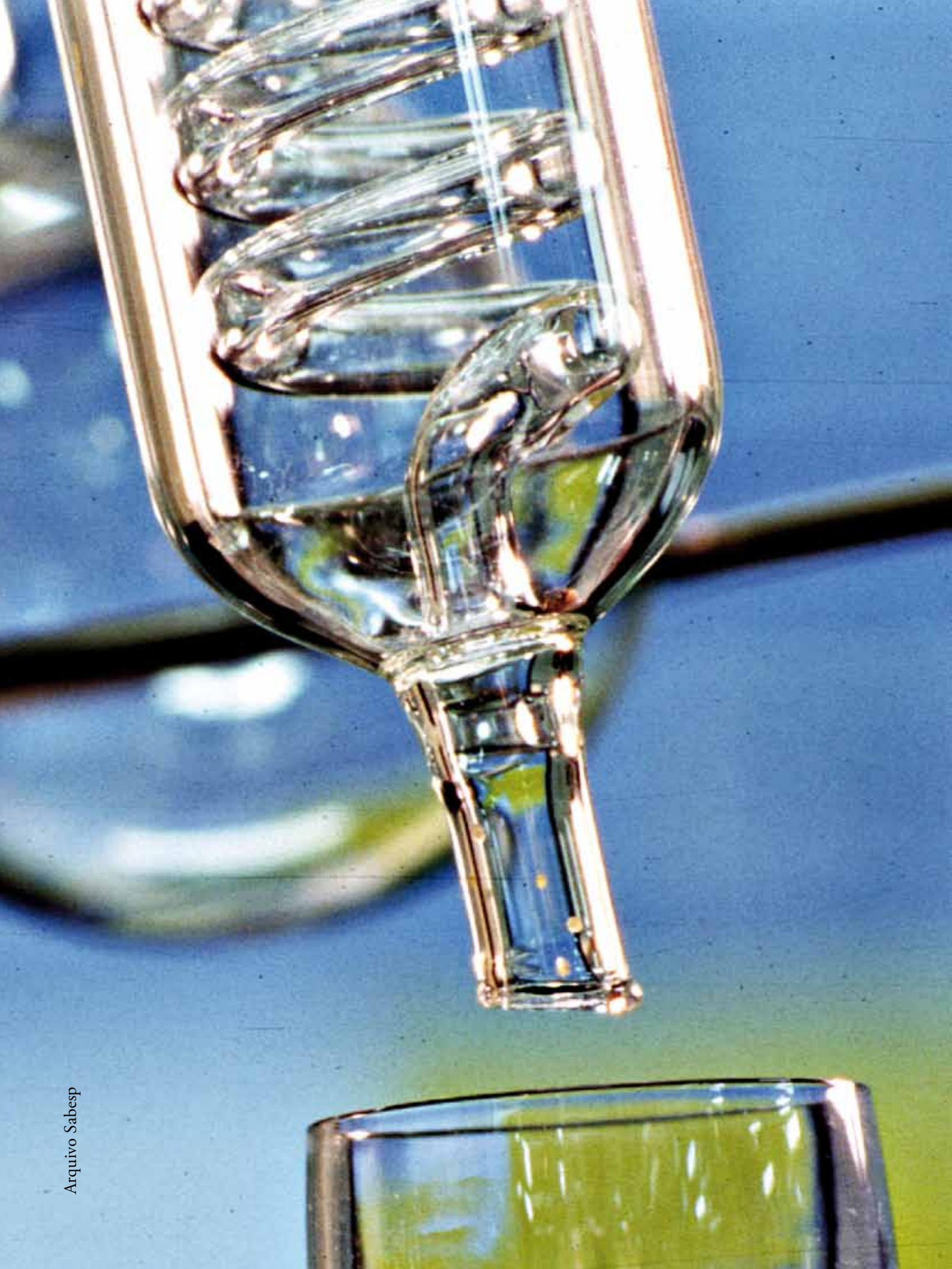
58 Inovação Tecnológica no saneamento dentro do contexto da Lei de Licitações nº 8666/93

*Technological Innovation in Sanitation within the context of Bidding Law n. 8666/93*

66 Notícias

68 Calendário de eventos

71 Publicações



**S** seja bem vindo à NOVA DAE.

Desde a retomada de sua publicação, em agosto de 2007, a Revista DAE tem passado por constantes aperfeiçoamentos – muitos deles fruto da participação do seu público leitor, através de sugestões e contribuições: o que demonstra o alto interesse e integração que temos conquistado e que somente temos a agradecer.

Uma dessas sugestões pedia uma revista visualmente mais leve, permitindo uma leitura mais dinâmica e, sem perder as características que fizeram da DAE a referência do mercado de tecnologia no saneamento ambiental, igualmente mostrasse sua tendência à inovação.

Pois bem, fomos em busca de um parceiro em design gráfico que conseguisse aglutinar todas essas características em um novo projeto gráfico. O resultado você conhece nesta edição: apresentamos uma Revista DAE que, se tem as mesmas bases técnico-científicas em seu conteúdo, o mesmo rigor na seleção e preparação de suas matérias e artigos, traz uma nova produção, um novo projeto gráfico: afinal se falamos tanto em inovação, é hora também de inovarmos. Então, que esta seja a boa e consistente NOVA DAE de sempre.

Nossa principal matéria aborda a revisão da Portaria 518/04, que terminou em dezembro de 2011 com a publicação da nova Portaria de Potabilidade da Água de número 2914/11, um processo que contou com a participação de diversas frentes representativas do setor e que está sendo considerado positivo pelo mercado.

Ainda nesta edição quatro artigos técnicos bastante interessantes. O primeiro deles fala sobre a Adaptação do Indicador de Salubridade Ambiental – ISA para análise de empreendimentos do Programa de Arrendamento Residencial – PAR realizada em Aracaju, no Sergipe.

O segundo traz os resultados de uma Pesquisa em escala de demonstração do tratamento combinado de lixiviado.

Outro mostra a Avaliação da Toxicidade de Lixiviados de Aterro Sanitário em Sistema de Lagoas de Estabilização com Testes de Toxicidade Aguda (*Daphnia magna*).

E por último um estudo de caso que aborda os Efeitos da intercloração na duração da carreira de de filtração e na formação de THM em águas de abastecimento.

Além disso, trazemos um artigo de cunho bastante operacional, sob o título Inovação Tecnológica no saneamento dentro do contexto da Lei de Licitações nº 8666/93, que aborda a complexa questão das licitações na área de pesquisa.

Completam nossa publicação uma geral sobre as principais notícias e a agenda de eventos.

A todos, uma excelente leitura e continue participando, sua opinião é o que ajuda a construir uma Revista DAE cada vez melhor.



Américo de Oliveira Sampaio

Editor Chefe

## Errata

Errata à Edição número 188

- na pag. 10. - Ensaio, nos créditos ao autor:

diferentemente do que foi publicado, o autor do ensaio intitulado “Resolução CONAMA nº 359 de 2005 sobre o teor de fósforo em detergentes em pó. Essa ação tem se mostrado efetiva para a redução da eutrofização?” é o químico José Eduardo Bevilacqua, mestre e doutor em Ciências pela Universidade de São Paulo; professor-adjunto do UNIFIEO; Assessor da Diretoria de Avaliação de Impacto Ambiental da CETESB e representante desta instituição na Câmara Técnica de Controle e Qualidade Ambiental do CONAMA.

# NOVA PORTARIA DE POTABILIDADE DE ÁGUA:

Busca de consenso para viabilizar a melhoria da qualidade de água potável distribuída no Brasil





Estação de Tratamento de Água  
Alto Cotia - Sabesp

# NOVA PORTARIA DE POTABILIDADE DE ÁGUA:

Busca de consenso para viabilizar a melhoria da qualidade de água potável distribuída no Brasil.

Maria Claudia Martins Ribeiro  
MTB 255/65 SP

**E**m dezembro de 2011, o Ministério da Saúde publicou a portaria nº 2914, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Esta nova portaria é a quinta versão da norma brasileira de qualidade da água para consumo que, desde 1977, vem passando por revisões periódicas, com vistas à sua atualização e à incorporação de novos conhecimentos, em especial fruto dos avanços científicos conquistados em termos de tratamento, controle e vigilância da qualidade da água e de avaliação de risco à saúde. Essas revisões acomodam, também, possibilidades técnicas e institucionais próprias de cada momento de revisão da norma. E, a cada revisão nota-se a preocupação do Ministério da Saúde e do setor do saneamento em inovar e aprimorar tanto o processo participativo de revisão como as exigências a serem apresentadas.

Esta última publicação é resultado de um amplo processo de discussão para revisão da Portaria MS nº 518/2004, realizado no período de 2009 a 2011, sob a coordenação do Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador, da Secretaria de Vigilância em Saúde do Ministério da Saúde.

O processo de revisão foi desenvolvido por um grupo de trabalho composto por representantes do setor da saúde, de instituições de ensino e pesquisa, das associações das empresas de abastecimento de água e dos órgãos de meio ambiente e recursos hídricos.

Arquivo Sabesp



***“Segundo a Equipe de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano do Ministério da Saúde, a discussão das propostas foi amplamente divulgada, tornando todo o processo de revisão democrático e transparente”***



Segundo a Equipe de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano do Ministério da Saúde, a discussão das propostas foi amplamente divulgada, tornando todo o processo de revisão democrático e transparente, com site e endereço eletrônico exclusivos para o recebimento de sugestões, proporcionando, assim, uma ampla participação da sociedade civil e dos demais segmentos institucionais. Além disso, a minuta da portaria foi debatida em oficinas regionais, disponibilizada para consulta pública, além de avaliada e aprovada nos fóruns colegiados do Sistema Único de Saúde.

Essa ampla discussão com todos os setores envolvidos, aliás, parece ter sido o ponto alto desta nova Portaria. Rafael Bastos, Professor Dr. do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Viçosa, foi responsável pela coordenação dos trabalhos de revisão do padrão de potabilidade. Segundo ele, um dos aspectos mais importantes desta Portaria foi o fato de ela ser resultado consensuado de ampla discussão, envolvendo setores diversos da sociedade, em torno da proteção da saúde humana. “Naturalmente, em se tratando de uma norma de uso obrigatório em todo o território nacional, heterogêneo por natureza, sempre haverá críticas, às vezes considerando a norma excessivamente permissiva, em outras desnecessariamente exigente ou rigorosa”.

Do ponto de vista do padrão de potabilidade, o professor explica que a atualização foi resultado de cuidadosa revisão, baseada em critérios de avaliação de risco.

Assim, se determinada substância química fazia parte do padrão de potabilidade e não faz mais, é porque o conhecimento atual não aponta tal substância como de toxicidade preocupante e, ou de que a exposição via consumo de água não é das mais relevantes. Raciocínio semelhante justifica eventual flexibilização de valor máximo permitido para a determinada substância, e raciocínio inverso justifica a inclusão de novas substâncias no padrão de potabilidade ou maior rigor no estabelecimento de valor máximo permitido na água.

Os valores máximos permitidos de cada substância na água foram definidos com base na abordagem de avaliação quantitativa de risco químico, que permite estimar a concentração limite que, em tese, poderia ser ingerida continuamente ao longo de toda a vida sem risco considerável à saúde. Estimativa esta feita com largas margens de segurança.

***“Naturalmente, em se tratando de uma norma de uso obrigatório em todo o território nacional, heterogêneo por natureza, sempre haverá críticas, às vezes considerando a norma excessivamente permissiva, em outras desnecessariamente exigente ou rigorosa”***



No caso o padrão microbiológico de potabilidade, a referência utilizada é a metodologia de avaliação quantitativa de risco microbiológico, que orientou a definição do padrão de turbidez da água filtrada, como indicador da remoção de protozoários, e dos parâmetros de controle da desinfecção, indicadores da inativação de bactérias, vírus e protozoários. “Obviamente, o que se busca é a minimização de riscos, tomando como referência o que se tem de mais atual em termos de abordagem científica, as mesmas utilizadas pela Organização Mundial da Saúde”, explica o professor Rafael Bastos.

Concretamente, o padrão de substâncias químicas que representam risco à saúde e o padrão organoléptico da Portaria 518/2004, em conjunto, regulamentavam 74 substâncias / características da água, e esse número foi elevado para 87 na Portaria 2914/2011.

Livre Docente na área de Toxicologia da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Gisele Umbuzeiro se diz orgulhosa por viver em um país com regras para a

potabilidade. “É muito bom ver que a água tem grande importância para todos os envolvidos. O processo de regulamentação da água reflete o amadurecimento de um país e sua capacidade científica, tecnológica, econômica e social”. Apesar de achar que a Portaria tenha evoluído muito, Gisele Umbuzeiro lamenta o fato de os interferentes endócrinos não terem sido considerados. “Infelizmente, o Brasil perdeu uma grande possibilidade de avançar na questão. Não acho que devemos ter padrões ainda, mas poderíamos ter tomado algumas medidas como a recomendação de um monitoramento da água bruta para esses compostos – já que temos informações suficientes para medi-los - para trabalhar no preventivo, especialmente para águas subterrâneas, pois nesse recurso, quando se detecta a contaminação, fica difícil conter a fonte. Isso sim seria uma ação interessante”. E ela conclui: “Antes nossos problemas fossem somente os interferentes endócrinos. Existem milhares de substâncias tóxicas presentes na água de beber que não regulamentamos, não sabemos sua concentração, mas que bebemos sem saber. Com a evolução da química, essas informações aparecerão cada vez mais e teremos de repensar a forma de enfrentar esse problema, usando técnicas de prevenção”.



Arquivo Sabesp

***“Antes nossos problemas fossem somente os interferentes endócrinos. Existem milhares de substâncias tóxicas presentes na água de beber que não regulamentamos, não sabemos sua concentração, mas que bebemos sem saber. Com a evolução da química, essas informações aparecerão cada vez mais e teremos de repensar a forma de enfrentar esse problema, usando técnicas de prevenção”***

André Luís Góis Rodrigues, gerente do Departamento de Controle de Qualidade dos Produtos Água e Esgoto da Sabesp, participou do grupo de discussão como representante da AESBE-*Associação das Empresas de Saneamento Básico Estaduais*. Para ele, o maior avanço da nova Portaria foi a troca de informações entre o Ministério da Saúde, Universidades e Empresas de Saneamento, garantindo que as opiniões de diversos setores fossem ouvidas. “Nós, (as empresas de saneamento) não tivemos todas as nossas solicitações atendidas, mas elas foram bastante discutidas e pudemos passar nossa visão de como a empresa trabalha para atender a Portaria diariamente. A experiência das empresas de saneamento foi importante na definição de algumas exigências”. André sugere que a próxima revisão considere mais as diretrizes do Plano de Segurança da Água da IWA. Dessa forma, ela deixaria de considerar todos os sistemas do Brasil de forma igual e garantiria um monitoramento de acordo com o estudo dos sistemas de abastecimento.

Essa revisão repercutiu em grandes mudanças, como a necessidade de desenvolver e implantar 19 novos métodos de ensaios para atender as exigências da nova portaria. O Departamento definiu um cronograma até o final de 2012 para o atendimento completo.

Para Maria Inês Zanoli Sato, Gerente do Departamento de Análises Ambientais da CETESB - Cia. Ambiental do Estado de São Paulo, também seria um grande avanço se o Brasil estabelecesse metodologia própria para a proposição dos padrões. “Em geral, nossos padrões são copiados de outras legislações ou dos valores da OMS – Organização Mundial da Saúde. “Não é errado, mas não podemos esquecer que a OMS propõe valores que podem ser utilizados por vários países com realidades diferentes, estabelecidos de maneira genérica. Se o Brasil tivesse metodologia própria, os padrões poderiam ser derivados com base na nossa realidade em termos de ocorrência dos contaminantes e cenários de exposição”, diz ela.

Inês Sato concorda com a inclusão de novos agrotóxicos, mas discorda do número de agrotóxicos incluídos: “Poderia ser maior. Sabemos da limitação em relação à capacidade analítica dessas substâncias em algumas regiões do país, porém poderiam ser estabelecidos agrotóxicos prioritários para cada região. Assim, o agrotóxico que é importante para o Estado de São Paulo, não necessariamente deveria ser analisado pelos estados de outras regiões do país”. Ela ainda defende o estabelecimento de valores limites para clorofila-a, empregada como indicador do aumento de cianobactérias/eutrofização, pois atualmente esse parâmetro só é considerado quando o valor monitorado duplica após duas semanas consecutivas. Sugere

Arquivo Sabesp



uma maior discussão sobre a contagem de bactérias heterotróficas. “Sua recomendação para apenas 20% das amostras nos sistemas de distribuição é muito frágil, mesmo que na seleção desses pontos se priorize as populações de maior risco. Não existem evidências epidemiológicas que relacionam os altos níveis de bactérias heterotróficas em águas destinadas a consumo humano com aumento de riscos à saúde”.

Maria Inês Sato lamenta que a ferramenta de avaliação quantitativa de risco microbiológico não tenha sido introduzida nessa nova legislação de forma mais abrangente como já é utilizada em várias normativas internacionais e recomendada pela OMS. “Essa abordagem permite elaborar uma regulamentação mais focada na eficiência do processo de tratamento na remoção de patógenos e não apenas em critérios de qualidade pelo emprego de indicadores de contaminação, atualmente muito frágeis”. Segundo ela, não houve avanço significativo nessa Portaria

quanto à questão do monitoramento de vírus entéricos nos pontos de captação de água proveniente de mananciais superficiais de abastecimento, pois suas análises continuam apenas como recomendação. “Como não há obrigatoriedade teremos pouco avanço quando ao conhecimento da ocorrência desse grupo de microrganismos que representam sério risco para a saúde da população. As complexidades analíticas não podem ser barreiras para o estabelecimento de padrões e sim estímulo para o desenvolvimento tecnológico no país”.

### **Alguns avanços alcançados na nova resolução apontados pelos entrevistados:**

Além do próprio processo de discussão e transparência que permitiu a todos uma visão mais abrangente sobre o assunto, muitos foram os pontos positivos levantados pelos especialistas entrevistados nessa matéria.



Arquivo Sabesp

- O artigo 40 traz avanços importantes com relação ao monitoramento de cianobactérias, introduzindo a necessidade de identificação dos gêneros com a finalidade de se avaliar a presença de algas produtoras de toxinas. “A padronização do método para quantificação foi um ganho. Agora, os resultados são expressos em células por mL e não mais em biovolume. A introdução da recomendação da análise de clorofila-a no manancial como indicador de potencial aumento da densidade de cianobactérias permitirá maior agilidade no controle da qualidade da água captada. O Brasil é considerado pioneiro no estabelecimento desses padrões e tem estimulado os laboratórios a se capacitarem nessas análises o que representa um avanço tecnológico para o país”, explica Inês Sato.
- A mudança do padrão de turbidez, como parte do padrão microbiológico, de 1uT para 0,5uT, é uma alteração substancial. “Rigoroso, mas de atendimento gradual ao longo dos próximos quatro anos, propiciando assim, margem para os ajustes eventualmente necessários nas estações de tratamento de água”, justifica Rafael Bastos.
- A inclusão da obrigatoriedade da avaliação de saxitoxina, e darecomendação das análises de cilindropermopsina e anatoxina-a(s) quando for detectada a presença de gêneros de cianobactérias potencialmente produtores dessas toxinas anatoxina-a(s) no monitoramento do ponto de captação. “Os laboratórios no Brasil terão de se adequar para atender essas exigências, pois muitos ainda não estão preparados para as análises dessas toxinas”, comenta Inês Sato.
- Antes vago e subjetivo, o padrão de controle de gosto e odor da água agora passa a ser medido em termos de intensidade máxima de percepção por meio de técnicas padronizadas de avaliação sensorial, aponta Rafael Bastos.
- O padrão microbiológico traz a obrigatoriedade da análise de *E.coli*, considerado o melhor indicador bacteriano para contaminação fecal. A exigência de análise periódica de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* nos pontos de captação dos mananciais de água superficial com média geométrica anual igual ou superior a 1.000 *E.coli*/100 mL foi também um avanço.” Essa abordagem, apesar de tímida, começa a introduzir

os conceitos avaliação quantitativa de risco microbiológica e a importância da preservação dos mananciais como requerido nos planos de segurança da água dentro da nossa legislação.

- Quanto aos interferentes endócrinos, a Portaria faz menção ao plano de segurança da água. Caso em uma água sejam detectados níveis preocupantes desses compostos, tratamentos mais adequados deverão ser realizados. “A ideia não é trabalhar na qualidade da água tratada, mas sim melhorar a água bruta”, completa Gisela Umbuzeiro.
- Inês Sato chama a atenção para o capítulo III, Competência e Responsabilidade, que em seus artigos 11º e 12º estabelece de forma clara uma série de ações a serem tomadas pelas Secretarias de Saúde do Estado e Município nas situações de surtos de doenças diarreicas agudas ou outro agravo de transmissão fecal-oral.

Em seus 53 artigos, a Portaria 2914 coloca para o país muitas outras importantes medidas como: a necessidade da estruturação e habilitação de laboratórios, nos mais diversos níveis do governo e também na área privada; exige a informação sobre a qualidade de produtos químicos utilizados em tratamento de água para consumo humano e a comprovação do baixo risco a saúde; proíbe a existência de Solução Alternativa Coletiva, onde houver rede de distribuição e de misturas com a água da rede; prevê competências específicas para a União, os Estados e Municípios; amplia a necessidade de capacitação e atualização técnica aos profissionais que atuam no fornecimento e controle de qualidade da água, dentre outros.

## Polêmicas

A Portaria 2914 recebeu críticas, principalmente quanto à resistência de alguns setores para incluir conceitos novos já inseridos nas legislações internacionais e recomendados pela OMS, devido à preocupação de como operacionalizar essas exigências do ponto de vista de logística, financeiro e operacional.

Apesar das críticas, todo o processo de discussão foi muito rico, garantindo que todos os segmentos envolvidos fossem ouvidos. Mas, como ser ouvido não significa ser atendido, alguns pontos de atrito também fizeram parte do processo.

Segundo a Equipe de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano do Ministério da Saúde, as principais polêmicas foram quanto ao uso de algicidas em mananciais para controlar a proliferação de cianobactérias, que continua proibido; à redução da turbidez na saída do tratamento, de 1 uT para 0,5 uT; e à inclusão e exclusão de algumas substâncias químicas.

E, como as decisões devem ser sempre por consenso, as discussões neste ponto do processo acabam sendo muito intensas e estafantes pela necessidade de se considerar, além dos aspectos técnicos, também os aspectos regionais, econômicos, jurídicos e outros. Quando não havia consenso, cabia ao Ministério da

Saúde a decisão final. Os grupos tiveram um papel de consultoria, mas a legislação é assinada integralmente pelo Ministério da Saúde.

A Portaria estabelece um prazo de 24 meses a partir da data da sua publicação para que os laboratórios, órgãos e entidades a ela sujeitos façam as adequações necessárias, sob o risco de sofrer penalidades de natureza administrativa, civil ou penal cabíveis.

E como essa Portaria é de abrangência bem específica e os conhecimentos científicos são dinâmicos, ela *deve ser revisada periodicamente*.

Algumas mudanças principais que afetam diretamente o Controle de Qualidade:

- Não será mais necessário realizar análises de flúor na Rede de Distribuição. Somente os resultados da produção serão suficientes para a Vigilância Sanitária. Para a Sabesp isso representa uma redução de aproximadamente 55 mil ensaios por ano desse parâmetro.
- Está claro nesta Portaria que, para parâmetros físico-químicos, é necessário considerar o histórico de resultados para avaliar se a água está atendendo ou não aos padrões da Portaria. Anteriormente qualquer resultado unitário fora dos padrões já poderia desclassificar a potabilidade da água.
- O limite permitido de turbidez após a filtração reduziu de 1,0 para 0,5 NTU, com prazo de 4 anos para atendimento. As unidades que operam ETAs já podem fazer a análise crítica de seus sistemas para avaliar se estão atendendo a este novo limite.
- Deverá ser realizada uma análise de turbidez para cada análise de bacteriologia. Isso já era recomendação na Portaria anterior e agora virou exigência.
- A frequência mínima exigida de visitas a sistema de produção por poços reduziu de diária para duas vezes por semana.
- Análises de gosto e odor deverão ser feitas em todos os sistemas produtores, com frequência semestral para poços e trimestrais para mananciais superficiais. Mas está bem definido na Portaria um prazo de 2 anos para isso.
- Fica permitido concentrações de ferro e manganês acima do VMP desde que os mesmos estejam complexados e possuam concentração máxima de 2,4 e 0,4 mg/L respectivamente. Na Portaria anterior o fato de clarificar a água com a adição de complexantes ainda classificava a água como “não potável” já que o teor ferro e manganês não eram reduzidos.
- Foram inserido 19 novos ensaios parâmetros para monitoramento, a maioria deles orgânicos e agrotóxicos. Já começamos a implantar a metodologia necessária para realização desses parâmetros no laboratório do TOQ.
- Fica obrigatório o ensaio de *Cryptosporidium* e *Giardia* para captações que apresentem resultados de *E. coli* acima de 1000/100 ml, considerando uma média geométrica anual. O TOQ já realiza esses ensaios mas teremos que levantar os dados dos mananciais para dimensionar qual será a demanda a partir de agora.

# Uma aula de história no centro de Santos

Palácio Saturnino de Brito conta a construção do saneamento na Baixada e mostra as novidades entregues nos últimos 5 anos

Sala que representa as obras do Onda Limpa, um dos maiores mapas impressos do mundo

## Um museu do presente



O acervo do Palácio Saturnino de Brito tem um espaço destinado às obras do Programa Onda Limpa, maior projeto de saneamento do país. Desenvolvido pela Sabesp em toda a Baixada Santista, o Onda Limpa começou a ser implantado em 2007. É uma oportunidade de conhecer a história da região praticamente em tempo real.

São fotos, vídeos e painéis que apresentam todas as obras. Um grande mapa, que ocupa três paredes da sala, retrata as nove cidades da Baixada. Por meio de lâmpadas coloridas, mostra cada ação feita. Estão representados os cerca de 1.000 km de redes de esgoto, sete estações de tratamento de esgoto e duas estações de condicionamento. É possível ver também canais e emissários.

Para entender o tamanho da obra, um pedaço do emissário de Santos está guardado em tamanho real na sala. Ele tem 1,50 m de diâmetro, altura de algumas crianças que visitam a atração.

O Programa Onda Limpa, da Sabesp, investe R\$ 1,5 bilhão na coleta e tratamento de esgoto. Contribui para o desenvolvimento econômico e social da região, reduz a mortalidade infantil e melhora a balneabilidade das praias.

Você sabe como foram planejados os canais de Santos? No Palácio Saturnino de Brito, no centro histórico, você tem essa e outras respostas sobre o saneamento da cidade. O edifício de 1939, tombado pelo patrimônio histórico, abriga o Acervo do Saneamento, que exibe um rico e detalhado material sobre as intervenções que permitiram que o município se desenvolvesse sem epidemias.

O Palácio homenageia Saturnino de Brito, engenheiro que construiu os canais santistas e o sistema que retirava o esgoto e a água de chuva das casas. Esse trabalho foi essencial para Santos crescer sem ser vítima de doenças, inclusive na área do porto, onde há a entrada e saída frequente de pessoas e navios. O canal 1, por exemplo, é de 1907.

O Palácio foi aberto à visitação em dezembro de 2009. É uma das paradas do bonde que percorre o centro histórico. Nele estão as bombas da época, o compasso usado pela equipe para projetar tubulações, fotos e mapas.

Além disso, o Palácio Saturnino de Brito exibe a escadaria com degraus e



Escadaria e vitral do Palácio



Palácio Saturnino de Brito

corrimão em puro mármore nacional; o vitral "Os Bandeirantes", que representa a subida da Serra do Mar pelos bandeirantes; e a iluminação que chega ao centro do saguão por uma cúpula, também de vitral, na qual está destacado o escudo do Estado de São Paulo.

Uma área especial traz o visitante para o presente. É a sala do Onda Limpa, projeto da Sabesp que ampliou a coleta e tratamento de esgoto de toda a Baixada, cujas obras começaram em 2007 e estão em fase final (leia texto nesta página).

A história do saneamento na Baixada já foi vista por mais de 7 mil brasileiros e estrangeiros. As visitas gratuitas têm guias bilíngues e material informativo. O Palácio Saturnino de Brito, que também é a sede da Sabesp na Baixada, recebe o morador e o turista de terça a domingo.

### Serviço

Acervo do Saneamento  
Palácio Saturnino de Brito

Av. São Francisco, 128 – Centro/Santos  
Terça a domingo, das 11h às 17h

Grátis

# Adaptação do Indicador de Salubridade Ambiental - ISA para análise de empreendimentos do Programa de Arrendamento Residencial - PAR em Aracaju/SE

## *Indicator of Environmental Health- IEH Adaptation for Analysis of the Social Housing Program - SHP in Aracaju/SE*

Cristina Fernandes de Oliveira Buckley\*

Engenheira Civil, Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Rede PRODEMA, Universidade Federal de Sergipe (UFS). E-mail: cristinabuckley@hotmail.com

José Daltro Filho

Engenheiro Civil, Doutor em Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos/USP. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Sergipe (UFS). Orientador do Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Rede PRODEMA, Universidade Federal de Sergipe (UFS). E-mail: jdaltro@ufs.br

\*Endereço para correspondência: SAFS Quadra 4, Lote 1, Anexo I, Sala 104 - Brasília - DF - CEP 70042-900  
e-mail: cristinabuckley@hotmail.com

Data de Entrada: 13/01/2010

Data de aprovação: 01/12/2011

### RESUMO

O desenvolvimento sustentável deve promover a qualidade de vida da população, incluindo a saúde e o saneamento da habitação. Um instrumento para avaliar os efeitos sobre a salubridade do ambiente é o Indicador de Salubridade Ambiental – ISA, utilizado por diversos autores com adaptações, conforme a especificidade do objeto de estudo. Diante da grande aceitação do Programa de Arrendamento Residencial – PAR em Aracaju/SE e a localização de grande parte dos empreendimentos em áreas de preservação permanente, foi utilizado o indicador ISA/PAR para avaliar os impactos causados sobre beneficiários e entorno. Este indicador baseia-se em oito sub-indicadores, e os seis empreendimentos analisados evidenciaram boas condições, exceto esgotamento sanitário, controle de vetores e espaço público em alguns deles.

**Palavras-chave:** Desenvolvimento sustentável; saneamento ambiental; arrendamento residencial.

### ABSTRACT

Sustainable development must provide life quality to the population, including health and house sanitation. One of the means for evaluating the effects over

the health of the environment is the Indicator of Environmental Health– IEH, used by several authors after being adapted to its specific subject. Considering the Social Housing Program – SHP great acceptance in Aracaju/SE and the location of most condos in areas of environmental protection, the indicator IEH/SHP is used in this research to evaluate the impacts over the beneficiaries and their neighborhood. This indicator is based upon the sub-indicators Water Supply, Sanitation, Solid Wastes, Vector Control, Public Places, Housing Conditions, Housing Satisfaction and Impacts over the Neighborhood. The six condos analyzed showed good conditions, except sanitation, vector control and public places in some of them.

**Keywords:** Sustainable development; environmental sanitation; social housing.

### INTRODUÇÃO

Qualidade de vida é um conceito (LEFF, 2001) que vem ganhando notoriedade, tendo em vista que o crescimento das cidades muitas vezes tem causado seu prejuízo. Especialmente em áreas habitadas por populações de baixa renda, o crescimento populacional tem trazido problemas a moradores e administradores,



traduzidos justamente nesta perda de qualidade. Um destes grandes problemas é a questão da saúde pública e do saneamento ambiental (DALTRO FILHO, 2004). Saúde é um conceito que não está adstrito meramente ao individual, uma vez que o homem é um ser que vive em coletividades e, portanto, a saúde de um indivíduo ou sua ausência pode trazer importantes reflexos sobre toda a população. Deste modo, o saneamento justifica-se como preocupação do Poder Público.

Entretanto, outras políticas públicas devem necessariamente ser levadas em conta quando o que se busca é a qualidade de vida da população. As políticas habitacionais atingem diretamente suas condições de vida presentes e futuras, da mesma forma que as políticas ambientais, limitadoras da ocupação territorial. Portanto, não basta fornecer moradia à população. As habitações, notadamente as situadas nas cidades, necessitam atender a diferentes requisitos mínimos de salubridade, bem como ser beneficiadas com ações de saneamento urbano e proteção ao meio ambiente proporcionadas pelo Poder Público, de modo a garantir o oferecimento de condições de vida aceitáveis.

Para possibilitar uma melhor compreensão do quadro de problemas e soluções que hoje surgem, uma análise histórica das sociedades humanas revela que, ao longo do tempo, diferentes visões do que seria desenvolvimento estão intimamente atreladas a diferentes visões da natureza e, por sua vez, ligadas às formas de ocupação territorial e de moradia. O modelo de desenvolvimento capitalista trouxe problemas ambientais e sociais com graves consequências para o bem-estar e saúde da própria humanidade, como poluição do ar e da água, erosão de solos, desertificação, problemas de abastecimento de água; danos à camada de ozônio, aquecimento global, distúrbios climáticos etc. O ar das cidades tornou-se irrespirável justamente em consequência das indústrias que simbolizavam a civilização (DIEGUES, 1996), e o processo de urbanização, mantido “às custas da degradação das condições de sustentabilidade global do planeta” (LEFF, 2001, p. 292), tornou os espaços de habitabilidade saturados. Deste modo, o modelo capitalista de desenvolvimento passou a ser duramente questionado, ante o comprometimento da satisfação das necessidades humanas básicas, levando à busca do chamado desenvolvimento sustentável, que incorpora soluções que levam em conta as dimensões sociais, políticas e culturais, com o fim último de promover a melhoria da qualidade de vida (CAMARGO, 2003). Nesta nova concepção, conforme explanam Gomes et al. (1995), o desenvolvimento não se apóia unicamente

no crescimento, mas também na ampla difusão de seus benefícios e na preservação ambiental.

Dentre as tentativas de interferir positivamente na qualidade de vida da população, destaca-se o Saneamento Ambiental, concebido como uma série de medidas e ações que têm por objetivo oferecer não apenas água potável e tratamento de efluentes, mas um conjunto de condições em níveis crescentes de salubridade (CARVALHO, 1980). Para aferir estes níveis, vários indicadores sócio-ambientais têm sido propostos, sendo um deles o Indicador de Salubridade Ambiental – ISA, definido pelo Conselho Estadual de Saneamento do Estado de São Paulo – CONESAN para avaliar a eficácia de seu Plano Estadual de Saneamento (ALMEIDA e ABIKO, 2000). Seu cálculo permite aferir o quanto uma área oferece boas condições de vida, dentro do que preconiza o Saneamento Ambiental. Este indicador vem sendo utilizado com adaptações por diversos estudiosos, conforme sua área de interesse específica: Dias et al. (2004) criaram o ISA/OE (aplicado a áreas de ocupação espontânea de Salvador/BA); Batista e Silva (2008) criaram o ISA/JP (aplicado a bairros costeiros de João Pessoa/PB); Silva (2006) propôs nova adaptação, denominada ISA/JP1 (aplicado a comunidades periurbanas na bacia do bairro Gramame/PB); Almeida e Abiko (2000) criaram o ISA/F (aplicado a favelas em áreas de proteção a mananciais em São Paulo/SP).

Na esteira do oferecimento de qualidade de vida à população, o Governo Federal, visando à ampliação de investimentos públicos e privados no país até 2010, lançou recentemente o Programa de Aceleração do Crescimento – PAC, adotando medidas que incluem estímulo ao crédito e expansão da infra-estrutura, compreendendo obras em diversas áreas, entre as quais saneamento e habitação (BRASIL, 2007). Assim, previu-se o fortalecimento do Programa de Arrendamento Residencial – PAR, criado pela Lei nº 10.188, de 12 de fevereiro de 2001, para atendimento às necessidades de moradia da população de baixa renda, ou seja, com renda familiar até seis salários mínimos (CAIXA, 2008).

Uma das cidades brasileiras nas quais o PAR teve maior aceitação é Aracaju/SE, que totalizava, em março de 2008, 37 empreendimentos entregues à população. Outro fato que merece destaque refere-se ao histórico de ocupação territorial da cidade, caracterizado pela destruição de manguezais e dunas para instalação de empreendimentos imobiliários (CORRÊA e ANJOS, 2007), e que se perpetua até aos dias de hoje, inclusive para abrigar conjuntos habitacionais, notadamente os

do PAR. Alguns destes empreendimentos são localizados próximos a áreas de preservação, o que potencializa seus impactos ambientais.

A análise destes empreendimentos em Aracaju é, portanto, o foco deste estudo, verificando o efetivo atendimento às condições objetivas para que as unidades sejam consideradas salubres e adequadas ao oferecimento de melhor qualidade de vida a seus beneficiários, bem como aos ocupantes do entorno. Apesar da adequação do ISA como forma de mensurar as condições de salubridade de um ambiente genérico (que pode ou não ter sido objeto de urbanização), as especificidades do PAR (como, por exemplo, exigência de sistemas de abastecimento e coleta de resíduos sólidos como condicionante para aprovação dos projetos) recomendam a adaptação do ISA para análise de empreendimentos do PAR, gerando o indicador ISA/PAR proposto neste trabalho.

## METODOLOGIA

O indicador ISA/PAR é composto pelos seguintes sub-indicadores:

- **Abastecimento de Água ( $I_{AB}$ ):** baseado nas variáveis Qualidade da Água (QA), Frequência do Abastecimento (FA) e Reservação (RE), segundo a Equação 1:

$$I_{AB} = 0,40 QA + 0,30 FA + 0,30 RE \quad (1)$$

- **Esgotamento Sanitário ( $I_{ES}$ ):** baseado nas variáveis Destino dos Dejetos Sanitários (DS) e Destino das Águas Servidas (AS), segundo a Equação 2:

$$I_{ES} = 0,50 DS + 0,50 AS \quad (2)$$

- **Resíduos Sólidos ( $I_{RS}$ ):** baseado nas variáveis Acondicionamento Doméstico (AD), Deposição Condominial (DC) e Regularidade de Coleta (RC), segundo a Equação 3:

$$I_{RS} = 0,35 AD + 0,35 DC + 0,30 RC \quad (3)$$

- **Controle de Vetores ( $I_{CV}$ ):** baseado nas variáveis para Dengue (VE), para Disenteria (VI), para Leptospirose (VL), para Toxoplasmose (VT) e Incidência de doenças (ID), segundo a Equação 4:

$$I_{CV} = 0,20 VE + 0,20 VI + 0,20 VL + 0,20 VT + 0,20 ID \quad (4)$$

- **Espaço Público ( $I_{EP}$ ):** baseado nas variáveis Circulação (CI), Manutenção (MA), Pavimentação (PA), Alagamento (AL), Iluminação Pública (IP), Lazer (LA), Equipamentos Urbanos (EU), Serviços (SV) e Segurança (SG), segundo a Equação 5:

$$I_{EP} = 0,12 CI + 0,10 MA + 0,10 PA + 0,12 AL + 0,12 IP + 0,12 LA + 0,08 EU + 0,12 SV + 0,12 SG \quad (5)$$

- **Condições de Moradia ( $I_{CM}$ ):** baseado nas variáveis Materiais (MT), Conforto Ambiental (CA), Instalações Elétricas e Hidro-Sanitárias (EH) e Aglomeração (AG), segundo a Equação 6:

$$I_{CM} = 0,25 MT + 0,25 CA + 0,25 EH + 0,25 AG \quad (6)$$

- **Satisfação com a Moradia ( $I_{SM}$ ):** baseado nas variáveis Percepção Individual (PI) e Desejo de Mudar-se (DM), segundo a Equação 7:

$$I_{SM} = 0,50 PI + 0,50 DM \quad (7)$$

- **Impactos sobre o Entorno ( $I_{IE}$ ):** baseado na variável Percepção dos Ocupantes do Entorno (PE), em relação a todos os componentes anteriores.

Para o cálculo do ISA/PAR, foi empregada a Equação 8:

$$ISA/PAR = 0,15 I_{AB} + 0,15 I_{ES} + 0,10 I_{RS} + 0,10 I_{CV} + 0,10 I_{EP} + 0,15 I_{CM} + 0,10 I_{SM} + 0,15 I_{IE} \quad (8)$$

As faixas de salubridade utilizadas, às quais os resultados foram relacionados, consistem em situações insalubres (de 0 a 0,300 pontos), de baixa salubridade (de 0,301 a 0,500 pontos), de média salubridade (de 0,501 a 0,800) e salubres (de 0,801 a 1 ponto).

A partir de um universo de 37 empreendimentos, foram escolhidos por amostragem probabilística sistemática seis deles: Residencial César Franco (Figura 1), Colina Residências (Figura 2), Residencial Bela Vista (Figura 3), Residencial Costa Norte (Figura 4), Residencial Horto do Carvalho I (Figura 5) e Residencial Sérgio Vieira de Melo (Figura 6), correspondentes a cerca de 15% do total.



**Figura 1** – Residencial César Franco



**Figura 4** – Residencial Costa Norte



**Figura 2** – Colina Residências



**Figura 5** – Residencial Horto do Carvalho I

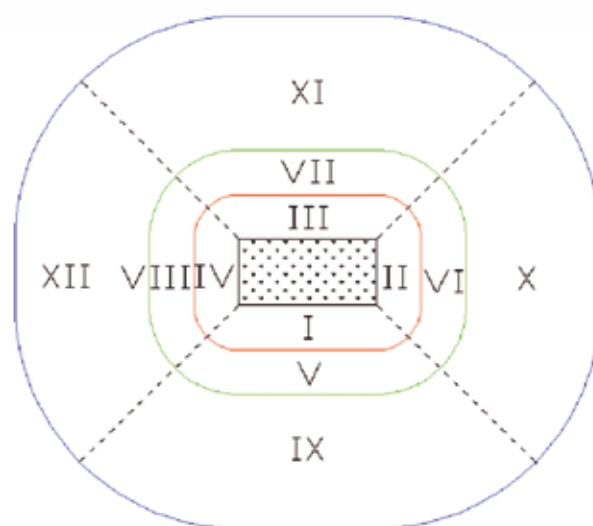


**Figura 3** – Residencial Bela Vista



**Figura 6** – Residencial Sérgio V. de Melo

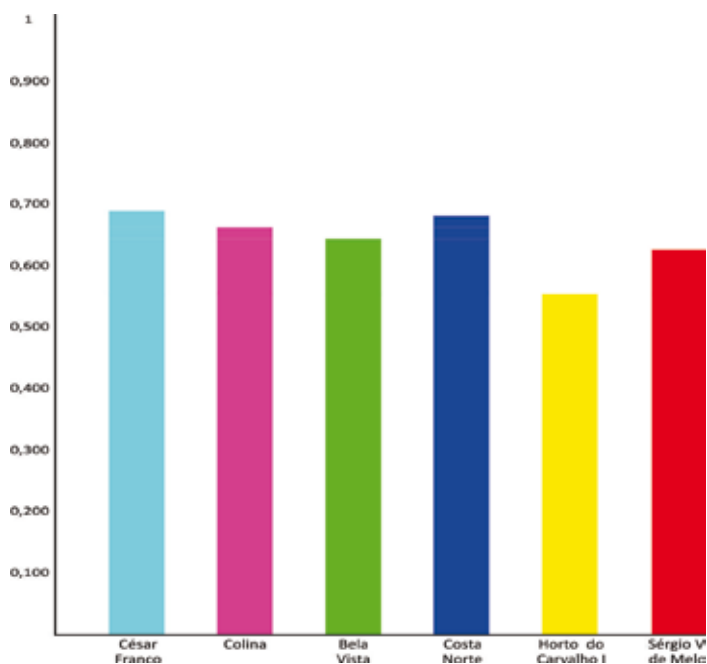
Foram entrevistados os ocupantes de 363 domicílios, divididos proporcionalmente entre os empreendimentos pesquisados. Para o entorno, a amostragem compreendeu moradores, comerciantes e prestadores de serviço que já ocupassem a localidade anteriormente à implantação do respectivo empreendimento. A área de vizinhança de cada um foi dividida em áreas de influência de acordo com o posicionamento (frente, laterais, fundos) e a distância (até 100 metros, de 100 a 200 metros e de 200 a 500 metros) em relação ao empreendimento (Figura 7). Em cada área de influência, foi selecionado o máximo de duas casas e/ou estabelecimentos, tendo sido realizadas 55 entrevistas.



**Figura 7** – Áreas de influência do entorno dos empreendimentos

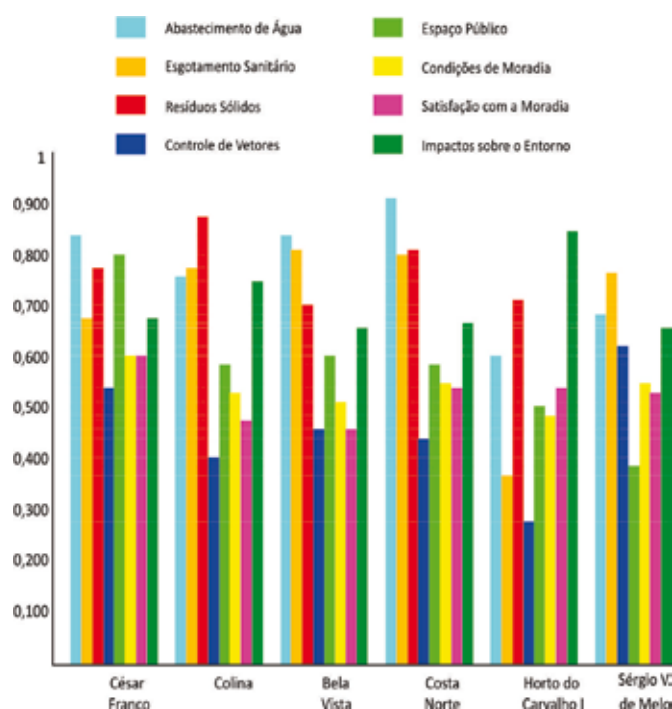
## RESULTADOS

A Figura 1 apresenta os valores do ISA/PAR obtidos por cada um dos empreendimentos pesquisados, mostrando valores muito próximos, entre 0,561 (Residencial Horto do Carvalho I) e 0,700 (Residencial César Franco).



**Figura 1** – Comparativo do ISA/PAR dos empreendimentos

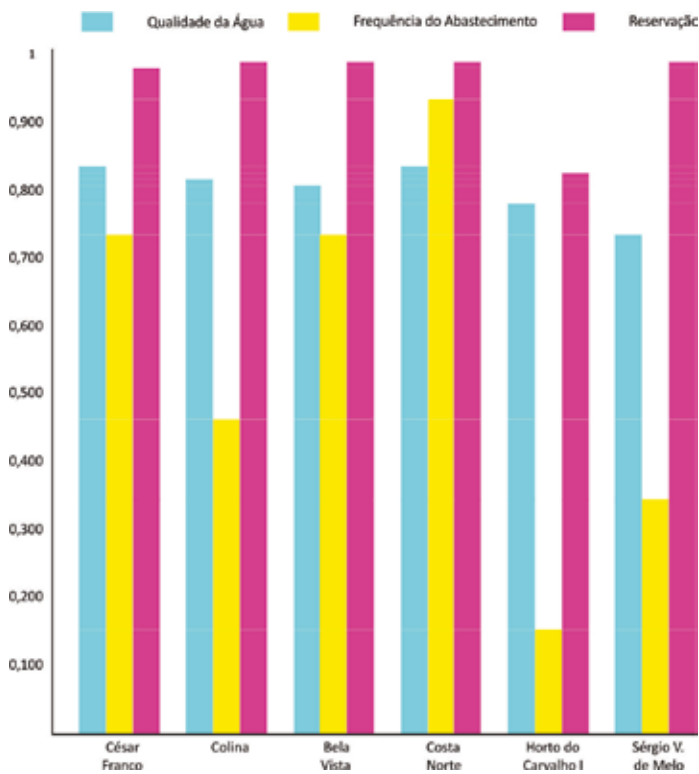
A análise dos respectivos sub-indicadores permite uma visão mais ampla da situação de cada empreendimento, o que é feito na Figura 2.



**Figura 2** – Comparativo dos sub-indicadores dos empreendimentos

Destacando as pontuações acima de 0,800 e abaixo de 0,300, os empreendimentos com bons sub-indicadores são César Franco (Abastecimento de Água e Espaço Público), Colina (Resíduos Sólidos), Bela Vista (Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário), Costa Norte (Abastecimento de Água, Esgotamento Sanitário e Resíduos Sólidos) e Horto do Carvalho I (Impactos sobre o Entorno). Por outro lado, este último também possui sub-indicadores ruins para Esgotamento Sanitário e Controle de Vetores. Sérgio Vieira de Melo apresentou sub-indicadores na faixa intermediária.

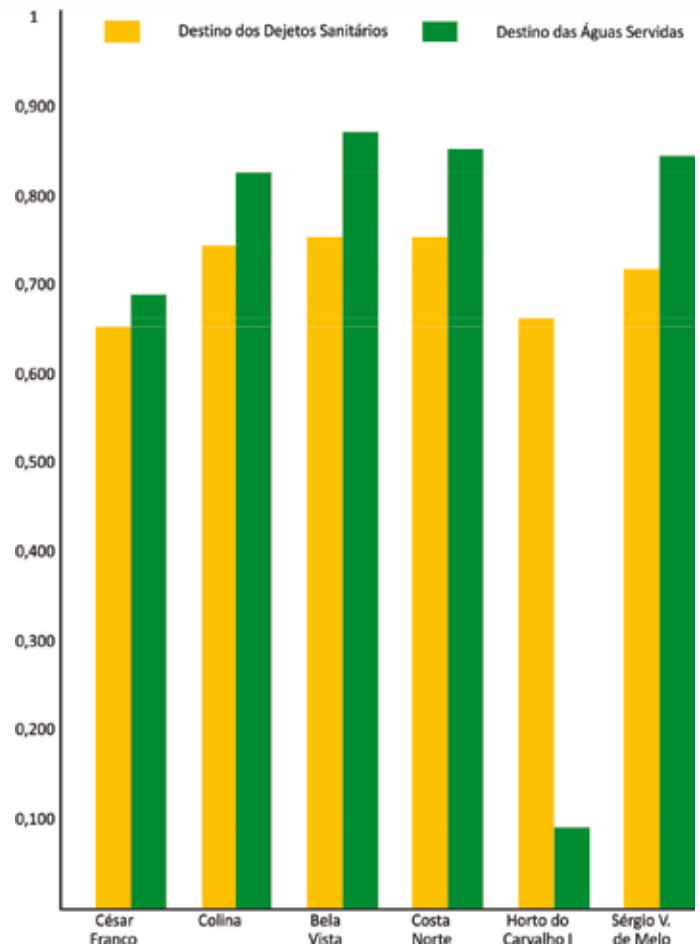
Para uma análise mais aprofundada, as variáveis que os compõem permitem avaliar os pontos fracos e fortes de cada empreendimento, o que é feito nas Figuras 3 a 10.



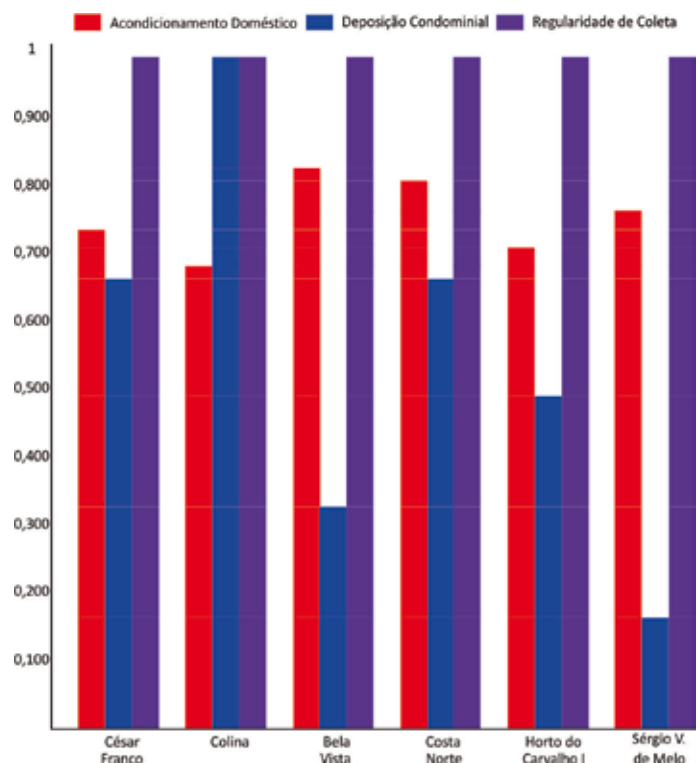
**Figura 3** – Comparativo das variáveis de Abastecimento de Água

Apenas César Franco, Colina, Bela Vista e Costa Norte tiveram ótima pontuação para Qualidade da Água, enquanto Horto do Carvalho I e Sérgio Vieira de Melo apresentaram pontuação baixa. Todos apresentaram pontuação ótima para Reservação. Quanto à Frequência do Abastecimento, Costa Norte se destacou positivamente e Horto do Carvalho I se destacou negativamente, evidenciando raríssima e excessiva falta d'água, respectivamente. Colina e Sérgio Vieira de Melo também apresentaram baixa pontuação, e os demais situaram-se na faixa intermediária.

Todos se situaram na faixa intermediária quanto ao Destino dos Dejetos Sanitários. Quanto ao Destino das Águas Servidas, entretanto, houve destaque positivo para Colina, Bela Vista, Costa Norte e Sérgio Vieira de Melo, enquanto Horto do Carvalho I se destacou negativamente (devido ao direcionamento do excedente para a sarjeta) e César Franco se situou na faixa intermediária.

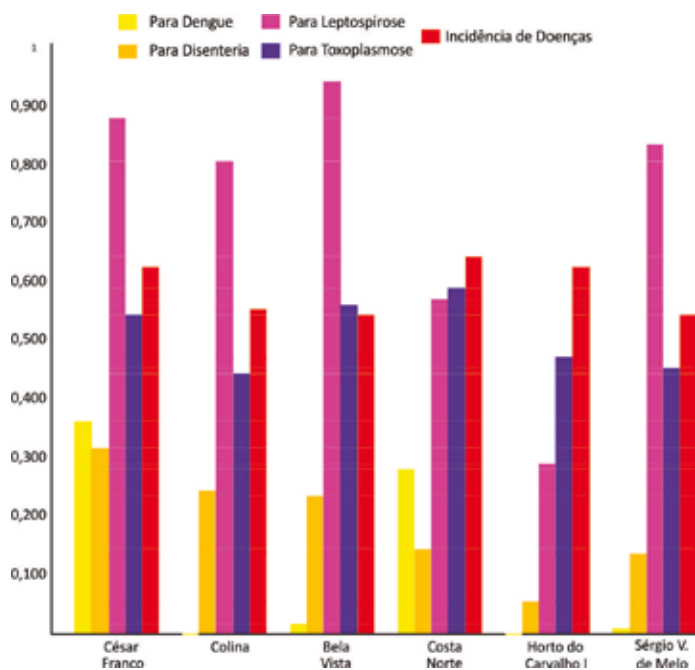


**Figura 4** – Comparativo das variáveis de Esgotamento Sanitário



**Figura 5** – Comparativo das variáveis de Resíduos Sólidos

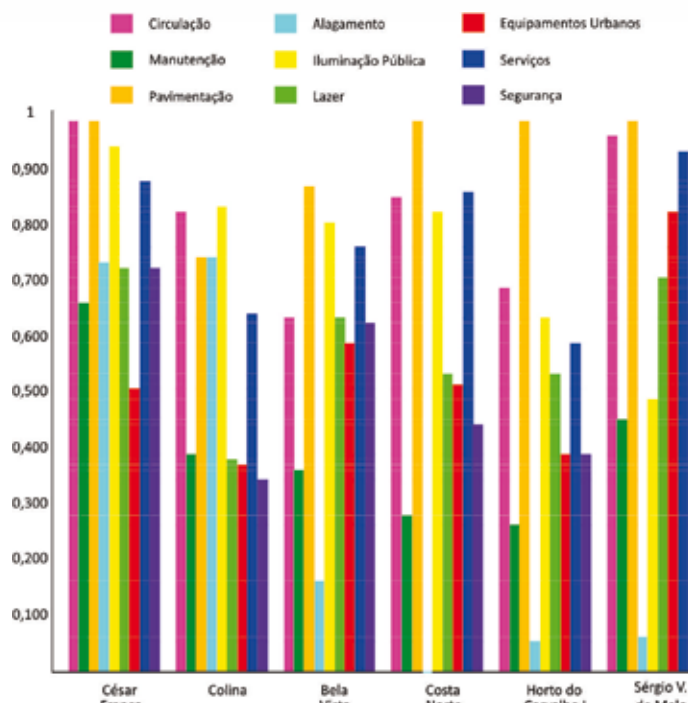
Todos apresentaram pontuação máxima para Regularidade de Coleta. Para Acondicionamento doméstico, apenas Bela Vista e Costa Norte tiveram ótimas pontuações, ficando os demais na faixa intermediária. No tocante à Deposição Condominial, Colina recebeu pontuação máxima, enquanto Sérgio Vieira de Melo apresentou a mais baixa pontuação, devido à existência de latões sem tampa nos fundos de cada bloco e à localização inadequada dos depósitos. Bela Vista e Horto do Carvalho I também evidenciaram problemas (o primeiro, pela localização inadequada do depósito, e o segundo, pelas soluções inadequadas adotadas por alguns moradores), e os demais ficaram na faixa intermediária.



**Figura 6** – Comparativo das variáveis de Controle de Vetores

Todos apresentaram pontuações baixas para Dengue e para Disenteria, exceto César Franco. Para Leptospirose, todos apresentaram ótima pontuação, exceto Costa Norte e Horto do Carvalho I. Para Toxoplasmose, todos se situaram na faixa intermediária, exceto Colina, com maior quantidade de vetores. Quanto à Incidência de Doenças, todos se situaram na faixa intermediária.

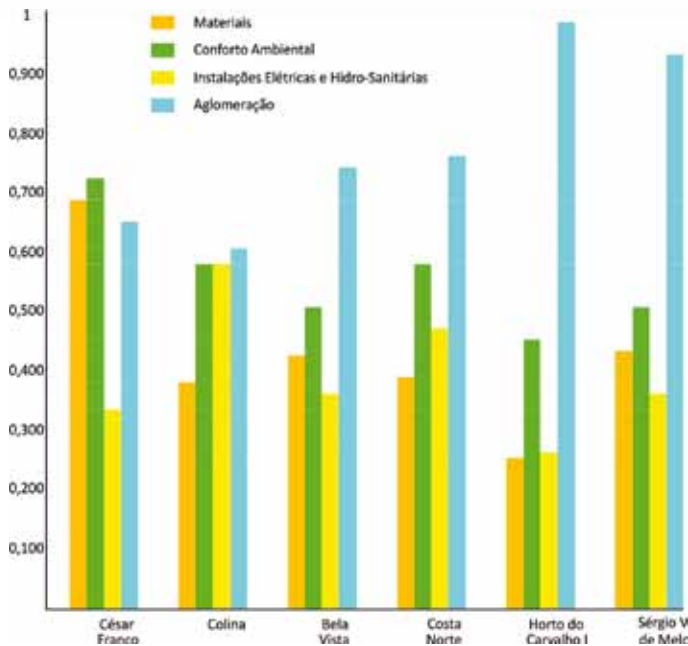
A Circulação é satisfatória em todos os empreendimentos, destacando-se César Franco, Sérgio Vieira de Melo, Costa Norte e Colina. A Pavimentação também é satisfatória, e apenas a pontuação do Colina ficou um pouco mais baixa (devido à inexistência de calçadas



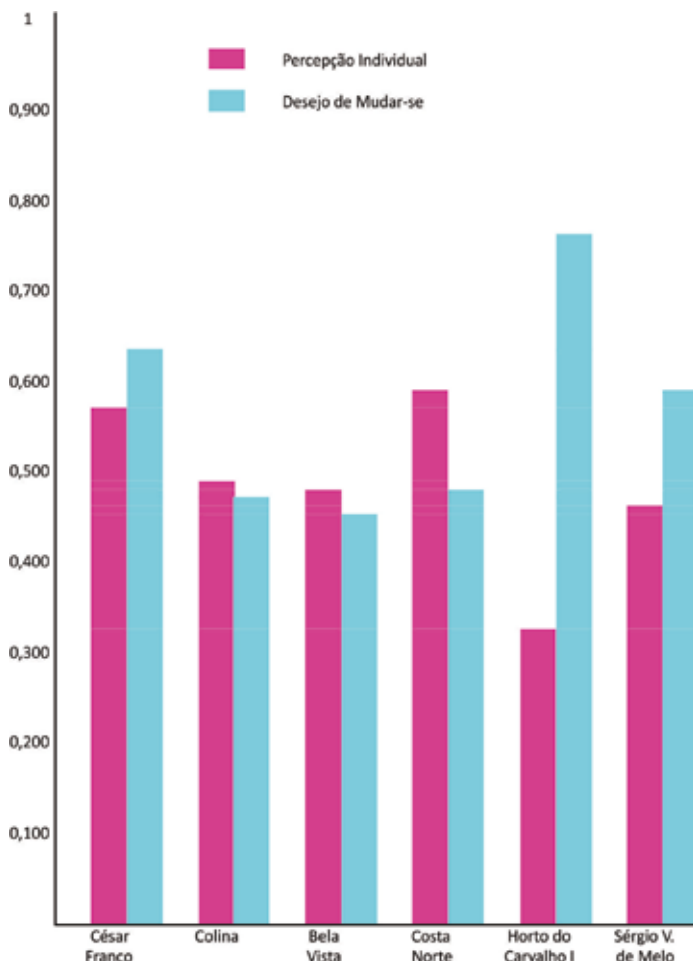
**Figura 7** – Comparativo das variáveis de Espaço Público

cimentadas no entorno). A Iluminação Pública também é muito boa, exceto para Horto do Carvalho I e Sérgio Vieira de Melo, cujos moradores estão insatisfeitos com sua baixa intensidade. Os Serviços são pontos fortes no César Franco, Costa Norte e Sérgio Vieira de Melo. Os demais situaram-se na faixa intermediária. Entretanto, a Manutenção é ruim no Costa Norte e Horto do Carvalho I, com problemas também nos demais, exceto César Franco. Da mesma forma, os Alagamentos são frequentes, exceto César Franco e Colina. Quanto a Lazer, todos apresentaram pontuação intermediária, exceto Colina (com pouquíssimas opções). Para Equipamentos Urbanos, houve destaque positivo para Sérgio Vieira de Melo e negativo para Colina e Horto do Carvalho I, situados em áreas mais isoladas e com menos infra-estrutura. Os demais situaram-se na faixa intermediária. Para Segurança, foram evidenciados problemas no Colina, Costa Norte e Horto do Carvalho I, e os demais ficaram na faixa intermediária.

Para Materiais, o destaque positivo é César Franco e o negativo, Horto do Carvalho I (com grande incidência de umidade), sendo que os demais também apresentaram problemas. As Instalações Elétricas e Hidro-Sanitárias também são problemáticas, com destaque para Horto do Carvalho I (em razão de problemas elétricos), ficando os demais com baixa pontuação, exceto Colina (na faixa intermediária). Quanto a Conforto Ambiental, ninguém se destacou, exceto Horto do Carvalho I,



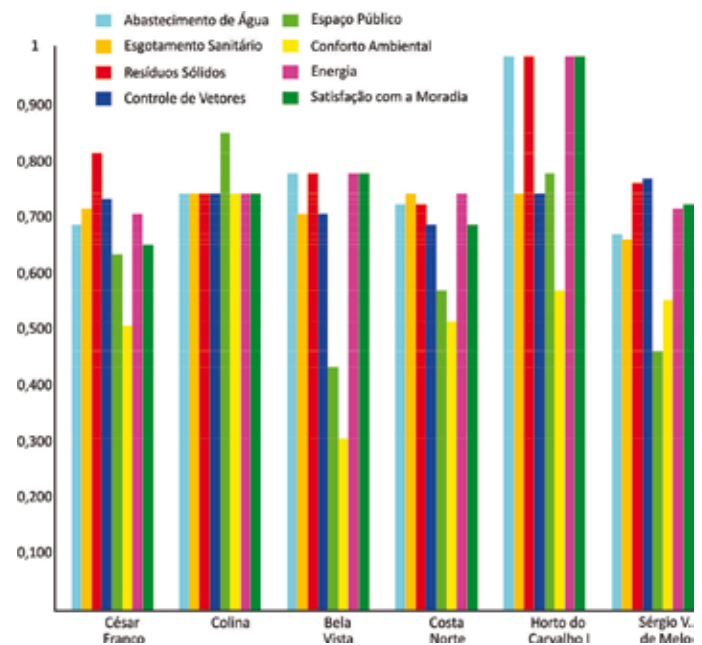
**Figura 8** – Comparativo das variáveis de Condições de Moradia



**Figura 9** – Comparativo das variáveis de Satisfação com a Moradia

com baixa pontuação devido a problemas de muita umidade, temperatura interna elevada no verão e poluição (especialmente odores provenientes da sarjeta). A Aglomeração foi excelente para Horto do Carvalho I e Sérgio Vieira de Melo, os únicos empreendimentos pesquisados que dispõem de 3 quartos. Os demais situaram-se na faixa intermediária.

De acordo com a Percepção Individual, os empreendimentos que mais contribuíram para a melhoria da qualidade de vida de seus habitantes foram Costa Norte e César Franco, e o que menos contribuiu foi Horto do Carvalho I (instalado em área onde, inicialmente, não havia infra-estrutura de serviços urbanos). Os demais situaram-se na faixa intermediária. Todavia, Horto do Carvalho I também é o que apresenta moradores mais satisfeitos com sua moradia (devido à implantação posterior de serviços urbanos e à valorização da área), enquanto Bela Vista, Colina e Costa Norte são os que possuem os moradores mais insatisfeitos, devido a problemas nas áreas de segurança, lazer e organização do condomínio. César Franco e Sérgio Vieira de Melo situaram-se na faixa intermediária quanto a .



**Figura 10** – Comparativo das variáveis de Impactos sobre o Entorno

O empreendimento com impactos mais positivos sobre o entorno foi Horto do Carvalho I, com pontuação máxima em relação a Abastecimento de Água, Resíduos Sólidos, Energia (serviços que foram ampliados com a instalação praticamente pioneira do empreendimento na região) e Satisfação com a Moradia. Também se

destacam os impactos causados por César Franco em Resíduos Sólidos e Colina em Espaço Público. Por outro lado, Bela Vista trouxe poucos impactos positivos em relação a Espaço Público e Conforto Ambiental.

## DISCUSSÃO

Os pontos fortes comuns a todos os empreendimentos foram a Reservação e a Regularidade de Coleta. Merecem destaque positivo também as variáveis Qualidade da Água, Circulação, Pavimentação e Serviços.

Os pontos fracos comuns foram o Controle de Vetores para Dengue e Disenteria. Merecem destaque negativo também as variáveis Frequência do Abastecimento, Deposição Condominial, Manutenção, Alagamento, Segurança, Materiais, Instalações Elétricas e Hidro-Sanitárias, Percepção Individual e Desejo de Mudar-se. É possível relacionar as variáveis Percepção Individual e Desejo de Mudar-se com as demais variáveis mencionadas, pois as deficiências nelas verificadas influem efetivamente na satisfação dos moradores e, conseqüentemente, em sua intenção de procurar algo melhor em termos de habitação.

Para o Residencial César Franco, outros pontos fortes além dos comuns a todos os empreendimentos foram o Controle de Vetores para Leptospirose, a Iluminação Pública e os Impactos sobre o Entorno em relação a Resíduos Sólidos. Não possui outros pontos fracos além dos já mencionados.

Para o Colina Residências, outros pontos fortes foram o Destino das Águas Servidas, Deposição Condominial, Controle de Vetores para Leptospirose, Iluminação Pública e Impactos sobre o Entorno em relação a Espaço Público. Como outros pontos fracos, Controle de Vetores para Toxoplasmose, Lazer e Equipamentos Urbanos.

Para o Residencial Bela Vista, outros pontos fortes foram o Destino das Águas Servidas, o Acondicionamento Doméstico, o Controle de Vetores para Leptospirose e a Iluminação Pública. Como outros pontos fracos, os Impactos sobre o Entorno em relação a Espaço Público e Conforto Ambiental.

Para o Residencial Costa Norte, outros pontos fortes foram o Destino das Águas Servidas, o Acondicionamento Doméstico e a Iluminação Pública. Não houve pontos fracos adicionais.

Para o Residencial Horto do Carvalho I, outros pontos fortes foram a Aglomeração e os Impactos sobre o Entorno em relação a Abastecimento de Água, Resíduos Sólidos, Energia e Satisfação com a Moradia. Como outro ponto fraco, o Destino das Águas Servidas, com problemas também de Controle de Vetores para Leptospirose, Equipamentos Urbanos e Conforto Ambiental.

No Residencial Sérgio Vieira de Melo, outros pontos fortes foram o Destino das Águas Servidas, o Controle de Vetores para Leptospirose, Equipamentos Urbanos e Aglomeração. Como outros pontos fracos, os problemas de Iluminação Pública (0,500) e Impactos sobre o Entorno em relação a Espaço Público.

## CONCLUSÕES

O modelo mostrou-se viável para o escopo urbano, podendo subsidiar novos estudos e pesquisas, especialmente os voltados à análise de empreendimentos habitacionais, podendo e devendo ser aperfeiçoado e voltar-se a futuras investigações, englobando, por exemplo, a comparação dos impactos sobre os beneficiários com aqueles sofridos pelos ocupantes do entorno e a comparação entre empreendimentos habitacionais de cidades diversas.

Os dados obtidos podem ser utilizados em ações de planejamento e acompanhamento de políticas públicas, otimizando investimentos. Neste sentido, no âmbito de atuação da Gerência de Apoio ao Desenvolvimento Urbano da Caixa Econômica Federal – GIDUR, uma boa prática seria assegurar que a construção de novos empreendimentos estivesse atrelada à correta destinação de efluentes domésticos, evitando os problemas enfrentados no Residencial Horto do Carvalho I. Semelhantemente, deveria ser evitada a construção de depósitos de resíduos sólidos sem afastamento do muro frontal dos condomínios e/ou nas proximidades de áreas de lazer. Também na fase de projeto e construção mereceria atenção maior a ocorrência de alagamentos, a previsão de equipamentos como telefones públicos, lixeiras e bancos de praça em quantidade suficiente para o porte de cada empreendimento, bem como os materiais e soluções construtivas empregados e o dimensionamento de instalações elétricas compatíveis com a norma e as necessidades usuais de famílias da classe a que se destinam.



Quanto à Gerência de Alienação de Bens Móveis e Imóveis da Caixa Econômica Federal – GILIE, seria interessante uma ação mais incisiva quanto à atuação das administradoras, especialmente no tocante à resolução de problemas ligados à reservação de água e deposição condominial no Residencial Sérgio Vieira de Melo. Do mesmo modo, os problemas de manutenção dos espaços públicos internos aos empreendimentos e de segurança também deveriam ser atacados.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. A. P. de; ABIKO, A. K. **Indicadores de salubridade ambiental em favelas localizadas em áreas de proteção aos mananciais: o caso da favela Jardim Floresta.** São Paulo: EPUSP, 2000. 28 p.
- BATISTA, M. E. M.; SILVA, T. C. da. O modelo ISA/JP – Indicador de performance para diagnóstico do saneamento ambiental urbano. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, mar. 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br>>. Acesso em: 07 jul. 2008.
- BRASIL. **Programa de Aceleração do Crescimento 2007-2010.** Brasília: 2007. Disponível em: <<http://www.fazenda.gov.br/portugues/releases/2007/r220107-PAC-integra.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2007.
- CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Cartilha do PAR.** S. l.: 2008, 24 p. Disponível em: <[http://downloads.caixa.gov.br/\\_arquivos/habita/par/CARTILHA\\_PAR\\_V16.pdf](http://downloads.caixa.gov.br/_arquivos/habita/par/CARTILHA_PAR_V16.pdf)>. Acesso em: 11 out. 2009.
- CAMARGO, A. L. de B. **Desenvolvimento sustentável: dimensões e desafios.** Campinas: Papirus, 2003. 160 p.
- CARVALHO, B. de A. **Ecologia aplicada ao saneamento ambiental.** Rio de Janeiro: ABES, 1980. 368 p.
- CORRÊA, A. W. de M.; ANJOS, M. V. M. dos. **História de Sergipe para vestibulares e outros concursos.** Aracaju: Info Graphic's, 2007. 63 p.
- DALTRO FILHO, J. **Saneamento ambiental: doença, saúde e o saneamento da água.** São Cristóvão: Editora da UFS; Aracaju: Fundação Oviêdo Teixeira, 2004. 331 p.
- DIAS, M. C.; BORJA, P. C.; MORAES, L. R. S. Índice de Salubridade Ambiental em áreas de ocupação espontâneas: um estudo em Salvador – Bahia. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, jan./mar. 2004. Disponível em: <<http://www.abes-dn.org.br>>. Acesso em: 07 jul. 2008.
- DIEGUES, A. C. S. **O mito moderno da natureza intocada.** São Paulo: Hucitec, 1996.
- GOMES, G. M.; SOUZA, H. R. de; MAGALHÃES, A. R. (Orgs.). **Desenvolvimento sustentável no Nordeste.** Brasília: IPEA, 1995. 377 p.
- LEFF, E. **Saber ambiental: sustentabilidade, racionalidade, complexidade, poder.** Petrópolis: Vozes, 2001. 494 p.
- SILVA, N. V. S. da. **As condições de salubridade ambiental das comunidades periurbanas da bacia do baixo Gramame: diagnóstico e proposição de benefícios.** João Pessoa: Curso de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal da Paraíba (UFPB), 2006. 122 p. Dissertação de Mestrado.

# Pesquisa em escala de demonstração do tratamento combinado de lixiviado

## *Research on combined treatment of landfill leachate*

Ana Silvia Pereira Santos\*

Doutora em Engenharia Civil - Tecnologia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela COPPE/UFRJ. Pesquisadora do Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente – DRHIMA/UFRJ

Eduardo Pacheco Jordão

Doutor em Engenharia Civil. Professor Associado do Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente – DRHIMA/UFRJ

\*Endereço para correspondência: Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Recursos Hídricos e do Meio Ambiente - Escola Politécnica. Centro de Tecnologia, Bloco D – Sala 204, Cidade Universitária – Rio de Janeiro, RJ – CEP: 21.949-900 – Brasil - Tel.: +55 (21) 2562-7982 / +55 (21) 8168-7087 / Fax: +55 (21) 2562-7994 – e-mail: anasilvia\_santos@yahoo.com.br

Data de Entrada: 18/08/2011

Data de aprovação: 26/01/2012

### RESUMO

O objetivo do trabalho foi uma avaliação dos aspectos técnicos do tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário com esgoto doméstico. A pesquisa foi realizada com lixiviado dos aterros de Gramacho e Gericinó, em lagoas de estabilização para tratamento de esgoto doméstico gerado na Cidade Universitária da UFRJ. A diluição do lixiviado em esgoto doméstico foi realizada segundo taxas variando entre 0,2% e 2% (v/v) em duas linhas operacionais: linha 01 – lagoa facultativa + lagoa de maturação, com diluição do lixiviado de Gramacho; linha 02 – lagoa aerada + lagoa de sedimentação, com diluição do lixiviado de Gericinó. A linha 01 apresentou resultados satisfatórios somente em uma das fases operacionais. Porém, a tecnologia que compõe a linha 02 demonstrou viabilidade para diluição de até 0,5% (v/v), apresentando neste caso, concentração média efluente de DBO menor que 40 mg/L e de DQO menor que 100 mg/L.

### ABSTRACT

This work was aimed at evaluating the technical aspects of the combined treatment of landfill leachate with domestic wastewater. The research was conducted with dilution of landfill leachates from Gramacho and

Gericinó Landfills into two stabilization ponds in Rio de Janeiro. The experimental stabilization ponds received the leachate according to dilution rates ranging between 0.2% and 2% (v/v) in two operational lines: Line 01 – facultative pond + maturation pond, operating with leachate from Gramacho landfill; Line 02 – aerated pond + sedimentation pond, operating with leachate from Gericinó landfill. Line 01 presented good results just in one of the phases, with 70% of average BOD removal and effluent average concentration less than 40 mg/L. Line 02, presented best results and in phases with up to 0.5% dilution, presented BOD effluent concentration less than 40 mg/L and COD effluent concentration under 100 mg/L.

**Palavras-chave:** tratamento combinado, lixiviado de aterro sanitário, esgoto sanitário, lagoas de estabilização

**Key words:** combined treatment, leachate, wastewater, stabilization ponds

### INTRODUÇÃO

O gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos encontra sérios problemas de gestão, desde o acondicionamento

adequado por parte da população, passando pela coleta por parte dos órgãos responsáveis, até a correta disposição final.

Atualmente no Brasil, ainda se utiliza em larga escala o aterro sanitário para destinação final de resíduos sólidos, causando grandes impactos ambientais desde a sua construção até a sua operação e após o seu encerramento. Nos países desenvolvidos, políticas públicas e novas pesquisas têm incentivado cada vez mais a redução da utilização dos aterros.

No Japão, acredita-se que a utilização de tecnologias de incineração de resíduos seja mais ambientalmente correta e sustentável do que a sua disposição em aterros sanitários, em função de novas descobertas no tratamento de dioxinas liberadas no processo de queima (HARADA *et al*, 2007). Neste país, Segundo GIUSTI (2009), somente 3% dos resíduos coletados em 2003 tiveram como destino final o aterro sanitário. Na Alemanha este valor correspondeu a 18% em 2004 e na França, a 36% em 2005. Ressalta-se que nesses países, grande parte dos resíduos foi incinerada, ou reciclada ou ainda destinada à compostagem.

Na Suécia, a utilização de aterros sanitários como disposição final de resíduos sólidos era usual. Porém, atualmente, devido à aplicação de impostos específicos para esta prática e um rápido crescimento das instalações de incineração de resíduos sólidos, a utilização de aterros sanitários se tornou menos significativa no país. De 2004 para 2005, a quantidade de resíduos aterrados na Suécia, diminuiu em 44,7% (PERSSON *et al*, 2007).

Na Europa, desde 1999, as diretrizes para implantação de aterro sanitário, constantes na CEC-1999/31/EC de 26 de abril de 1999, contêm requisitos para reduzir a quantidade de resíduos a serem depositados em aterros. Segundo as mesmas diretrizes, em 2016, os membros da Comunidade Européia não estarão permitidos a aterrarem mais de 35% dos resíduos municipais biodegradáveis aterrados em 1995 (SCHARFF *et al*, 2007).

Na Holanda, de acordo com SCHARFF *et al* (2007), em 1993 aproximadamente 13 milhões de toneladas de resíduos sólidos foram aterradas. Em 2005, este número foi reduzido a apenas 3 milhões de toneladas. No mesmo período, o número de aterros em operação foi reduzido de aproximadamente 80 unidades, para menos de 30 unidades.

Nos Estados Unidos, desde a promulgação de novas orientações e padrões de emissão de gases, em 1996, ocorreram mudanças com relação à utilização de aterros sanitários como método de disposição final de resíduos sólidos. Segundo THORNELOE (2007), a porcentagem de resíduos sólidos aterrados em 1980 era 81% dos resíduos coletados. Em 2005, este índice foi reduzido para 54%. O autor ainda afirma que em 1988 haviam aproximadamente 8000 aterros sanitários nos Estados Unidos e em 2005 este número era em torno de 1650.

No Brasil, a maior parte dos resíduos sólidos que sofrem algum tipo de tratamento é disposta em aterros sanitários. Mas ainda a maior parte dos resíduos gerados é destinada a aterros controlados e lixões. Segundo ABRELPE (2010), 61% dos municípios brasileiros usam essas unidades como destino final de seus resíduos gerados. Já segundo o SNIS (2008), das 943 unidades de processamento de resíduos sólidos cadastradas no banco de dados de 2008, 18% são aterros sanitários, 12,9% são aterros controlados e 11,8% são lixões. Ainda, somente 3,4% são unidades de compostagem e 2,2% são unidades de tratamento por incineração. O restante está dividido em outras unidades de processamento como áreas de reciclagem de entulhos, áreas de triagem e transbordo, aterros de resíduos da construção civil, aterros industriais, unidades de tratamento por microondas ou autoclave, unidades de manejo de galhos e podas, valas específicas de resíduos de saúde, queima, dentre outros.

A ampla utilização de aterros sanitários no país traz uma discussão sobre seus subprodutos gerados: lixiviado e biogás. O tratamento deste último no Brasil é praticamente todo feito através da queima do metano ( $\text{CH}_4$ ) e liberação do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Já o tratamento de lixiviado é hoje apontado por técnicos da área como o principal problema associado aos aterros sanitários e de acordo com POVINELLI e SOUTO (2007), uma solução apropriada ainda não foi alcançada.

Uma aparente similaridade entre o lixiviado e o esgoto sanitário, apontada pelos técnicos no início das tentativas frustradas de tratamento do primeiro, levaram a erros consecutivos e a uma grande dificuldade de equacionamento do problema. Segundo ReCESA (2008), embora venham sendo adotados os processos de tratamento de esgotos domésticos aos lixiviados no Brasil, ainda não há dados concretos sobre a eficiência dos sistemas de tratamento empregados.

Há ainda que se ressaltar, que segundo POVINELLI & ALÉM SOBRINHO (PROSAB, 2009), as dificuldades encontradas pelos pesquisadores e engenheiros para tratar o lixiviado de aterros sanitários talvez se devam ao fato de ser um problema relativamente novo para a engenharia sanitária no Brasil. O início da implantação de aterros sanitários com impermeabilização de base se deu na década de 1970. Antes disso, o lixiviado era um líquido que infiltrava por toda a extensão da base dos aterros e, portanto se figurava como um problema de contaminação do subsolo e das águas subterrâneas. Como não era coletado e conduzido a algum local específico, não se pensava em um tratamento para o mesmo.

A composição do lixiviado de aterros sanitários só passou a ser estudada e conhecida no princípio da década de 1970 (FLECK, 2003) e posteriormente se iniciaram os estudos para o tratamento desse efluente.

O lixiviado possui características que dificultam o seu gerenciamento e principalmente o seu tratamento biológico. Além de apresentarem elevadas concentrações de amônia, cloretos e de compostos recalcitrantes, existe a dificuldade de se estimar o seu volume, e ainda as suas características são bastante variáveis de um aterro para outro.

O tratamento biológico do lixiviado tem se mostrado pouco eficiente e os tratamentos físico-químicos, normalmente apresentam custos bastante elevados, operação complexa e geração de lodo químico de difícil gestão.

Já a evaporação do lixiviado pode ser considerada como uma tecnologia emergente em todo o mundo, principalmente quando utiliza equipamentos unitários instalados em cada unidade de saída de biogás do aterro. Sistemas únicos que recebem todo o lixiviado produzido no aterro são utilizados, porém apresentam grandes extensões de tubulação e ainda uma elevada dificuldade operacional.

Atualmente, apresenta-se como uma solução conveniente para o tratamento do lixiviado de aterros sanitários, o seu tratamento combinado em unidades existentes de tratamento de esgoto doméstico. No tratamento combinado, é importante a avaliação da compatibilidade do processo convencional de tratamento já implantado com as características do lixiviado produzido. Essa solução é uma das alternativas adotadas em vários países

como forma de reduzir os custos de operação dos aterros, inclusive no Brasil.

Os insucessos obtidos no Brasil e no mundo todo apontam para a necessidade de se repensar as estratégias até agora adotadas, buscando processos adequados para o tratamento do lixiviado e que possam ser aplicados dentro da realidade brasileira (POVINELLI & ALÉM SOBRINHO, PROSAB 2009). Considerando os problemas no tratamento por processos biológicos e físico-químicos convencionais, é necessária a busca de alternativas de tratamentos eficientes dentro de um padrão de sustentabilidade técnica e econômica.

Dessa maneira, uma pesquisa em escala de demonstração foi realizada, com o objetivo de analisar aspectos técnicos do tratamento combinado de lixiviado e esgoto doméstico, levando-se em consideração tanto o grau de complexidade operacional como a adequação dos efluentes à legislação ambiental vigente para lançamento em corpos d'água.

## METODOLOGIA

A pesquisa de tratamento combinado em escala de demonstração (500 habitantes) foi desenvolvida nas lagoas facultativa, de maturação, aerada e de sedimentação do Centro Experimental de Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio de Janeiro – CESA/UFRJ, em um período de quatro meses para cada linha de tratamento.

Foram utilizadas duas linhas de tratamento, conforme descritas a seguir e representadas na Figura 1:

- Linha 01: lagoa facultativa (LF) + lagoa de maturação (LM) + diluição lixiviado Gramacho;
- Linha 02: lagoa aerada (LA) + lagoa de sedimentação (LS) + diluição lixiviado Gericinó.

Ainda na Figura 1, pode-se observar os tanques de 1000 Litros que foram instalados nas proximidades das lagoas experimentais para armazenamento dos lixiviados provenientes dos aterros de Gramacho e de Gericinó, localizados no município do Rio de Janeiro. O abastecimento era realizado semanalmente por meio de caminhão pipa e a diluição do lixiviado nas lagoas era realizada por meio de bomba dosadora,



**Figura 1** – Aparato experimental em funcionamento

em regime constante.

É importante ressaltar que as lagoas facultativa e de maturação já haviam sido operadas por FONSECA (2005) para o tratamento de esgoto doméstico sem a adição de lixiviado e seus resultados foram utilizados para comparação de desempenho do tratamento combinado. De maneira análoga, o mesmo pode-se relatar em relação às lagoas aerada e de sedimentação que haviam sido operadas por MATOS (2005). Ambas as pesquisas referidas foram desenvolvidas entre os anos de 2003 e 2005.

No presente trabalho, as linhas de tratamento 01 e 02 foram avaliadas em 05 diferentes fases operacionais, com características distintas, sendo cada uma delas operada por aproximadamente 04 meses.

Nas Tabelas 1 e 2 pode-se observar as principais características de operação das lagoas das linhas 01 e 02 de tratamento, respectivamente, para cada uma das 05 fases. Na Tabela 3 estão apresentadas as características de vazão e fator de diluição, utilizados em cada fase operacional da pesquisa.

**Tabela 1** – Resumo das condições operacionais para a linha 01

| Fase | Td Lagoa Facultativa (dias) |              | Td Lagoa Maturação (dias) |              | COS Lagoa Facultativa (kgDBO/ha.dia) |                             |
|------|-----------------------------|--------------|---------------------------|--------------|--------------------------------------|-----------------------------|
|      | Aplicado*                   | Literatura** | Aplicado*                 | Literatura** | Aplicado***                          | Literatura**                |
| 01   | 6,6                         | 15-45        | 3,2                       | >3 -7(ótimo) | 313                                  | 100-350 (regiões tropicais) |
| 02   | 6,6                         |              | 3,2                       |              | 221                                  |                             |
| 03   | 16,5                        |              | 8,1                       |              | 95                                   |                             |
| 04   | 16,5                        |              | 8,1                       |              | 95                                   |                             |
| 05   | 16,5                        |              | 8,1                       |              | 95                                   |                             |

Obs.: Td → Tempo de detenção hidráulica

COS → Carga Orgânica Superficial

\* Valor aplicado no período

\*\* Faixa recomendada pela bibliografia (JORDÃO & PESSOA, 2009) para esgoto doméstico

\*\*\* Valor aplicado em função da concentração afluente média de DBO no período e da vazão imposta

**Tabela 2** – Resumo das condições operacionais para a linha 02

| Fase | Td Lagoa Aerada (dias) |              | Td Lagoa Sedimentação (dias) |               | COS Lagoa Aerada (kgDBO/ha.dia) |              |
|------|------------------------|--------------|------------------------------|---------------|---------------------------------|--------------|
|      | Aplicado*              | Literatura** | Aplicado*                    | Literatura**  | Aplicado***                     | Literatura** |
| 01   | 4,8                    | 2-4          | 1,5                          | < 2 ~1(ótimo) | 557                             | 1000-3000    |
| 02   | 4,8                    |              | 1,5                          |               | 574                             |              |
| 03   | 3,6                    |              | 1,2                          |               | 774                             |              |
| 04   | 7,1                    |              | 2,3                          |               | 304                             |              |
| 05   | 7,1                    |              | 2,3                          |               | 286                             |              |

Obs.: Td → Tempo de detenção hidráulica

COS → Carga Orgânica Superficial

\* Valor aplicado no período

\*\* Faixa recomendada pela bibliografia (JORDÃO & PESSOA, 2009) para esgoto doméstico

\*\*\* Valor aplicado em função da concentração afluente média de DBO no período e da vazão imposta

**Tabela 3** – Vazões de lixiviado e esgoto doméstico e respectivas porcentagens de diluição

| Fase | Linha Operacional 01 |       |                |          | Linha Operacional 02 |       |                |          |
|------|----------------------|-------|----------------|----------|----------------------|-------|----------------|----------|
|      | Vazão afluente       |       | Vazão Gramacho | Diluição | Vazão afluente       |       | Vazão Gericinó | Diluição |
|      | (L/s)                | (L/h) | (L/h)          | (%)      | (L/s)                | (L/h) | (L/h)          | (%)      |
| 01   | 0,10                 | 360   | 7,20           | 2,0      | 0,15                 | 540   | 10,80          | 2,0      |
| 02   | 0,10                 | 360   | 1,80           | 0,5      | 0,15                 | 540   | 2,70           | 0,5      |
| 03   | 0,04                 | 144   | 0,72           | 0,5      | 0,20                 | 720   | 3,60           | 0,5      |
| 04   | 0,04                 | 144   | 0,72           | 0,5      | 0,10                 | 360   | 1,80           | 0,5      |
| 05   | 0,04                 | 144   | variável       | ± 0,2    | 0,10                 | 360   | variável       | ± 0,2    |

Obs.: Linha 01 → Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação

Linha 02 → Lagoa Aerada + Lagoa de Sedimentação

Ressalta-se que na Tabela 3, os dados de vazão de lixiviado estão apresentados em L/h e os dados de vazão afluente estão apresentados em L/s e L/h, para facilitar o entendimento. Ainda, a vazão de lixiviado da fase 05, por estar condicionada à sua concentração de amônia, foi variável e apresentou uma diluição de aproximadamente 0,2% para ambas as linhas operacionais.

Para desenvolvimento desse trabalho, foram avaliados os parâmetros DBO, DQO e N-Amoniacal, que foram analisados de acordo com o que preconiza a 20ª edição do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

## RESULTADOS

As 05 fases operacionais das duas linhas de tratamento combinado foram analisadas em relação às respectivas

estatísticas descritivas das concentrações afluentes e efluentes e das eficiências de remoção.

Para a linha 01, as estatísticas descritivas dos parâmetros DQO, DBO e N-amoniacoal, para as fases operacionais de 01 a 05 podem ser observadas nas Tabelas 4, 5, 6, 7 e 8 respectivamente. Para a linha 02, esses valores são encontrados nas Tabelas 9, 10, 11, 12 e 13.

É importante ressaltar que os valores de média, mínimo, máximo e desvio padrão são referentes a um determinado número de dados (diferentes datas de coleta) para cada amostra. Se o número de dados de duas diferentes amostras de uma mesma fase for equivalente, não necessariamente os valores correspondem à mesma data de coleta. Dessa forma alguma discrepância pode ser encontrada ao se comparar valores de média, mínimo, máximo e desvio padrão de distintas amostras de uma mesma fase.

**Tabela 4** – Estatísticas descritivas da fase operacional 01 (Linha 01)

| Fase | Parâmetro    | Amostra             | Nº Dados | Média (mg/L) | Mínimo (mg/L) | Máximo (mg/L) | Desvio Padrão |
|------|--------------|---------------------|----------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| 1    | DQO          | Esgoto bruto        | 15       | 493          | 115           | 1728          | 445           |
|      |              | Lixiviado bruto     | 15       | 3279         | 2088          | 3836          | 431           |
|      |              | Diluição (afluente) | 12       | 315          | 200           | 518           | 97            |
|      |              | Efluente            | 12       | 173          | 75            | 253           | 63            |
|      | DBO          | Esgoto bruto        | 15       | 238          | 37            | 654           | 176           |
|      |              | Lixiviado bruto     | 15       | 412          | 118           | 857           | 178           |
|      |              | Diluição (afluente) | 11       | 181          | 119           | 298           | 55            |
|      |              | Efluente            | 9        | 75           | 48            | 96            | 18            |
|      | N-amoniacoal | Esgoto bruto        | 7        | 44           | 17            | 101           | 27            |
|      |              | Lixiviado bruto     | 7        | 2385         | 530           | 3090          | 845           |
|      |              | Diluição (afluente) | 7        | 99           | 32            | 219           | 61            |
|      |              | Efluente            | 7        | 50           | 21            | 111           | 31            |

**Tabela 5** – Estatísticas descritivas da fase operacional 02 (Linha 01)

| Fase | Parâmetro    | Amostra             | Nº Dados | Média (mg/L) | Mínimo (mg/L) | Máximo (mg/L) | Desvio Padrão |
|------|--------------|---------------------|----------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| 2    | DQO          | Esgoto bruto        | 15       | 235          | 140           | 419           | 76            |
|      |              | Lixiviado bruto     | 16       | 3208         | 1950          | 4255          | 601           |
|      |              | Diluição (afluente) | 13       | 236          | 105           | 387           | 80            |
|      |              | Efluente            | 13       | 141          | 32            | 256           | 78            |
|      | DBO          | Esgoto bruto        | 15       | 127          | 70            | 239           | 41            |
|      |              | Lixiviado bruto     | 12       | 336          | 137           | 663           | 155           |
|      |              | Diluição (afluente) | 12       | 128          | 71            | 199           | 46            |
|      |              | Efluente            | 11       | 58           | 16            | 147           | 33            |
|      | N-amoniacoal | Esgoto bruto        | 6        | 47           | 26            | 98            | 27            |
|      |              | Lixiviado bruto     | 6        | 1211         | 228           | 3565          | 1222          |
|      |              | Diluição (afluente) | 6        | 56           | 30            | 115           | 33            |
|      |              | Efluente            | 6        | 58           | 10            | 116           | 45            |

**Tabela 6** – Estatísticas descritivas da fase operacional 03 (Linha 01)

| Fase | Parâmetro    | Amostra             | Nº Dados | Média (mg/L) | Mínimo (mg/L) | Máximo (mg/L) | Desvio Padrão |
|------|--------------|---------------------|----------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| 3    | DQO          | Esgoto bruto        | 15       | 224          | 90            | 462           | 102           |
|      |              | Lixiviado bruto     | 16       | 1989         | 1530          | 2802          | 397           |
|      |              | Diluição (afluente) | 14       | 238          | 143           | 597           | 113           |
|      |              | Efluente            | 15       | 119          | 35            | 228           | 56            |
|      | DBO          | Esgoto bruto        | 13       | 118          | 61            | 183           | 36            |
|      |              | Lixiviado bruto     | 2        | 245          | 198           | 292           | 66            |
|      |              | Diluição (afluente) | 10       | 142          | 97            | 243           | 55            |
|      |              | Efluente            | 12       | 42           | 17            | 85            | 21            |
|      | N-amoniacoal | Esgoto bruto        | 8        | 32           | 10            | 49            | 12            |
|      |              | Lixiviado bruto     | 6        | 564          | 76            | 700           | 242           |
|      |              | Diluição (afluente) | 7        | 46           | 11            | 119           | 34            |
|      |              | Efluente            | 7        | 22           | 13            | 32            | 7             |

**Tabela 7** – Estatísticas descritivas da fase operacional 04 (Linha 01)

| Fase | Parâmetro    | Amostra             | Nº Dados | Média (mg/L) | Mínimo (mg/L) | Máximo (mg/L) | Desvio Padrão |
|------|--------------|---------------------|----------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| 4    | DQO          | Esgoto bruto        | 10       | 272          | 133           | 569           | 143           |
|      |              | Lixiviado bruto     | 8        | 2559         | 2289          | 2910          | 249           |
|      |              | Diluição (afluente) | 8        | 248          | 108           | 377           | 79            |
|      |              | Efluente            | 9        | 132          | 41            | 201           | 50            |
|      | DBO          | Esgoto bruto        | 9        | 148          | 58            | 231           | 52            |
|      |              | Lixiviado bruto     | -        | -            | -             | -             | -             |
|      |              | Diluição (afluente) | 8        | 137          | 57            | 201           | 43            |
|      |              | Efluente            | 9        | 51           | 10            | 94            | 23            |
|      | N-amoniacoal | Esgoto bruto        | 10       | 36           | 30            | 42            | 5             |
|      |              | Lixiviado bruto     | 8        | 1311         | 764           | 2032          | 414           |
|      |              | Diluição (afluente) | 8        | 37           | 9             | 48            | 12            |
|      |              | Efluente            | 9        | 29           | 23            | 38            | 5             |

**Tabela 8** – Estatísticas descritivas da fase operacional 05 (Linha 01)

| Fase | Parâmetro    | Amostra             | Nº Dados | Média (mg/L) | Mínimo (mg/L) | Máximo (mg/L) | Desvio Padrão |
|------|--------------|---------------------|----------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| 5    | DQO          | Esgoto bruto        | 5        | 175          | 145           | 220           | 29            |
|      |              | Lixiviado bruto     | 5        | 2421         | 927           | 3635          | 1136          |
|      |              | Diluição (afluente) | 7        | 296          | 108           | 994           | 316           |
|      |              | Efluente            | 7        | 258          | 77            | 859           | 275           |
|      | DBO          | Esgoto bruto        | 4        | 89           | 75            | 108           | 14            |
|      |              | Lixiviado bruto     | -        | -            | -             | -             | -             |
|      |              | Diluição (afluente) | 6        | 138          | 62            | 400           | 129           |
|      |              | Efluente            | 6        | 72           | 30            | 140           | 41            |
|      | N-amoniacoal | Esgoto bruto        | 5        | 35           | 19            | 50            | 12            |
|      |              | Lixiviado bruto     | 5        | 1136         | 935           | 1317          | 148           |
|      |              | Diluição (afluente) | 7        | 37           | 15            | 58            | 15            |
|      |              | Efluente            | 7        | 24           | 18            | 39            | 7             |

**Tabela 9** – Estatísticas descritivas da fase operacional 01 (Linha 02)

| Fase | Parâmetro    | Amostra             | Nº Dados | Média (mg/L) | Mínimo (mg/L) | Máximo (mg/L) | Desvio Padrão |
|------|--------------|---------------------|----------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| 1    | DQO          | Esgoto bruto        | 15       | 490          | 115           | 1728          | 447           |
|      |              | Lixiviado bruto     | 15       | 1943         | 1536          | 2592          | 337           |
|      |              | Diluição (afluente) | 13       | 258          | 134           | 422           | 83            |
|      |              | Efluente            | 13       | 110          | 42            | 197           | 46            |
|      | DBO          | Esgoto bruto        | 15       | 238          | 37            | 654           | 176           |
|      |              | Lixiviado bruto     | 15       | 382          | 118           | 2491          | 590           |
|      |              | Diluição (afluente) | 13       | 165          | 43            | 294           | 71            |
|      |              | Efluente            | 11       | 49           | 16            | 78            | 20            |
|      | N-amoniacoal | Esgoto bruto        | 7        | 47           | 17            | 126           | 36            |
|      |              | Lixiviado bruto     | 7        | 2056         | 533           | 2630          | 724           |
|      |              | Diluição (afluente) | 7        | 115          | 39            | 232           | 72            |
|      |              | Efluente            | 7        | 15           | 9             | 25            | 6             |



**Tabela 10** – Estatísticas descritivas da fase operacional 02 (Linha 02)

| Fase | Parâmetro   | Amostra             | Nº Dados | Média (mg/L) | Mínimo (mg/L) | Máximo (mg/L) | Desvio Padrão |
|------|-------------|---------------------|----------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| 2    | DQO         | Esgoto bruto        | 13       | 266          | 107           | 566           | 124           |
|      |             | Lixiviado bruto     | 13       | 1578         | 672           | 2080          | 407           |
|      |             | Diluição (afluente) | 12       | 337          | 105           | 900           | 231           |
|      |             | Efluente            | 12       | 84           | 28            | 192           | 47            |
|      | DBO         | Esgoto bruto        | 11       | 141          | 84            | 237           | 40            |
|      |             | Lixiviado bruto     | 11       | 211          | 112           | 348           | 85            |
|      |             | Diluição (afluente) | 10       | 170          | 71            | 406           | 106           |
|      |             | Efluente            | 9        | 32           | 11            | 80            | 22            |
|      | N-amoniacal | Esgoto bruto        | 5        | 51           | 17            | 98            | 32            |
|      |             | Lixiviado bruto     | 5        | 913          | 275           | 2440          | 869           |
|      |             | Diluição (afluente) | 5        | 66           | 21            | 104           | 37            |
|      |             | Efluente            | 5        | 28           | 9             | 47            | 15            |

**Tabela 11** – Estatísticas descritivas da fase operacional 03 (Linha 02)

| Fase | Parâmetro   | Amostra             | Nº Dados | Média (mg/L) | Mínimo (mg/L) | Máximo (mg/L) | Desvio Padrão |
|------|-------------|---------------------|----------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| 3    | DQO         | Esgoto bruto        | 14       | 215          | 53            | 427           | 110           |
|      |             | Lixiviado bruto     | 16       | 1480         | 1080          | 2110          | 316           |
|      |             | Diluição (afluente) | 15       | 275          | 93            | 872           | 193           |
|      |             | Efluente            | 15       | 92           | 9             | 324           | 75            |
|      | DBO         | Esgoto bruto        | 11       | 118          | 58            | 169           | 33            |
|      |             | Lixiviado bruto     | 2        | 189          | 174           | 204           | 21            |
|      |             | Diluição (afluente) | 13       | 165          | 66            | 454           | 99            |
|      |             | Efluente            | 12       | 27           | 5             | 49            | 14            |
|      | N-amoniacal | Esgoto bruto        | 10       | 31           | 8             | 47            | 10            |
|      |             | Lixiviado bruto     | 6        | 739          | 68            | 977           | 350           |
|      |             | Diluição (afluente) | 8        | 35           | 10            | 55            | 13            |
|      |             | Efluente            | 6        | 17           | 3             | 37            | 12            |

**Tabela 12** – Estatísticas descritivas da fase operacional 04 (Linha 02)

| Fase | Parâmetro   | Amostra             | Nº Dados | Média (mg/L) | Mínimo (mg/L) | Máximo (mg/L) | Desvio Padrão |
|------|-------------|---------------------|----------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| 4    | DQO         | Esgoto bruto        | 9        | 226          | 117           | 421           | 95            |
|      |             | Lixiviado bruto     | 9        | 1921         | 1235          | 3340          | 654           |
|      |             | Diluição (afluente) | 11       | 222          | 117           | 389           | 82            |
|      |             | Efluente            | 11       | 72           | 33            | 173           | 40            |
|      | DBO         | Esgoto bruto        | 10       | 131          | 74            | 185           | 32            |
|      |             | Lixiviado bruto     | -        | -            | -             | -             | -             |
|      |             | Diluição (afluente) | 10       | 135          | 70            | 234           | 45            |
|      |             | Efluente            | 9        | 33           | 10            | 74            | 20            |
|      | N-amoniacal | Esgoto bruto        | 10       | 35           | 29            | 48            | 7             |
|      |             | Lixiviado bruto     | 10       | 1141         | 624           | 1949          | 375           |
|      |             | Diluição (afluente) | 11       | 42           | 9             | 105           | 24            |
|      |             | Efluente            | 11       | 13           | 1             | 38            | 17            |

**Tabela 13** – Estatísticas descritivas da fase operacional 05 (Linha 02)

| Fase | Parâmetro    | Amostra             | Nº Dados | Média (mg/L) | Mínimo (mg/L) | Máximo (mg/L) | Desvio Padrão |
|------|--------------|---------------------|----------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| 5    | DQO          | Esgoto bruto        | 4        | 216          | 129           | 465           | 166           |
|      |              | Lixiviado bruto     | 4        | 1833         | 1495          | 2350          | 415           |
|      |              | Diluição (afluente) | 6        | 295          | 126           | 831           | 268           |
|      |              | Efluente            | 6        | 90           | 37            | 189           | 54            |
|      | DBO          | Esgoto bruto        | 4        | 102          | 74            | 166           | 44            |
|      |              | Lixiviado bruto     | -        | -            | -             | -             | -             |
|      |              | Diluição (afluente) | 6        | 127          | 74            | 233           | 59            |
|      |              | Efluente            | 5        | 33           | 21            | 45            | 11            |
|      | N-amoniacoal | Esgoto bruto        | 4        | 33           | 18            | 51            | 14            |
|      |              | Lixiviado bruto     | 4        | 1035         | 903           | 1267          | 169           |
|      |              | Diluição (afluente) | 6        | 40           | 20            | 56            | 15            |
|      |              | Efluente            | 6        | 10           | 3             | 24            | 7             |

Para facilitar o entendimento, na Tabela 14 estão apresentados os dados resumidos de desempenho das linhas 01 e 02 para todas as fases operacionais da pesquisa.

**Tabela 14** – Resumo do desempenho da Linha de tratamento 01 e 02

| Fase    |                 | DQO    |        | DBO    |        | N-amoniacoal |        |
|---------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------------|--------|
|         |                 | Linha1 | Linha2 | Linha1 | Linha2 | Linha1       | Linha2 |
| 01      | Efluente (mg/L) | 173    | 110    | 75     | 49     | 50           | 15     |
|         | Eficiência (%)  | 44     | 56     | 54     | 65     | 53           | 84     |
| 02      | Efluente (mg/L) | 141    | 84     | 58     | 32     | 58           | 28     |
|         | Eficiência (%)  | 41     | 66     | 51     | 78     | 37           | 51     |
| 03      | Efluente (mg/L) | 119    | 92     | 42     | 27     | 22           | 17     |
|         | Eficiência (%)  | 47     | 62     | 71     | 78     | 49           | 60     |
| 04      | Efluente (mg/L) | 132    | 72     | 51     | 33     | 29           | 13     |
|         | Eficiência (%)  | 42     | 62     | 59     | 71     | 32           | 75     |
| 05      | Efluente (mg/L) | 258    | 90     | 72     | 33     | 24           | 10     |
|         | Eficiência (%)  | 57     | 68     | 53     | 71     | 36           | 77     |
| Esgoto* | Efluente (mg/L) | 130    | 72     | 45     | 27     | -            | -      |
|         | Eficiência (%)  | 71     | 82     | 70     | 81     | -            | -      |

Obs.: \* - desempenho das linhas 01 e 02 tratando somente esgoto doméstico durante 02 anos de operação

FONSECA, 2005 e MATOS, 2005 (não houve análise de N-amoniacoal neste período)

Nos gráficos das Figuras 2 e 3, pode-se observar, respectivamente para eficiência de remoção e concentração efluente, a comparação entre resultados

somente das fases que apresentaram melhores desempenhos das linhas de tratamento 01 e 02, para os parâmetros DQO, DBO e nitrogênio amoniacoal.

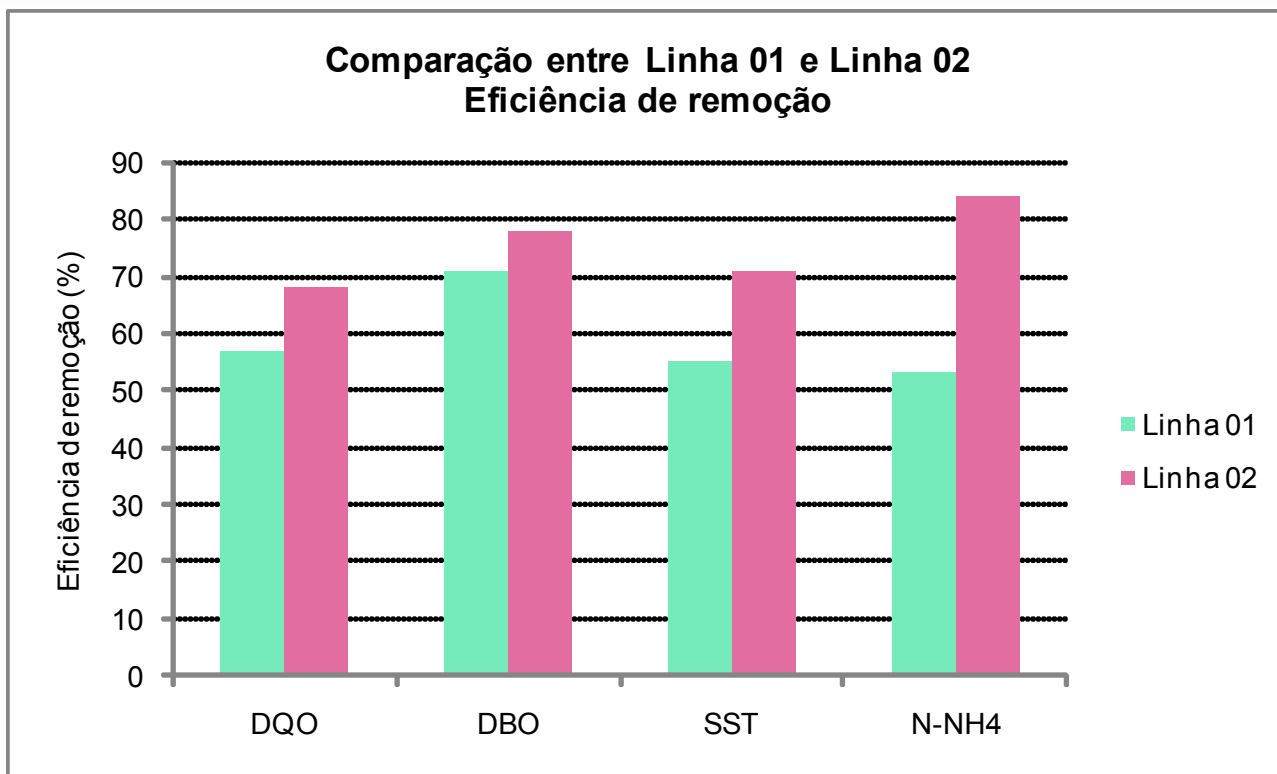


Figura 2 - Comparação entre eficiências de remoção da Linha 01 e da Linha 02

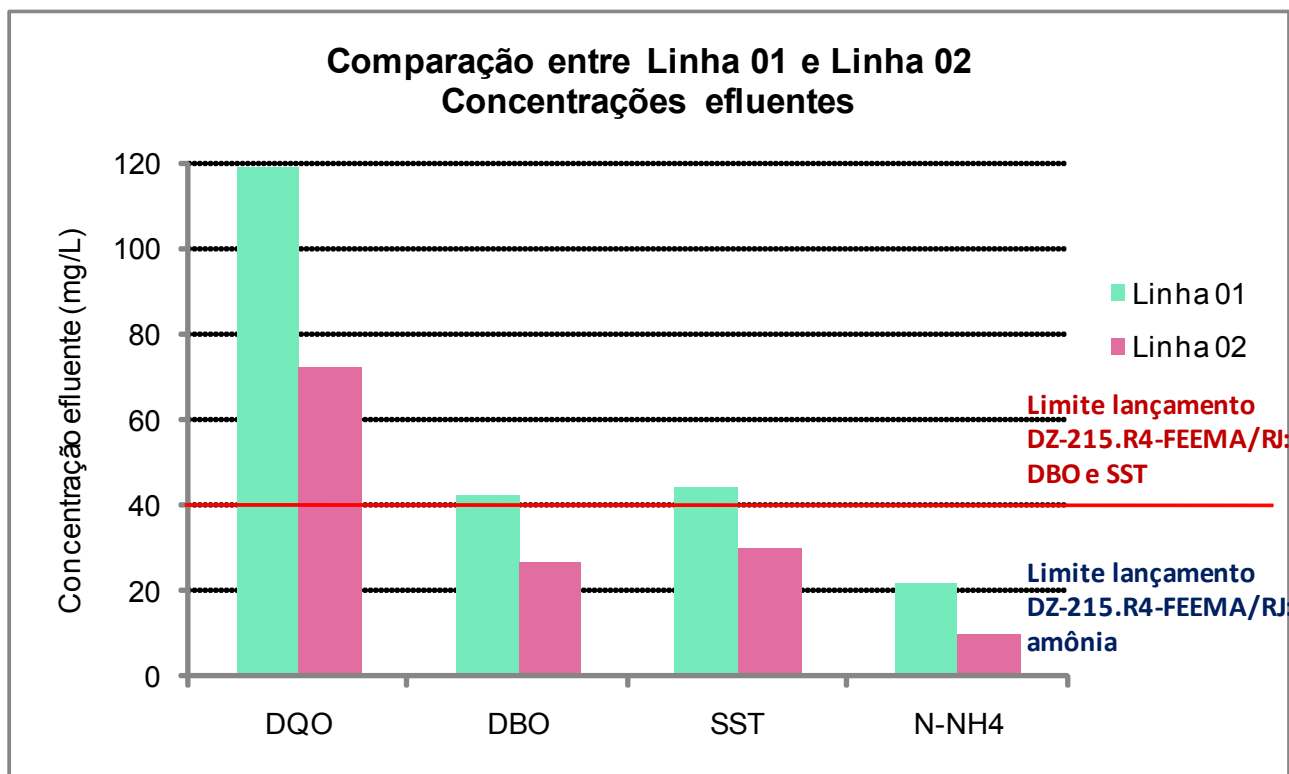


Figura 3 - Comparação entre concentrações efluentes da Linha 01 e da Linha 02

## DISCUSSÃO

### Operação Linha 01 - Discussão

#### *Fase Operacional 01*

Na primeira fase operacional da Linha 01 da pesquisa, optou-se por manter as características hidráulicas sugeridas por FONSECA (2005), de acordo com os melhores resultados encontrados em seus estudos.

Neste caso, para a lagoa facultativa, utilizou-se tempo de detenção hidráulica de 6,6 dias e a carga orgânica superficial adotada (COS) foi de 334 kgDBO/ha.dia (Tabela 01). Vale lembrar que na cidade do Rio de Janeiro, segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, a temperatura média do mês mais frio (julho) é de 17 °C, podendo no verão, chegar a 40 °C, o que justifica a carga adotada. Estes parâmetros definiram uma vazão afluyente de aproximadamente 0,10 L/s (Tabela 3).

Para a diluição do lixiviado, optou-se por iniciar com 2% de vazão de lixiviado em relação à vazão de esgoto doméstico afluyente ao sistema, acreditando-se ser este um valor razoável para o tratamento combinado e, portanto que causaria baixo impacto ao sistema existente de tratamento de esgoto.

#### *Fase Operacional 02*

Nesta fase, optou-se por reduzir a diluição de lixiviado para 0,5%, conforme apresentado na Tabela 03, em função da apresentação de resultados preliminares de desempenho insatisfatórios na fase 01. Em relação às características de tempo de detenção hidráulica e carga orgânica superficial, as mesmas condições da fase 01 foram mantidas (Tabela 1).

#### *Fase Operacional 03*

Na operação da fase 03, manteve-se a diluição de 0,5%, porém alteraram-se as condições operacionais de tempo de detenção hidráulica e carga orgânica superficial da lagoa facultativa, para valores mais conservadores em relação ao tratamento de esgoto doméstico. JORDÃO e PESSOA (2009) sugerem para essas lagoas, tempo de detenção variando entre 15 e 45 dias e taxa de aplicação superficial entre 100 e 350 kgDBO/ha.dia para regiões

tropicais com sol e temperatura uniformemente distribuídos, sem coberturas de nuvens sazonais. Assim, conforme apresentado na Tabela 1, determinou-se para a lagoa facultativa, tempo de detenção hidráulica de 16,5 dias e carga orgânica superficial adotada de 134 kgDBO/ha.dia.

#### *Fase Operacional 04*

Para a linha 01, as condições de operação da fase 03 foram mantidas.

#### *Fase Operacional 05*

Ao verificar que os desempenhos insatisfatórios do tratamento combinado poderiam estar atrelados à elevada carga adicional de amônia proveniente do lixiviado mesmo em baixas taxas de diluições, optou-se por operar a fase 05 de maneira diferenciada, fazendo-se o ajuste desta vazão em função da concentração de amônia detectada no lixiviado, cuja frequência de abastecimento era semanal. Dessa forma, optou-se por adotar uma vazão de lixiviado que produzisse uma baixa carga de amônia em relação à de esgoto e ainda permitisse o tratamento de todo o lixiviado produzido por uma mesma população. Assim, fixou-se essa relação máxima entre cargas, em 5%.

A análise laboratorial de amônia era realizada no mesmo dia do abastecimento de lixiviado no CESA/UFRJ. Assim era possível determinar a carga de amônia do lixiviado em relação ao esgoto bruto, determinando a sua vazão de diluição que ficou estabelecida em torno de 0,2% durante o período de operação da fase 05 (Tabela 3).

As características de tempo de detenção hidráulica e carga orgânica superficial foram mantidas em relação à fase operacional 04.

### Operação Linha 02 - Discussão

#### *Fase Operacional 01*

De maneira análoga à primeira fase operacional da Linha 01, no caso da Linha 02, optou-se por manter as características hidráulicas sugeridas por MATOS (2005), de acordo com os melhores resultados encontrados em seus estudos.

Neste caso, para a lagoa aerada, utilizou-se tempo de detenção hidráulica de 4,8 dias, resultando em uma vazão de 0,15 L/s, conforme apresentado na Tabela 02. Assim como na fase inicial da Linha 01, na Linha 02 também se iniciou a pesquisa com uma diluição de 2% de vazão de lixiviado em relação à vazão de esgoto doméstico afluyente ao sistema (Tabela 3)

## *Fase Operacional 02*

Em função de desempenho insatisfatório na primeira fase da pesquisa, reduziu-se a diluição para 0,5%, mas mantiveram-se as condições de carga orgânica superficial e tempo de detenção hidráulica (Tabelas 2 e 3).

## *Fase Operacional 03*

Na operação da fase 03, manteve-se a diluição de 0,5%, porém alteraram-se as condições operacionais de tempo de detenção hidráulica e carga orgânica superficial da lagoa aerada, para valores mais conservadores em relação ao tratamento de esgoto doméstico. Definiu-se assim, de acordo com a Tabela 2, o tempo de detenção hidráulica de 3,6 dias; segundo JORDÃO e PESSOA (2009) valores usuais de conforto estão situados entre 2 e 10 dias.

## *Fase Operacional 04*

Nesta fase, manteve-se a diluição de lixiviado de 0,5%, porém aumentou-se o tempo de detenção hidráulica para 7,1 dias, como pode ser observado na Tabela 2, aproximando-o de valores mais conservadores recomendados pela literatura.

## *Fase Operacional 05*

A mesma discussão da fase operacional 05 da Linha 01 aplica-se para esta, em relação à adoção do ajuste de vazão em função da concentração de amônia detectada no lixiviado, fixando-se a relação máxima entre cargas de amônia de lixiviado e de esgoto, em 5%.

Assim, a vazão de diluição ficou estabelecida em torno de 0,2% durante o período de operação da fase 05 (Tabela 3).

## **Avaliação de Desempenho da Linha 01 - Discussão**

A linha de tratamento 01 apresentou resultados

insatisfatórios quando comparados à sua operação tratando somente esgoto doméstico e quando comparados à operação da linha de tratamento 02.

Para a linha 01, a fase operacional 01, com diluição de 2% apresentou o pior desempenho, com eficiência média de remoção de DQO e DBO de 44% e 54%, respectivamente. Ainda o efluente dessa fase operacional apresentou concentração média efluente de nitrogênio amoniacal de 50 mg/L, valor bastante elevado, podendo comprometer a qualidade do corpo d'água receptor.

Ainda para a linha 01, a fase operacional 03, com diluição de 0,5%, tempo de detenção hidráulica de 16,5 dias e carga orgânica superficial adotada de 134 kgDBO/ha.dia (valores mais conservadores) apresentou o melhor resultado em relação ao parâmetro DBO (71% de eficiência de remoção), comparado à operação do sistema com esgoto sanitário (70% de eficiência de remoção). Seu efluente inclusive, apresentou concentração média do mesmo parâmetro = 42mg/L, próximo ao índice limite (40 mg/L) da faixa mais restritiva da legislação estadual do Rio de Janeiro para lançamento de efluentes em corpos d'água (DZ-215. R4 FEEMA, 2007). Ainda nesta fase, a concentração média efluente de nitrogênio amoniacal foi de 22mg/L, próximo ao valor limite anteriormente determinado pela legislação federal, Resolução CONAMA nº 357, para lançamento em corpos d'água. Nesta fase, a adição de 0,5% de lixiviado representou um aumento de aproximadamente 12% de carga de amônia no afluyente. Cabe ressaltar, que atualmente a mesma legislação, não mais impõe este limite, por entender a dificuldade de se alcançar este valor em tratamentos convencionais de esgoto doméstico no Brasil.

## **Avaliação de Desempenho da Linha 02 - Discussão**

Já para a linha operacional 02, com exceção da fase 01, que teve diluição elevada de 2% de volume de lixiviado em relação ao volume de esgoto, todas as outras fases apresentaram desempenho satisfatório quanto ao parâmetro DBO, quando comparadas à operação da linha tratando somente esgoto doméstico. As fases 02, 03, 04 e 05 ainda apresentaram concentração média efluente de DBO menor do que 40mg/L, valor limite para lançamento em corpos d'água da faixa mais restritiva da legislação estadual do Rio de Janeiro (DZ-215.R4, FEEMA)

O desempenho das unidades para o parâmetro DQO

também se mostrou satisfatório na linha 02, apesar das eficiências médias de remoção estarem entre 62% e 68% nas fases 02 a 05, apresentando concentração média efluente entre 72mg/L e 92mg/L.

A remoção de amônia nesta, também foi satisfatória, apresentando efluentes com concentração média de nitrogênio amoniacal variando de 10mg/L a 28mg/L, até mesmo na fase 01, onde a diluição de 2% representou um aumento de 87% de carga de amônia no afluente.

## CONCLUSÕES

- A *lagoa facultativa* pode não ser uma boa opção para o tratamento combinado, por ser um processo extremamente natural e, portanto mais susceptível tanto a variações de carga de DQO, DBO e amônia, como à toxicidade imposta pela elevada concentração de amônia presente nos lixiviados. Na pesquisa, resultados satisfatórios para a lagoa facultativa (linha 01) somente foram alcançados na fase 03, com diluição de 0,5% (v/v), quando as unidades apresentaram eficiência média de remoção de DBO de 71% e concentração média efluente de 42 mg/L.
- Já a *lagoa aerada* se apresentou menos vulnerável em relação à variação de carga afluente, imposta pela diluição de lixiviado, além de apresentar boa capacidade de remoção de amônia, por volatilização. Assim, o sistema que compõe a lagoa aerada (linha 02) se configura como uma tecnologia viável para o tratamento combinado com até 0,5% de diluição (v/v). Nestes casos, as unidades apresentaram concentração efluente de DBO menor que 40 mg/L e de DQO menor que 100 mg/L, além de uma boa remoção de amônia, com concentração média efluente de 28 mg/L no pior caso (fase 02) e de 10 mg/L na fase de melhor desempenho operacional (fase 05).
- Os resultados demonstram maior fragilidade da lagoa facultativa em receber adição de carga de DQO, DBO e principalmente amônia, em função da adição do lixiviado. Acredita-se que o maior crédito para o baixo desempenho da lagoa facultativa deve ser dado à adição de carga de amônia. Dessa maneira, sugere-se a realização da volatilização de amônia do lixiviado bruto, anteriormente à sua diluição para tratamento. Ressalta-se que em nenhuma etapa da pesquisa, o parâmetro de lançamento de

N-amoniacal determinado pela legislação do Rio de Janeiro foi alcançado.

- Sugere-se que para a realização do tratamento combinado, adote-se um índice de diluição em função do aumento da carga orgânica e/ou de amônia por ocasião da adição do lixiviado e não do volume, como tem sido feito normalmente. Os lixiviados de diferentes aterros são muitos distintos e, portanto diluições em função somente da vazão podem acarretar impactos na ETE, bastante discrepantes.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil*, 2010. 199p.

AWWA/APHA/WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20<sup>th</sup> ed., New York; USA, 1998.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. *Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2008*. Ministério das Cidades. *Parte 01 – Texto-Visão Geral da Prestação de Serviços*, 264p. Brasília, 2010.

FLECK, E. *Sistema Integrado por Filtro Anaeróbio, Filtro Biológico de Baixa Taxa e Banhado Construído Aplicado ao Tratamento de Lixiviado de Aterro Sanitário*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – IPH/UFRGS, 2003.

FONSECA, P.W. *Avaliação do Desempenho e Caracterização de Parâmetros em Lagoas Facultativa e de Maturação*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ, 2005.

GIUSTI, L. *A Review of Waste Management Practices and Their Impacts of Human Health*. *Waste Management*, 29: 2227-2239, 2009.

GOMES, L.P. (coordenadora). *Estudos de Caracterização e Tratabilidade de Lixiviados de Aterros Sanitários para as*

*Condições Brasileiras*. PROSAB – tema III edital V. Rio de Janeiro, 2009 - 360p.

HARADA, T., TANIZAWA, F., TAUE, S., NISHIMURA, Y., OSHIKATA, T., FURUICHI, T. e HANASHIMA, M. *Changes in Subsurface Linear Systems and Leachate Treatment Technologies for Final Disposal Sites in Japan*. In: XI International Waste Management and Landfill Symposium. Sardinia, Italy – 2007.

JORDÃO, E.P e PESSOA, C.A. *Tratamento de Esgotos Domésticos*. 5ª Edição. ABES, Rio de Janeiro, 940 p. 2009.

MATOS, O. S. *Avaliação do Desempenho e Caracterização de Parâmetros em Lagoa Aerada Seguida de Lagoa de Sedimentação*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ, 2005.

PENIDO J.H.M. *Transformando um Passivo Ambiental em Recurso Energético: El Metano como Fuente de Energia y de Recursos*. In: III Congreso Interamericano de Residuos – AIDIS. Buenos Aires, 2009.

PERSSON, K.M., VAN PRAAGH, M. e OLSBERG, E. *Removal of Heavy Metals from Landfill Leachate by an Artificial Wetland During a Nordic Autumn*. In: XI International Waste Management and Landfill Symposium. Sardinia, Italy – 2007.

POVINELLI, J. e SOUTO, G.D.B. *Ammonia Stripping from Landfill Leachate Using Packed Towers*.

In: XII International Waste Management and Landfill Symposium. Sardinia, Italy – 2009.

ReCESA – Rede Nacional de Extensão e Capacitação Tecnológica em Saneamento Ambiental. *Resíduos Sólidos: Projeto, Operação e Monitoramento de Aterros Sanitários: Guia do Profissional em Treinamento – nível 2*. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. 120p. Belo Horizonte, 2008.

RIO DE JANEIRO. Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente. DZ-215-R4/setembro de 2007. *Diretriz de Controle de Carga Orgânica Biodegradável em Efluentes Líquidos de Origem Sanitária*. Rio de Janeiro, 25 de setembro de 2007.

SANTOS, A.S.P. *Aspectos Técnicos e Econômicos do Tratamento Combinado de Lixiviado de Aterro Sanitário com Esgoto Doméstico em Lagoas de Estabilização*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ, 2010

SCHARFF, H., KOK, B. e KROM, A.H. *The Role of Sustainable Landfill in Future Waste Management Systems*. In: XI International Waste Management and Landfill Symposium. Sardinia, Italy – 2007.

THORNELOE, S.A. *U.S. EPA's Research to Update Guidance for Quantifying Landfill Gas Emissions*. In: XI International Waste Management and Landfill Symposium. Sardinia, Italy – 2007.

# Avaliação da Toxicidade de Lixiviados de Aterro Sanitário em Sistema de Lagoas de Estabilização com Testes de Toxicidade Aguda (*Daphnia magna*)

## *Toxicity Evaluation of Landfill Leachate in Stabilization Ponds by Acute Toxicity Tests (Daphnia magna).*

Joel Dias da Silva \*

Doutor em Engenharia Ambiental pela UFSC. Bolsista do Programa Nacional de Pós-Doutorado - PNPd MEC/CAPES e MCT/CNPq. Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da FURB – Universidade Regional de Blumenau e Instrutor Nível III do SENAI – Blumenau.

Rejane Helena Ribeiro da Costa

Professora Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC. Pesquisadora Nível IB do CNPq

William Gerson Matias

Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina.

Armando Borges de Castilhos Jr.

Doutor em Gestão e Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos. Professor Associado III do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC. Pesquisador Nível II do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

\*Endereço para correspondência : Rua Araquari, n. 132, Bairro Bela Vista - São José (SC), CEP: 88.110-140. E-mail: dias\_joel@hotmail.com

Data de Entrada: 19/07/2011

Data de aprovação: 28/03/2012

### RESUMO

Lagoas de estabilização, em virtude dos seus reduzidos custos de implantação, manutenção e operação, têm-se mostrado uma alternativa viável para o tratamento de lixiviados gerados em aterros sanitários. Desenvolveu-se um sistema experimental composto por três lagoas de estabilização tratando efluente bruto, em funcionamento desde Março de 2005 até Maio de 2006. Avaliou-se o desempenho do sistema na atenuação do potencial poluidor considerando-se, em especial, fatores como a eficiência de remoção carbonácea e de nutrientes nas lagoas, quando submetidas às variações de cargas aplicadas; e o potencial do sistema em detoxificar o efluente tratado. Os resultados mostraram que o sistema de lagoas tratou satisfatoriamente os lixiviados, com eficiências de remoção de 77% para DQO Total; 94,3% para amônia. Na avaliação ecotoxicológica do lixiviado, utilizou-se o organismo-teste *Daphnia magna Straus*, os resultados mostraram-se positivos, atingindo valores desejados de detoxificação do efluente.

**Palavras – chave:** Aterro Sanitário, Lixiviados, Lagoas de Estabilização.

### ABSTRACT

Stabilization ponds, due to their reduced implementation, maintenance and operational costs, have proved to be a feasible alternative for the treatment of landfill leachate. An experimental system was developed composed of three stabilization ponds treating raw effluent from March 2005 to May 2006. The performance of the system in reducing potential pollution of this effluent was assessed, considering in particular such factors as the carbonaceous removal and the nutrients in the ponds, when submitted to the variations of loads applied; as well as the system's potential to detoxify the effluent treated. Results indicate that the system of ponds treated leachate satisfactorily, with removal efficiency of 77% for Total COD; 94% for ammonia. In the ecotoxicologic assessment of the leachate, the organism-test *Daphnia magna Straus* was used; results were positive, reaching desired levels of detoxification of effluent.

**Keywords:** Sanitary Landfill, Leachate, Stabilization Ponds.



## INTRODUÇÃO

Verifica-se no Brasil que a deposição dos resíduos urbanos em aterro sanitário tem sido uma das práticas mais comuns de tratamento destes materiais residuais, em função dos custos reduzidos e disponibilidade razoável de áreas para sua implantação. Entretanto, a técnica de aterro sanitário requer preocupações cotidianas no que se refere às medidas de proteção do ambiente local e seu entorno, uma vez que vários processos bio-físico-químicos ocorrem simultaneamente, tendo como resultado a geração de dois vetores da poluição: os lixiviado e o biogás (CASTILHOS JUNIOR; DALSSASSO; ROHERS, 2010; ESCOBAR; LUGO; HWANG, 2009).

A formação de lixiviados ocorre através da passagem da água de chuva através dos resíduos aterrados, resultando no carregamento de compostos orgânicos e inorgânicos solúveis e sua dissolução e suspensão no líquido, bem como de variados gases (REIS; BIDONE, 2005). Serafim et al. (2003) aponta as dificuldades que as técnicas tradicionais, comumente empregadas para tratamento de efluentes industriais, têm enfrentado para tratamento de lixiviado, incluindo os tradicionais processos biológicos, aeróbio e anaeróbico, como também uma variedade de processos físico-químicos. Como alternativa, a facilidade de construção, operação e manutenção das lagoas de estabilização tornam essa técnica de tratamento bastante apropriada para lixiviados de aterros sanitários (ROCHA et al., 2005; LIMA et al., 2005).

Contudo, observa-se que os sistemas convencionais de tratamento de efluentes não são totalmente capazes de eliminar a ação de substâncias tóxicas. Mesmo com modernos e eficientes tratamentos de efluentes, substâncias xenobióticas, inibidoras, genotóxicas ou não biodegradáveis podem permanecer, causando impactos sobre os ecossistemas, muitas vezes irreversíveis (GOTVAJN; TIŠLER; ZAGORC-KONČAN, 2009;

MARTINS; CASTILHOS JUNIOR; COSTA, 2010) Além disso, os efeitos sinérgicos entre as substâncias também podem ser responsáveis pelo efeito tóxico de um efluente (LAITANO, 2005).

Da mesma forma, o monitoramento destes efluentes de aterro sanitário e seu tratamento exigem a utilização de uma ampla série de parâmetros físicos e químicos. Porém, nenhum destes parâmetros, isolados ou em conjunto, são capazes de determinar os potenciais efeitos tóxicos do efluente na biota aquática. Assim, estimar a toxicidade com base nos resultados de análises físico-químicas é tarefa delicada. Neste sentido, como alternativa complementar à caracterização física e química de efluentes, recomenda-se a avaliação toxicológica (GERARDI-GOLDSTEIN et al., 1990; ARAGÃO; ARAUJO, 2006; KNIE; LOPES, 2004; BRENTANO, 2006; LAITANO; MATIAS, 2006; MATIAS et al., 2006). Laitano (2003) acrescenta que, no Brasil, os microcrustáceos, especialmente *Daphnia magna*, têm sido utilizados como indicadores biológicos em estudos e controle da qualidade da água, e em testes de toxicidade na avaliação de efluentes.

Neste contexto, o presente trabalho busca avaliar a toxicidade dos lixiviados do Aterro Sanitário de Tijuquinhas, em Biguaçu-SC, o qual foi submetido à um tratamento em um sistema em escala piloto de lagoas de estabilização, atentando-se para o risco que substâncias ou compostos químicos tóxicos apresentam para o meio ambiente. Foram avaliados os efeitos agudos, observando-se a letalidade e imobilidade dos organismos-teste *Daphnia magna*.

## METODOLOGIA

O estudo foi realizado em um sistema formado por três lagoas em série, em escala piloto, para tratamento de lixiviados gerados em aterro sanitário. As lagoas de

**Tabela 1.** Características Físicas e Operacionais das Lagoas do Sistema Piloto de Tratamento.

| Dimensões                      | Lagoa Anaeróbia | Lagoa Facultativa | Lagoa de Maturação |
|--------------------------------|-----------------|-------------------|--------------------|
| Área – Topo (m <sup>2</sup> )  | 0,8             | 1,2               | 1,2                |
| Área – Fundo (m <sup>2</sup> ) | 0,8             | 1,1               | 1,1                |
| Profundidade (m)               | 1,0             | 1,0               | 1,0                |
| Volume (m <sup>3</sup> )       | 0,8             | 1,1               | 1,1                |
| Vazão (L/d)                    | 60              | 60                | 60                 |
| TDH (d)                        | 13              | 18                | 18                 |

estabilização foram construídas em formato retangular, com material construtivo à base de fibra de vidro, cujas características físicas e operacionais são apresentadas na Tabela 1.

As instalações foram montadas nas dependências do Laboratório de Efluentes Líquidos e Gasosos - LABEFLU e do Laboratório de Pesquisas em Resíduos Sólidos - LARESO, ambos do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, em Florianópolis, Santa Catarina. A Figura 1 apresenta esquematicamente o sistema de tratamento utilizado para os ensaios.

### Monitoramento físico-químico do sistema

Para verificar a possível correlação entre os dados toxicológicos e físico-químicos, bem como monitorar o sistema de lagoas, foram realizadas análises de variáveis de controle de qualidade, como pH, Demanda Química de Oxigênio (DQO) total e Amônia total, observando-se os protocolos do *Standard Methods* (1998). As amostras foram coletadas, em duplicata, nos seguintes pontos de amostragem: P1: entrada da lagoa anaeróbia, que corresponde à entrada do sistema (efluente bruto); P2: saída da lagoa anaeróbia, que coincide com a entrada da lagoa facultativa; P3: interior da lagoa facultativa, e P4: saída da lagoa de maturação.

### Avaliação toxicológica do sistema

A avaliação toxicológica do lixiviado tratado nas lagoas foi realizada mensalmente através de testes de toxicidade aguda, utilizando com organismo-teste *Daphnia magna*. O cultivo dos organismos e os testes foram realizados no Laboratório de Toxicologia Ambiental – LABTOX, observando-se a NBR 12.713 (2004).

Os testes de toxicidade agudos foram realizados expondo os organismos jovens a diferentes concentrações da amostra por 48 horas. Baseado na imobilidade dos organismos testados calculou-se a porcentagem de imobilidade por concentração e estimou-se a CE (I)50 48h – Concentração Efetiva Inicial Mediana. A CE (I) 50 48h foi calculada através do método estatístico *Trimmed Spearman-Kärber Method* (Hamilton, 1979) para dados não-paramétricos.

Como os valores numéricos de toxicidade aguda, expressos em CE50 (%), exprimem uma relação inversa, isto é, quanto menor este valor maior a toxicidade, para o cálculo da eficiência do sistema esses valores são transformados em Unidades Tóxicas (UT). Calculada pela Equação 1.

$$UT = 100 / CE50 \text{ (Eq. 1)}$$

Determinaram-se também os valores do FD (Fator de Diluição – a menor diluição da amostra na qual não se observou efeito deletério sobre o organismo teste, sendo efeito deletério imobilidade igual a 10%).

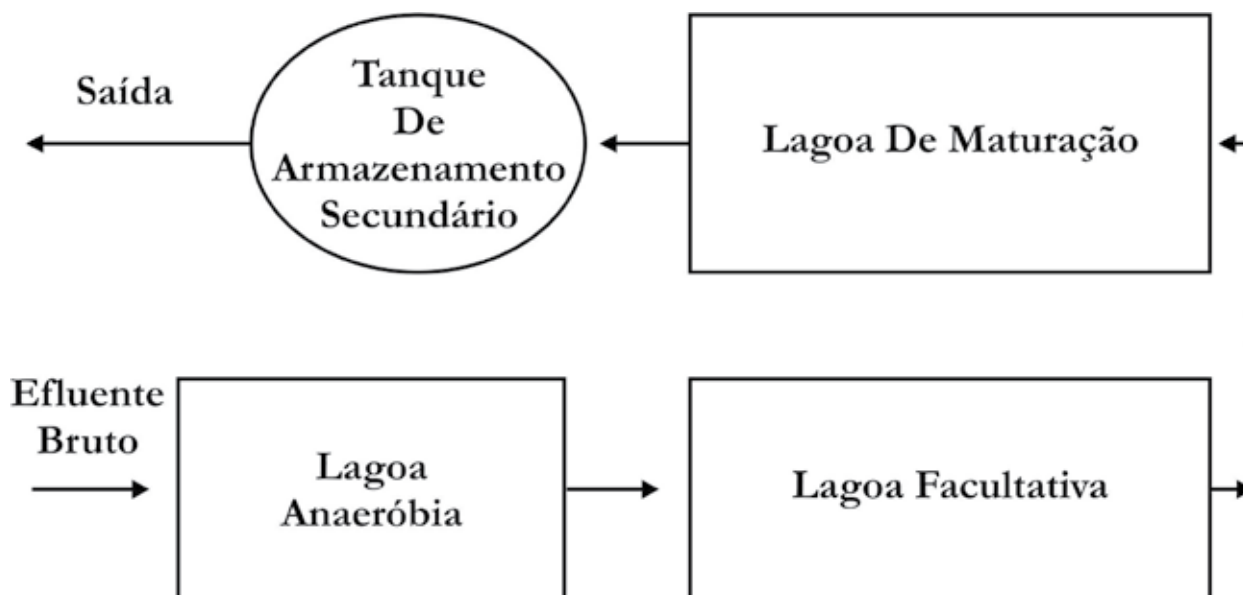


Figura 1 – Esquema das instalações piloto utilizadas no estudo

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Monitoramento do Sistema de Lagoas

Os valores médios das cargas aplicadas no sistema em termos de DQO são apresentados na Tabela 2. Para a lagoa anaeróbia, em média, foram aplicados  $185,59 \pm 76,74$  kgDQO/m<sup>3</sup>.dia de carga orgânica volumétrica, enquanto que as cargas orgânicas superficiais aplicadas foram de  $105,81 \pm 44,92$  kgDQO/ha.dia e  $63,93 \pm 31,23$  kgDQO/ha.dia para a lagoa facultativa e de maturação, respectivamente. De modo geral, os índices de remoção da carga orgânica para o sistema como um todo, ficaram na faixa de 77%. Estando de acordo com sistemas semelhantes já estudados.

As remoções na concentração de amônia foram altas, superiores à 94% ao se comparar os dados de entrada com o afluente bruto e aqueles da saída da lagoa de maturação, conforme Tabela 3.

O motivo pode estar relacionado ao processo de volatilização, favorecido pelo elevado pH do afluente bruto e no interior das lagoas (> 8,5), bem como pela assimilação algal nas duas lagoas fotossintéticas (facultativa e maturação). Contudo, não foi observada a nitrificação nessas duas lagoas, embora o ambiente fosse aeróbio, os resultados obtidos para o nitrato foram muito baixos (<10 mg/L).

Cavalcanti et al. (2001) apud Bastos et al, (2007), indicaram que para que ocorra um desprendimento significativo de amônia, o pH deve ser superior a 8 e que quando a profundidade da lagoa é maior que 1m, a remoção de nitrogênio não ocorre. Pesquisadores como Reed (1985) e Mara et al. (1992), argumentam que num sistema de lagoas de estabilização, há condicionantes que não favorecem a remoção do nitrogênio por nitrificação seguida de desnitrificação. Microorganismos nitrificantes exigem suporte físico para o crescimento, como em filtros aeróbios e solo. Outro ponto abordado é que, há a possibilidade de que as algas causem a inibição de bactérias nitrificantes.

Segundo Morais (2005), um efluente que apresenta nitrogênio amoniacal em concentrações de 500 a 1000 mgL<sup>-1</sup>, juntamente com valores de DQO acima de 2000 mgL<sup>-1</sup> e alta alcalinidade, é considerado como de difícil tratamento por processo biológico, principalmente devido à alta toxicidade do nitrogênio.

### Avaliação Físico-Química do Lixiviado Tratado

A variável de controle físico-químico que melhor caracteriza uma água residuária é a demanda química de oxigênio (DQO), por identificar o conjunto de substâncias orgânicas e inorgânicas presente em uma amostra. Esta característica possibilita uma comparação, mesmo que limitada, com avaliações toxicológicas (teste de toxicidade aguda), que avalia a amostra como

**Tabela 2.** Cargas Aplicadas de DQO no Sistema de Lagoas de Estabilização.

| Cargas de DQO | Lagoa Anaeróbia<br>(gDQO/m <sup>3</sup> .dia) | Lagoa Facultativa<br>(kgDQO/ha.dia) | Lagoa de Maturação<br>(kgDQO/ha.dia) |
|---------------|---|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Aplicada      | 185,59 ±76,74                                 | 105,81 ±44,92                       | 63,93 ±31,23                         |
| Removida      | 42,36 ±47,91                                  | 41,84 ±39,59                        | 32,46 ±28,61                         |
| Mínimo        | 73,27   | 36,70                               | 2,67                                 |
| Máximo        | 451,87  | 252,30                              | 140,8                                |

**Tabela 3.** Cargas Aplicadas de N-NH<sub>3</sub> no Sistema de Lagoas de Estabilização.

| Cargas de N-NH <sub>3</sub> | Lagoa Anaeróbia<br>(g N-NH <sub>3</sub> /m <sup>3</sup> .dia) | Lagoa Facultativa<br>(kgN-NH <sub>3</sub> /ha.dia) | Lagoa de Maturação<br>(kgN-NH <sub>3</sub> /ha.dia) |
|-----------------------------|---|--|---|
| Aplicada                    | 93,40 ±31,10  | 38,70 ±26,01                                       | 17,10 ±13,64  |
| Removida                    | 40,10 ±28,23  | 36,20 ±26,10                                       | 13,2 ±12,10   |
| Mínimo                      | 40,50   | 4,75   | 0,51  |
| Máximo                      | 198,90  | 106,52   | 61,58   |

**Tabela 4.** Acompanhamento da variável físico-química DQO ( $\text{mgL}^{-1}$ ) e cálculo da eficiência do sistema de lagoas. Eficiência do sistema calculada em %.

| DQO ( $\text{mgL}^{-1}$ ) - Meses |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Amostras estudadas                | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    |
| Efluente bruto                    | 2.355 | 6.024 | 4.142 | 2.181 | 2.355 | 2.290 | 2.250 | 1.951 | 1.878 | 1.620 | 1.954 | 2.602 | 2.525 | 2.334 |
| Lagoa anaeróbia                   | 2.180 | 2.635 | 4.115 | 1.674 | 1.801 | 570   | 1.830 | 1.567 | 1.604 | 1.560 | 1.366 | 2.547 | 1.766 | 1.755 |
| Lagoa facultativa                 | 121   | 738   | 2.581 | 1.100 | 1.426 | 582   | 1.040 | 1.165 | 1.291 | 1.214 | 1.228 | 2.010 | 1.263 | 1.212 |
| Lagoa de maturação                | 30    | 130   | 305   | 216   | 331   | 230   | 498   | 681   | 968   | 887   | 724   | 1.464 | 864   | 579   |
| Eficiência (%)                    | 99    | 98    | 92    | 90    | 85    | 90    | 78    | 65    | 48    | 45    | 63    | 44    | 66    | 75    |

um todo. Por esta razão, uma série de análises da DQO foi realizada no efluente bruto, na lagoa anaeróbia, na lagoa facultativa e na lagoa de maturação para estudar a capacidade das unidades em reduzir a carga de DQO, e verificar se estes resultados têm correlação com os resultados de toxicidade. Estes dados são apresentados na Tabela 4.

A avaliação dos resultados de DQO do efluente bruto permite concluir que os lixiviados de aterro sanitário possuem alta concentração de substâncias orgânicas e inorgânicas. Esta mistura complexa pode conter substâncias com atividade química e toxicológica elevada que afeta ecossistemas aquáticos, podendo alterar o equilíbrio ecológico e influenciar na cadeia trófica. Essas oscilações são próprias do efluente em questão, que é retratado na literatura como efluente de difícil tratamento devido às suas consideráveis oscilações de carga e vazão, conforme evidenciado nos trabalhos de Santos et al. (2004), Fleck (2003), Hamada; Matsunaga (2000) e Segato; Silva (2000) que também encontraram variações na qualidade e quantidade do efluente durante as suas pesquisas.

Por outro lado verificou-se que o sistema de lagoas foi capaz de reduzir a carga de DQO a 75%, comparando o efluente bruto com o efluente da lagoa de maturação em termos gerais. Esse percentual de remoção foi superior àqueles obtidos com os processos físico-químicos conduzidos por Hamada; Matsunaga (2000), nos quais as melhores remoções alcançadas foram de 50%, utilizando concentrações elevadas de coagulantes ( $>3.000\text{mgL}^{-1}$ ), com produção excessiva de lodo e alto custo operacional. Lange et al. (2006) trataram os lixiviados gerados no Aterro Sanitário de Belo Horizonte/MG com características de aterro sanitário já estabilizado, através de processo oxidativo avançado empregando Reagente de Fenton. Os autores alcançaram remoções de DQO superiores a 46%, com média em torno de 61%, sendo a maior remoção alcançada de 75%, ligeiramente mais baixos do que os conseguidos pelo sistema de lagoas de estabilização em série nesta pesquisa.

#### Remoção da Toxicidade do Lixiviado

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos nos testes de toxicidade aguda, expondo *Daphnia magna* por um

**Tabela 5.** Resultados dos ensaios de toxicidade aguda (CE (I) 50 48h, %).

| CE (I) 50 48h (%) - Meses |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Amostras estudadas        | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  |
| Efluente bruto            | 6,2 | 1,6 | 4,3 | 4,3 | 2,9 | 2,4 | 3,8 | 3,9 | 4,2 | 4,1 | 3,8 | 4,4 | 5,4 | 5,4 |
| Lagoa anaeróbia           | 6,2 | 3,3 | 1,6 | 4,3 | 4,4 | 4,4 | 8,8 | 4,3 | 5,1 | 4,4 | 4,1 | 35  | 9,5 | 8,5 |
| Lagoa facultativa         | 71  | 99  | -   | 8,8 | 8,8 | 18  | 35  | 42  | 36  | 55  | 60  | 70  | 17  | 25  |
| Lagoa de maturação        | NTA | NTA | -   | 11  | 94  | 71  | 68  | 56  | 62  | NTA | NTA | NTA | 48  | 56  |

NTA= não apresentou toxicidade aguda

período de 48 horas a amostras de efluentes líquidos do sistema de lagoas que trata lixiviados de aterro sanitário (resultados expressos em CE (I) 50 48h). Os resultados mostram que os lixiviados estudados têm elevada toxicidade aguda, corroborando com os resultados de Finkler (2002), Machado (2005), Brentano (2006) e Brentano; Matias (2009).

Os testes de toxicidades realizados nas lagoas anaeróbia e facultativa mostram que o efluente destas unidades de tratamento ainda apresentava toxicidade alta a moderada. Por outro lado, os resultados dos testes de toxicidade realizados com amostras da lagoa de maturação, demonstram que as mesmas, na maior parte do período de operação do sistema, não apresentaram toxicidade aguda ou apresenta baixa toxicidade aguda. Os cálculos para transformar os valores de CE (I) 50 (%) em UT estão apresentados na Tabela 6.

O Artigo 24 da Resolução CONAMA 357 (Brasil, 2005) estabelece que, os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedeçam as condições, padrões e exigências dispostos na mesma. Nesse sentido, o §1º do Art. 34, diz que o efluente não deverá causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor, de acordo com os critérios de toxicidade estabelecidos pelo órgão ambiental competente.

A Resolução CONAMA 430 (Brasil, 2011) referenda e reforça o estabelecido anteriormente, exigindo avaliação toxicológica para efluentes líquidos disposto no ambiente. Neste sentido o estado de Santa Catarina antecipou-se e estabeleceu os limites máximos de toxicidade aguda para os microcrustáceos, *Daphnia magna Straus*, de acordo com a Portaria da FATMA N° 017 (Santa Catarina, 2002).

Analisando os resultados da Tabela 6, verificou-se que o sistema apresenta eficiência para neutralizar o efeito tóxico de substâncias que compõe o lixiviado e que causam toxicidade aguda a *Daphnia magna*. Neste sentido, a utilização de sistemas de lagoas para tratar lixiviados de aterros sanitários, será uma boa opção para que seja cumprido o estabelecido na Resolução CONAMA 430 (Brasil, 2011). Os resultados encontraram-se próximos aos de Finkler (2002), Machado (2005), Brentano (2006) e Brentano e Matias (2009), que analisaram o sistema de lagoas de estabilização tratando o mesmo efluente, mas em escala real.

A presença de uma grande diversidade de substâncias que são comuns no lixiviado proporciona dificuldades para determinar qual a classe de compostos químicos que contribui mais para sua elevada toxicidade. Fatores ambientais, como o pH, também, influenciam no efeito tóxico, principalmente de substâncias/íons cuja espécie tóxica é dependente deste fator, como a amônia. Apesar de não ter sido apresentado neste trabalho, foi medido o pH das amostra para controle dos testes de toxicidade.

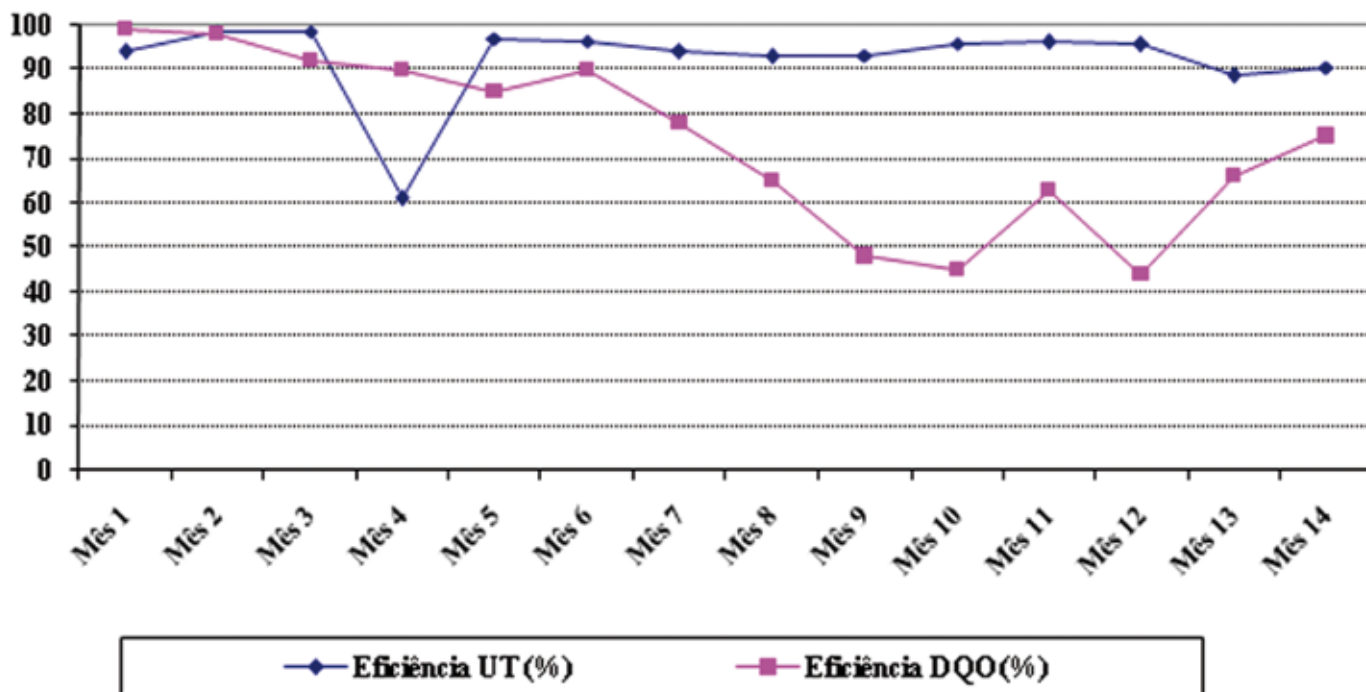
Os valores de pH medidos apresentaram incremento durante o período pesquisado, atingindo valores superiores a 8,5 em determinados períodos, o que permite a obtenção da amônia na forma tóxica, ou seja,  $\text{NH}_3^+$  (Fernandes et al., 2006), fato pode ter contribuído para a toxicidade. É evidente que a complexidade química que apresenta os lixiviados de aterros sanitários não permite indicar quais as substâncias que contribuem com maior peso no efeito tóxico, pois os efeitos sinérgicos e antagônicos são difíceis de serem identificados.

Na comparação da eficiência do sistema de lagoas, utilizando a variável de controle UT e a variável de controle DQO, observou-se que, quando se avalia a eficiência (%) pela variável UT o comportamento do

**Tabela 6.** Resultados dos ensaios de toxicidade aguda (CE (I) 50 48h, %).

| Amostras estudadas        | UT - Meses |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                           | 1          | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   |
| <b>Efluente bruto</b>     | 16,0       | 62,5 | 23,2 | 23,2 | 34,5 | 41,6 | 26,3 | 25,6 | 23,8 | 24,4 | 26,3 | 22,7 | 18,5 | 18,5 |
| <b>Lagoa anaeróbia</b>    | 16,0       | 30,0 | 62,5 | 23,2 | 22,7 | 22,7 | 11,3 | 23,2 | 19,6 | 22,7 | 24,4 | 2,9  | 10,2 | 11,7 |
| <b>Lagoa facultativa</b>  | 1,4        | 1,00 | -    | 11,3 | 11,3 | 5,50 | 2,8  | 2,4  | 2,8  | 1,8  | 1,7  | 1,40 | 5,9  | 4,0  |
| <b>Lagoa de maturação</b> | 1,0        | 1,00 | -    | 9,00 | 1,10 | 1,40 | 1,5  | 1,8  | 1,61 | 1,0  | 1,0  | 1,00 | 2,1  | 1,8  |
| <b>Eficiência (%)</b>     | 94,0       | 98,5 | NC   | 61,0 | 97,0 | 96,6 | 94,4 | 93,0 | 93,2 | 96,0 | 96,2 | 95,6 | 88,6 | 90,4 |

NC = Não calculado



**Figura 2.** Comparação entre às eficiências do sistema de lagoas, que trata lixiviados de aterro sanitário, utilizando uma variável de controle toxicológico (UT) e uma variável de controle físico-químico (DQO).

sistema é quase que constante e as taxas de redução de toxicidade são elevadas, principalmente após o quinto mês de operação do sistema. No entanto, para a variável de controle DQO, a eficiência (%) do sistema decai com o tempo, o que pode ser observado na Figura 2. Nos meses dez, onze e doze de operação, as amostras da lagoa de maturação não apresentaram toxicidade aguda, porém as variáveis de controle DQO se encontravam elevadas.

Teoricamente esperava-se uma relação proporcional entre as duas variáveis, fato que não se confirmou. A explicação deste fenômeno pode ser embasada no fato que o sistema foi capaz de degradar substâncias que causaram a toxicidade, porém não foi eficiente para degradar substâncias que não causam toxicidade aguda, mas contribui para carga de DQO. Neste sentido, os resultados conseguidos em escala piloto mostram que estudos toxicológicos devem ser realizados em conjunto com estudos físico-químicos para possibilitar uma tomada de decisão mais apropriada na gestão de resíduos líquidos.

## CONCLUSÕES

Neste trabalho, procurou-se verificar a viabilidade de tratamento de lixiviados gerados em aterros sanitários por meio de um sistema de lagoas de estabilização em série, consistindo na configuração lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação. Esta seqüência mostrou-se adequada ao tratamento do efluente bruto, refletidos nos resultados obtidos:

- De modo geral, a eficiência de remoção para o sistema como um todo, ficou na faixa de 75% em termos de DQO total, sendo capaz de tratar cargas elevadas, superiores a 400 gDQO/m<sup>3</sup>.dia;
- Tratando-se de amônia, o sistema apresentou remoção média de 94% da concentração afluyente de amônia aplicada média de 90 gN-NH<sub>3</sub>/m<sup>3</sup>.dia, resultado do pH elevado e temperaturas adequadas;

- Para avaliação ecotoxicológica do lixiviado, embora o afluente apresentasse considerável toxicidade de acordo com estudos prévios, utilizou-se o organismo-teste *Daphnia magna Straus*, conforme diretrizes da Resolução CONAMA 357/2005 e Portaria Nº 017/02 da FATMA – SC. Os resultados foram positivos, atingindo valores desejados de detoxificação do efluente. Mesmo com um ligeiro período de sobrecarga, o sistema conseguiu restabelecer-se e de modo gradativo conseguiu remover a toxicidade do efluente.

## BIBLIOGRAFIA

- APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 20, Ed, 1998.
- Aragão, M. A. e Araujo, R. P. A Métodos de ensaios de toxicidade com organismos aquáticos. Ecotoxicologia Aquática – princípios e aplicações. São Carlos: RIMA, 2006.
- Arthur, J. P. Notes On The Design And Operation Of Waste Stabilization Ponds In Warm Climates Of Developing Countries. Technical paper No 7. Washington DC: The World Bank. 1983.
- ABNT – Associação Brasileira De Normas Técnicas. Ecotoxicologia Aquática –Toxicidade Aguda – Método de Ensaio com *Daphnia spp.* (Cladocera Crustáceo). NBR 12713. Rio de Janeiro, 17 p., 2004.
- Bastos, R. K. X.; Rios, E. N.; Rosa, A. P. Caracterização E Comportamento de Uma Série de Lagoas de Polimento Tratando Esgotos Sanitários. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24, Belo Horizonte, 2007. Anais... Joinville.: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, 2007.
- Brentano, D. M.; Matias, W. G. Determinação da toxicidade de efluente tratado de aterro sanitário antes e após desinfecção por cloração, utilizando *Daphnia magna*. Química Y Toxicología Ambiental Em America Latina. Buenos Aires: SETAC 2009. 200p, 2009.
- Brentano, D. M. Desenvolvimento e Aplicação do Teste de Toxicidade Crônica com *Daphnia Magna*: Avaliação de Efluentes Tratados de um Aterro Sanitário. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- Castilhos Junior, A. B.; Dalsasso, R. L.; Rohers, F. Pré-tratamento de lixiviados de aterros sanitários por filtração direta ascendente e coluna de carvão ativado. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 15, n. 4, Dec. 2010. Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522010000400011&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522010000400011&lng=en&nrm=iso)>. access on 10 July 2011. doi: 10.1590/S1413-41522010000400011.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N. 357, de 17 de Março de 2005. *Dispõe sobre a Classificação dos Corpos de Água e Diretrizes Ambientais para o seu Enquadramento, bem como Estabelece Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes e dá Outras Providências*. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Diário Oficial da União, Brasília, 17 de Março de 2005.
- El-Fadel, M.; Bou-Zeid, E.; Chahine, W.; Alayli, B. Temporal Variation of Leachate Quality Pre-Sorted and Baled Municipal Solid Waste With High Organic And Moisture Content. Waste management, n. 22, p. 269 – 282. 2002.
- Escobar, Z.; Lugo, Y.; Hwang, S. Biochemical Response of Landfill with Manufactured Aggregates as a Daily Cover. In: WORLD OF COAL ASH (WOCA) CONFERENCE, 2009, Lexington, EUA. <<http://www.flyash.info>>. Acesso em: 25 maio 2011.
- FATMA – FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE DE SANTA CATARINA. Portaria Nº. 017/02, de 18 de Abril de 2002. *Estabelece os Limites Máximos de Toxicidade Aguda para Efluentes de Diferentes Origens e dá outras Providências*. Disponível em: <<[http://labtox.navista.com.br/images/stories/Portaria\\_017.html](http://labtox.navista.com.br/images/stories/Portaria_017.html) >> Acesso em: 25 de Setembro de 2007.
- Fernandes, F., Costa, R. H. R; Gomes, L. P; Ferreira, J. A.; Castilhos, A. B. C, Silva, J. D. Tratamento Biológico de Lixiviados de Resíduos Sólidos Urbanos. In: Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos com Ênfase na Proteção de Corpos D'Água: Prevenção, Geração e Tratamento de Lixiviados de Aterros Sanitários. Coord.: Armando CASTILHOS Júnior. Projeto PROSAB IV. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

- Finkler, R. Avaliação do Efeito Tóxico de Líquidos Lixiviados sobre o Sistema Reprodutivo de *Daphnia magna*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- Fleck, E. Sistema Integrado por Filtro Anaeróbio, Filtro Biológico de Baixa Taxa e Banhado Construído Aplicado ao Tratamento de Lixiviado de Aterro Sanitário. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- Gherardi-Goldstein, E. Procedimentos para utilização de testes de toxicidade no controle de efluentes líquidos, CETESB, São Paulo, 1990.
- Gherardi-Goldstein, E.; Bertolotti, E.; Zagatto, P. A; Araujo, R. P. A; Ramos, M. L. L. C. Estimativa da Carga Poluidora de Efluentes Industriais da Região de Cubatão Através de Ensaio Biológicos com Microcrustáceos e Peixes. Anais 13o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES, Maceió-AL, p.10. 1985
- Giordano, G. Análise e Formulação de Processos para Tratamento dos Chorumes Gerados em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos. Tese (Doutorado em Ciências dos Materiais e Metalurgia). Programa de Pós-Graduação em Ciências dos Materiais e Metalurgia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.
- Gotvajn, A. Z.; Tišler, T.; Zagorc-Končan, J. Comparison of different treatment strategies for industrial landfill leachate. *Journal of Hazardous Material*, v. 162, n. 2-3, p. 1446-1456, 2009.
- Hamada, J.; Matsunaga, I. Concepção do Sistema de Tratamento de Chorume para o Aterro Sanitário de Ilhéus – BA. IX Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Seguro – BA. p 1515-1524. 2000.
- Jordão, E. P.; Pessôa, C. A. Tratamento de Esgotos Domésticos. 3 ed. Rio de Janeiro: ABES, 720 p. 1995.
- Kellner, E.; Pires E. C. Influence of The Thermal Stratification in the Hydraulic Behavior of Stabilization Ponds. In: CONFERÊNCIA LATINO AMERICANA EN LAGUNAS DE ESTABILIZACION Y REUSO, 1., 2000, Santiago de Cali, Colombia. Santiago de Cali, Colombia: [s.n], p.187-198. 2000
- Knie, J. L. W.; Lopes, E. W. B. Testes ecotoxicológicos: métodos, técnicas e aplicações. Florianópolis: FATMA/GTZ, 289 p, 2004.
- Laitano, K. S. Determinação do Potencial Tóxico e Genotóxico de Líquido Lixiviado Gerado em Aterramento Sanitário de Resíduos Sólidos Urbanos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2003.
- Laitano, K. S.; Matias, W. G. Testes de Toxicidade com *Daphnia magna*: Uma Ferramenta para Avaliação de um Reator Experimental UASB. *JBSE – J. Braz. Soc. Ecotoxicol. SETAC BRAZIL*. v. 1, n. 1, 43-47. 2006.
- Lange, L. C.; Alves, J. F.; Amaral, M. C. S.; Melo Júnior, W. R. Tratamento de Lixiviado de Aterro Sanitário por Processo Oxidativo Avançado Empregando Reagente de Fenton. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*. Vol. 11, Nº 2, Abril – Junho, 2006.
- Lima, C. A. A.; Mucha, M. S.; Teles, R. B.; Cunha, R. Estudos Preliminares de Estimativa de Produção Chorume e Avaliação de Alternativas de Tratamento – Estudo de Caso: Novo Aterro de Ribeirão Preto – SP. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23. Campo Grande/MS, 2005. Anais... Campo Grande: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. CD-ROM, 2005.
- Mara, D. D.; Pearson, H. Artificial Freshwater Environment: Waste Stabilization Ponds. In *Biotechnology*, v. 8, p. 177-206, 1986.
- Mara, D. D.; Mills, S. W.; Pearson, H. W.; Alabaster, G. P. Waste Stabilization Ponds: A Viable Alternative Small Community Treatment Systems. *Journal of the Institution of Water and Environmental Management*, v. 6, n. 1. p. 72- 78. London. February, 1992.



Martins, C. L.; Castilhos Junior, A. B.; Costa, R. H. R. Desempenho de sistema de tratamento de lixiviado de aterro sanitário com recirculação do efluente. *Eng. Sanit. Ambient.*, Rio de Janeiro, v. 15, n. 4, Dec. 2010. Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522010000400013&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522010000400013&lng=en&nrm=iso)>. access on 10 July 2011. doi: 10.1590/S1413-41522010000400013.

Matias, W. G.; Santos Neto, P. M.; Koide, S.; Zanta, V. M.; Castilhos Jr, A. B.; Firta, I. N.; May, M. S. S. Monitoramento da Contaminação Provocada por Lixiviados de Aterros Sanitários. In: Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos com Ênfase na Proteção de Corpos D'Água: Prevenção, Geração e Tratamento de Lixiviados de Aterros Sanitários. Coord.: Armando CASTILHOS Júnior. Projeto PROSAB IV. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

McGarry, M. G.; Pescod, M. B. Stabilization Pond Design Criteria for Tropical Asia. In: Proceedings of the Second International Symposium on Waste Treatment Lagoons, University of Kansas, Laurence, KS. Ed. R.E. McKinney, p. 114 – 132, 1970.

Moraes, V. A. Caracterização E Estudo de Tratabilidade de Líquidos Lixiviados de Aterros Sanitários. Relatório Técnico. CETESB. São Paulo, 1995.

Paes, R. F. C. Caracterização do Chorume Produzido no Aterro da Muribeca – PE. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2003.

Reed, S. C. Nitrogen Removal in Stabilization Ponds. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, v.

57, n. 1. p. 39- 45. Alexandria. February, 1985.

Reis, M. F. P.; Bidone, F. R. A. Remoção de DBO<sub>5</sub> e Fósforo do Lixiviado da Compostagem em Sistemas de Banhados Construídos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23. Campo Grande, 2005. Anais... Campo Grande: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. CD-ROM, 2005.

Rocha, E. M. R.; Motta, M.; Silva, V. L.; Jucá, J. F. T. Estudo do Lixiviado Gerado no Aterro de Muribeca e Tratado pelo Sistema de Lagoas de Estabilização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23. Campo Grande, 2005. Anais... Campo Grande: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. CD-ROM, 2005.

Santos, A. F. M. S.; Kato, M. T.; Florencio, L. Estudo Comparativo entre a Biodegradabilidade Aeróbia e Anaeróbia de Chorume de Aterro Controlado. In: XI Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2004, Natal RN. Rio de Janeiro: ABES, 2004.

Segato, L. M.; Silva, C. L. Caracterização do Lixiviado do Aterro Sanitário de Bauru. In: Serafim, A. C.; Gussakov, K. C., Silva, F.; Coneglian, C.M. R.; De Brito, N. N.; Sobrinho, G.D.; Tonso S. E Pelegrini, R. Chorume, Impactos Ambientais e Possibilidades de Tratamentos. In: III Fórum de Estudos Contábeis, Faculdades Integradas Claretianas – Rio Claro – SP – Brasil, 2003.

Von Sperling, M. Princípios Básicos do Tratamento de Esgotos: Princípios de Tratamento Biológico de Águas Residuárias. [s.l.]: DESA - UFMG, 210p. 1996.

# Efeitos da inter-cloração na duração da carreira de filtração e na formação de THM em águas de abastecimento

## *Effects of the inter-chlorination in the filtration run and THM formation in drinking water treatment*

**Davi Rodrigues da Silva\***

Químico pela Universidade de Brasília (UnB). Mestre em Bioquímica pela Universidade de Brasília (UnB). Atualmente é Químico da CAESB-DF.

**Noêmia Célia Milhomem Costa**

Graduada em Administração pela Faculdade de Ciências Sociais e Tecnológicas, pós-graduada em Perícia, Auditoria e Gestão Ambiental pela Faculdade Oswaldo Cruz. Atualmente é Técnica em Saneamento da Caesb.

**Lúcio Flávio C. Magalhães**

Químico pela Universidade de Brasília (UnB). Atualmente é Químico da CAESB-DF.

**Cíntia Mesquita P. Cavalcanti**

Química pela Universidade de Brasília (UnB). Especialização em Saneamento Ambiental pelo Instituto Formação para Educação. Atualmente é Química da CAESB-DF.

**Luiz Antonio Daniel**

Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Brasil. Mestrado em Engenharia Civil EESC-USP pela Universidade de São Paulo, USP, Brasil. Doutorado em Engenharia Civil EESC-USP pela Universidade de São Paulo, USP, Brasil. Atualmente é Professor Doutor MS3 da Universidade de São Paulo.

\*Endereço para correspondência: QNM 42 ÁREA ESPECIAL – M NORTE – TAGUATINGA NORTE – DISTRITO FEDERAL - DF - CEP: 72200-000 - Brasil - Tel: (61) 34913217 - e-mail: drs1\_rodrigues\_76@yahoo.com.br. dias\_joel@hotmail.com

Data de Entrada: 09/03/2011

Data de aprovação: 28/02/2012

### RESUMO

A etapa de filtração no processo de tratamento de água para abastecimento público foi avaliada utilizando um sistema de filtração composto por camada suporte de pedregulho e areia. O filtro, constituído de areia com diâmetro dos grãos de 0,89 e 0,59 mm e altura do leito de 50 e 125 cm, foi alimentado com água decantada proveniente de um floccodcantador, operado com taxa de filtração de  $21 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$  e avaliado em termos de turbidez e evolução de perda de carga. Para aumentar a eficiência da filtração foi inserida a intercloração e semanalmente, durante 18 meses, monitorou-se a concentração de THM. Esta fase de oxidação foi adicionada para melhorar o aproveitamento da estação de tratamento de água, o que também trouxe grande

contribuição ambiental, pois aumentou a carreira de filtração e o tempo de lavagem, diminuindo significativamente as perdas de água e a quantidade de lodo produzido na estação, cuja disposição final deverá atender a legislação ambiental vigente.

**Palavras-Chave:** água de abastecimento, cloração, filtração.

### ABSTRACT:

The filtration step in water treatment process for public waterworks was assessed using a filtration system composed of gravel and sand layer support. The filter, consisting of sand with grain diameter of 0.59 and 0.89

mm and bed height of 50 and 125 cm, respectively, was fed with water from a sludge blanket flocculate decanter, operated with filtration rate of  $21 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$  and assessed in terms of turbidity and evolution of head loss. To increase the efficiency of filtration the inter-chlorination was introduced and weekly, during 18 months, THM concentration in the affluent and effluent was monitored. This oxidation step was added to improve the utilization of the water treatment plant, which also brought great environmental contribution, because increased filtration's run and the washing time, significantly decreasing the loss of water and the amount of sludge produced at the drinking water treatment plant, whose final disposition must meet current environmental legislation.

**Keywords:** treatment process, inter-chlorination, filtration.

## INTRODUÇÃO

O processo de tratamento de água pode ser visto como um conjunto de operações aplicadas à água em suas mais diferentes fontes com o objetivo de torná-la apta para abastecimento público. Para tanto, significa afirmar que a sua qualidade físico-química e microbiológica atende a certos Padrões de Qualidade definidos por agências reguladoras.

Atualmente, mananciais para abastecimento público de grandes centros urbanos vem recebendo esgoto doméstico e efluentes industriais sem tratamento, decorrente do crescimento populacional desordenado e da falta de investimentos para coleta e tratamento desses efluentes. Paralelamente, em determinadas épocas do ano, devido ao aumento da frequência, intensidade e duração das precipitações atmosféricas, o escoamento superficial resultante carrega grande quantidade de partículas e matéria orgânica dissolvida ocasionando aumento da turbidez e cor da água bruta nas estações de tratamento de água.

A filtração é a última operação unitária empregada na remoção de material particulado e coloidal presente na água bruta, sendo assim, esta assume importância significativa na produção de água potável. Tipicamente, os sistemas de filtração empregados no tratamento de água de abastecimento podem ser classificados de acordo com a sua localização na sequência das operações da estação de tratamento de água (filtração em linha, filtração direta ou do tipo de ciclo completo), sentido de escoamento (descendente e ascendente), materiais

filtrantes (areia, antracito, carvão ativado granular), arranjo do material filtrante (camada simples, dupla camada e, eventualmente, tripla camada), taxa de filtração (filtração lenta e rápida) e controle hidráulico (DI BERNARDO, 1993). O principal objetivo da filtração de águas de abastecimento é a remoção de material particulado que possa produzir efluente com qualidade organoléptica não adequada para fins de consumo e a relação com a saúde pública ao reter microrganismos patogênicos.

Historicamente, o agente oxidante mais empregado em processos de tratamento de água tem sido o "cloro", na forma de cloro gasoso ( $\text{Cl}_2$ ), hipoclorito de sódio ( $\text{NaOCl}$ ) e hipoclorito de cálcio ( $\text{Ca(OCl)}_2$ ) (DEGRÉMONT, 1979; MONTGOMERY, 2005). Por ser um agente oxidante, o derivado clorado livre pode reagir com compostos orgânicos sintéticos e naturais, participando de reações de oxidação e substituição, em que átomos de cloro podem ser adicionados às moléculas denominadas precursoras, formando compostos orgânicos clorados denominados subprodutos da desinfecção (SPD) (HERBERT *et al.*, 2010). As reações que envolvem o cloro residual livre e os compostos orgânicos naturais são extremamente complexas, uma vez que estes apresentam uma elevada diversidade de grupos funcionais aromáticos, carboxílicos, fenólicos, bem como grandes quantidades de duplas e triplas ligações e que são passíveis de serem atacadas pelo agente oxidante.

Os subprodutos da desinfecção com o derivado clorado são, principalmente, os trihalometanos (THM), ácidos haloacéticos (HAA), haloacetoneitrilas (HAN) e cloropicrinas. A formação de THM aumenta com a concentração de cloro residual livre, concentração de substâncias húmicas, temperatura e pH (PAVÓN *et al.*, 2008). Muitos deles têm sido classificados como prováveis ou possíveis substâncias carcinogênicas para os seres humanos e têm sido regulados pela Agência Americana de Proteção Ambiental (USEPA) desde 1996, pela Organização Mundial de Saúde (WHO) desde 1995 e pela Comunidade Econômica Européia (CEE) em 1998. As propriedades toxicológicas e epidemiológicas dos SPD têm sido amplamente estudadas. À exposição aos compostos orgânicos clorados, sobretudo THM, está associado ao aumento de risco de câncer, particularmente na bexiga e reto (HEBERT *et al.*, 2010). A IARC (Agência Internacional para Pesquisa do Câncer) classificou o clorofórmio e o bromodiclorometano como cancerígenos potenciais a humanos (Grupo 2B) e o dibromoclorometano e

bromofórmio como cancerígeno de potencial limitado (Grupo 3B) (PAVÓN, *et al*, 2008; WAG *et al*, 2007; WHO, 2006).

Entretanto, a partir dos primeiros resultados acerca da efetividade do cloro como agente desinfetante e de sua aplicabilidade prática no tratamento de águas de abastecimento, estabeleceu-se a necessidade de que, qualquer que fosse a modalidade de tratamento adotada, a etapa de desinfecção teria que ser necessariamente incorporada.

A água de lavagem de filtros, em ETAs, apresenta também, normalmente, risco ambiental e potencial de poluição, visto que são utilizadas substâncias muitas vezes tóxicas e/ou inflamáveis que após os processos químicos normalmente geram “lixo tóxico” que precisa ser tratado (resíduo) e dado um descarte apropriado. Sendo assim, uma diminuição deste resíduo proporciona vantagem ambiental e econômica.

Com o objetivo de proporcionar a melhoria da filtração, desinfecção e diminuição da produção de lodo buscou-se a alternativa de instalação da intercloração em uma estação de tratamento de água. Para isto foram realizados ensaios para quantificação da concentração de alumínio remanescente ao longo do processo, monitoramento de THM por meio da cromatografia gasosa, testes de perda de carga dos filtros e estimativa da quantidade de água de lavagem produzida antes e após a intercloração ser implantada.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Filtro

Para a avaliação da etapa de filtração foi utilizado um filtro composto por camada suporte de pedregulho e areia. Este filtro é alimentado por água decantada proveniente de um floccodcantador e operado com taxa de filtração de  $21 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ . O meio filtrante é constituído de areia com diâmetro dos grãos de 0,89 e 0,59 mm e altura do leito de 50 e 125 cm, respectivamente. O filtro foi avaliado em termos de turbidez da água filtrada e evolução de perda de carga. O filtro, em formato cilíndrico, com estrutura construída em aço-carbono com as dimensões 1,2 m de diâmetro e 2,4 metros de altura, foi operado com pressão de trabalho de 1,8-2,0  $\text{kgf} \cdot \text{cm}^{-2}$  (200 kPa).

Após a lavagem efetuava-se a primeira coleta de amostras de água filtrada. Durante a primeira hora, as coletas de amostras de água filtrada foram efetuadas de 15 em 15 minutos. Do mesmo modo, efetuou-se a primeira leitura do manômetro no filtro. Encerrada a primeira hora de operação após a lavagem as amostras passaram a ser coletadas de hora em hora. A seguir, verificava-se a vazão de alimentação. Quando não atendida esta vazão efetuou-se seu ajuste pelo rotâmetro confirmando-a por medição volumetricamente. A vazão do filtro foi verificada a cada quatro horas, aproximadamente, a fim de se assegurar a taxa de filtração desejada.

O encerramento da carreira de filtração foi determinado quando ocorreu pelo menos uma das seguintes condições:

-Turbidez da água filtrada maior ou igual a 0,5 uT em três medidas consecutivas;

-Carreira de filtração com máximo de 40 horas;

-Duração da carreira do filtro realizada com base na pressão interna do filtro quando se chegava a 22  $\text{kgf} \cdot \text{cm}^{-2}$  (2,2 MPa).

Uma vez encerrada a carreira de filtração, fechavam-se os registros de entrada de água decantada de alimentação do filtro. Em seguida procedia-se sua lavagem conforme descrito a seguir:

Abria-se o registro de saída de água de lavagem e aplicava-se água em contracorrente de modo a permitir a expansão do material filtrante. Para tanto, procedia-se a abertura lenta e gradual da válvula de aplicação de água de forma a evitar a separação do leito filtrante. Essa aplicação de água era efetuada por, pelo menos, 10 minutos.

Neste experimento, realizou-se também a inserção de um ponto de intercloração, ou seja, antes da entrada do filtro e após o decantador.

### DETERMINAÇÃO DE THM

Para uma melhor eficiência da filtração foi instalado um sistema com intercloração (cloração antes do filtro) e semanalmente, durante 18 meses, monitorou-se a concentração de THM. Esta fase de oxidação foi

inserida visando melhor aproveitamento da estação, o que também trouxe grande contribuição ambiental, pois aumentou a carreira de filtração e o tempo de lavagem diminuindo significativamente a quantidade de lodo produzido na estação, assim como as perdas de água. O derivado clorado, na forma de hipoclorito de sódio, foi aplicado antes do filtro (intercloração), em dosagem que manteve cloro residual livre de  $1,2 \text{ mg.L}^{-1}$ , mensurado pela técnica DPD, após tempo de contato médio de 24 a 48 horas. A amostra de água tratada para análise de THM foi coletada e mantida em frasco âmbar de volume de 40 mL, com tampa rosqueada de material inerte, preferencialmente teflon, ou de plástico revestido com teflon de forma a evitar o contato da água com a tampa plástica.

O frasco continha três gotas de solução de ácido ascórbico ( $25 \text{ mg}/40\text{mL}$ ) para CG/MS ou mesmo volume de tiosulfato de sódio ( $3 \text{ mg}/40\text{mL}$ ). Foi necessário realizar a coleta completando o frasco até a boca com a amostra, fechando-o com cuidado de modo a evitar formação de bolhas e a presença de oxigênio.

O transporte da amostra foi realizado sob refrigeração e o tempo para o processamento da análise foi de três dias, atendendo a recomendação para preservação. A amostra refrigerada foi então transferida para o frasco de vidro de 40 mL, com septo de PTFE/silicone, sendo fechado de forma a evitar formação de bolha. Inseriu-se a amostra no auto-amostrador, ou injetou-se, utilizando uma seringa apropriada, que transferiu o volume de 5 mL desta diretamente no aparelho de purge and trap, com volume de 5 mL. O volume utilizado no auto-amostrador foi de 5 mL da amostra e os parâmetros a serem determinados eram: (por ordem de saída no cromatograma) Clorofórmio, Diclorobrometano, Dibromoclorometano e Bromofórmio. A soma das concentrações de cada um dos THM constitui o valor de THM total. Os cromatogramas obtidos foram integrados e as respectivas áreas nos tempos de retenção de cada composto foram calculadas por meio de curvas de calibração previamente existentes as quais se encontravam no arquivo do software “Lab Solutions” que acompanha o aparelho em questão (cromatógrafo a gás com espectrômetro de massas).

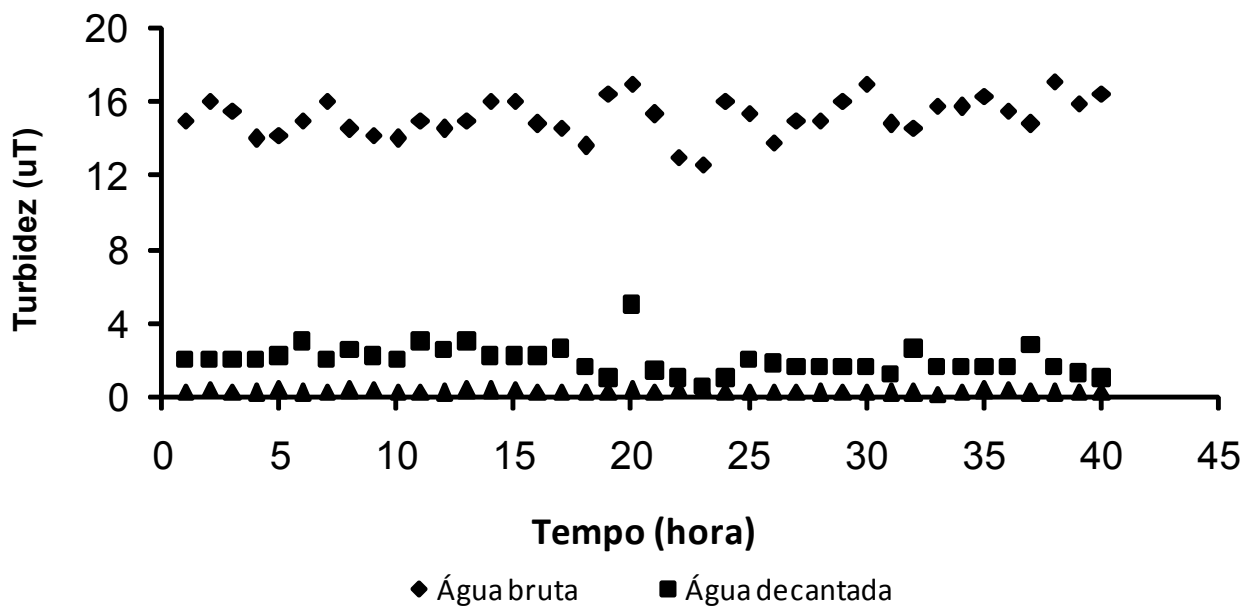
As condições de uso do cromatógrafo a gás com espectrômetro de massas acoplado foram: temperatura inicial do forno  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ , mantida por dois minutos, em seguida, aquecimento numa taxa de  $6 \text{ }^\circ\text{C}/\text{minuto}$  até  $140 \text{ }^\circ\text{C}$ , mantendo essa temperatura por um minuto. Temperatura do injetor  $180 \text{ }^\circ\text{C}$ , pressão total de 13,5

kPa, fluxo He de  $7,5 \text{ mL}/\text{minuto}$ , Velocidade linear de  $45 \text{ mL}/\text{minuto}$ , purga de  $3 \text{ mL}/\text{minuto}$  e split de 2,0. Para o espectrômetro de massa (MS) os controles foram os seguintes: temperaturas na fonte de íons  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  e na interface  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ , faixa de massa de 35 a 300 amu e dois scan por segundo. O cromatógrafo utilizado foi o modelo QP 2010 plus da Shimadzu, associado a um autoamostrador Solatek 72 e um aparelho de Purge and Trap Velocity XPT da mesma marca. O tempo de contato médio foi de 24 a 48 horas e o cloro residual livre de  $1,2 \text{ mg.L}^{-1}$ . O teor final de THM foi então calculado pelo somatório de cada um de seus quatro componentes, ou seja, as concentrações de Clorofórmio ( $\text{CHCl}_3$ ), Bromodichlorometano ( $\text{CHCl}_2\text{Br}$ ), Clorodibromometano ( $\text{CHClBr}_2$ ) e Bromofórmio ( $\text{CHBr}_3$ ).

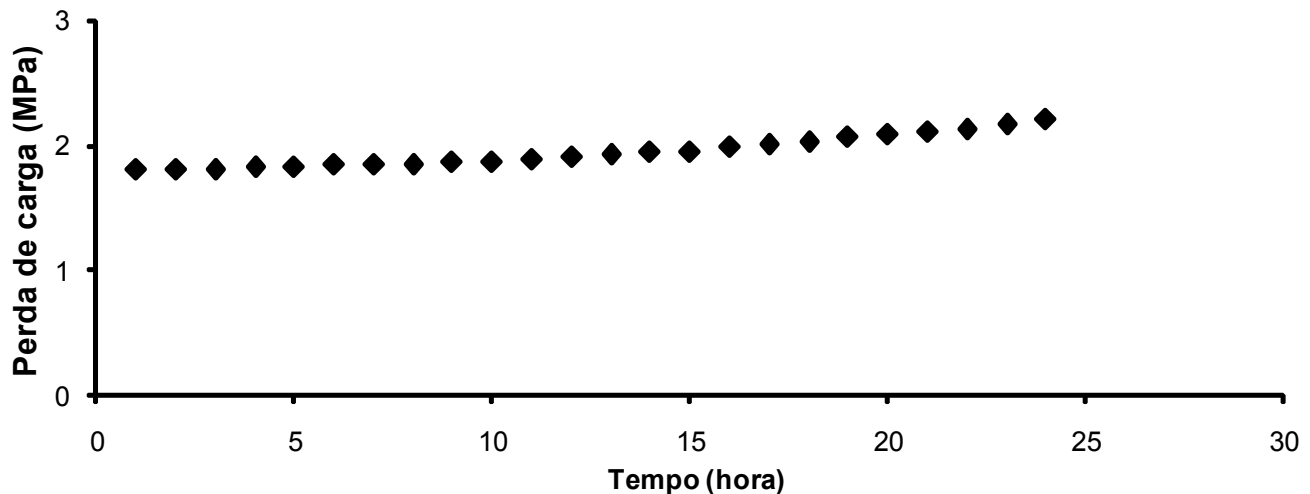
## RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA

A etapa de filtração foi executada após a otimização do processo de coagulação e floculação. Após vários testes de jarros e dados da própria estação, constatou-se que a maior eficiência de coagulação ocorreu em pH entre 6,0 a 6,5 e dosagens de sulfato de alumínio variando entre 2 a  $5 \text{ mg.L}^{-1}$ . Primeiramente, avaliou-se o desempenho do filtro sem o processo de oxidação/intercloração. A variação da turbidez ao longo da carreira de filtração está representada na figura 1. O ensaio de filtração foi realizado após as condições do processo de coagulação permanecerem próximas aos resultados otimizados pelo teste de jarros. De acordo com a figura 1 a turbidez da água bruta, decantada e filtrada manteve-se relativamente constante com valores próximos a 15; 2 e  $0,4 \text{ uT}$ , respectivamente. A eficiência de remoção média da filtração variou entre 95 e 99% para turbidez, cor aparente e sólidos suspensos totais. A evolução de perda de carga é consequência direta da retenção de partículas coloidais pelos filtros e, deste modo, quanto maior for a concentração de partículas coloidais no afluente, maior será a taxa de crescimento de perda de carga. Com isto, observando-se a figura 2, nota-se que a perda de carga chegou ao limite da pressão interna de  $22 \text{ kgf.cm}^{-2}$  ( $2,2 \text{ MPa}$ ) em 24 horas.

Entretanto, neste experimento, realizou-se a inserção de intercloração, ou seja, após o decantador e antes da entrada do filtro. Esta dosagem foi mantida, para fim de estabilização e limpeza do leito filtrante, por 48 horas seguidas. As coletas de amostras foram feitas somente após este tempo de operação. A intercloração aplicada após o decantador e antes do filtro não resultou em mudança significativa na turbidez das



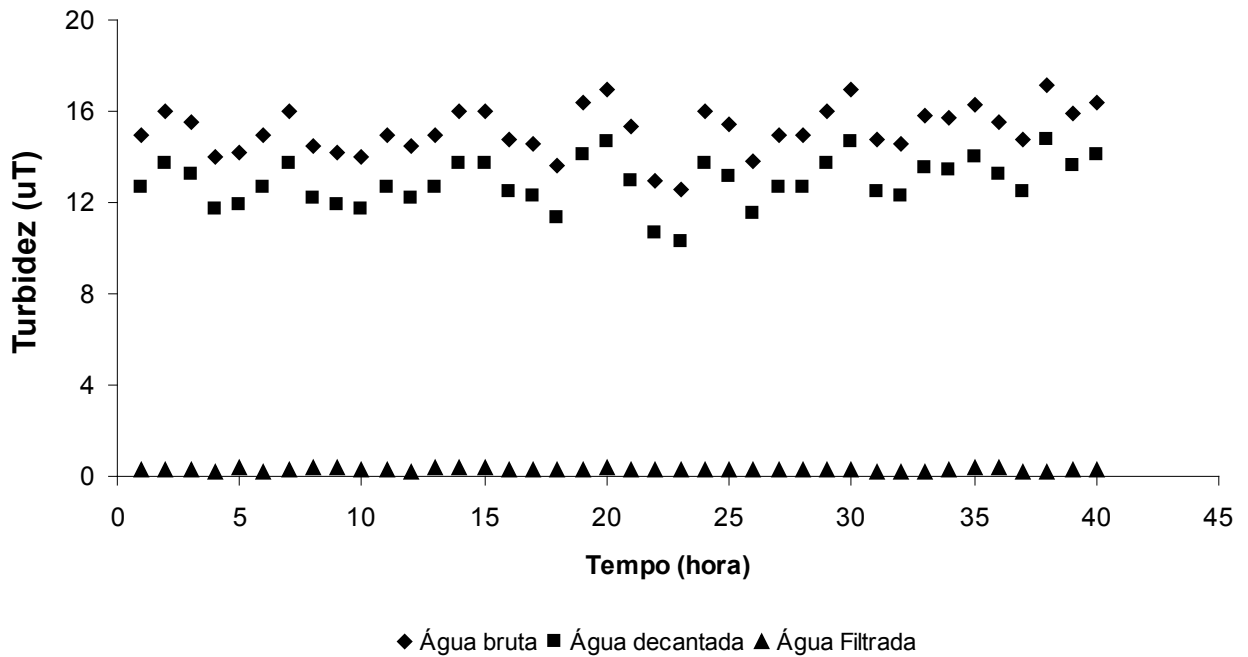
**Figura 1:** Relação da turbidez em função do tempo da carreira de filtração para o filtro em tempo de estiagem.



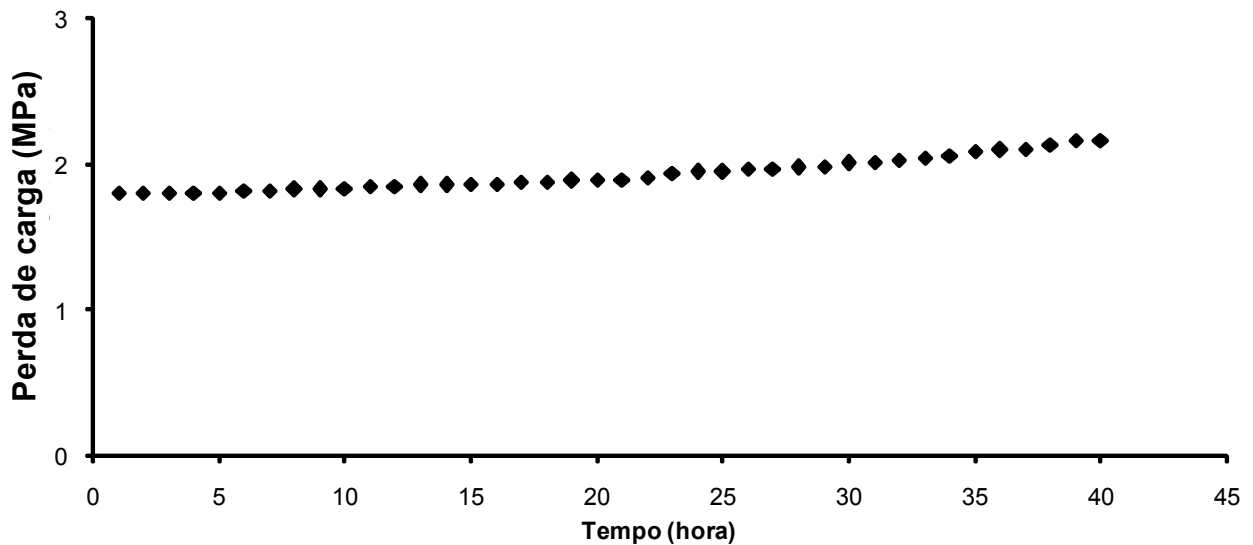
**Figura 2:** Perda de carga em função do tempo (horas) para o filtro em tempo de estiagem.

águas bruta, decantada e filtrada em relação ao ensaio sem a intercloração, como representado na figura 3. A intercloração aumentou a duração da carreira de filtração, pois de acordo com a figura 4 a pressão interna do filtro chega ao limite de 22 kgf. cm<sup>-2</sup> (2,2 MPa) em 40 horas, com 18 horas a mais do que sem a intercloração. As partículas coloidais apresentam carga elétrica negativa e os grãos que compõem o meio filtrante, na grande maioria dos casos, apresentam também carga elétrica negativa.

A aproximação de uma partícula contendo uma determinada carga elétrica ocasionará uma interação entre as suas duplas camadas. Caso a partícula possua carga negativa, esta interação será repulsiva. Por outro lado, se possuir carga positiva a interação será atrativa. Por isto, tendo em vista que as partículas coloidais na água apresentam carga negativa e os grãos do material filtrante também, o processo de filtração somente será efetivo se as partículas coloidais forem coaguladas anteriormente ao processo de filtração. O derivado



**Figura 3:** Relação da turbidez em função do tempo da carreira de filtração para o filtro em tempo de estiagem com o processo de oxidação/intercloração.

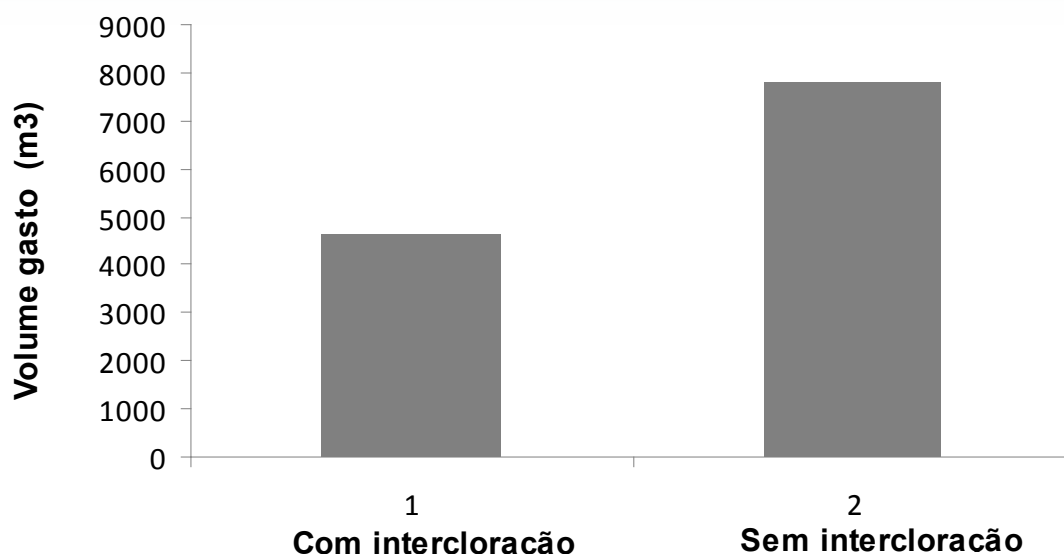


**Figura 4:** Perda de carga ( $\text{kgf.cm}^{-2}$ ) em função do tempo (horas) para o filtro em tempo de estiagem com ponto de intercloração.

clorado auxilia na oxidação e quebra das moléculas, como também na mudança de carga elétrica do leito filtrante, contribuindo para um melhor rendimento do filtro (LAUBUSCH, E. J., 1971).

A fim de estabelecer o quanto o aumento da carreira de filtração trouxe benefícios para a estação de tratamento de água estudada fez-se um gráfico comparativo do volume de água gasto no processo de lavagem do leito filtrante.

Estimando-se que antes da inclusão do processo de intercloração a carreira do leito filtrante era de 24 horas e após a inclusão passou a ser de 40 horas e que o tempo de lavagem do leito filtrante permaneceu igual a 50 minutos, o volume de água gasto para lavagem do filtro em um ano sem a intercloração será de  $7774,5 \text{ m}^3$  e com a inclusão do processo de intercloração será de  $4600,8 \text{ m}^3$ , resultando em redução de aproximadamente 40%, conforme representado na figura 5. Estes valores foram



**Figura 5:** Volume gasto em metros cúbicos no processo de lavagem de filtro com e sem intercloração.

estimados, pois a ETA não funciona continuamente 24 horas por dia, havendo períodos de interrupção do tratamento devido à existência de reservatório que abastece a rede de distribuição de água. Além disto, o tempo de lavagem do leito filtrante foi reduzido com a intercloração. Sem a intercloração, o tempo estimado de lavagem do leito é de aproximadamente 50 minutos e com a intercloração este tempo foi reduzido para 40 minutos. Tomando por base que a carreira de filtração e o tempo de lavagem do leito filtrante sem a intercloração eram de 24 horas e 50 minutos, respectivamente, e que com a inserção do processo passaram a 40 horas e 40 minutos, a economia com o consumo de água para lavagem do filtro será superior aos 40% estimados anteriormente, passando a aproximadamente 53%. Isto acarretou uma economia considerável para o processo, além de diminuição nas perdas da estação e redução na formação de água de lavagem. Com isto, o impacto ambiental diminuiu, pois a formação de lodo reduziu, acarretando uma nova visão de concepção de ETA.

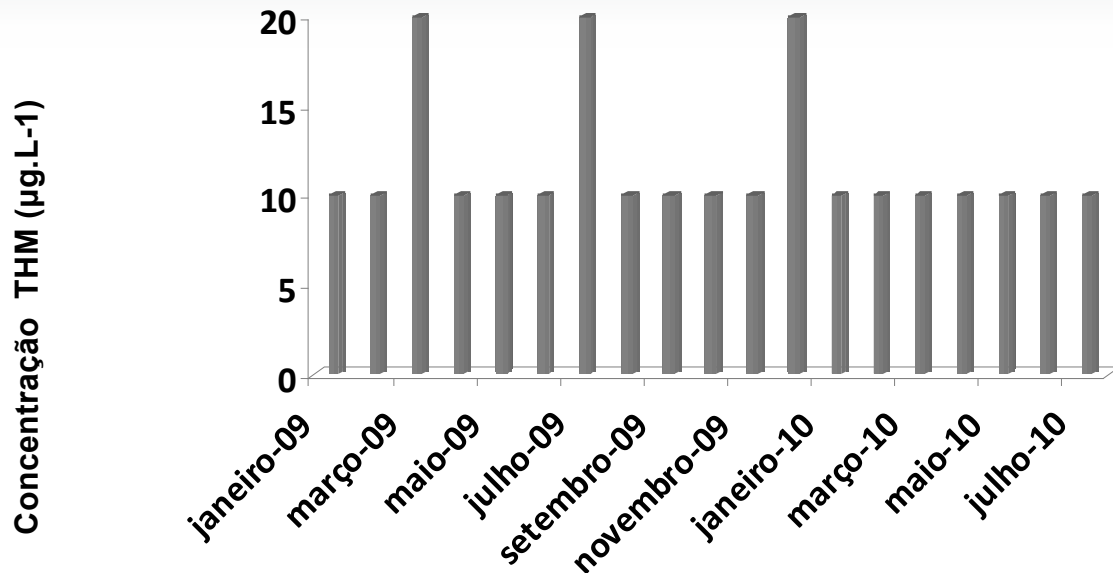
No ano de 1974, de acordo com Dunnick *et al.*, (1993) os THMs foram detectados na água potável nos Estados Unidos e estudos da época apresentaram as primeiras indicações da existência de correlação entre água de abastecimento, THMs e câncer e, estudos posteriores, levaram à fixação de valores máximo permissíveis. Os principais fatores que influenciam a formação de THM são: tempo de contato, temperatura, pH, característica e concentração da matéria orgânica, dosagem do derivado clorado aplicado, cloro residual livre e concentração de brometos (SINGER, 1994). Na figura 6 está representada a concentração de THM em função das

datas de coleta. Observa-se que durante os 18 meses em que este subproduto foi monitorado não houve valores acima de  $0,1\text{mg.L}^{-1}$ , conforme estabelecido no Brasil, pela Portaria MS 518/2004 (Brasil, 2004). A referida Portaria estabelece que na saída da ETA, a água deve conter teor mínimo de cloro residual livre de  $0,5\text{mg.L}^{-1}$ , após ter permanecido em contato com o derivado clorado por um período mínimo de 30 minutos nos reservatórios de contato e deverá ser mantido um residual mínimo de  $0,2\text{mg.L}^{-1}$  na rede de distribuição de água. A concentração de cloro residual livre, após os reservatórios de contato, permaneceu acima do valor mínimo estabelecido pela Portaria MS 518/2004 (Brasil, 2004). Isto por um lado garante a concentração mínima exigida na rede, mas por outro, pode propiciar uma maior formação de THM desde que haja precursores. Nesse contexto, pode-se inferir que a tendência é o aumento lento e progressivo de THM na água, até a residência do usuário. Contudo, a amostra foi coletada na rede de distribuição e no reservatório com tempo de contato de 24 a 48 horas, e não houve formação de THM acima do valor de  $20\ \mu\text{g.L}^{-1}$ , demonstrando que a concentração de THM está abaixo dos limites estabelecido pela Portaria MS 518/2004 (Brasil, 2004).

## Conclusões

O cloro aplicado entre o decantador e o filtro – intercloração – reagiu com o material do meio filtrante e alterou a carga elétrica da superfície dos grãos resultando em maior eficiência de retenção das partículas suspensas na água, maior duração da carreira de filtração e menor tempo de lavagem do filtro.





**Figura 6:** Concentração de THM com intercloração na água após o tanque de contato e tempo de contato de 48 horas.

A economia no consumo de água de lavagem do filtro resultante da associação dessas alterações será de aproximadamente 53%.

A concentração de THM formada para a dosagem de cloro utilizada na intercloração, considerando as características físicas e químicas da água utilizada no estudo, permaneceu abaixo de  $20 \mu\text{g L}^{-1}$ .

## REFERÊNCIAS

1-APHA, AWWA, Standard Methods for the Examination of Water And Wastewater, 21 ed., 2005  
BRASIL, MINISTÉRIO DA SAÚDE. Normas e padrão de potabilidade das águas destinadas ao consumo humano. Portaria n°. 518/GM, Brasília, Brasil, março de 2004.

2-DEGRÉMONT, 1979. Water Treatment Handbook. New York: John Wiley & Sons.

3-DI BERNARDO, L. Métodos e técnicas de tratamento de água. Volume II, 503p. Rio de Janeiro, ABES, 1993.

4-DUNNICK JK, Melnic RL. Assesment of the carcinogenic potential of chlorinated water: experimental studies of chlorine, chloramine, and trihalomethanes. J Natl Cancer Inst. v.85, p 817-22, 1993.

4-FERREIRA FILHO, S. S. Fluidificação e Expansão de

Meios Filtrantes Duplos Constituídos de Areia-Antracito e Areia-Carvão Ativado Granular. In: 18° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1995.

5-LAUBUSCH, E. J., 1971. Chlorination and other disinfection processes. In: Water Quality and Treatment: A Handbook of Public Water Supplies (American Water Works Association), pp.158-224, New York: McGraw-Hill Book Company.

6-MONTGOMERY, J. Water treatment: principles and design. New York, John Wiley & Sons, 2a Edição, 1.948 p., 2005.

7-USEPA - U.S. ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY. Guidance manual alternative disinfection and oxidants. Washington, DC. 1999, 346 p.

8-SINGER, P.C. Control of disinfection by-products in drinking water. Journal of Environmental Engineering, American Society of Civil Engineers. v. 120, n. 4, p. 727-744, 1994.

9-WHO - World Health Organization. Guidelines for Drinking-water Quality [electronic resource]: incorporating first addendum. Vol. 1, Recommendations – 3rs ed. 1995. Disponível online em <[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/guidelines/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/guidelines/en/)>. Acesso em: 18 ago. 2006.

# Inovação Tecnológica no saneamento dentro do contexto da Lei de Licitações nº 8666/93

## *Technological Innovation in Sanitation within the context of Bidding Law n. 8666/93*

Marcelo Kenji Miki

Engenheiro civil e Mestre pela Escola Politécnica da USP, Gerente do Departamento de Execução de Projetos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação – TXE/SABESP.

Endereço para correspondência: Rua Costa Carvalho, 300 – Piso superior do prédio da prefeitura. Pinheiros – SP – CEP:05429-900  
e-mail: mmiki@sabesp.com.br

Data de Entrada: 08/03/2012

Data de aprovação:26/03/2012

### RESUMO

Normalmente o critério de vencimento de uma licitação de materiais e equipamentos se baseia no preço do menor lance, bem como no atendimento às especificações técnicas. O que se questiona neste modelo é a não apropriação de impacto de custos operacionais advindos da superação dos requisitos mínimos especificados. Por um lado a determinação dos requisitos mínimos não pode ser tão restritiva que limite a participação de concorrentes e por outro, não se deveria julgar da mesma maneira uma tecnologia com diferencial superior que traria benefícios na redução dos custos operacionais. Situar-se neste meio termo é o desafio proposto num modelo licitatório que leve em conta este diferencial tecnológico, com o objetivo de induzir a introdução de tecnologias inovadoras.

**Palavras-Chave:** inovação tecnológica, licitação, menor preço.

### INTRODUÇÃO

O tema da inovação vem sendo muito debatido nos meios de comunicação e corre-se o risco de ter o seu sentido desgastado ao longo do tempo. É conveniente remeter a definição proposta pela OECD/Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico, feita através do Manual de Oslo (2005): uma inovação é a implementação de um produto (bem ou serviço) novo ou significativamente melhorado, ou um processo, ou um novo método de marketing, ou um novo método organizacional nas práticas de negócios, na organização do local de trabalho ou nas relações externas.

Observa-se nesta definição que nem toda inovação deriva necessariamente das atividades de Pesquisa e Desenvolvimento, pois há as inovações de marketing e organizacional.

Para entender como ocorre a introdução de uma inovação tecnológica no setor de saneamento remetemos ao estudo elaborado pela GEOPI/UNICAMP (2008), que cita como uma das principais características do setor o fato das empresas de saneamento serem tomadoras de inovação vindas de outros setores altamente concentrados (insumos e equipamentos), ou em outras palavras, ser dominada pelo fornecedor de tecnologia.

Entende-se então que grande parte das inovações tecnológicas é introduzida através da compra de materiais e equipamentos. E o processo de aquisição destas tecnologias nas companhias públicas de saneamento é regido pela Lei de Licitações nº 8666 (21/06/1993), onde na prática da imensa maioria dos casos, o critério de ganhador é o menor preço do item licitado, bem como atender aos requisitos das especificações técnicas.

No entanto, a principal barreira a ser vencida não se encontra propriamente na interpretação jurídica. Entende-se que o que falta é um maior esclarecimento dos subsídios técnicos que forneçam os elementos necessários para a criação de um novo modelo licitatório.

Em termos de inovação tecnológica, a principal crítica que se faz neste atual modelo licitatório é a não apropriação dos impactos econômicos nos custos operacionais, devido à superação dos requisitos mínimos estabelecidos nas especificações técnicas, como critério

# Procedimentos operacionais e empreendimentos

de julgamento da proposta vencedora. Esta ocorrência de diferenciais tecnológicos entre os fornecedores é o cenário predominante no setor de saneamento e ilustra que a maior parte das inovações é do tipo incremental. Por outro lado, podem ser introduzidas inovações no setor de saneamento, em situações mais raras, através da imposição de requisitos mínimos restritivos e com um número reduzido de fornecedores. A dinâmica do processo neste tipo de situação pode prosseguir com o surgimento de fornecedores com produtos similares.

Faz-se necessária uma inovação nos procedimentos empresariais nas companhias operadoras de saneamento, de modo a cumprir por um lado o que está estabelecido pela lei e por outro lado a induzir a introdução de inovações tecnológicas do tipo incremental.

## Menor preço

A Lei de Licitações nº 8666 (21/06/1993) estabelece em seu artigo 15, que as compras, sempre que possível, deverão: “atender ao princípio da padronização, que imponha compatibilidade de especificações técnicas e de desempenho, observadas, quando for o caso, as condições de manutenção, assistência técnica e garantia oferecidas”.

Sendo assim, em toda licitação deveria haver uma equalização de desempenho entre os concorrentes.

Já o Artigo 45, parágrafo 1º, inciso I, estabelece a licitação de menor preço: “quando o critério de seleção da proposta mais vantajosa para a Administração determinar que será vencedor o licitante que apresentar a proposta de acordo com as especificações do edital ou convite e ofertar o menor preço”.

O que merece ser questionado é a definição de proposta mais vantajosa para a Administração, ou ainda, o menor preço. Quando o menor preço se restringe no preço do lance da aquisição, não se leva em conta o impacto no custo operacional decorrente dos diferenciais tecnológicos que ocorrem quando há a superação dos requisitos mínimos. De forma mais assertiva, podemos dizer que nas situações onde não há compatibilidade de especificações técnicas e de desempenho, não está se cumprindo o estabelecido na Lei de Licitações.

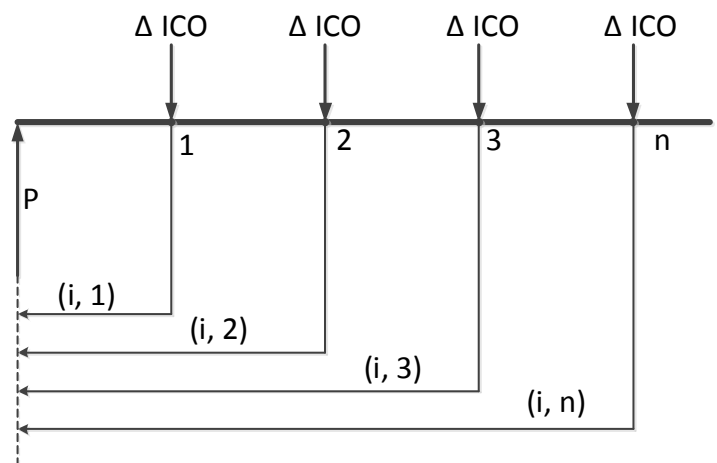
Um processo licitatório deveria levar em conta os chamados CAPEX e OPEX, que seriam respectivamente:

- CAPEX (Capital Expenditure): o montante de dinheiro despendido na aquisição (ou introdução de melhorias) de bens de capital de uma determinada empresa;
- OPEX (Operational Expenditure): significa o capital utilizado para manter ou melhorar os bens físicos de uma empresa, tais como equipamentos, propriedades e imóveis.

O menor preço deveria avaliar o valor presente composto do preço do objeto ofertado e os impactos dos custos operacionais devido aos diferenciais tecnológicos em relação a uma referência, para uma determinada taxa de desconto e um determinado horizonte de tempo, conforme ilustrado na Figura 1.

Dentro do contexto regido pela introdução de novos instrumentos regulatórios estabelecido pela Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo, ARSESP, pode-se recomendar para os estudos de viabilidade econômica no Estado para a taxa de desconto o valor do *WACC/Weighted Average Cost of Capital*, Custo Médio Ponderado de Capital, cujo valor atual é de 8,06 % ao ano.

**Figura 1:** Fluxo para determinação do Valor presente



Onde

P: oferta do preço do objeto licitado;

i: taxa de desconto;

n: número de períodos considerados (horizonte de tempo)

$\Delta$  ICO: diferencial de custos operacionais em relação a uma referência

## Fundamentos técnicos

Para se avaliar o impacto no custo operacional devido aos diferenciais tecnológicos devem ser levantadas informações que subsidiem a modelagem, de modo a gerar os impactos econômicos. É justamente aí que reside o desafio num novo modelo licitatório, pois há a necessidade de um conjunto de conhecimento técnico para embasar a sustentação teórica deste modelo.

Estabelecer fatores de desempenho depende primariamente da escolha de parâmetros técnicos facilmente mensuráveis e que não recaiam em subjetividade. Podem ser escolhidos mais de um fator de desempenho operacional que impactam os custos operacionais. E para que sejam calculados os impactos dos custos operacionais, necessita-se saber os valores dos insumos envolvidos.

## Fator de produtividade

No caso de equipamentos, um dos primeiros itens a

serem equalizados refere-se à própria capacidade de trabalho. Na grande maioria dos casos de licitação de equipamentos, estabelece-se uma capacidade mínima de trabalho. Salvo raras exceções, como em bombas com rotores especialmente montados para determinada condição operacional, é possível atender de forma pontual uma determinada capacidade de trabalho.

Para a outra grande maioria dos casos, deve-se estabelecer a condição operacional de trabalho de modo a se encontrar a produtividade de determinado equipamento e sua respectiva carga horária de trabalho realizada num determinado período.

No caso de bombas para estações elevatórias de água ou esgoto, deve-se ter em primeiro lugar a chamada curva do sistema, que é um gráfico que relaciona a vazão com a perda de carga. Podemos citar aí uma pequena barreira técnica, pois comumente o requisito técnico estabelecido nas licitações de bombas limita-se muitas vezes ao desnível geométrico de altura e a vazão necessária. A razão para esta simplificação é muitas vezes a falta de informações técnicas obtidas do cadastro técnico, que deveria ter

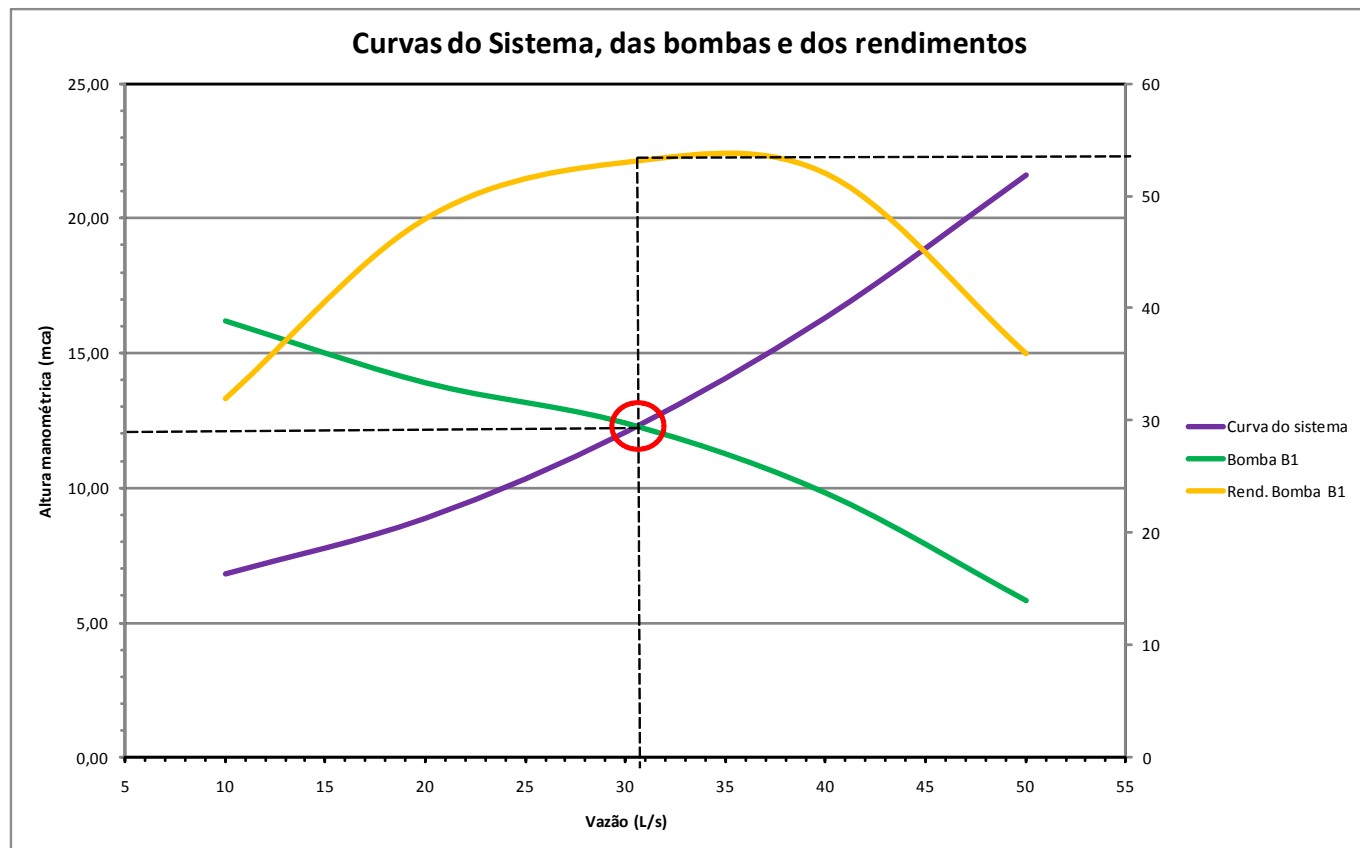


Figura 2: Exemplo de curvas do sistema, bomba e rendimento

registrado o projeto “as built” com informações como diâmetro da tubulação, extensão da linha de recalque, tipo do material, quantidade de singularidades como válvulas, curvas e registros, etc. Somente com estas informações técnicas é que se pode levantar a curva do sistema. Em segundo lugar deve ser fornecida a curva da bomba por cada fabricante participante da licitação, que relaciona a vazão processada com sua respectiva perda de carga.

A sobreposição das curvas do sistema e da bomba resulta na intersecção de um ponto, que seria o ponto operacional da bomba naquela condição de trabalho.

Conforme ilustrado na Figura 2, para cada ponto de trabalho da bomba, haverá uma determinada vazão e uma quantidade de horas correspondentes para o bombeamento de um determinado volume estabelecido. Desta forma é realizada a parametrização referente à capacidade de trabalho do equipamento, ou ainda, o fator de produtividade.

Um aspecto relevante do fator de produtividade que merece ser mencionado é a sua amarração com os fatores de desempenho, pois estes fatores estão inter-relacionados.

## Fatores de Desempenho Operacional

Em termos prioritários, pode-se destacar o fator de desempenho operacional relacionado à eficiência energética, já que o gasto com energia elétrica representa o segundo maior item de custo operacional nas companhias saneamento no Brasil, sendo superado apenas pelas despesas com pessoal (salários + encargos). Num contexto mais amplo, pode-se citar que o bombeamento demanda aproximadamente 20% da energia elétrica gerada no mundo e que de 20 a 50% da energia elétrica é consumida somente na etapa de bombeamento em determinados segmentos da indústria, conforme o HYDRAULIC INSTITUTE (2001).

No caso de conjunto moto bomba, feita a parametrização do fator de produtividade, através da obtenção do ponto de operação, encontra-se a respectiva eficiência energética do conjunto moto bomba na curva de eficiência.

O passo final é determinação da potência consumida do conjunto moto bomba e conseqüentemente a energia específica para o bombeamento ( $\text{kW}/\text{m}^3$ ). Para

cada bomba haverá uma capacidade de trabalho e um determinado número de horas trabalhadas, podendo-se calcular finalmente a energia elétrica consumida no período considerado. A inspeção, normalmente realizada para o recebimento de equipamentos, poderia checar não só o atendimento do requisito mínimo, como também o diferencial de superação de consumo de energia elétrica e assim confrontar com a informação de desempenho operacional utilizada no critério de julgamento.

## Horizonte de tempo do estudo

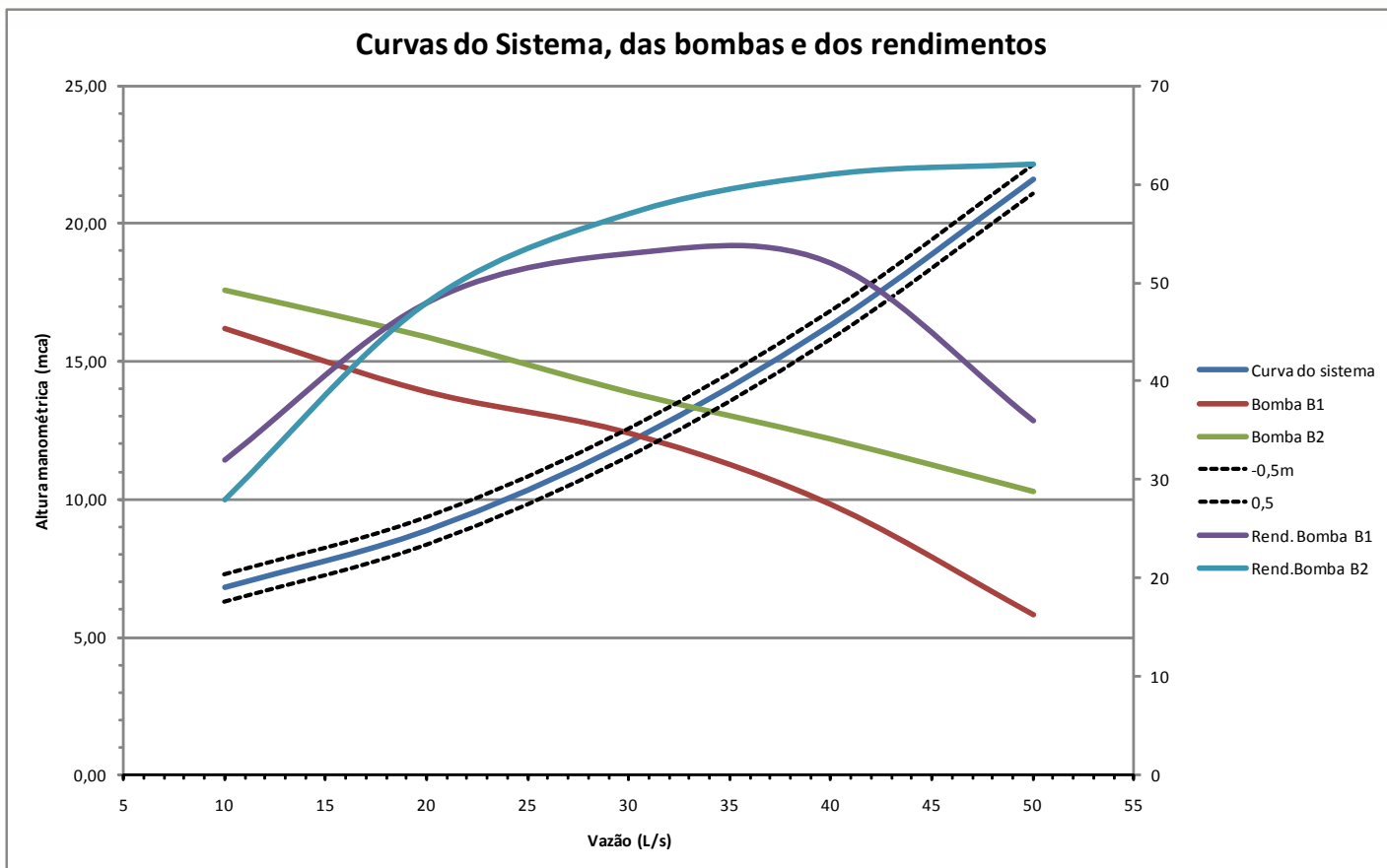
O estabelecimento do horizonte de estudo deve tomar certas precauções de forma a não provocar distorções no critério de julgamento.

Uma forma de fazer estes estudos técnico-econômicos é adotar como parâmetro de avaliação o horizonte de tempo igual à vida útil. De acordo com o Hydraulic Institute (2001) um conjunto moto bomba tem uma vida útil entre 15 a 20 anos. Este longo horizonte de tempo pode levar a distorções na avaliação final, caso não haja outras informações relevantes, como os custos de manutenção corretiva e preventiva que irão ocorrer ao longo da vida útil. Como este exercício de prever estes custos de manutenção é algo extremamente complexo do ponto de vista técnico, devido a uma enorme quantidade de variáveis, é preferível eliminar esta variável através de outra abordagem.

Entendemos que o período de tempo a ser adotado é justamente o intervalo onde não irão ocorrer intervenções significativas em termos de manutenção e troca dos componentes mais críticos, como por exemplo, o rotor da bomba ou a rosca transportadora de lodo numa centrífuga. Assim a adoção de um horizonte de tempo depende muito do conhecimento técnico da área e deve, caso a caso, embasar e justificar o período de tempo.

Por exemplo, no caso de conjunto moto bomba deve-se levar em conta a altura manométrica, a existência ou não de caixa de areia e gradeamento, a abrasividade do esgoto coletado no local, etc e com base nos registros históricos e nas diferentes tipologias estabelecer um período de tempo isento de intervenções de manutenção mais profundas. Fica ilustrado mais uma vez outra barreira técnica que pode ocorrer, devido à falta de uma sistematização de informações.

E para assegurar o estabelecimento deste horizonte



**Figura 3:** Curvas do Sistema, bombas e rendimentos para determinação do fator de produtividade e de desempenho operacional de um exemplo prático

de tempo podem ser exigidos requisitos técnicos relacionados aos aspectos construtivos do equipamento, como por exemplo, a resistência mecânica do material de fabricação da carcaça da bomba. Este tipo de abordagem permite um maior controle sobre a variabilidade dos parâmetros relacionados à vida útil dos equipamentos, bem como da perda progressiva do desempenho ao longo do tempo.

## RESULTADOS

### Impactos nos custos operacionais

Para ilustrar os impactos nos custos operacionais escolheu-se uma licitação recentemente realizada em Registro de um conjunto moto bomba com potência máxima ao redor de 10 CV e aplicaram-se os procedimentos de determinação do fator de produtividade e de desempenho operacional, descritos anteriormente.

**Tabela 1:** Obtenção dos parâmetros de produtividade e de desempenho para um caso de Registro

| Parâmetros                                     | Bomba |       |
|--|-------|-------|
|  | B1    | B2    |
| $\eta(\text{motor+bomba})$                     | 0,53  | 0,6   |
| Vazão (L/s)                                    | 30,5  | 35,2  |
| Hman (mca)                                     | 11,9  | 13    |
| Tempo de operação anual (h)                    | 4.308 | 3.733 |
| Custo de energia (R\$/kW.h)                    | 0,278 |       |
| Peso específico: $\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> ) | 1.000 |       |
| Vazão média (L/s)                              | 15    |       |
| Taxa de desconto                               | 8,06% |       |

Os resultados da obtenção dos parâmetros de produtividade e de desempenho estão listados na Tabela 1, obtidos a partir do gráfico apresentado na Figura 3.

# Procedimentos operacionais e empreendimentos

E de posse destes parâmetros com o custo dos insumos podemos calcular gastos de operação de cada fornecedor e conseqüentemente calcular os impactos de custo operacional entre os fornecedores devido aos diferenciais tecnológicos, conforme os dados apresentados nas tabelas 2 e 3 .

**Tabela 2:** Gastos operacionais anuais de energia elétrica para 2 casos de bomba

| Bomba | Potência CMB (CV) | Gasto anual de energia (R\$/ano) | Energia específica (W/m <sup>3</sup> ) |
|-------|-------------------|----------------------------------|--|
| B1    | 9,13              | 8048,74                          | 61,20                                  |
| B2    | 10,17             | 7766,92                          | 59,06                                  |

Linha de base: referente ao gasto de energia elétrica mais alto referente a bomba 1

CE1: custo de energia elétrica referente a bomba 1 = R\$ 8048,74/ano

CE2: custo de energia elétrica referente a bomba 2 = R\$ 7766,92/ano

EE21, Economia de Custo no consumo de energia elétrica, CE1- CE2 = R\$ 8048,74 – R\$ 7766,92= R\$ 281,82/ano

## Valor Presente

Para o nosso caso, enquanto o valor presente para o fornecedor B1 seria igual ao preço unitário do lance a ser proposto, o valor presente para o fornecedor B2 será o preço do lance descontado do impacto operacional econômico parametrizado devido ao diferencial tecnológico (para um horizonte de 5 anos).

Valor Presente = Preço do Lance de B2 – R\$1788,71

A estimativa de preço de um conjunto moto bomba com estas características está na ordem de 13 mil reais, assim a ordem de grandeza de desconto para o fornecedor com melhor desempenho operacional seria da ordem de 14% num horizonte de período 5 anos. Para um horizonte de 20 anos correspondente a vida útil do equipamento, o desconto seria na mesma ordem de grandeza do valor do equipamento.

**Tabela 3:** Impactos positivos de custos operacionais de energia elétrica trazidos a valor presente, conforme período

| Anos | Impacto no custo operacional anual de B1 (R\$/ano) | Impacto positivo no custo operacional anual de B2 (R\$/ano) | Impacto positivo no custo operacional acumulado de B2 (R\$) |
|------|--|---|---|
| 1    | R\$ 0,00   | R\$ 304,53  | R\$ 304,53  |
| 2    | R\$ 0,00   | R\$ 329,08  | R\$ 633,61  |
| 3    | R\$ 0,00   | R\$ 355,60  | R\$ 989,21  |
| 4    | R\$ 0,00   | R\$ 384,26  | R\$ 1373,48   |
| 5    | R\$ 0,00   | R\$ 415,24  | R\$ 1788,71   |
| 6    | R\$ 0,00   | R\$ 448,70  | R\$ 2.237,42  |
| 7    | R\$ 0,00   | R\$ 484,87  | R\$ 2.722,29  |
| 8    | R\$ 0,00   | R\$ 523,95  | R\$ 3.246,23  |
| 9    | R\$ 0,00   | R\$ 566,18  | R\$ 3.812,41  |
| 10   | R\$ 0,00   | R\$ 611,81  | R\$ 4.424,23  |
| 11   | R\$ 0,00   | R\$ 661,13  | R\$ 5.085,35  |
| 12   | R\$ 0,00   | R\$ 714,41  | R\$ 5.799,77  |
| 13   | R\$ 0,00   | R\$ 771,99  | R\$ 6.571,76  |
| 14   | R\$ 0,00   | R\$ 834,22  | R\$ 7.405,98  |
| 15   | R\$ 0,00   | R\$ 901,45  | R\$ 8.307,43  |
| 16   | R\$ 0,00   | R\$ 974,11  | R\$ 9.281,55  |
| 17   | R\$ 0,00   | R\$ 1.052,63  | R\$ 10.334,17   |
| 18   | R\$ 0,00   | R\$ 1.137,47  | R\$ 11.471,64   |
| 19   | R\$ 0,00   | R\$ 1.229,15  | R\$ 12.700,79   |
| 20   | R\$ 0,00   | R\$ 1.328,22  | R\$ 14.029,00   |

## DISCUSSÕES

Para que um modelo se sustente necessita-se submetê-lo a diversas provas argumentativas para que sobreviva. Ao longo do texto procuramos ilustrar apenas com alguns exemplos.

Há ainda outras questões que merecem uma reflexão. Pode-se questionar como seria o processo de obtenção dos dados de desempenho operacional a serem alimentado num processo licitatório, já que isto implica numa vantagem para vencimento da licitação. Este importante questionamento poderia ser respondido de duas formas. A primeira alternativa seria uma auto-declaração a priori, em que o fornecedor poderia informar os parâmetros de produtividade e de desempenho operacional. O prosseguimento deste processo se daria na etapa de inspeção do equipamento e checar em bancada se os valores declarados corresponderiam aos valores medidos. Caso houvesse uma discrepância desfavorável, aplicar-se-iam as devidas multas contratuais. Espera-se este procedimento coíba a declaração de valores muito ousados, pois se de um lado permite o vencimento da licitação, por outro lado permite a punição caso não se alcance os valores de desempenho declarados. A segunda alternativa poderia ser a realização de testes com todos os fornecedores e avaliados nas mesmas condições. Esta alternativa apresenta uma logística mais complexa e envolveria custos de mobilização, desmobilização e do próprio levantamento de informações.

## CONCLUSÃO

Caso haja uma superação nos requisitos mínimos de desempenho operacional estabelecidos nas especificações técnicas, deve-se contabilizar este impacto de custo operacional no processo licitatório de forma a se avaliar a proposta mais vantajosa. Cabe lembrar que muitas vezes as vantagens técnicas entre diferentes fornecedores ocorrem no nível incremental e não na forma disruptiva.

O menor preço não se limita ao valor do lance de um objeto, mas deve incorporar os devidos impactos nos custos operacionais advindos dos diferenciais tecnológicos. Algumas companhias de saneamento já começaram a lançar editais que incorporam os custos dos impactos operacionais devido a diferenciais tecnológicos no julgamento das propostas, podendo ser citados a CAESB, CORSAN, CAERN.

O estabelecimento dos fatores de produtividade e de desempenho operacional depende uma investigação profunda de informações, de forma a fornecer critérios de avaliação da proposta mais vantajosa.

Este tipo de avaliação da busca da proposta mais vantajosa é algo que deve ser comum tanto em empresas públicas como em privadas. A diferença numa empresa pública é a necessidade de se ter transparência ao longo do processo de avaliação à vista de todos os atores, diferente numa empresa privada em que a negociação pode ser feita às portas fechadas e em diferentes momentos.

Por outro lado uma tecnologia superior pode não trazer benefícios de custos operacionais a longo prazo, caso o seu preço seja abusivo.

O modelo licitatório proposto busca avaliar a proposta mais vantajosa de forma mais ampla do que a atualmente praticada.

De forma esquemática, pode-se resumir o modelo na seguinte equação:

$$\text{Menor preço} = \text{Menor Custo Total} = \text{Preço Unitário} + \text{Impacto de Custo Operacional trazido a Valor Presente}$$

Sendo Preço Unitário o valor a ser recebido efetivamente pelo fornecedor vencedor da licitação.

A devida contabilização dos benefícios econômicos decorrentes dos diferenciais tecnológicos num processo licitatório certamente irá induzir os fornecedores a que busquem ofertar continuamente equipamentos e materiais com diferenciais tecnológicos, derivados de esforços de pesquisa, desenvolvimento e inovação.

## RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se utilizar e aprimorar este modelo de licitação nas diversas empresas operadoras de saneamento de modo a induzir a introdução de inovações tecnológicas incrementais. Entendemos que este modelo é sustentável onde há a preocupação de se monitorar efetivamente a questão de eficiência operacional nas diversas vertentes de uma companhia de saneamento.



# Procedimentos operacionais e empreendimentos

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. FINEP, Manual de OSLO, Diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação, 3ª edição, OECD, (2005).
2. HYDRAULIC INSTITUTE, EUROPUMP; US DEPARTMENT OF ENERGY'S OFFICE OF INDUSTRIAL TECHNOLOGIES (OIT). Pump Life Cycle Costs: A guide to LCC analysis for pumping systems (2001)
3. GEOPI/UNICAMP, Produto 1, Radiografia da Inovação; Concepção, Desenvolvimento e Implantação de Modelo de Gestão em Tecnologia e Inovação na SABESP, OUT 2008.

## 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.

[www.revistadae.com.br](http://www.revistadae.com.br)

## Segundo Tundisi: Novo Código Florestal Deve Encarecer a Água no País

Na avaliação do professor e presidente do Instituto Internacional de Ecologia (IIE), José Galizia Tundisi, que já foi palestrante de abertura em nosso Encontro Técnico, colaborador da Revista Saneas e um dos mais respeitados pesquisadores em águas continentais do mundo, “a aprovação de alguns pontos do novo Código Florestal vai fazer com que o preço da água aumente no Brasil”.

Segundo Tundisi, várias das mudanças propostas no texto do novo Código serão para pior. Pela lei atual, é proibido plantar ou ocupar áreas de várzea, encostas inclinadas e topos de morro. Essas zonas são consideradas Áreas de Preservação Permanente (APPs). O novo texto regulariza as áreas desmatadas até julho de 2008, desobrigando os proprietários a reflorestar essas zonas. Além disso, o código atual prevê a proteção mínima de 30 metros de mata ciliar em rios com até 10 metros de largura. O novo Código reduz essa faixa pela metade, 15 metros.

O pesquisador lembra que a vegetação é fundamental para a manutenção do ciclo hidrológico, pois protege os rios de contaminações, além de reter materiais em suspensão e metais pesados e colaborar para a recarga dos aquíferos subterrâneos.



Tundisi afirma que ao aprovar alguns itens do novo código, os agricultores estão dando um tiro no próprio pé: “eles querem mais áreas para plantar, mas esquecem de que seus principais insumos são água e terra”. Segundo o especialista, à medida que se reduz a proteção aos mananciais, a sociedade fica mais dependente de processos artificiais de despoluição. Para chegar à água potável é necessário usar coagulantes, desinfetantes e uma série de produtos químicos. Quanto maior a poluição, maior a quantidade dessas substâncias e mais complexo se torna o processo. Isso aumenta o preço da água potável. “O custo para purificar a água é de 10 a 20 vezes maior do que proteger as matas ciliares”, afirma.

Segundo Tundisi, os tratamentos utilizados no Brasil são eficientes “tanto é que não se vê contaminação em massa por causa da água.” A preocupação é com o aumento dos custos da água tratada. “Potabilidade é algo caro. É mais eficiente investir em planos de proteção das fontes”, conclui.

FONTE: AESABESP

Endereço na internet: [www.aesabesp.org.br/component/content/article/75/859.html](http://www.aesabesp.org.br/component/content/article/75/859.html)

## Resíduo de Borra de café acaba com mau cheiro de esgoto

Os amantes de café do mundo todo podem se regozijar. As pilhas de borra que são descartadas diariamente podem desaparecer com o mau cheiro típico do esgoto.

Pesquisadores da Universidade da Cidade de Nova York relatam na revista “The Journal of Hazardous Materials” que a borra de café pode absorver o sulfeto de hidrogênio, gás causador, em grande parte, do odor do esgoto.

Atualmente, usa-se carvão ativado ou carvão poroso para extrair o sulfeto de hidrogênio do esgoto nas estações de tratamento.

Contudo, os pesquisadores descobriram que, quando a borra de café é transformada em carbono ativado, ela absorve enxofre --um dos componentes do sulfeto de hidrogênio, particularmente bem. Isso se deve à presença de um componente fundamental: a cafeína.



A cafeína contém nitrogênio, que aumenta a capacidade do carbono de eliminar o enxofre do ar, explicou Teresa J. Badosz, química e engenheira química da universidade e uma das autoras do relatório.

Para carbonizar a borra de café, ela e seus colegas misturaram a borra à água e ao zinco e depois secaram a mistura em um forno.

Badosz espera que empreendedores adquiram os direitos de patente da pesquisa e a convertam em um negócio.

Ela própria uma grande consumidora de café, Badosz surgiu com a ideia por jogar fora uma grande quantidade de borra.

“O café fresco funcionaria ainda melhor, pois possui mais cafeína”, afirmou. “Mas não é econômico utilizá-lo.”

Fonte: New York Times

## Sistema mapeia por município a qualidade da água e o saneamento básico

Graça Portela

Um sistema que mapeia por município a qualidade da água, o saneamento básico e o seu impacto na saúde da população, foi desenvolvido por pesquisadores do Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnológica (Icict/Fiocruz) inicialmente para auxiliar o Ministério da Saúde (MS) a monitorar a qualidade da água. Agora o sistema está começando a ser usado também por gestores de saneamento e planejamento urbano, bem como pela sociedade civil e cidadãos interessados em conhecer e melhorar o acesso à água, com qualidade e segurança. *O atlas Água Brasil – Sistema de Avaliação da Qualidade da Água, Saúde e Saneamento* está disponível no endereço: <http://www.aguabrasil.icict.fiocruz.br>, com links para o MS e oferece tanto ao gestor em saúde, quanto ao cidadão, dados que podem nortear as políticas públicas para o setor.

FONTE: FIOCRUZ

Endereço na internet: [www.fiocruz.br/ccs/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=4549...9](http://www.fiocruz.br/ccs/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=4549...9)



No relatório, além de uma avaliação abrangente dos recursos hídricos do mundo, há a descrição das principais mudanças, incertezas e riscos que ocorrem no mundo e suas ligações com os recursos hídricos

## Reator único remove nitrogênio e reduz carbono de esgotos

Um único reator que transforma o nitrogênio presente no esgoto em gás e que, ao mesmo tempo, reduz a quantidade de matéria orgânica acaba de ser desenvolvido na Escola de Engenharia de São Carlos (EESC). O sistema, concebido pelo engenheiro ambiental Rafael Brito de Moura, é uma continuidade de outros estudos realizados por pesquisadores do Laboratório de Processos Biológicos, localizado na Área 2 da USP de São Carlos (local onde ele trabalha). O equipamento remove o nitrogênio e reduz a quantidade de carbono de forma mais simples e com menor custo.

O sistema é descrito na dissertação de mestrado *Desempenho de um reator vertical de fluxo contínuo e leito estruturado com recirculação do efluente, submetido à aeração intermitente, na remoção de carbono e nitrogênio de um efluente sintético*, defendida na EESC e orientada pelo professor Eugenio Foresti.

Fonte: Agência USP

<http://www.usp.br/agen/?p=93944>



Poliuretano é usado como suporte para desenvolvimento de bactérias

## Maio 2012

|       |   |   |  |
|-------|---|---|--|
| 07-11 | Feira IFAT 2012   | Exibitor Center<br>MunIQUE - Alemanha<br><a href="http://www.ifat.de">http://www.ifat.de</a>  |   |
| 13-18 | World Congress on Water,<br>Climate and Energy                    | Dublin Convention Centre<br>Dublin/Ireland<br><a href="http://iwa-wcedublin.org/about-dublin-venue/?postTabs=2">http://iwa-wcedublin.org/about-dublin-venue/?postTabs=2</a> |   |
| 13-22 | RIO+20  | <a href="http://www.rio20.gov.br/sobre_a_rio_mais_20">http://www.rio20.gov.br/sobre_a_rio_mais_20</a>   |   |
| 17-18 | 1 stbulgarian national<br>young water professionals<br>conference | Sofia, Bulgaria<br><a href="http://2012.ywp-bulgaria.com/">http://2012.ywp-bulgaria.com/</a>  |   |
| 23-25 | WaterLossEurope 2012  | Ferrara, Italia<br><a href="http://www.waterlosseurope.com">http://www.waterlosseurope.com</a>  |  |

## Junho 2012

|       |  |   |   |
|-------|--|---|---|
| 03-06 | XXXIII Congresso<br>Interamericano de<br>Engenharia Sanitária<br>e Ambiental - AIDIS | Centro de Convenções do<br>Hotel Pestana Salvador /BA<br><a href="http://www.aidis.org.br/htm/port_htm/noticias_xxxiii_congressoaidis.html">http://www.aidis.org.br/htm/port_htm/noticias_xxxiii_congressoaidis.html</a>  |  |
| 05-07 | ECWATECH 2012 -<br>International Water<br>Forum 'Water: Ecology<br>and Technology'   | Crocus Expo, Moscou, Russia<br><a href="http://www.ecwatech.com/">http://www.ecwatech.com/</a>  |  |
| 06-08 | Aquatech China   | Shanghai World Expo<br>Exhibition And Convention<br>Center<br>Shangai, China<br><a href="http://www.biztradeshows.com/trade-events/aquatech-china.html">http://www.biztradeshows.com/trade-events/aquatech-china.html</a> |  |
| 18-20 | ADVANCES IN PARTICLE<br>SEPARATION - SCIENCE,<br>TECHNOLOGIES, PRACTICE              | Berlim, Alemanha<br><a href="http://www.iwahq.org/ss/events/iwa-events/2012/particle-separations-2012.html">http://www.iwahq.org/ss/events/iwa-events/2012/particle-separations-2012.html</a>                             |  |

|                    |   |   |  |
|--------------------|---|---|--|
| 25-28              | Econotechnologies for wastewater treatment - Technical, Environmental and Economic Challenges | Escola Técnica Superior de Enxeñaría<br>Santiago de Compostela,<br>Espanha<br><a href="http://www.novedar.com/ecoSTP/venue-school-of-engineering.asp">http://www.novedar.com/ecoSTP/venue-school-of-engineering.asp</a>   |  <p><b>ecoSTP</b><br/>EcoTechnologies for<br/>Wastewater Treatment<br/>Technical, Environmental &amp; Economic Challenges</p>   |
| 26-29              | SIDISA 2012 - Sustainable Technology for Environmental Protection                             | Milão, Itália<br>CARIPLO Foundation<br>Conference Center<br><a href="http://www.sidisa2012.it/">http://www.sidisa2012.it/</a>   |  <p><b>SIDISA</b></p>   |
| 26-28              | 1st International Conference on Integrative Sciences and Sustainable Development of Rivers    | Lyon, França<br>Web: <a href="http://www.isrivers.org">www.isrivers.org</a>   |  <p><b>I.S. INTEGRATIVE SCIENCES</b><br/><b>Rivers</b><br/>RECHERCHES ET ACTIONS</p>  |
| <b>Julho 2012</b>  |   |   |  |
| 01-05              | Singapore International Water Week 2012   | Sands Expo and Convention Center<br>Marina Bay Sands<br>Singapura<br><a href="http://www.siww.com.sg/water-convention">http://www.siww.com.sg/water-convention</a>  |  <p>Singapore International Water Week<br/>Water Solutions for Liveable and Sustainable Cities<br/>1-5 July 2012<br/>Marina Bay Sands Convention Centre</p>                          |
| 02-04              | SERA 2012   | Coimbra, Portugal<br><a href="http://www.serea2012.org/pt/index.htm">http://www.serea2012.org/pt/index.htm</a>  |  <p><b>SERA 2012</b><br/>Seminário Sétimo Anual do Sistema de Engenharia de Saneamento<br/>Coimbra, 2 a 4 de Julho</p>  |
| 08-13              | II COBESA - Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental                              | Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), BA<br><a href="http://www.maasa.eng.ufba.br/eventos/ii-congresso-baiano-de-engenharia-sanitaria-e-ambiental">http://www.maasa.eng.ufba.br/eventos/ii-congresso-baiano-de-engenharia-sanitaria-e-ambiental</a> |  <p><b>II COBESA</b><br/>CONGRESSO BAIANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL</p>   |
| <b>Agosto 2012</b> |   |   |  |
| 06-08              | XXIII Encontro Técnico AESabesp e FENASAN 2012  | Pavilhão Branco do Expo-Center Norte, em São Paulo - SP<br><a href="http://www.fenasan.com.br">http://www.fenasan.com.br</a>  |  <p><b>AESABESP</b><br/>Associação Brasileira de Engenharia de Saneamento e Meio Ambiente<br/><b>FENASAN</b><br/>Federação Nacional de Engenharia de Saneamento e Meio Ambiente</p> |
| 13-15              | XXVII Nordic Hydrological Conference - Nordic Water 2012                                      | Oulu, Finland<br><a href="http://nhc2012 oulu.fi/">http://nhc2012 oulu.fi/</a>  |  <p><b>NHF</b></p>  |

19-23

26th IAHR Symposium  
on Hydraulic Machinery  
and Systems

Beijin, China  
<http://www.26iahr.org/>



---

**Setembro 2012**

03-07

9th International  
Conference on Urban  
Drainage Modelling

Belgrado, Servia  
<http://hikom.grf.bg.ac.rs/ocs/index.php/9UDM/9UDM>



05-07

RiverFlow2012

San Jose, Costa Rica  
<http://www.riverflow2012.org/home.html>



09-12

Distribution Systems  
Symposium & Exposition  
(DSS) 2012

Hilton St. Louis at the  
Ballpark,  
<http://www.awwa.org/Conferences/dss.cfm?ItemNumber=3505&navItemNumber=29407>



15

XVI Congresso Brasileiro  
de Mecânica dos Solos e  
Engenharia Geotécnica –  
COBRAMSEG e V Simpósio  
Brasileiro de Jovens  
Geotécnicos - GEOJOVEM

Summerville Beach Resort  
Porto de Galinhas, PE  
<http://www.cobramseg2012.com.br/principal/>



16

IWA World Water  
Congress & Exhibition  
2012 - Busan, Korea

Busan, South Korea



17

The World Solid Waste  
Congress 2012

Florença, Italia  
[www.iswa2012.org/](http://www.iswa2012.org/)

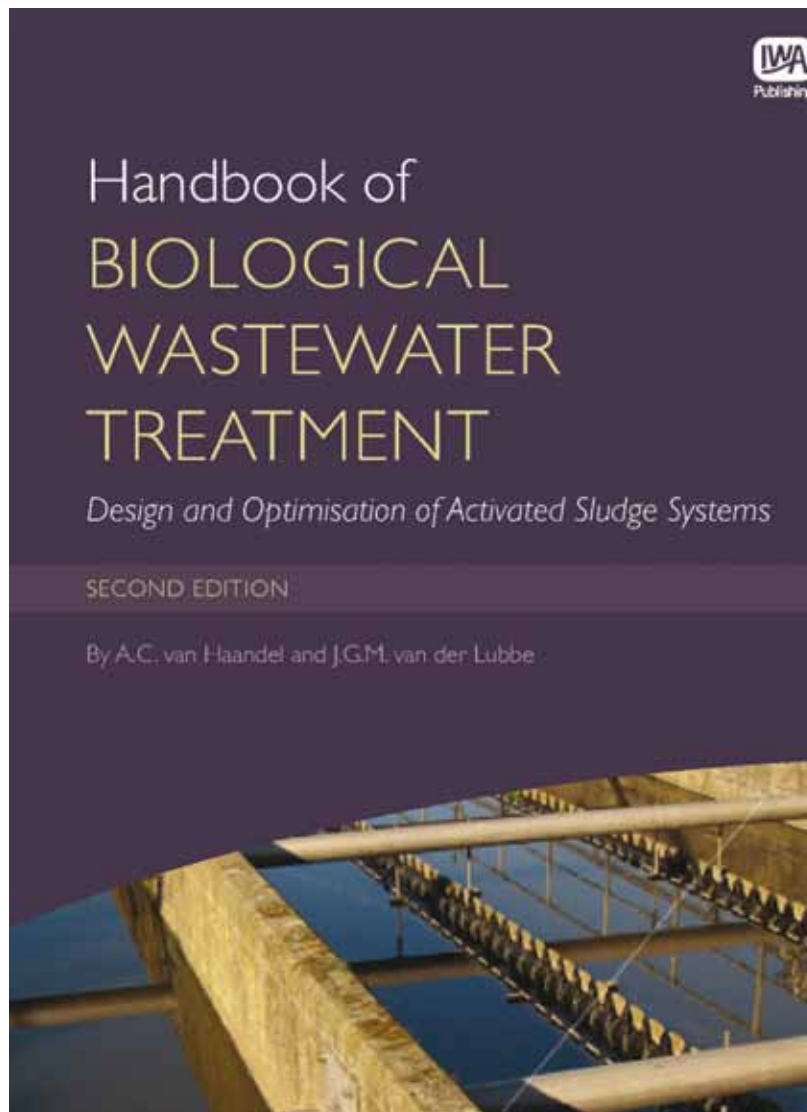


21

LICENCIAMENTO  
AMBIENTAL E  
RESPONSABILIDADE À LUZ  
DA PORTARIA 2914-MS

Auditório da ABES-SP  
R. Eugênio de Medeiros, 242 -  
6º andar  
[www.abes-sp.org.br](http://www.abes-sp.org.br)





## **Handbook of Biological Wastewater Treatment: Second Edition**

Design and Optimisation of Activated Sludge Systems

Autores: Adrianus van Haandel e Jeroen van der Lubbe

Editora: IWA Editors

### **SINOPSE**

O escopo desta edição nova e abrangente do manual de de tratamento biológico de águas residuárias a partir da concepção de projeto completo de um sistema de lodos ativados; decantadores finais, unidades auxiliares de espessamento de lodo (adensadores de lodo e digestores) e unidades para pré-tratamento, tais como decantadores primários e reatores UASB.

O livro apresenta a teoria do estado-da-arte sobre os vários aspectos do sistema de lodos ativados e desenvolve procedimentos para o projeto de otimização do processo incluído remoção de nutrientes, baseado no custo real de operação. Ele oferece um método de projeto verdadeiramente integrado, baseado em custos que podem ser facilmente implementados em planilhas excel, facilmente adaptáveis às necessidades específicas do usuário.

Manual de Tratamento de Efluentes Biológicos: SecondEdition incorpora um material valioso que melhora as qualidades instrutivas da primeira edição. O livro tem uma nova estrutura que torna o material mais compreensível e os numerosos exemplos adicionais tornam o texto mais claro e de fácil compreensão.

Mais informações: <http://www.iwapublishing.com>

## Operações Unitárias em Sistemas Particulados e Fluidomecânicos

Autor: Marco Aurélio Cremasco

Editora: Blucher

### SINOPSE

Este livro está inserido no campo de conhecimento das operações unitárias relativas ao fenômeno de transporte de quantidade de movimento. Aborda um conjunto de operações que envolvem o transporte de fluido e a interação física fluido-partícula em operações de transporte, mistura e separação mecânica entre fases sólido-fluido e entre particulados distintos. O livro é dividido em duas partes: sistemas fluidomecânicos e sistemas particulados. São apresentadas noções sobre sistemas fluidomecânicos na movimentação de fluidos por meio de bombas, compressores e sopradores. Já os sistemas particulados estão presentes na caracterização de particulados, na dinâmica de partícula isolada, na fluidodinâmica da mistura fluido-partícula, assim como na separação mecânica de particulados por meio de câmaras de poeira e de equipamentos ciclônicos; no escoamento de fluidos através de leitos fixos e fluidizados; transporte pneumático e hidráulico de sólidos e na separação sólido-fluido por meio da sedimentação e da filtração. A proposta desse livro é a de apresentar, de forma simultânea, a formulação básica dos fenômenos que aparecem nessas operações unitárias e a sua aplicação tecnológica. Esta obra pode ser utilizada em cursos de graduação e de pós-graduação, bem como material de apoio aos profissionais de engenharia química, agrícola, de alimentos, de produção, mecânica, química tecnológica entre outras profissões.

Mais informações: [http://blucher.com.br/newsletter/operacoes\\_unitarias/news%20opera%C3%A7oes%20unitarias2.html](http://blucher.com.br/newsletter/operacoes_unitarias/news%20opera%C3%A7oes%20unitarias2.html)



## Elaboração de Trabalhos Acadêmicos: Normas, Critérios e Procedimentos

Autores: Marise Teles Condurú e José Almir Rodrigues Pereira

Editora: NUMA/UFPA/EDUFPA

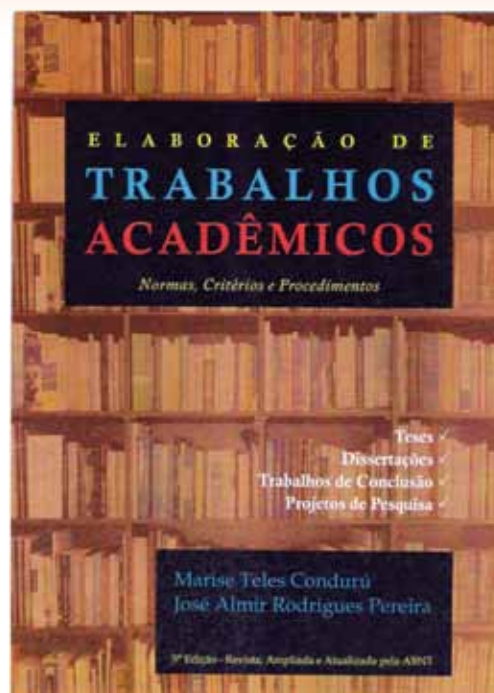
### SINOPSE

Este livro orienta como elaborar e normalizar trabalhos de conclusão de cursos de graduação e de especialização, de dissertações de mestrado e de teses de doutorado em qualquer área do conhecimento, de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Também aborda as formas de pesquisa, as etapas do projeto de pesquisa e as diretrizes para a elaboração de pôsteres para eventos técnico-científicos.

Edição: 5ª edição revista, ampliada e atualizada pela ABNT

Quantidade de páginas: 286 p.

Mais informações: <http://www.portal.ufpa.br/imprensa/noticia.php?cod=4238>





## Mudança do Clima – Desafios jurídicos, econômicos e socioambientais

Coordenação: Solange Teles da Silva, Sandra Cureau e Márcia Dieguez Leuzinger

Editora: FIUZA

### SINOPSE

A mudança climática coloca-se como o maior dos desafios para a humanidade no século XXI, já que os combustíveis fósseis, alicerce da economia mundial, são igualmente a força motriz do aquecimento global. É certo que o clima sofreu variações, ao longo dos séculos, em decorrência de fenômenos naturais, entretanto, pesquisas e simulações evidenciam que são as emissões antrópicas excessivas dos gases de efeito estufa que podem provocar mudanças permanentes e irreversíveis no sistema climático. Tais alterações afetarão a vida de todos, em todos os Estados, notadamente a vida das populações mais pobres e, e provocarão danos aos ecossistemas, conflitos pelos recursos naturais e pressões migratórias entre outras consequências.

As reflexões aqui apresentadas a partir de diversos prismas de distintas áreas do saber discutem estratégias de mitigação e adaptação aos efeitos da mudança do clima e constituem o resultado de uma parceria entre diversos grupos de pesquisa do CNPq, instituições de ensino superior nacionais e americanas, Ministério Público Federal e organizações não-governamentais.

Mais informações: [http://www.editorafiuza.com.br/mais\\_inf.asp?id=86](http://www.editorafiuza.com.br/mais_inf.asp?id=86)



## Águas de Chuva - 3ª Edição Revista e Ampliada

Autor: Manoel Henrique Campos Botelho

Editora: Blucher



### SINOPSE

O escopo desta edição nova e abrangente do manual de de tratamento biológico de águas residuárias a partir da concepção de projeto completo de um sistema de lodos ativados; decantadores finais, unidades auxiliares de espessamento de lodo (adensadores de lodo e digestores) e unidades para pré-tratamento, tais como decantadores primários e reatores UASB.

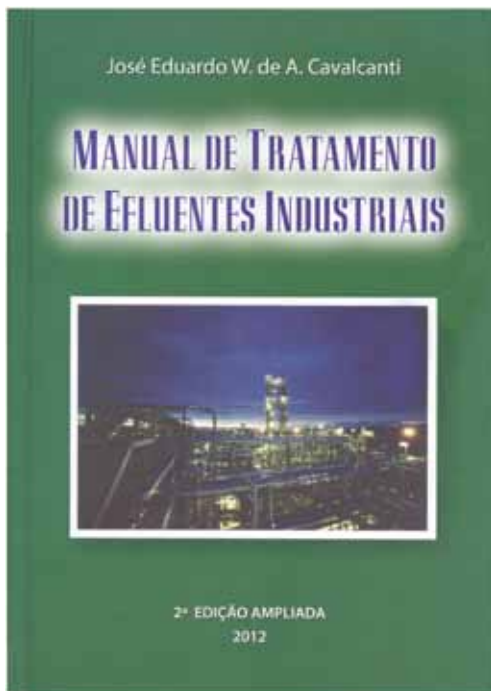
O livro apresenta a teoria do estado-da-arte sobre os vários aspectos do sistema de lodos ativados e desenvolve procedimentos para o projeto de otimização do processo incluído remoção de nutrientes, baseado no custo real de operação. Ele oferece um método de projeto verdadeiramente integrado, baseado em custos que podem ser facilmente implementados em planilhas excel, facilmente adaptáveis às necessidades específicas do usuário. Manual de Tratamento de Efluentes Biológicos: SecondEdition incorpora um material valioso que melhora as qualidades instrutivas da primeira edição. O livro tem uma nova estrutura que torna o material mais compreensível e os numerosos exemplos adicionais tornam o texto mais claro e de fácil compreensão.

Mais informações: <http://www.blucher.com.br/livro.asp?Codlivro=05968>

## Manual de Tratamento de Efluentes Industriais

Autor: José Eduardo W. de A. Cavalcanti

Editora: Engenho



### SINOPSE

A Série Sustentabilidade surgiu a partir da análise do panorama histórico com o início do conceito de desenvolvimento sustentável, formulado pela Comissão Brundtland em 1970, até o evento da Agenda 21 com enorme influência no mundo em todas as áreas, reforçando o movimento ambientalista. A série, escrita por renomados pesquisadores nacionais que apresentam análises do impacto do conceito de desenvolvimento sustentável no Brasil, é coordenada pelo prof. José Goldemberg e tem como objetivo analisar o que está sendo feito para evitar um crescimento populacional sem controle e uma industrialização predatória, em que a ênfase seja apenas o crescimento econômico, bem como o que pode ser feito para reduzir a poluição e os impactos ambientais em geral, aumentar a produção de alimentos sem destruir as florestas e evitar a exaustão dos recursos naturais por meio do uso de fontes de energia de outros produtos renováveis. Neste volume 9 – Antártica e as Mudanças Globais, os autores tratam da região antártica, que é parte integral do sistema ambiental global. As vastas massas de gelo polar e as águas do oceano circundante estão entre os principais controladores do clima da Terra. Este livro aborda o papel do continente antártico e do Oceano Austral no sistema ambiental, as evidências de variações climáticas e na química atmosférica no passado, os sinais de rápidas mudanças observadas nas últimas décadas e as respostas da biota polar.

Mais informações: <http://www.blucher.com.br/livro.asp?Codlivro=06118>

### Antártica e as Mudanças Globais: Um desafio para a Humanidade Série Sustentabilidade vol. 9 Geoquímica de águas subterrâneas

Autores: Jefferson Cardia Simões, Heitor Evangelista, Lúcia de Siqueira Campos, Maurício Magalhães Mata, Carlos Alberto Eiras Garcia, Ulisses Franz Bremer

Editora: Blucher

### SINOPSE

Este livro contém as necessidades e funções dos sistemas de drenagem pluvial nas cidades e nas estradas. Trata também a explicação dos vários componentes dos sistemas de drenagem pluvial e, ainda, das especificações de projetos, hidráulica dos canais etc. Aborda também especificações de projeto mais comumente adotadas nas prefeituras das mais importantes cidades e pelos vários órgãos ligados a sistemas de estradas \* Especificações de construção dos sistemas pluviais \* Diferentes e curiosas soluções pluviais \* Tópicos práticos de hidrologia \* Hidráulica dos canais

Mais informações: <http://www.blucher.com.br/livro.asp?Codlivro=05968>



# EM 2012

## VOCÊ TEM ENCONTRO MARCADO COM A INOVAÇÃO TECNOLÓGICA NO SETOR DE MEIO AMBIENTE

06 a 08 de agosto de 2012

Pavilhão Branco do Expo Center Norte • São Paulo • SP



Nos mais de 17 mil metros quadrados do Pavilhão Branco do Expo Center Norte os visitantes terão a oportunidade de conhecer os avanços em produtos e serviços no setor de saneamento ambiental, distribuídos em mais de 190 expositores na **Fenasan 2012**.

Paralelamente, o **XXIII Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente - Encontro Técnico AESabesp** promoverá a discussão de políticas públicas e a fomentação do desenvolvimento tecnológico do saneamento ambiental e de produtos empregados em sistemas difundidos no Brasil e do Exterior no setor de saneamento.



**AGENDE-SE!**  
PARTICIPE!

[www.fenasan.com.br](http://www.fenasan.com.br)

Promoção



Apoio



Organização e comercialização



Informações

11 3868 0726  
fenasan@acquacon.com.br

Apoio institucional





**E você achando que 100% fosse o máximo que alguém pudesse se dedicar.**

**Sabesp 300%: 100% de água tratada, 100% de esgoto coletado e 100% de esgoto tratado.**

O saneamento transforma a vida das pessoas. Por isso, não medimos esforços para levar, até 2014, o Sabesp 300% para todos os municípios do interior atendidos pela Sabesp. E, até 2018, para todas as outras cidades atendidas por nós. Saiba mais acessando [www.sabesp.com.br/RS2011](http://www.sabesp.com.br/RS2011)

