Uma publicação da Cia.
de Saneamento Básico do
Estado de São Paulo
//distribuição gratuita

sabesp

revista DAE

#178
ano LXXI
set.08
ISSN 0101 – 6040

Sinais dos tempos

O que esperar das empresas de saneamento quando o foco está voltado para investimentos em tecnologias e políticas de inovação

/// e mais

O setor de Saneamento pode ter um índice exclusivo para tomada de preços. Conheça prós e contras.

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 1 9/9/2008 17:29:18

/// nesta edição

DAE
setembro

04 Os rumos do saneamento no país. Analistas apontam o que há de novo em tecnologia e inovação e indicam os perigos para quem não se preparar para o futuro.

08 Presidente da AESBE propõe a criação de um índice de preços exclusivo que identifique a evolução dos custos do saneamento brasileiro. Mercado debate a iniciativa.

12 **Notas –** Conama aprova resolução para incidentes com óleo. Leia também várias outras novidades do setor.

16 Calendário de Eventos

18 Publicações

21 Ensaio: A cobrança pelo uso da água no saneamento – por Francisco José Lobato da Costa e Carolina de Oliveira Lobato da Costa

Artigos Técnicos

22 Influência da pré-oxidação com cloro e dióxido de cloro de água contendo substâncias húmicas aquáticas na coagulação-filtração e na formação de subprodutos orgânicos halogenados

32 Avaliação de desempenho mecânico de tubos de concreto reforçado com fibras de aço

40 Avaliação de medidores de vazão com múltiplas tomadas de pressão na macromedição em sistemas de abastecimento de água

48 Determinação da composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares do município de São Carlos-SP

58 Irrigação da mamona (Ricinus communis L.) usando esgoto doméstico tratado e diferentes doses de nitrogênio e potássio

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 2 27/8/2008 14:53:06

Objetivos alcançados

É com grande satisfação que chegamos à Edição número 178 com uma coletânea de artigos técnicos selecionados pelos pareceristas a partir de um rigoroso exame que contou com novidades tecnológicas no processo de envio e comunicação no trâmite de avaliação dos artigos. Atualmente somamos uma equipe de mais de 50 profissionais, representantes das mais importantes e reconhecidas instituições de ensino e pesquisa do país.

São eles que verificam se os artigos apresentados abordam temas de interesse à área de engenharia sanitária e ambiental; se os assuntos escolhidos tratam sobre questões que estão em estágio de desenvolvimento tecnológico cujas experiências poderão ser utilizadas em escala real; dentre outros critérios.

A logística de análise e seleção de artigos foi um grande desafio conquistado pela revista. Nossa proposta era criar um programa exclusivo que permitisse aos pareceristas examinarem os textos sem que, para isso, tivessem acesso ao nome e referência do avaliado. Na outra ponta, os autores poderiam acompanhar passo a passo o julgamento do seu artigo encaminhado e também terem acesso à programação de publicação.

O programa já está funcionando e começa a atrair o interesse de vários órgãos acadêmicos pois garante a necessária isenção, credibilidade e transparência na tramitação dos dados.

O site da Revista (www.revistadae.com.br) foi remodelado para se tornar uma central de informações voltada para a área de saneamento e meio ambiente. Além disso, disponibilizamos a leitura de todos os resumos dos artigos técnicos publicados desde a primeira edição da DAE, em 1936. Caso o usuário tenha interesse em receber o artigo completo pode fazer a solicitação on line que receberá um arquivo com o texto.

Também colocamos no site todas as edições publicadas a partir do relançamento da revista, em setembro do ano passado. Ao todo, são três exemplares que poderão ser "folheados virtualmente" na íntegra.

O incremento dos serviços e ferramentas desenvolvidas para o leitor da DAE vem evoluindo sistematicamente a cada edição. Em breve iremos anunciar outro grande desafio para a revista que, por incentivo da presidência da Sabesp, pretende ampliar e diversificar o seu número de leitores.

Se, de um lado, buscamos aprimorar tecnologicamente nossa comunicação com o público, de outro investimos cada vez mais em matérias instigantes e antenadas com as discussões mais pertinentes do setor. Não temos a menor intenção de fugir das polêmicas. Pelo contrário. São elas que alimentam a linha editorial da DAE.

Nesta edição, trazemos duas matérias institucionais. Na primeira, falamos sobre a possibilidade de criação de um índice exclusivo de medição dos custos do saneamento. Representantes de classe e intelectuais debatem a questão ressaltando pontos positivos e negativos da medida.

Na segunda reportagem apresentamos um panorama sobre as políticas de investimento e tecnologia por parte das empresas de saneamento do Brasil. Ambos os temas recebem elogios e duras críticas. Portanto, visões antagônicas são postas em xeque para que o leitor possa formular a sua tese a respeito de assuntos pertinentes que estão sendo (ou serão) discutidos pelo setor.

Na parte acadêmica, os artigos técnicos trazem reflexões sobre reúso agrícola de esgoto doméstico tratado e caracterização de resíduos domiciliares, novas tecnologias de materiais para tubulações de esgoto, macromedição, subprodutos de desinfecção. Portanto, é com orgulho e com a certeza de que oferecemos um bom produto que desejamos a todos uma BOA LEITURA.

sabesp
Cia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
TRABALHANDO POR VOCÊ

Expediente

DAE

Revista DAE Nº 178
www.revistadae.com.br

EDIÇÃO
Superintendência de Comunicação
Rua Costa Carvalho, 256, Pinheiros, 05429 000 - São Paulo SP
Tel (11) 3388 8276 / Fax (11) 3814 5716
http://www.sabesp.com.br

SUPERINTENDENTE
Raul Christiano

GERENTE DE IMPRENSA E COMUNICAÇÃO INTERNA
Sérgio Lapastina

JORNALISTA RESPONSÁVEL
Raul Christiano MTB 14.455

CONSELHO EDITORIAL
Coordenação: Américo Sampaio, da Sabesp.
Profª Emilia Wanda Rutkowiski (Unicamp), Prof. Pedro Além Sobrinho (USP), Prof. José Roberto Campos (USP), Prof. Dib Gebara (Unesp), Prof. Wanderley S. Paganini (USP e representante da Sabesp), Prof. Marcos Tadeu (USP e representante do Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT), Prof. Cleverson Vitório Andreoli (Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar), Prof. Eduardo Pacheco Jordão (Universidade Federal do Rio de Janeiro), Prof. Rafael Kospchitz Xavier Bastos (Universidade Federal de Viçosa).

TEXTOS E EDIÇÃO
Luciana Canuto

APOIO
Rosemary Goulart

FOTOS
Odair Marcos e Acervo

DIAGRAMAÇÃO
Wellington Rocha

GRÁFICA
Studio Pro Soluções Gráficas

TIRAGEM
3.500 Exemplares

PERIODICIDADE
Quadrimestral

DATA
Setembro de 2008

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 3 11/9/2008 09:07:36

O futuro do saneamento

“Fazer mais com menos é o principal desafio do setor. Para tal, torna-se fundamental investir em tecnologia e inovação”

A Lei n° 11.445 (Jan. 2007) aponta para a universalização do saneamento no país. Empresas terão que se adequar.

O setor de saneamento básico brasileiro vivencia um claro ponto de inflexão em sua trajetória: de um lado os prestadores de serviços participantes do Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS-fonte 2006) comemoram uma receita operacional total de R$ 22,5 bilhões, respondem por aproximadamente 420 mil empregos diretos e indiretos e propiciam o acesso de mais de 90% da população urbana a redes de abastecimento de água.

O revés é que a qualidade dos serviços prestados no país ainda deixa a desejar: nível médio de perdas - físicas e comerciais - superior a 45%; indicadores operacionais e gerenciais insatisfatórios; precariedade no atendimento rotineiro, resultando em prazos excessivamente longos e padrões insuficientes de atendimento aos usuários; reduzidos níveis de cobertura em coleta e, principalmente, em tratamento de esgotos.

Diante desse quadro é oportuna a discussão sobre quais são os rumos do segmento e o que há de novo para dirimir os principais problemas. Os estudiosos da área são unânimes em afirmar que não há outro caminho para as operadoras senão investirem em aprimoramento de tecnologias e políticas de inovação. Mas o que significa isso numa empresa de saneamento ?

O ambiente atual remete o saneamento básico a uma nova realidade. A escassez de água, as restrições ambientais, as questões relacionadas às mudanças climáticas, a percepção dos clientes referentes à prestação dos serviços (aqui incluído o preço e sua qualidade) e ao meio ambiente, além do custo de capital, são ingredientes a serem considerados pelos prestadores dos serviços.

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 4 27/8/2008 14:53:10

Há um cenário de inovação sendo montado, mas é preciso continuar nesse caminho e amadurecer. Os gestores precisam pensar em soluções de saneamento para comunidades carentes. Desenvolverem tecnologias novas que também sejam mais baratas

João Furtado
FAPESP

Foto: Eduardo César / Fapesp

Programa de inovação

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) desenvolveu há cerca de 10 anos o Programa de Apoio à Pesquisa em Parceria para Inovação Tecnológica (PITE). O projeto envolve conhecimentos científicos e técnicos, voltados para desenvolver ou aperfeiçoar produto, processo, sistema ou serviço com interesse empresarial ou social. A sistemática de trabalho é centrada na mobilização de unidades e instituições de pesquisa com o objetivo de atender demandas de soluções de setores de serviços.

Desde a sua criação, este programa já foi aplicado com êxito em diferentes tipos de empresas, como, por exemplo, do ramo petroleiro, indústria química, telefonia, etc. A partir de agora será desenvolvido também numa empresa de saneamento, no caso específico, na Sabesp- São Paulo (Leia a respeito no BOX 01 da página 07).

O professor João Furtado, coordenador do PITE-FAPESP, indica que o Brasil atravessa uma fase de estruturação de sistemas como um todo. Para ele, há um cenário de inovação sendo montado, mas é preciso continuar nesse caminho e amadurecer. "É só olharmos à nossa volta. A população já se beneficia em várias áreas com o aprimoramento tecnológico. Só para citar alguns exemplos podemos mencionar a implantação do programa de declaração de renda online, do voto eletrônico, da proliferação dos veículos bi/tri-combustíveis, etc, tecnologias que impactaram diretamente na vida do cidadão".

Grandes investimentos

Quando se fala em desenvolvimento tecnológico e em inovação para o saneamento, há que se levar em conta dois aspectos fundamentais: trata-se de investimentos de porte relativamente alto em infra—estrutura e em equipamentos e há forte interação entre as trajetórias tecnológicas e o quadro regulatório que orienta boa parte das decisões do setor. Assim, qualquer trabalho voltado à reflexão sobre política e gestão de tecnologia e inovação para este segmento deve considerar que a cadeia inovativa está pautada por essas duas questões, bem como pelas condicionantes políticas e sociais que envolvem o saneamento.

João Furtado analisa que os avanços na área são significativos mais ainda há muito para se fazer. Um dos desafios, esclarece, é pensar em soluções de saneamento nas áreas carentes, hoje grandes focos poluidores. "São sociedades que exigem tecnologias novas que, ao mesmo tempo, devem ser mais baratas".

Dados recentes sobre este mercado mostram que 53% da população brasileira não têm acesso a serviços de saneamento básico, sendo que o Estado de São Paulo tem o melhor índice médio de acesso à rede de esgoto (84%) e à água tratada. Entretanto, o Estado é o que também apresenta índices extremos de acesso a esgoto dentre os seus municípios: enquanto São Caetano tem mais de 98% dos domicílios assistidos, Canitar e Nova Independência, por exemplo, têm índices praticamente nulos de acesso. Além disso, o acesso à água tratada é maior, mas a qualidade da água varia segundo a região e o prestador do serviço.

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 5 27/8/2008 14:53:11

Gestão de serviços

Fazer mais com menos é realmente uma premissa apontada como um dos maiores desafios para o setor. O vice-presidente da Seção São Paulo da ABES, Lineu Andrade de Almeida, defendeu a mesma tese. Segundo ele, mais do que investir no aprimoramento das tecnologias, a área de saneamento deve investir na gestão dos serviços. Deve adotar tecnologias apropriadas, desenvolver tecnologias novas e incorporar os benefícios da informática em todos os processos da prestação do serviço para melhor atender o cliente, com qualidade, eficiência e eficácia.

Lineu Andrade adverte que atualmente a maior crise do setor está centrada na gestão dos serviços e, portanto, os prestadores deveriam investir na qualidade da administração, utilizando ferramental moderno de controle em todos os processos de sua estrutura para superar as suas deficiências, e não apenas nos processos técnicos.

O vice-presidente da Abes entende que o desenvolvimento e a ampliação da prestação do serviço em novos padrões trazem como benefício uma evolução tecnológica e uma ampliação do mercado. "Todos os processos do saneamento deverão evoluir. O tratamento dos esgotos precisará incorporar, para o seu desenvolvimento, os negócios e oportunidades envolvidos sob uma ótica da gestão regional dos resíduos", sustenta.

Para ele, o aproveitamento da água de reúso, a utilização do biossólido na agricultura, a geração de energia com a biomassa e o biogás, além da possibilidade da obtenção dos créditos de carbono, serão elementos decisivos na formatação do equacionamento da eficiência dos prestadores e na ampliação do atendimento nesse quesito. "O monitoramento, os cadastros técnicos e comerciais informatizados de forma amigável são suportes aos serviços de operação, manutenção e comerciais e dão velocidade, confiabilidade e satisfação desejada aos clientes", exemplifica.

A qualidade dos serviços prestados no país é precária. Além disso, o nível médio de perdas é superior a 45%

O setor de saneamento tem incorporado muitas soluções alternativas e de baixo custo, o que falta é disseminar essas soluções

Avaliação

As tecnologias utilizadas em saneamento e em distribuição de água são de natureza variada, incluindo processos químicos, biológicos e físicos. Além disso, trata-se de um assunto com um extenso e diversificado quadro legal, que engloba interesses econômicos, ambientais e sociais nos âmbitos de ação pública e privada. O Departamento de Política Científica e Tecnológica da Unicamp fez uma avaliação do Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (Prosab) do Governo Federal.

Neste trabalho, os pesquisadores radiografaram os grupos e atividades de P&D no Brasil, assim como as tecnologias geradas e transferidas para as empresas e organizações que operam serviços de saneamento básico e de oferta de água tratada. Constataram a existência de competências em número e em qualidade expressivos no país, mas um baixo nível de transferência e adoção das tecnologias desenvolvidas.

Portanto, percebe-se que há uma infra-estrutura já preparada para a implantação de novas políticas tecnológicas nas empresas. É oportuno destacar que vive-se hoje uma realidade do saneamento em que as empresas, forçosa ou voluntariamente, terão que mudar de comportamento. A Lei n° 11.445, de 5 de janeiro de 2007, tem como alguns de seus objetivos fomentar o desenvolvimento científico e tecnológico e a difusão dos conhecimentos de interesse para o saneamento básico. Além desse viés explícito do desenvolvimento tecnológico, essa lei aponta para a universalização do saneamento com uma prestação de serviços regulada. Conceito que trará ao setor uma nova dimensão de mercado.

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 6 27/8/2008 14:53:15

PITE Sabesp

A mudança de paradigmas nas empresas de saneamento ainda está longe de ser uma realidade generalizada, mas a maioria já percebeu que o novo mercado estará cada vez mais desafiado. A Sabesp, por exemplo, acaba de instituir uma parceria com a Unicamp para desenvolver o seu Programa de Apoio à Pesquisa em Parceria para Inovação Tecnológica (PITE). A coordenação dos trabalhos será feita pelo engenheiro Sérgio Salles Filhos, como representante da Unicamp, e pelo engenheiro Américo Sampaio, da Companhia.

O trabalho será realizado num período de um ano e irá englobar várias ações como a estruturação do núcleo de inovação da empresa, a criação de uma política corporativa de propriedade intelectual, o desenvolvimento de uma estratégia de financiamento para a inovação, dentre outras diretrizes.

Sérgio Salles Filho resume o trabalho dizendo que a idéia é "criar ações novas e melhorar os processos já existentes". O engenheiro ainda lembra que a Sabesp é uma das pioneiras do setor a investir em inovação e alerta que essa premissa representa atualmente o patamar mínimo para a competitividade, em qualquer que seja a área de atuação empresarial.

Américo Sampaio explica a preocupação da Sabesp em adotar uma nova política de inovação lembrando que, apesar da empresa estar no topo da prestação de serviços no Brasil, ela tem muito a crescer comparada com outros países. "Se pegarmos os índices internacionais, vemos que há muito para se fazer ainda. Por isso não estamos parados e focamos num padrão de excelência", conclui.

Equipe da Unicamp inicia na Sabesp o Programa de Apoio à Pesquisa em Parceria para Inovação Tecnológica

Radiografia

O pesquisador da Fiocruz Valdemar Araújo traçou uma radiografia da trajetória da política de saneamento básico no país e concluiu que o setor foi marcado ao longo dos anos por um grande conservadorismo tecnológico. Para ele, há duas principais razões para isso. Primeiro, o setor de equipamentos pesados que atua como fornecedor de insumos, máquinas e equipamentos é extremante concentrado e com características oligopolísticas, principalmente entre os fornecedores de materiais mais sofisticados e que se utilizam de insumos siderúrgicos mais complexos.

Segundo, a cadeia produtiva do saneamento é muito definida a partir das relações estabelecidas entre as grandes indústrias e as grandes empresas regionais de saneamento, que detêm mercados cativos nos estados. Tradicionalmente essas relações foram mediadas tanto pelo caráter monopolístico das operadoras dos serviços quanto pela sua condição de empresas públicas que, em muitos casos operam a partir de políticas tarifárias subsidiadas. Esse quadro contribuiu, até recentemente, para que o setor operasse a partir de um padrão tecnológico conservador.

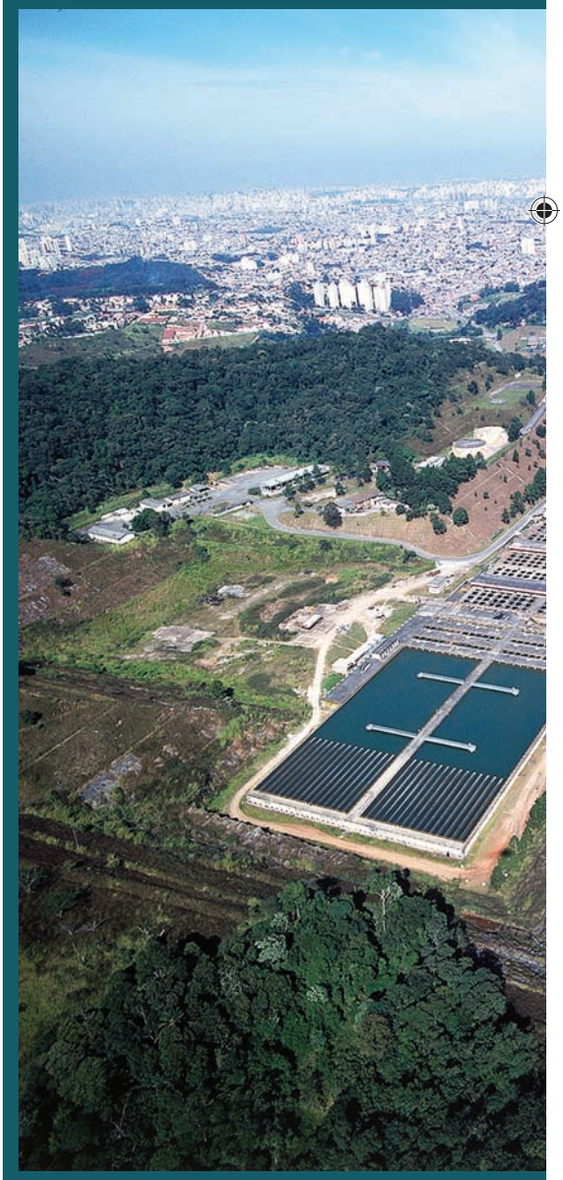
Mas com a consolidação da questão ambiental e a importância crescente da necessidade de universalizar e melhorar a qualidade dos serviços de saneamento no país, as grandes operadoras dos serviços de saneamento passam a ser pressionadas por incrementar sua eficiência operacional e sua efetividade ambiental. Hoje, o quadro de inovação no setor já é significativo, tanto no que se refere aos padrões tecnológicos das estações de tratamento de água e esgotamento sanitário quanto em relação aos componentes de distribuição e de adução ou afastamento de esgotos. "O setor de saneamento tem incorporado muitas soluções alternativas e de baixo custo, o que falta é disseminar essas soluções", indica Araújo.

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 7 27/8/2008 14:53:17

Um índice exclusivo para medir

Proposta começa a ser discutida no país. Expectativa é que o novo parâmetro poderá servir de referência para melhorar a gestão e eficiência do setor

Presidente da Aesbe lança discussão sobre a criação de um índice exclusivo para aferir a evolução dos custos de saneamento



O setor de saneamento básico, tão carente de investimentos expressivos para universalização dos serviços prestados, vem apresentando consecutivas quedas de faturamento real, atingindo, em 2004 uma redução acumulada de 24,4%. Esta é uma das conclusões do estudo elaborado pela Serasa, com uma amostra de demonstrativos contábeis de empresas de saneamento básico (água e esgoto), que abrangem a maioria dos estados e aproximadamente 70% dos municípios brasileiros, no período de 1997 a 2004.

Este desempenho é justificado tanto pelos efeitos das constantes campanhas para incentivar a redução do consumo de água, principalmente nas regiões Sudeste e Sul, bem como pela elevação das tarifas, fatores que levam os consumidores a migrarem para faixas de consumo inferiores.

Dentre os serviços públicos, porém, o saneamento básico é o que tem os menores valores de tarifas, para qualquer faixa de renda. Além disso, a elevação das tarifas, quando praticada, não tem sido suficiente para cobrir a real elevação de custos do segmento, levando a consecutivas quedas na geração de caixa, medida pelo EBITDA.

Quanto à rentabilidade das vendas, vale destacar que em 1999 e 2002 foi fortemente impactada pela desvalorização cambial, tendo as empresas sofrido elevados prejuízos. Somente a partir de 2003 o setor registrou, por dois anos consecutivos, lucratividade.

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 8
27/8/2008 14:53:32

os custos do saneamento no Brasil

Um novo índice

Em meio à divulgação no final do primeiro semestre deste balanço operacional produzido pelo Serasa sobre as empresas de saneamento, surge outra discussão extremamente oportuna a respeito dos índices do setor: a necessidade de criação de uma medição específica que identifique a evolução dos custos do saneamento em todo o país. A tese foi levantada pelo presidente da Associação das Empresas de Saneamento Básico Estaduais (AESBE), Stênio Jacob (também presidente da Sanepar), e já começa a ser debatida na sociedade.

Atualmente, a área de saneamento trabalha com o Índice Oficial de Custo da Construção Civil – INCC, que, segundo inúmeros representantes deste segmento, não reflete totalmente os custos dos componentes do setor. "É importante a criação de um índice de preços para o saneamento em função do volume da demanda de obras e da importância dos recursos que vêm sendo aplicados pelo governo nesta área", defendeu o presidente da Aesbe.

Segundo a pesquisadora titular da Fiocruz Clarice Melamed um índice como este é sempre bem vindo, principalmente se conseguir exercer o papel de referência para melhorar a gestão e a eficiência operacional dos concessionários. Mas ela faz um contraponto alertando que este instrumento não pode se transformar em mecanismo de repasse de custos para os consumidores, pois a água é um bem universal e, portanto, representa um direito de todos os cidadãos.

As tarifas devem ser subsidiadas, sim. Até porque existem comunidades que não podem arcar com praticamente nenhuma parcela dos custos operacionais das empresas. Mas, além dos recursos hídricos de qualidade representarem um direito fundamental da pessoa humana, deve-se observar os ganhos em termos de melhoria da qualidade de vida da população salientou Clarice que é pós-doutorada em Metodologias Quantitativas aplicadas às Ciências Sociais pela Universidade do Texas em Austin (EUA).

Custos desiguais

A pesquisadora ainda observa que atualmente os custos praticados regionalmente são desiguais e a criação do novo índice serviria para avaliar de forma padronizada e objetiva a eficiência operacional das empresas, possibilitando ao Governo estabelecer uma política de financiamento às operadoras de acordo com a sua eficiência. Outra vantagem é que poderia vir a estimular uma política de instalação de plantas industriais nas regiões onde há grandes déficits de serviços de saneamento e, para agravar, ausência de fornecedores locais de equipamentos para o setor.

O Presidente da Associação Brasileira das Concessionárias Privadas de Serviços Públicos de Água e Esgoto (Abcon), Yves Besse, faz uma leitura crítica a respeito dessa proposta. Para ele, o assunto tem que ser analisado com extremo rigor para não cair em descrédito. O presidente aponta que é necessário definir qual seria a utilidade do novo índice. Se for para avaliar os prestadores de serviços então poderia ser substituído por outro parâmetro a ser tirado do estudo da Participação do Setor Privado, um levantamento que está sendo feito por um grupo multi-setorial, financiado pelo governo brasileiro com recursos do Banco Mundial.

O Índice Oficial de Custo da Construção Civil – INCC, atualmente usado no saneamento, não reflete a realidade do setor

Sabesp Revista_DAE_Setembro_178.indd 9 27/8/2008 14:53:37

Atualmente, os custos praticados regionalmente são desiguais e a criação do novo índice serviria para avaliar de forma padronizada e objetiva a eficiência operacional das empresas

Clarice Melamed, pesqauisadora da Fiocruz

O presidente da Abcon acredita que os indicadores desse estudo, que avaliarão a PSP, poderão ser utilizados para avaliar os operadores municipais e estaduais numa segunda etapa. "Mas deve-se evitar sempre promover comparações entre estes segmentos, o que só traria conseqüências polêmicas e pouco produtivas para todos", propõe.

Yves ainda considera que, se for para criar regras para os reajustes de preço, o índice único deverá ser representativo dos serviços prestados. Isso porque, em média, 70% dos custos dos serviços são representados por 3 fatores: mão de obra, energia elétrica e produtos químicos. A grande questão é que a relação entre eles varia muito de operação a operação em função de característica local. "Portanto é bom deixar claro o objetivo desse índice para não gerar falsas conclusões. Quando há investimentos associados à prestação dos serviços, o assunto fica ainda mais complexo em face da grande variação do tipo de investimento: obras civis, eletromecânicas, automação, gestão de clientes, etc", exemplifica.

Para o dirigente da Abcon, a criação do referencial de preços no saneamento poderia sim definir uma base niveladora para os reajustes de tarifas. É necessário, no entanto, que ele preveja avaliações contratuais periódicas para corrigir os efeitos do índice ao longo do tempo. Yves diz que é importante, porém, não confundir base niveladora de reajuste com base niveladora de preço (ou tarifa no caso do saneamento).

Transparência

A base niveladora de tarifa traz em seu bojo a intenção de comparar tarifas. Um tipo de comparação muito complexa que, se mal feita, levará a conclusões totalmente errôneas. "Como o setor é marcado por ações ideológicas - que geram inúmeras falsas polêmicas entre os prestadores de serviço – eu recomendo fortemente que não se trilhe o caminho da comparação, mas o da transparência das tarifas e dos subsídios associados a ela. Isso sim seria uma grande revolução no nosso setor", destaca.

Mas ele vai mais além. Diz que muito melhor do que a criação de um índice seria adotar a transparência na definição das tarifas e de sua evolução no tempo. O presidente lembra que grandes investimentos e operações complexas necessitam provavelmente de tarifas mais elevadas do que nos pequenos investimentos e operações simples. Além disso, há o fator eficiência que deve ser levado em consideração. "No Chile, por exemplo, o governo não promove comparações entre empresas diferentes e sim entre um operador e seu equivalente virtual, criado a partir de modelos matemáticos complexos. Com esse instrumento, o regulador consegue avaliar a eficiência do trabalho e verificar se a tarifa praticada é adequada às obrigações contratuais do operador", conclui.

O gasto com o saneamento no país é uma preocupação. Em geral, inexiste planejamento adequado ao setor.

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 10 27/8/2008 14:53:39

Investimentos mal aplicados

A pesquisadora Clarice Melamed demonstra preocupação com a efetividade do gasto em saneamento. Para ela, os recursos investidos têm apresentado impactos muito inferiores aos esperados por uma gama de fatores. Entre eles, a inexistência de um planejamento adequado onde as áreas prioritárias para o desenvolvimento de novos projetos deveriam estar claramente explicitadas.

Clarice destaca que os projetos que são viabilizados com recursos a fundo perdido são os que têm apresentado mais problemas, seja pelo ciclo de maturação dos investimentos em saneamento, seja porque os tomadores finais dos recursos são efetivamente pouco cuidadosos na aplicação do dinheiro. "Mesmo incrementando significativamente o patamar de investimentos, se o Governo Federal não demonstrar capacidade de controle e acompanhamento das obras, drenar grande quantidade de recursos públicos para o saneamento pode gerar poucos resultados", alerta.

Ela ainda lembra que as políticas públicas no Brasil, principalmente a partir dos anos 90, não têm apresentado a capacidade de atingir os segmentos mais carentes da população. No caso do saneamento básico, especificamente a água, a cobertura da rede geral manteve-se estacionária na periferia das grandes regiões metropolitanas. Outro fator é que as companhias estaduais, salvo exceções, não desenvolvem programas destinados à melhoria da qualidade dos serviços dirigida, por exemplo, à diminuição da intermitência.

Um reflexo disso é que o número de famílias desassistidas está na casa dos milhões. "Podemos falar de um déficit de cobertura recorrente que tem sido um dos principais causadores, entre vários outros impactos negativos à saúde, bem como das mais recentes epidemias de dengue ocorridas no Rio de Janeiro e Nordeste. Em Recife, por exemplo, 85% dos criadores do mosquito estão associados a reservatórios de água destinada ao consumo humano", argumenta Clarice.

Gestão

A professora ainda acrescenta que um dos principais problemas do saneamento, assim como das políticas públicas em geral, está na reduzida capacidade de acompanhamento das ações na fase do processo de execução financeira. Para ilustrar, ela aponta a Caixa Econômica Federal e lamenta que, apesar do banco apresentar uma vasta gama de profissionais, muitos deles capacitados, ele não dispõe da necessária capilaridade. Isto se reflete na falta de acompanhamento do fluxo de recursos como, por exemplo, na movimentação do grande volume de investimentos que o PAC vem realizando pelo país.

Para Clarice, mesmo na fase decisória inicial relativa ao destino e contratação dos investimentos, a sistemática apresenta problemas derivados principalmente da ausência de integração horizontal entre os órgãos federais, bem como ausência de integração vertical na relação com estados e municípios. No exemplo específico do contexto institucional da política de saneamento, esta se encontra efetivamente dividida entre a CAIXA como agente operador da política urbana e o Ministério das Cidades como agente gestor. Além disso, o saneamento em cidades com menos de 50.000 habitantes está sob a coordenação da FUNASA. "Obviamente que o processo de especialização administrativa é necessário e desejável, desde que existam mecanismos satisfatórios de coordenação", pondera.

Yves Besse, presidente da Abcon: é bom deixar claro o objetivo desse índice para não gerar falsas conclusões

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 11 27/8/2008 14:53:48

O lixo das indústrias

A responsabilização da indústria sobre o destino do lixo pós-consumo deverá ser o balizador dos debates no Congresso Nacional para a consolidação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Isso porque foi criado recentemente na Câmara dos Deputados um grupo de trabalho para discutir o tema e gerar proposições. Este grupo tem realizado várias audiências públicas para aprofundar as questões que envolvem os projetos relacionados com esta Política Nacional em construção. Entre os assuntos em pauta estão: o princípio do poluidor pagador e da logística reversa, carga tributária e fiscal de reciclagem, entre outros.

Distrito Federal transforma esgoto em fertilizante

As 400 toneladas diárias de lodo de esgoto produzidas no Distrito Federal estão sendo transformadas em fertilizante. A tecnologia que permite esta inovação foi desenvolvida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Cerrado), cujas pesquisas realizadas comprovaram que esses resíduos, ricos em materiais orgânicos e nutrientes, podem ser usados na agricultura. Os insumos substituem os fertilizantes comuns, em especial os usados nas culturas de grão como milho, sorgo e soja. Para evitar qualquer risco de contaminação humana ou animal, a Embrapa está avaliando os parâmetros sanitários, em função de o lodo conter agentes patogênicos, como coliformes fecais. Mas as mais de 1.500 análises realizadas indicaram que o risco de contaminação, após 30 dias, é desprezível, já que esses agentes patogênicos não sobrevivem ao solo, onde estão plantadas as culturas de milho e soja que serão colhidas após 120 dias.

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 12 27/8/2008 14:51:02

Calcule pela web sua emissão de carbono na natureza

Quase ninguém no Brasil sabe mas já existe um instrumento online que permite calcular as emissões pessoais de carbono e auxiliar no enfrentamento das mudanças climáticas. A calculadora ACT ON CO2, que ajuda cada pessoa a conhecer o quanto emite de gás carbônico, foi criada pelo Departamento de Meio Ambiente, Alimentos e Assuntos Rurais (DEFRA), do Reino Unido. Ela foi lançada no último verão europeu e propicia aos interessados a possibilidade de conhecer a "pegada" de carbono gerada pelo uso de energia doméstica, eletrodomésticos e transporte. Além de levantar a quantidade de CO2 emitido, a ferramenta elabora um plano individual de atividades aos usuários, com ações práticas de redução de emissões.

Para acessar a ACT CO2 basta visitar o site www.direct.gov.uk/actonco2

Argamassa ambiental para construção civil

O Centro de Tecnologia Mineral (Cetem) e o Instituto Nacional de Tecnologia (INT), órgãos do Ministério da Ciência e Tecnologia, desenvolveram projeto de uma argamassa ambiental. Trata-se de uma alternativa ecológica e econômica para as 720 toneladas de resíduos finos ("pó de rochas") lançadas mensalmente pelas serrarias de rochas ornamentais nos riachos e rios do município de Santo Antônio de Pádua (RJ). O resultado prático do estudo dos dois institutos de pesquisa foi a inauguração da primeira fábrica de argamassa ambiental no Rio de Janeiro. A pesquisa para se chegar à argamassa ambiental foi realizada a partir da utilização dos resíduos produzidos pelas serrarias que cortam, à beira dos rios, rochas conhecidas como pedras miracema e madeira, para aproveitamento em revestimento de pisos e paredes na construção civil. A nova técnica, além de reciclar a água poluída, gera um resíduo sólido que, após secagem, pode ser utilizado na formulação da argamassa.

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 13 27/8/2008 14:54:05

Gás metano para geração de energia

O uso da geração de energia a partir do aproveitamento do gás metano (subproduto do tratamento de esgoto) já é uma realidade no país. A Sanepar inaugurou recentemente sua primeira estação de tratamento de esgoto adaptada para gerar energia elétrica a partir do uso da biomassa. A unidade piloto de energia renovável funciona na Estação de Esgoto Ouro Verde, em Foz do Iguaçu. O projeto é mais um passo para reduzir custos das empresas prestadora de serviços de água e esgoto, além de proteger o meio ambiente, reduzindo a carga de poluição lançada nos rios.

Reciclagem de PET em alta

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) publicou recentemente uma resolução que permite o uso de plástico reciclado de garrafas tipo PET para produção de embalagens de alimentos. Segundo dados do setor aproximadamente 51% de todo o material plástico é reciclado, deixando outras 184 milhões de toneladas produzidas por ano nos aterros e lixões. A resolução deverá aumentar a reciclagem desse material pois a probabilidade é que aumente a coleta do PET por parte dos catadores, já que vai haver um aumento da demanda do produto. A expectativa do mercado é que, com a mudança, a reciclagem de PET's venha a movimentar cerca de R$ 200 milhões por ano.

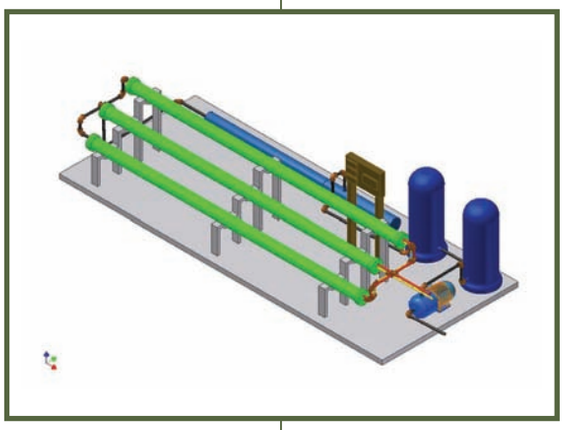
Tecnologia Poli/USP e Sabesp em obras de saneamento

Acaba de ser criada uma tecnologia para a produção de tubos de concreto reforçados com fibra de aço que poderá substituir os convencionais armados com telas de aço. O estudo foi desenvolvido na Poli/USP em parceria com a Sabesp e já existem indústrias em São Paulo, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul que começaram a adequar a sua produção incorporando esta inovação. Com grande durabilidade, o uso de tubos de concreto reforçados com fibras pode trazer diversos benefícios na implantação de sistemas de saneamento básico no país, desde coleta e tratamento de esgoto, até águas pluviais. Além disso, a durabilidade pode ser a solução mais adequada para um país com pouca cultura de manutenção. LEIA MAIS no artigo técnico sobre o tema – Pág 32

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 14 27/8/2008 14:51:08

Cientistas de amanhã

Alunos do Centro Universitário da FEI (Fundação Educacional Inaciana), de São Bernardo, acabam de desenvolver um equipamento para tornar a água do mar apropriada para o consumo. Denominado de SPA (Sistema de Purificação da Água), o equipamento foi desenvolvido para fazer todo o processo de dessalinização da água do mar e tem o objetivo de substituir ou complementar o abastecimento de água em regiões litorâneas, como hotéis, condomínios residenciais e pousadas. Após ser retirada do mar, a água passa por um processo de pré-filtração para a remoção de resíduos mais concentrados. Quando o processo termina a água está apropriada para consumo.



Conama aprova resolução para incidentes com óleo

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) aprovou proposta de resolução que trata do conteúdo mínimo do Plano de Emergência Individual para incidentes de poluição por óleo ou substâncias nocivas que tenham impacto sobre o meio ambiente em águas sob jurisdição nacional. A medida atinge portos, instalações portuárias, terminais, dutos, sondas terrestres, plataformas e suas instalações de apoio, refinarias, estaleiros, marinas, clubes náuticos, entre outros. A resolução substitui a nº 293/01 e amplia as tipologias, os segmentos contemplados pelo plano e traz algumas modificações quanto à gestão como o Plano de Emergência Individual Simplificado.

Contra o vilão das águas

E por falar em desastres ecológicos com vazamento de óleo, já existe no Brasil uma nova tecnologia que promete funcionar como os primeiros socorros para uma emergência desse tipo, minimizando os estragos. Trata-se de um pó composto por surfactantes (que reduzem a tensão superficial de uma solução) e um agente inerte. Ao ser jogado na água, o pó forma um filme ultrafino, com a espessura de uma única molécula, que confina a mancha de óleo em uma área limitada e a comprime, aumentando sua espessura e facilitando a limpeza. O coletor de óleo foi desenvolvido pela Lótus Química Ambiental, através da FAPESP.

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 15 27/8/2008 14:54:10

Setembro / 2008

IFAT China 2008 - Feira Internacional do Meio Ambiente e Tratamento de Resíduos

Local e Data: Shanghai - China de 23 a 25/09
Site: www.ifat-china.com/en/About
Temas: *discutir temas que envolvam as soluções práticas para o controle da poluição do ar, bem como discutir as tecnologias ambientais, as fontes naturais de energia, etc. O evento também promove uma plataforma de negócio para estreitar contatos entre empresários e profissionais chineses com os visitantes e expositores do evento.*

VI Seminário de políticas de gestão da qualidade do solo e das águas subterrâneas

Local e Data: São Paulo (SP) de 24 a 25/09
Para saber mais: www.aesas.com.br/
Organização: AESAS – Associação Brasileira das Empresas de Diagnóstico e Remediação de Solos e Águas Subterrâneas
Temas: *o evento, que está na 6ª edição, irá debater políticas que promovam a gestão da qualidade da água e do solo, a fim de que os objetivos de desenvolvimento do Milênio propostos pela ONU sejam cumpridos.*

Outubro / 2008

II Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste

Local e Data: Rio de Janeiro de 12 a 17/10
Para saber mais: www.abrh.org.br/
Organização: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH)
Temas: *Monitoramento, Modelagem, Sistemas de Alerta e de Suporte a Decisões– Base para a Gestão de Recursos Hídricos.*

Novembro / 2008

VIII Simpósio Nacional de Engenharia de Sedimentos

Local e Data: Campo Grande MS 02 a 08/11
Para saber mais: www.abrh.org.br/
Organização: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH)
Temas: *o Simpósio este ano irá tratar sobre a produção de sedimentos e seus impactos ambientais, sociais e econômicos.*

XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas - XVI Encontro Nacional de Perfuradores de Poços - Feira Nacional da Água

Local e Data: Natal (RN) de 11 a 14/11
Site: www.acquacon.com.br/xvcongressoabas/
Organização: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (Abas)
Temas: *O XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas terá como tema Água Subterrânea para hoje e sempre. Ele irá acontecer simultaneamente com o XVI Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e a Feira Nacional da Água.*

FIMAI /SIMAI 2008 - IX Feira e Seminário Internacional de Meio Ambiente Industrial

Local e Data: São Paulo de 12 a 14/11
Site: www.fimai.com.br
Temas: *Produtos, serviços e equipamentos voltados para o desenvolvimento sustentável, entre os expositores, empresas de consultoria e engenharia ambiental. Paralelo à feira ocorre o Seminário Internacional de Meio Ambiente Industrial.*

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 16 9/9/2008 17:23:26

Fórum Mundial da Água

Local e Data: Foz do Iguaçu-PR
24 e 25/11
Para saber mais: www.ana.gov.br
Site internacional:
www.worldwaterforum5.org
Organização Brasil: *Agência Nacional de Águas (ANA)*

Temas: *Foz do Iguaçu é uma das três cidades latino-americanas escolhidas para sediar o Fórum de Águas das Américas. O encontro é uma prévia ao 5º Fórum Mundial da Água, que será realizado em Istambul, Turquia, em março de 2009, e trabalhará o tema "Superando os Divisores de Água".*

Dezembro / 2008

III Congresso Mundial de Engenheiros - World Engineers' Convention - WEC 2008

Local e Data: Brasília
de 02 a 06/12
Site: www.wec2008.org.br/pt/index.php?idioma=pt
Organização: Fédération Internationale des Organisations d'Ingénieurs (WFEO/FMOI), do Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia (CONFEA) e da Federação Brasileira de Associações de Engenheiros (FEBRAE).
Temas: *o WEC 2008, também conhecido como "Olimpíadas de Engenheiros", falará sobre Inovação com Responsabilidade Social. Paralelamente, acontecerão atividades, dentre as quais se destacam o Fórum da Mulher, com o tema Papel das mulheres na engenharia mundial: perspectivas e desafios; o Fórum do Estudante e Jovens Engenheiros e a Exposição Tecnológica Mundial (Expowec).*

Março / 2009

8º Simpósio Nacional de Controle de Erosão

Local e Data: São Paulo
de 29 de março a 2 de abril/09
Para saber mais:
www.acquacon.com.br/8snce

Organização: Associação Brasileira de Geologia de Eng. Sanitária (ABGE)
Temas: *Gestão para prevenção e controle de processos erosivos.*

Julho / 2009

61ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência

Local e Data: Manaus/AM – Julho/09
Temas: *Já estão adiantados os preparativos da 61ª edição da Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC). O evento vai reforçar que a Amazônia é pauta nacional e terá os olhares de todo o país.*

Setembro / 2009

FITABES 2009 - VIII. Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental

Local e Data: Olinda (PE)
20 a 24/09/09
Site: www.fitabes.com.br
Sobre o evento: *A realização da Fitabes é simultânea ao 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental da ABES. Em sua 8ª edição,a feira é voltada para gestores de políticas e projetos em saneamento ambiental e os fornecedores de equipamentos e prestadores de serviços do setor.*

25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

Local e Data: Recife/PE
de 20 a 25/09/2009
Para saber mais: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (Abes)

Organização: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (Abes)
Tema: *Saneamento Ambiental – Universalização é Justiça Social.*

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 17 27/8/2008 14:54:16

Os desafios e avaliação do jornalismo científico libero-americano

Produção: Agência Espanhola de Cooperação Internacional (AECI) – Programa de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento (CYted) – Rede de Indicadores de Ciência e Tecnologia (Ricyt), com o apoio da Rede de Ciência e Desenvolvimento (SciDev.Net) e da Organização de Estados Americanos (OEA)

Com o objetivo de avaliar a situação atual do jornalismo científico na América Latina, cerca de 40 pesquisadores e profissionais de 13 países da região se reuniram no ano passado na Bolívia, no evento Jornadas Ibero-americanas sobre a Ciência e os Meios de Comunicação de Massa. Os resultados dos debates sobre os desafios da divulgação científica no continente já podem ser conferidos neste livro que acaba de ser publicado na internet e pode ser lido gratuitamente através do link http://www.agencia.fapesp.br/boletim_dentro.php?id=8924

Roteiros de um Curso D'Água: água como matriz ecopedagógica; educação e gestão sustentável das águas do Cerrado

Autores: Catalão, Vera Lessa; Rodrigues, Maria do Socorro

Produção: UNESCO, UnB

O Decanato de Extensão da Universidade de Brasília, por intermédio do projeto de extensão Água como Matriz Ecopedagógica, e a UNESCO editam este material didático com estratégias pedagógicas e artigos científicos sobre gestão sustentável das águas que constituem a base teórica e metodológica de um curso de formação de extensionistas ambientais. A publicação está disponível gratuitamente no endereço http://www.unesco.org.br/publicacoes/livros/RoteirosAgua/mostra_padrao

Empresas Eco-Eficientes - Como as Melhores Empresas Aumentam a Produtividade e os Lucros Reduzindo a Emissão de Poluentes

Autor: Joseph J. Romm

Editora: Signus

De autoria do especialista norte-americano Joseph J. Romm, ex-Secretário Assistente do Departamento de Energia dos EUA, durante o governo Bill Clinton, o livro mostra como algumas das melhores empresas mundiais estão aumentando a sua produtividade e os lucros com programas que, ao mesmo tempo, estão reduzindo as emissões de poluentes. No livro, Romm expõe em detalhes o enorme acervo que adquiriu quando esteve à frente do Centro para Energia e Soluções para o Clima, com base em Washington e acompanhou programas desenvolvidos por empresas com Royal Dutch Shell, Ford, DuPont, Xerox, 3M, Compaq, Toyota, Verifone, Boeing, etc.

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 18 27/8/2008 14:54:19

Introdução ao Controle de Poluição Ambiental

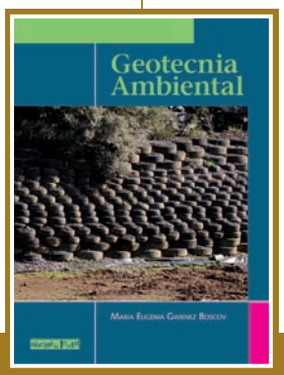
Autor: José Carlos Derisio
Editora: Signus

O livro foi organizado de tal forma a fornecer uma visão integrada das ações de controle da poluição de cada um dos grandes segmentos do meio ambiente, a saber: o Recurso Água, o Recurso Ar e o Recurso Solo. Esses três segmentos constituem o eixo do livro. Essa estrutura é modificada para acrescentar o Capítulo 5 "Outras Formas de Poluição", abordando a poluição ambiental causada por diversas formas de matéria e energia como ruídos, vibrações e radiações.

Geotecnia Ambiental

Autor: Maria Eugenia Gimenez Boscov
Editora: Oficina de Textos

Geotecnia Ambiental traz uma contribuição consolidada da engenharia geotécnica brasileira às mais contundentes questões ambientais urbanas do momento: lixo urbano e resíduos sólidos em geral — onde e como depositar? Projeto, materiais e cuidados construtivos são apresentados, sem descuidar do monitoramento que acompanha a segurança dos aterros e auxilia o avanço do conhecimento e do encerramento da deposição. A contaminação e o transporte de poluentes em solos é outro tema relevante tratado nesta obra, com preocupação especial pelos aqüíferos subterrâneos. As variadas soluções de remediação são apresentadas e sua eficiência discutida. Barragens de rejeitos – usuais na importante atividade minerária brasileira – constituem o último tema do livro, enfocando aspectos geotécnicos e ambientais.



Fitorremediação - O uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental

Autores: Cláudio Fernando Mahler, Julio Cesar da Matta e Andrade, Sílvio Roberto de Lucena Tavares
Editora: Oficina de Textos

A fitorremediação utiliza plantas e seus microorganismos para melhoria de solo, água ou ar contaminados. Pode ser aplicada para um largo espectro de poluentes orgânicos e inorgânicos como sais, metais, pesticidas e hidrocarbonetos de petróleo, às vezes, simultaneamente. É uma técnica de baixo custo em comparação com outras formas de remediação, podendo fornecer subprodutos passíveis de comercialização como forrageiras, madeira e outros. Este livro apresenta definições, conceitos e os principais mecanismos de fitorremediação ilustrados por estudos de casos.

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 19 27/8/2008 14:54:23

Geoinformação em Urbanismo - Cidade Real X Cidade Virtual

Autores: Antonio Miguel Vieira Monteiro, Cláudia Maria de Almeida, Gilberto Câmara
Editora: Oficina de Textos

As questões urbanas atuais e aquelas associadas ao planejamento urbano e territorial têm encontrado poderosas ferramentas na Geoinformação, para análises e projeções futuras. Análises e cenários materializam subsídios cada vez mais confiáveis para a tomada de decisão pelos planejadores, que pode ser enriquecida pela interação com os cidadãos, facilitada pela franca comunicação on-line. O livro traz 15 contribuições sobre o tema, agrupadas em cinco vertentes: - a representação territorial; - a gestão de problemas e políticas sociais; - a construção da base de dados geoinformáticos; - o gerenciamento de desastres naturais; - modelos e modelagens urbanas e regionais.

Iniciação em Sensoriamento Remoto - 2ª edição do Imagens de Satélite para Estudos Ambientais

Autora: Teresa Gallotti Florenzano
Editora: Oficina de Textos

O livro procura tornar acessível a nova tecnologia de aquisição de informações sobre a Terra – via satélites: sensores remotos, os tipos de imagens, sua seleção e interpretação. Com linguagem simples, explica como funciona o sensoriamento remoto e quais são os satélites mais interessantes para estudos e monitoração ambiental. Como selecionar as imagens em função da órbita, os fundamentos para sua interpretação e o processo de sua transformação em mapas são objetivos de Iniciação em Sensoriamento Remoto. Esta obra proporciona uma iniciação na "leitura" das imagens em ambientes naturais e também naqueles transformados pelo homem.

Ética de Gaia

Autores: Jelson Oliveira e Wilton Borges
Editora: Ethos

Em um momento de profunda crise ecológica, a preocupação com o meio ambiente é uma realidade que, gradativamente, se insere na cultura dos povos e que se reflete em ações conjuntas entre os países visando ao desenvolvimento sustentável do planeta. Este livro traz reflexões sobre o relacionamento do homem com a Terra utilizando-se da Filosofia, Sociologia, Ecologia, Arte, Estética e Espiritualidade Holística. Com esse percurso transdisciplinar que aprofunda a compreensão do fenômeno da vida no planeta, Jelson Oliveira e Wilton Borges sinalizam que o ser humano deve apurar os ouvidos a fim de reaprender a ouvir o som da vida.

Cool It Muita Calma nesta Hora !

Autores: Bjorn Lomborg
Editora: Campus-Elsevier

O livro traz para discussão um debate baseado nas necessidades do ser humano e nas preocupações ambientais. Ao examinar a excitação em torno do aquecimento global, o autor reavalia os efeitos da mudança climática e as prioridades das nossas políticas em relação a problemas mais imediatos, como o vírus HIV, a pobreza e o suprimento de água potável. As mudanças climáticas geram, atualmente, constantes debates e afetam a vida dos cidadãos, o comportamento das empresas e a política mundial. Com base nos números das estatísticas, Lomborg vai à contramão da maioria propondo um espaço para discussão sobre o tema e alertando os leitores sobre o perigo de se tratar o assunto com histeria, o que pode ser prejudicial à sociedade.

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 20 27/8/2008 14:54:25

COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA PARA O SETOR DE SANEAMENTO

[Francisco José Lobato da Costa]

Engenheiro civil, pós-graduado em planejamento regional e urbano. Consultor em recursos hídricos, junto à Agência Nacional de Águas (ANA) e entidades como Banco Mundial, UNESCO e PNUD. Atual Vice-Presidente da Associação Brasileira de Recursos Hídricos

[Carolina de Oliveira Lobato da Costa]

Economista com MBA em Gestão Ambiental. Analista do Departamento de Meio Ambiente da Companhia Paranaense de Energia – COPEL.

Recentemente, as preocupações ambientais têm adquirido importância crescente, particularmente em relação às perspectivas de escassez e limitação dos recursos naturais. É nesse contexto que se inserem os debates relativos a instrumentos econômicos de gestão e, particularmente, à cobrança pelo uso da água.

Sabe-se que a água constitui um recurso essencial à vida humana e, também, à dessedentação animal, tal como disposto na legislação. Além disso, é variável fundamental em questões relacionadas ao meio ambiente.

Como recurso natural finito e, por vezes, escasso, a água também é dotada de valor econômico, quando utilizada como insumo da produção e de serviços. Em outros termos, os recursos hídricos devem ser reconhecidos como fator importante ao desenvolvimento econômico, independentemente e sem prejuízo de sua dominialidade pública.

De fato, o valor econômico da água deveria ser admitido e fixado na proporção das externalidades ambientais e sociais que são geradas pelos volumes retirados de corpos hídricos, ou pela sua utilização como veículos para diluição e afastamento de efluentes. Essa abordagem caracteriza o instrumento econômico de gestão denominado como a "cobrança pelo uso da água", destinado a "internalizar", nas matrizes de custo de setores usuários, as "externalidades" por eles geradas.

A propósito, cabe ressaltar que o aparato institucional requerido para a gestão de recursos hídricos e aplicação da cobrança pelo uso da água não deve ser confundido com a organização administrativa, infra-estrutura e tarifas concernentes à prestação de serviços de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgotos.

Com efeito, a cobrança pelo uso da água corresponde ao reconhecimento do valor desse recurso natural, enquanto as tarifas de saneamento devem cobrir despesas com a implantação, operação e manutenção de sistemas de coleta, tratamento e distribuição de água potável e de sistemas de coleta, afastamento e tratamento de esgotos sanitários.

Registrados esses conceitos, é importante destacar que a cobrança pela utilização da água, segundo princípios dispostos pela Lei n.º 9.433/97, tem como propósito induzir à racionalização de seu uso, com rebatimentos positivos sobre a melhor eficiência de volumes captados e sobre a redução de poluentes lançados em corpos hídricos.

Como conseqüência, a cobrança também apresenta potenciais rebatimentos positivos sobre o equacionamento de conflitos derivados de usos múltiplos, em situações de escassez quantitativa ou qualitativa da água. Sob tais perspectivas, antes de representar um custo adicional, o instrumento da cobrança pode resultar em um importante conjunto de benefícios sociais, ambientais e econômicos, vistos sob uma visão integrada e complementar de inter-relacionamentos.

Todavia, ainda que os conceitos expostos venham sendo mais amplamente aceitos, sua aplicação efetiva tem provocado uma forte reação contrária por parte de concessionários de saneamento, oriunda do entendimento de que a cobrança ocasionaria um impacto adicional negativo sobre as tarifas de água e esgotos, sem condições de sua internalização por parte do setor.

Essa resistência, no entanto, não se justifica quando estudos efetuados demonstram uma realidade oposta, com reflexos nas tarifas oscilando apenas de 2 a 3%. De fato, há casos em que concessionários – estaduais ou municipais – podem absorver os impactos resultantes mesmo sem repasses integrais aos consumidores ou, ainda, com repasses diferenciados segundo classes de consumo, subsidiando as de menor renda em detrimento dos usos industriais e comerciais.

Impactos maiores são identificados apenas quando referentes a tarifas irrealistas, subsidiadas pelo Poder Público, revelando equívocos, não em relação ao valor da cobrança, mas em virtude da insuficiência tarifária para a cobertura dos custos de operação e manutenção de serviços de saneamento. Nessas situações de tarifas desconformes, os impactos da cobrança chegam a atingir 7% do valor tarifário.

Sob tais conceitos e evidências, ganha reforço o argumento de que a cobrança, antes de ser vista pelo setor saneamento como um problema, pode ser implementada como fonte alternativa de financiamento, acompanhada por um modelo institucional participativo – o Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos –, dotado de elevado grau de inserção e capilaridade social.

Em palavras diretas, o setor de saneamento deveria incentivar a instituição da cobrança pelo uso da água, senão por entendê-la como um instrumento eficiente para a gestão dos recursos naturais, então como uma nova fonte de receitas, voltada a planos de bacias hidrográficas.

Note-se que os valores pagos pelo setor industrial, à conta da cobrança, tendem a subsidiar inversões do setor saneamento, na medida em que os maiores aportes de planos de bacias destinam-se ao tratamento de águas servidas, portanto, atenuando o enorme passivo ambiental acumulado pelo setor de saneamento no Brasil.

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 21 27/8/2008 14:54:27

INFLUÊNCIA DA PRÉ-OXIDAÇÃO COM CLORO E DIÓXIDO DE CLORO DE ÁGUA E NA FORMAÇÃO DE SUBPRODUTOS

THE INFLUENCE OF PREOXIDATION WITH CHLORINE AND CHLORINE DIOXIDE AND FORMATION OF HALOGENATED

Angela Di Bernardo Dantas[1]
Cristina Filomena Pereira Rosa Paschoalato[2]
Wagner Alexandre Aparecido Montanha[3]
Márcio Resende Trimailovas[4]

[1]Engenheira Civil com Mestrado, Doutorado e Pós-doutorado em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP). Professora da Universidade da Associação de Ensino de Ribeirão Preto (UNAERP), email: angeladb@terra.com.br; [2]Engenheira Química, Mestre e Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP). Professora da Universidade da Associação de Ensino de Ribeirão Preto (UNAERP); [3]Biólogo, Mestre em Tecnologia Ambiental pela Universidade da Associação de Ensino de Ribeirão Preto (UNAERP); [4]Engenheiro Químico da Universidade pela Associação de Ensino de Ribeirão Preto (UNAERP).

Endereço: Rua Argeu Fuliotto, 4l9 Ribeirânia - Ribeirão Preto- Unaerp/ Bloco D/Laboratório de Recursos Hídricos –SP / CEP: 14096-520 - e-mail: angeladb@terra.com.br

RESUMO

Na presente pesquisa foi verificada a formação de 22 subprodutos orgânicos halogenados (SOH) na pré-oxidação de água bruta com alto teor de substâncias húmicas aquáticas (SHA). Ensaios de filtração direta em jarteste e filtros Whatman 40 foram realizados utilizando-se o sulfato de alumínio como coagulante e o cloro ou o dióxido de cloro como pré-oxidantes. Os resultados indicaram que com o uso da pré-oxidação tanto com cloro como com dióxido de cloro houve formação significativa de SHO, principalmente de ácidos haloacéticos. A formação de SOH com o cloro foi maior que aquela obtida com o dióxido de cloro para todos os SOH estudados.

ABSTRACT

This study aimed to verify the formation of twenty two halogenated organic byproducts (HOB) when preoxidizing raw water with high content of aquatic humic substances (AHS). Preoxidation-coagulation-filtration tests using the jar test and Whatman 40 filters were carried out using aluminum sulfate as coagulant and chlorine or chlorine dioxide as preoxidants. The results obtained showed that the use of preoxidation with both chlorine and chorine dioxide caused the formation of HOB, especially haloacetics acids. The concentration of all HOB formed with chlorine resulted higher than those observed with chlorine dioxide.

Palavras-chave: Subprodutos orgânicos halogenados; ácidos haloacéticos; trialometanos; substâncias húmicas; pré-oxidação; cloro; dióxido de cloro.

Key-words: halogenated organic byproducts; haloacetics acids; trihalomethanes; humic substances; preoxidation; chlorine; chlorine dioxide.

INTRODUÇÃO

A maior parte do carbono orgânico presente em ambientes aquáticos naturais está na forma de substâncias húmicas (SH), as quais são encontradas em solos, solos turfosos, sedimentos e águas naturais. As SH são substâncias de coloração escura, de natureza heterogênea, elevada massa molar, estrutura complexa e indefinida, e são formadas pela degradação química e biológica de resíduos de vegetais e de animais e da atividade de síntese de microrganismos. (Thurman, 1985). Thurman e Malcolm (1981) definiram as substâncias húmicas aquáticas (SHA) como a porção não especifica, amorfa, constituída de matéria orgânica dissolvida em pH igual a 2 e adsorvente em coluna de resina XAD 8 não iônica. As SHA são classificadas quanto à solubilidade em: ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e humina, apresentam caráter hidrofóbico e são as principais responsáveis pela cor amarela ou marrom das águas naturais.

A presença de SH em mananciais destinados ao abastecimento e o uso de tecnologias de tratamento de água inadequadas para a sua remoção podem ocasionar diversos problemas: as SH podem reduzir a eficiência do processo de desinfecção devido ao aumento na demanda de cloro; servir de substrato para o crescimento de microrganismos na rede de distribuição e/ou reservação de água tratada; complexar alguns metais pesados, como Mn, Pb e Fe, dificultando suas remoções; formar substâncias com sabor e odor desagradáveis; e formar SOH, principalmente quando a pré-oxidação e/ou a desinfecção são feitas com cloro livre (Di Bernardo e Dantas, 2005).

Os principais SOH formados na pré-oxidação e/ou na desinfecção são os trialometanos (THM), as haloacetonitrilas (HAN), as halocetonas (HK), as halopicrinas (HP), o tricloroacetaldeído (TCA) e ácidos haloacéticos (AHA).

A USEPA (2003) limita em 0,080 mg/L a concentração de THM e em 0,060 mg/L a concentração de AHA na água tratada. Já o padrão de potabilidade de água para consumo humano em vigência no Brasil - Portaria 518 (Brasil, 2004), limita em 0,1 mg/L a concentração de THM e não faz menção aos AHA.

Para reduzir a formação de THM e AHA em águas de abastecimento, Singer (1994) recomenda três opções: remoção dos precursores da formação dos SOH; substituição do cloro por um oxidante alternativo (dióxido de cloro, permanganato de potássio e ozônio, combinado ou não com o peróxido de hidrogênio) e/ou mudança do local de aplicação; e remoção dos SOH quando estes forem formados. Ferreira Filho (2001) afirma que do ponto de vista prático, a melhor alternativa visando à redução da formação de THM e AHA é a remoção dos compostos

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 22 27/8/2008 14:54:28

orgânicos precursores pelo processo de coagulação, uma vez que este é um processo unitário integrante do tratamento de água.

O dióxido de cloro é usado efetivamente em muitas estações de tratamento de água para oxidar ferro e manganês, para desinfecção, para reduzir a formação de THM e AHA, etc. A principal desvantagem do uso do dióxido de cloro como oxidante é a formação do íon clorito, regulamentado pela USEPA (2003) em 1,0 mg ClO_2^-/L e em 0,2 mg ClO_2^-/L pela Portaria 518 (Brasil, 2004). Este íon está associado ao odor de "urina de gato" em águas, motivo pelo qual a dosagem máxima de dióxido de cloro aplicada em ETA deve ser controlada para que a concentração de clorito não exceda o limite máximo permitido pela legislação. Em torno de 50 a 70% do dióxido de cloro aplicado se converte em clorito (Rittman, 2006), o que limita a dosagem de dióxido de cloro em ETA no Brasil na faixa de 0,30 a 0,50 mg/L. Segundo Rittman (2006), o uso de sais de ferrosos como coagulante reduz a concentração de clorito na água final, sendo que 3,1 mg/L de cloreto férrico ou sulfato férrico reduz em 1 mg/L a concentração de clorito.

A formação dos SHO com utilização dos pré-oxidantes cloro, dióxido de cloro, permanganato de potássio, peróxido de hidrogênio, ozônio e peroxônio foi estudada por Paschoalato (2005). No estudo foi preparada água com cor verdadeira em torno de 200 uH com a adição de substâncias húmicas extraídas de solo turfoso (SHT), e realizados ensaios de pré-oxidação, coagulação, filtração e pós-cloração. Os resultados obtidos mostraram que o uso dos pré-oxidantes permanganato de potássio, dióxido de cloro, peróxido de hidrogênio, ozônio e peroxônio, associados à coagulação, filtração e pós-cloração, formaram pequenas quantidades de subprodutos, na faixa de 10 a 80 µg/L.

De acordo com Singer (1999), a quantidade e o tipo de SHO que será formado dependem de várias características da água, como temperatura, pH, concentração de bromo e COT, e das propriedades das moléculas que compõem a matéria orgânica. Sloboda et al. (2007) verificaram que existem diferenças e semelhanças entre as SHA e SHT. As SHA foram extraídas de amostras de água bruta do rio Itapanhaú, localizado em Bertioga/SP utilizando-se a resina XAD 8. Os autores concluíram que nas SHA a porcentagem de AF (em torno de 70%) é maior que a de AH (em torno de 30%), em contraposição ao verificado por Campos (2004), com 85% de AH e 15% de AF nas SHT.

Na presente pesquisa foi verificada a formação de 22 SOH no tratamento da água bruta do rio Itapanhaú, no tratamento por filtração direta precedida ou não da pré-oxidação com cloro ou dióxido de cloro.

MATERIAIS E MÉTODOS

Coleta e caracterização da água de estudo

Foram coletados 600 L de água do rio Itapanhaú (o mesmo manancial estudado por Sloboda (2007) e Sloboda et al (2007). Este rio está localizado no Parque Estadual da Serra do Mar na sétima UGRHi - Baixada Santista e foi escolhido neste estudo devido ao elevado teor de SHA. Foram analisados no laboratório de Recursos Hídricos da UNAERP os principais parâmetros físico-químicos da água bruta coletada (ver Tabela 1). As análises foram feitas de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA et al, 1998). A medida de carbono orgânico dissolvido (COD) da água bruta foi realizada pelo Laboratório de Saneamento da EESC-USP.

Fluxograma da parte experimental

Na Figura 1 é apresentado o fluxograma do experimento.

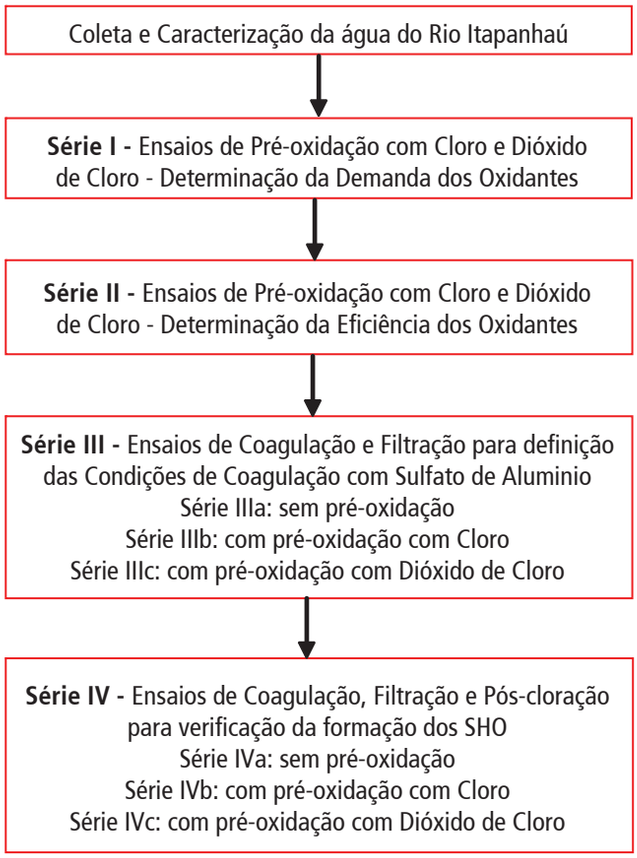


Figura 1 – Fluxograma do experimento

Série I - Ensaios de pré-oxidação para determinação da demanda dos oxidantes

A solução de cloro foi preparada a partir do produto comercial hipoclorito de cálcio granulado com

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 23 27/8/2008 14:54:28

concentração de 1g Cl_2/L. A solução de dióxido de cloro usada nos ensaios foi produzida a partir de clorato de sódio como matéria prima. A concentração da solução era da ordem de 880 mg ClO_2/L.

Na Série I foram efetuados ensaios de pré-oxidação com o cloro e com o dióxido de cloro, nos quais foram variados o tempo de contato (15, 30 e 60 min) e as dosagens dos oxidantes (dosagens de cloro na faixa de 2,0 a 35,0 mg Cl_2/L e dosagens de dióxido de cloro na faixa de 2,0 a 16,5 mg ClO_2/L).

Os ensaios foram realizados em jarteste e o gradiente de velocidade foi mantido em torno de 100 s^{-1}. Os parâmetros de controle foram pH e residual de cloro (espectrofotometria com DPD para quantificação do cloro livre) e residual de dióxido de cloro (espectrofotometria com DPD e glicina para quantificação do dióxido de cloro livre). O critério para escolha da dosagem dos oxidantes foi o residual do oxidante em torno de 0,1 mg/L após a pré-oxidação. Como neste estudo um dos objetivos era verificar a formação dos SOH na pré-oxidação devido a pré-oxidação, a escolha da dosagem de dióxido de cloro foi feita sem a preocupação com a formação do íon clorito acima do recomendado pela Portaria 518.

Série II - Ensaios de pré-oxidação para determinação da eficiência dos oxidantes

Foi realizado um ensaio de pré-oxidação para verificar a eficiência de cada oxidante com a dosagem e o tempo de contato fixados na Série I. Os parâmetros de controle foram: pH, residual de dióxido de cloro, cor aparente, absorvância a 254 nm e turbidez.

Série III - Ensaios de coagulação e filtração com e sem a pré-oxidação

Os ensaios foram executados em jarteste e filtro de papel Whatman 40 para determinação das condições de coagulação sem a pré-oxidação (ensaios da Série IIIa), com a pré-oxidação com cloro (ensaios da Série IIIb) e com a pré-oxidação com o dióxido de cloro (ensaios da Série IIIc). O coagulante utilizado foi o sulfato de alumínio (produto comercial líquido com 7,2% de Al_2O_3 massa por massa). A faixa de dosagem do coagulante utilizada foi de 30,0 a 160,0 mg sulfato de alumínio/L do produto comercial e para variação do pH de coagulação foram utilizadas soluções de hidróxido de sódio e de ácido sulfúrico.

As condições dos ensaios foram: pré-oxidação (somente nas Séries IIIb e IIIc): tempo de contato definido na Série I e gradiente de velocidade de 100 s^{-1}; mistura rápida: tempo de mistura de 30 s e gradiente de velocidade de 1000 s^{-1}; filtração em filtro de papel Whatman 40; parâmetros de controle: pH de coagulação e cor aparente da água filtrada. A temperatura da água bruta foi mantida em 22 ± 1ºC.

Série IV - Ensaios de coagulação, filtração e pós-cloração com e sem a pré-oxidação

A Série IV foi dividida em três etapas: na Série IVa os ensaios foram realizados sem a pré-oxidação nas condições de coagulação definidas na Série IIIa; nas Séries IVb e IVc foram executados os ensaio de pré-oxidação com cloro e dióxido de cloro com as condições fixadas na Série II e com as condições de coagulação fixadas nas Séries IIIb e IIIc, respectivamente.

As condições dos ensaios foram: pré-oxidação: dosagem do oxidante e tempo de contato definidos na Série I e gradiente de velocidade de 100 s^{-1} (somente nas Séries IVb e IVc); mistura rápida: tempo de mistura de 30 s, gradiente de velocidade de 1000 s-1 e dosagens de sulfato de alumínio determinadas nas Séries IIIa, IIIb e IIIc; Filtração em filtro de papel Whatman 40; tamponamento da água filtrada com solução fosfato em pH 7,0, conforme metodologia 57.10 A do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA et al, 1998); pós-cloração com 5 mg Cl_2/L acondicionado a temperatura de 25oC; coleta de alíquotas para análise cromatográfica nos tempos de 30 min e 24 h (após descloração com ácido ascórbico).

Os parâmetros de controle dos ensaios da Série IV foram: pH de coagulação, cor aparente da água filtrada e quantificação dos SOH da água filtrada pós-clorada.

Os SHO foram determinados por cromatografia a gás com detector de captura de elétrons, de acordo com a metodologia recomendada pelos métodos 551.1 e 552 da USEPA (1995). Os seguintes subprodutos foram investigados: (i) trialometanos (THM): clorofórmio, bromodiclorometano, dibromoclorometano, bromofórmio; (ii) haloacetonitrilas (HAN): dicloroacetonitrila, tricloroacetonitrila, dibromoacetonitrila, tribromoacetonitrila, bromocloroacetonitrila; (iii) halopicrinas (HP): cloropicrina; (iv) haloacetonas (HK): 1,1-dicloropropanona, 1,1,1-tricloropropanona; (v) tricloroacetaldeído (TCA); (vi) ácidos haloacéticos (AHA): monocloro ácido acético, monobromo ácido acético, dicloro ácido acético, tricloro ácido acético, bromocloro ácido acético, bromodicloro ácido acético, dibromo ácido acético, clorodibromo ácido acético, tribromo ácido acético.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização da Água Bruta

Na Tabela 1 são apresentadas as principais características da água bruta do rio Itapanhaú. Observa-se na Tabela 1 que a água bruta possui elevados teores de matéria orgânica dissolvida, comprovados pelos valores de carbono orgânico dissolvido (COD) e cor verdadeira obtidos. Alguns metais também foram encontrados em concentrações elevadas (ferro, manganês, zinco e cobre).

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 24 27/8/2008 14:54:28

Tabela 1 – Características da água do rio Itapanhaú

Parâmetros	Unidade	Valor	Parâmetros	Unidade	Valor
Coliformes Totais	NMP/100 mL	170	Fluoretos	mg F-/L	0,22
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	2	Fosfato	mg PO4/L	3,05
COD	mg C/L	17,68	Manganês	mg Mn / L	0,257
DQO	mg O2/L	46	Mercúrio	mg Hg /L	< 0,001
DBO5,20	mg O2/L	10	Níquel	mg Ni /L	0,0031
Oxigênio Dissolvido	mg O2/ L	6,50	Nitrogênio Amoniacal	mg N-NH3/L	0,330
Turbidez	uT	3,75	Nitrogênio-Nitrato	mg N-NO3/L	0,141
Cor aparente	uH (PtCo)	256	Nitrogênio-Nitrito	mg N-NO2/ L	0,01
Cor verdadeira	uH (PtCo)	192	Zinco	mg Zn /L	0,293
pH	adimensional	6,50 a 6,80	Sulfato	mg SO4/L	11,53
Alumínio	mg Al /L	0,103	Sulfeto	mg S-2/L	52,71
Bário	mg Ba /L	0,008	Sólidos Totais	mg ST/L	149,0
Boro	mg B /L	0,7	Sólidos Suspensos Totais	mg SST/L	20,0
Cádmio	mg Cd /L	0,042	Sólidos Dissolvidos Totais	mg SDT/L	129,0
Cianeto	mg Cn /L	0,040	Óleos e Graxas	mg/L	28,4
Chumbo	mg Pb / L	< 0,001	Dureza Total	mg CaCO3/L	28,03
Cloretos	mg Cl-/L	30,49	Cromo Total	mg Cr /L	<0,001
Co balto	mg Co /L	0,042	Fenóis	mg/L	0,006
Cobre	mg Cu / L	0,321	Ferro	mg Fe /L	2,321

Série I - Ensaios de pré-oxidação para determinação da demanda dos oxidantes

Nas Figuras 2 e 3 são apresentados os resultados dos ensaios da Série I para determinação da demanda dos oxidantes. Nota-se nestas figuras que as demandas de cloro e de dióxido de cloro aumentaram pouco com o incremento do tempo de contato de 15 min para 30 min e 60 min. A maior diferença foi obtida entre as demandas nos tempos de 15 e 30 min, razão pela qual foi adotado o tempo de contato de 30 min para a realização das demais séries de ensaio. Para o tempo de contato de 30 min, somente a partir da dosagem de 20,0 mg Cl_2/L o residual de cloro livre resultou em torno de 0,1 mg Cl_2/L, sendo esta dosagem escolhida para a realização dos demais ensaios (Figura 2). Para o dióxido de cloro (Figura 3) e tempo de contato de 30 min, a partir da dosagem de 8,0 mg ClO_2/L o residual resultou próximo a 0,1 mg ClO_2/L.

A elevada demanda resultante da pré-oxidação desta água pode ser explicada principalmente pelo elevado teor de substâncias húmicas, além dos de metais, nitrogênio amoniacal presentes, dentre outros, Acredita-se que uma parcela do cloro dosado tenha oxidado a matéria orgânica, os metais e a amônia presentes na água e outra parcela tenha combinado com as substâncias húmicas formando os SHO.

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 25 27/8/2008 14:54:28

INFLUÊNCIA DA PRÉ-OXIDAÇÃO COM CLORO E DIÓXIDO DE CLORO DE ÁGUA E NA FORMAÇÃO DE SUBPRODUTOS
THE INFLUENCE OF PREOXIDATION WITH CHLORINE AND CHLORINE DIOXIDE AND FORMATION OF HALOGENATED

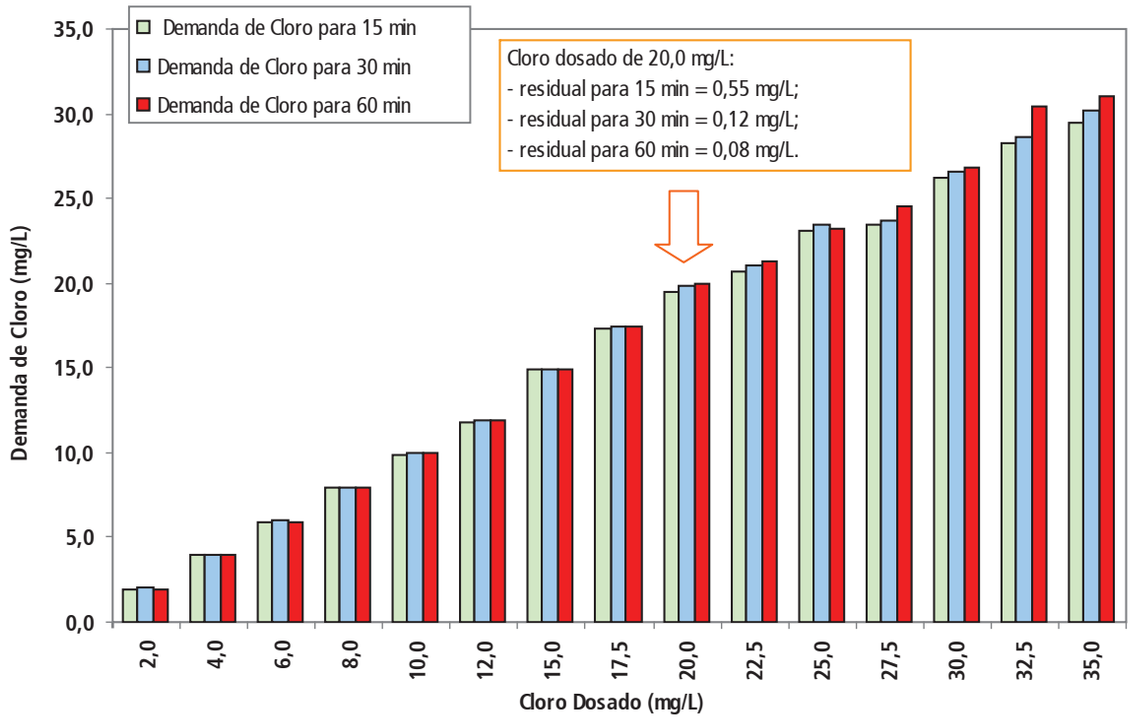


Figura 2 - Demanda de cloro em função da dosagem aplicada para os tempos de contato de 15, 30 e 60 min – Resultados da Série I

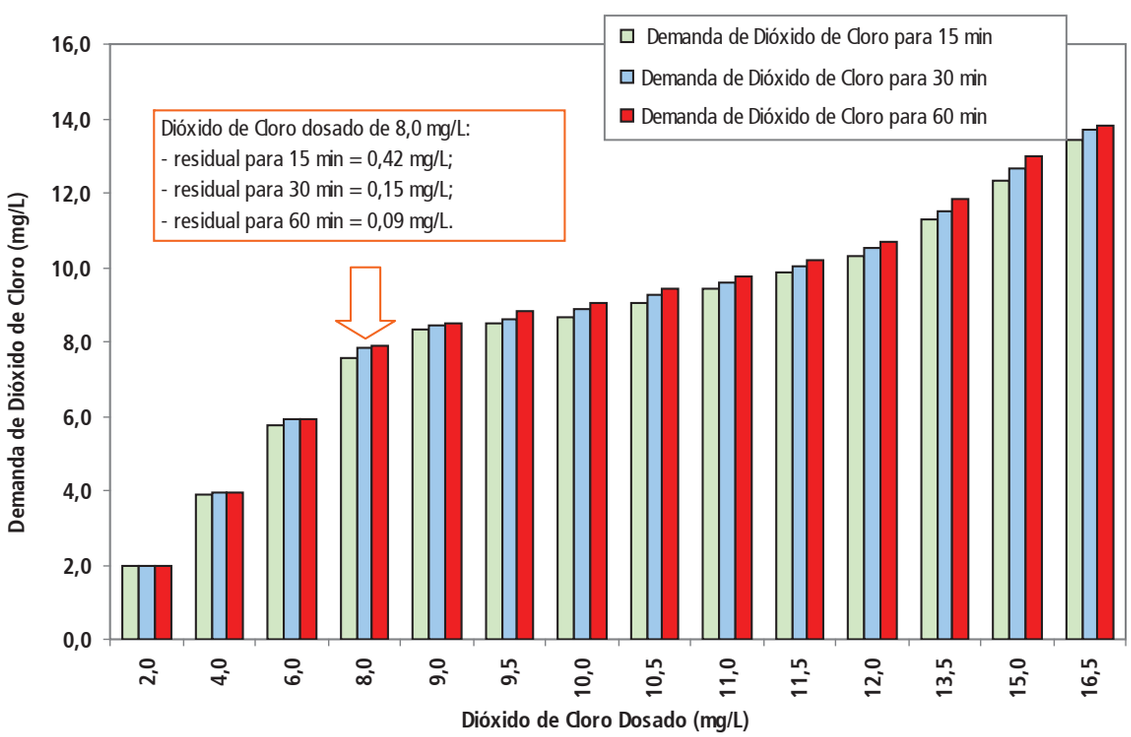


Figura 3 - Demanda de dióxido de cloro em função da dosagem aplicada para os tempos de contato de 15, 30 e 60 min – Resultados da Série I

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 26 27/8/2008 14:54:28

Série II - Ensaios de pré-oxidação para determinação da eficiência dos oxidantes

Na pré-oxidação com 20,0 mg CL_2/L e tempo de contato de 30 min foram obtidos os seguintes resultados: pH = 7,63; residual de cloro = 0,15 mg Cl_2/L; absorvância a 254 nm = 0,037; cor aparente = 135 uH; turbidez = 3,59 uT. Na pré-oxidação com 8,0 mg ClO_2/L e tempo de contato de 30 min foram obtidos os seguintes resultados: pH = 3,42 (resultado devido ao caráter ácido da solução de dióxido de cloro); residual de dióxido de cloro = 0,15 mg ClO_2/L; absorvância a 254 nm = 0,027; cor aparente = 146 uH; turbidez = 3,62 uT. Os resultados indicaram que os oxidantes foram eficientes para redução da cor e da absorvância a 254 nm da água bruta, com redução em torno de 40% e de 60%, respectivamente.

Série III - Ensaios de coagulação e filtração com e sem a pré-oxidação

Nos ensaios de filtração direta sem a pré-oxidação – Série IIIa, a condição de coagulação com o sulfato de alumínio que otimizou a remoção de cor foi: dosagem de 130 mg sulfato de alumínio /L (dosagem referente ao produto comercial líquido), pH de coagulação de 5,12 (sem adição de alcalinizante/acidificante) e cor aparente da água filtrada de 8 uH.

Na Figura 4 são apresentados os resultados dos ensaios de filtração direta da Série IIIa, com destaque ao ponto escolhido para a realização dos ensaios da Série IVa. Nesta figura os maiores valores de cor aparente da água filtrada foram representadas por bolhas de maior tamanho e os menores valores de cor por bolhas de menor tamanho.

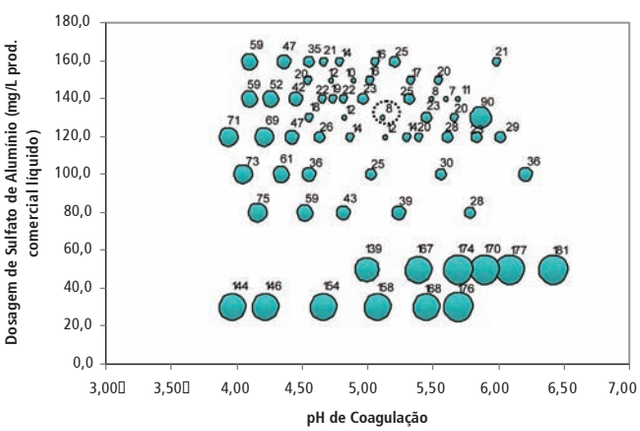


Figura 4 - Cor aparente da água filtrada em função do pH de coagulação e da dosagem de Sulfato de Alumínio – Ensaios da Série IIIa

Nos ensaios da Série IIIb, a condição de coagulação com o sulfato de alumínio que otimizou a remoção de cor foi: dosagem de 130 mg sulfato de alumínio /L (dosagem referente ao produto comercial líquido), pH de coagulação de 4,92 (com adição de 3,0 mg H2SO4 /L) e cor aparente da água filtrada de 3 uH. Neste caso, a pré-oxidação com cloro melhorou a eficiência da coagulação e filtração na remoção de cor aparente, com diminuição de 8 uH para 3 uH na cor aparente da água filtrada, com a mesma dosagem de sulfato de alumínio selecionada na série IIIa (sem pré-oxidação).

Na Figura 5 são apresentados os resultados dos ensaios de filtração direta da Série IIIb, com destaque ao ponto escolhido para a realização dos ensaios da Série IVb. Nesta figura os maiores valores de cor aparente da água filtrada foram representadas por bolhas de maior tamanho e os menores valores de cor por bolhas de menor tamanho.

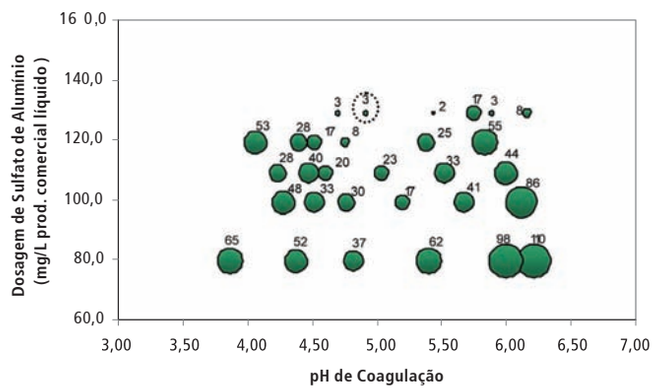


Figura 5 - Cor aparente da água filtrada em função do pH de coagulação e da dosagem de Sulfato de Alumínio – Ensaios da Série IIIb

Nos ensaios da Série IIIc, a condição de coagulação com o sulfato de alumínio que otimizou a remoção de cor foi: dosagem de 150 mg sulfato de alumínio /L (dosagem referente ao produto comercial líquido), pH de coagulação de 5,93 obtido com a adição de 26,0 mg hidróxido de sódio /L e cor aparente da água filtrada de 9 uH.

Na Figura 6 são apresentados os resultados dos ensaios de filtração direta da Série IIIc, com destaque ao ponto escolhido para a realização dos ensaios da Série IVc. Nesta figura os maiores valores de cor aparente da água filtrada foram representadas por bolhas de maior tamanho e os menores valores de cor por bolhas de menor tamanho.

Embora os resultados da Série II mostrem que houve redução da cor da água bruta em torno de 40% com a pré-oxidação com dióxido de cloro, os resultados desta série indicaram que a o uso do dióxido de cloro piorou a eficiência da coagulação-filtração na remoção de cor, visto que resultaram maiores tanto a dosagem de sulfato de alumínio como a cor aparente da água filtrada.

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 27 27/8/2008 14:54:29

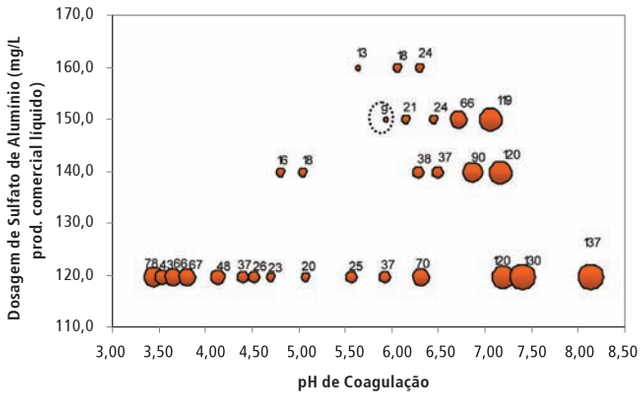


Figura 6 - Cor aparente da água filtrada em função do pH de coagulação e da dosagem de Sulfato de Alumínio – Ensaios da Série IIIc

Série IV - Ensaios de coagulação, filtração e pós-cloração com e sem a pré-oxidação

As dosagens de coagulante e alcalinizante/acidificante usadas e alguns resultados da Série IV são mostrados na Tabela 2. Nas Figuras 7 e 8 são apresentados os resultados dos SHO dos ensaios da Série IV.

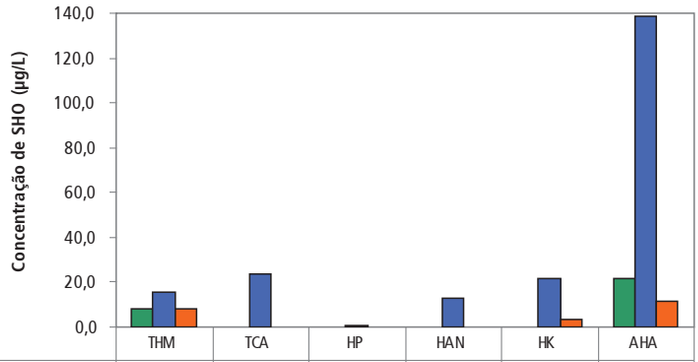
Tabela 2 – Dosagens de produtos químicos e resultados da Série IV

	Série IVa	Série IVb	Série IVc
Dosagem de Cloro (mg Cl2/L)	-	20,0	-
Dosagem de Dióxido de Cloro (mg ClO2/L)	-	-	8,0
Dosagem de Sulfato de Alumínio			
(mg/L produto comercial)	130	130	150
Dosagem de Alcalinizante (mg NaOH/L)	-	-	26,0
Dosagem de Acidificante (mg H2SO4/L)	-	3,0	-
pH de coagulação	5,12	4,92	5,93

Nota-se nas Figuras 7 e 8 que a pré-oxidação tanto com o cloro como com o dióxido de cloro resultou no aumento da concentração dos SOH na água tratada, principalmente dos AHA, com resultados que ultrapassaram o limite máximo permitido pela USEPA (2003) de 0,060 mg/L. Em todos os casos houve um aumento da formação dos SHO quando comparados os tempos de 30 min e 24 h após a pós-cloração.

A formação de SOH com o cloro foi maior que aquela obtida com o dióxido de cloro para todos os SOH estudados, sendo a principal diferença obtida com os AHA após 24 h do término da pós-cloração.

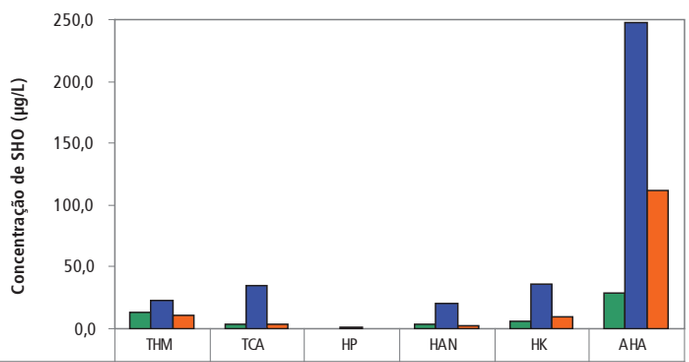
Para o dióxido de cloro, os resultados obtidos da formação dos subprodutos THM, TCA, HP, HAN e HK foram menores que 10 ²g/L, valores considerados baixos. Para o cloro, o segundo SOH mais formado foi o TCA, com concentração de 35,4 µg/L no tempo 24 h.



	THM	TCA	HP	HAN	HK	AHA
Ensaio de coagulação, filtração e pós-cloração	8,4	0,1	0,1	0,1	0,1	21,8
Ensaio de pré-oxidação com cloro, coagulação, filtração e pós-cloração	15,4	23,7	0,4	12,8	21,9	138,7
Ensaio de pré-oxidação com dióxido de cloro, coagulação, filtração e pós-cloração	7,9	0,0	0,0	0,0	3,6	11,3

Subprodutos

Figura 7 – Concentração dos SHO na água tratada 30 min após a pós-cloração – Comparação entre os ensaios das Séries IVa, IVb e IVc



	THM	TCA	HP	HAN	HK	AHA
Ensaio de coagulação, filtração e pós-cloração	12,8	3,2	0,5	3,8	6,2	29,0
Ensaio de pré-oxidação com cloro, coagulação, filtração e pós-cloração	22,8	35,4	1,1	20,7	36,4	248,1
Ensaio de pré-oxidação com dióxido de cloro, coagulação, filtração e pós-cloração	10,5	3,6	0,0	2,6	9,2	111,4

Subprodutos

Figura 8 – Concentração dos SHO na água tratada 24h após a pós-cloração – Comparação entre os ensaios das Séries IVa, IVb e IVc

O trabalho realizado por Paschoalato (2005) foi similar ao efetuado neste estudo (água bruta com cor verdadeira e COD da mesma ordem de grandeza e tratamento por pré-oxidação, coagulação, filtração e pós-cloração), com exceção do tipo de SH (maior quantidade de AH em relação aos AF). As concentrações de AHA obtidas pela autora nos ensaios com a pré-oxidação com o cloro e o dióxido de cloro foram menores que as obtidas neste trabalho. Para os demais SOH, as concentrações resultantes foram similares nos dois trabalhos. Nos estudos realizados por Reckhow et al (1990) e por Krasner et al (1996), os AH foram mais reativos com o cloro (maior demanda de cloro) que os AF, e conseqüentemente formaram mais SOH. Neste sentido, outros fatores podem ter contribuído para a maior formação de AHA neste estudo, com água bruta com elevada concentração de AF.

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 29 27/8/2008 14:54:30

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

As principais conclusões deste trabalho são:

a) com a pré-oxidação tanto com o cloro como com o dióxido de cloro, seguida da coagulação, filtração e pós-cloração, houve a formação significativa de SHO, principalmente de ácidos haloacéticos, quando comparada com a coagulação, filtração e pós-cloração;

b) as concentrações de THM na água filtrada pós-clorada para as três condições estudadas (sem pré-oxidação, com pré-oxidação com cloro ou dióxido de cloro) não excederam 0,1 mg/L;

c) as concentrações dos SOH formados com o cloro foram maiores que às obtidas com o dióxido de cloro para todos os SOH estudados;

d) a pré-oxidação com o cloro melhorou a eficiência de remoção de cor aparente por coagulação-filtração, com diminuição da cor aparente da água filtrada de 8 uH para 3 uH, com a mesma dosagem de sulfato de alumínio usada nos ensaios sem a pré-oxidação (130 mg/L);

e) para água bruta com elevada concentração de SHA, a pré-oxidação com o dióxido de cloro acarretou aumento da dosagem de sulfato de alumínio na coagulação de 130 mg/L (sem pré-oxidação) para 150 mg/L (com pré-oxidação), além da necessidade do uso de alcalinizante, para obtenção da mesma eficiência de remoção de cor (água filtrada com cor menor que 10 uH);

f) as concentrações de tricloroacetaldeído, cloropicrina, haloacetonotrila e halocetonas foram menores que 10 µg/L em todos os ensaios, valores considerados baixos;

As principais sugestões deste trabalho são:

a) verificação da formação do íon clorito quando o dióxido de cloro é usado como agente oxidante;
b) verificação da concentração de alumínio residual na água tratada;

c) análises de COD nos ensaios para quantificação da matéria orgânica oxidada;
d) realização de estudos da formação de SOH utilizando-se cloro e dióxido de cloro na pré-oxidação de água com elevada concentração de SHA quando o cloreto férrico é utilizado como coagulante;

e) realização de ensaios toxicológicos com os ácidos haloacéticos e com o tricloroacetaldeído.

ABREVIATURAS

AF: ácidos fúlvicos
AH: ácidos húmicos
AHA: ácidos haloacéticos
COD: carbono orgânico dissolvido
DPD: n,n-dietil-p-fenileno-diamina
EPA: Environmental Protection Agency
ETA: Estação de Tratamento de Água
EESC-USP: Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo
HAN: haloacetonitrilas
HK: haloacetonas
HP: halopicrinas
SH: substâncias húmicas
SHA: substâncias húmicas aquáticas
SHT: substâncias húmicas de turfa
SOH: subprodutos orgânicos halogenados
TCA: tricloroacetaldeído
THM: trialometanos
UGRHi: Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UNAERP: Universidade de Ribeirão Preto

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environmental Federation. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th edition, Washington, USA. APHA, 1998.

2. BRASIL. Normas e padrão de potabilidade das águas destinadas ao consumo humano. Portaria no. 518 de 25 de março de 2004. Brasília, p.11. 2004.

3. CAMPOS, S. X. Influência de diferentes características das substâncias húmicas na coagulação, floculação sedimentação no tratamento de água. 2004. 123 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

4. DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. 2ª Edição. São Carlos, RiMa.1600p. 2005.

5. FERREIRA FILHO, S. S. Remoção de compostos orgânicos precursores de subprodutos da desinfecção e seu impacto na formação de trialometanos em águas de abastecimento. Engenharia Sanitária e

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 30 27/8/2008 14:54:31

Ambiental. Rio de Janeiro, v.6, 53-60. 2001.

6. KRASNER, S.W.; CROUÉ J-P,BUFFLE, J.; PERDUE, E.M. Three Approaches for Characterizing NOM. Jour. AWWA. 88(6):66. 1996.

7. PASCHOALATO, C. F. P. R. Efeito da pré-oxidação, coagulação, filtração e pós-cloração na formação de subprodutos orgânicos halogenados em água contendo substâncias húmicas. São Carlos, 2005, 148 p. Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

8. RECKHOW, D.A.; SINGER, P.C.; MALCOLM, R.L. Chlorination of Humic Materials: Byproducts Formation and Chemical Interpretations. Environ. Sci. & Tech., 28(4):592.1990.

9. RITTMAN, D. Advantages of Chlorite Reduction with Ferrous Iron. Bulletin EKA CHEMICALS. 1996.

10. SINGER, P. C. Control of disinfection by-products in drinking water. Journal of Environmental Engineering. ASCE, 727-744. 1994.

11. SINGER, P. C. *Formation and Control of Disinfection By-Products in Drinking Water. American Water Woks* Association, USA. 1999.

12. SLOBODA, E. Influência do Tamanho Molecular Aparente das Substâncias Húmicas Aquáticas na Eficiência da Coagulação com Sulfato de Alumínio e Cloreto Férrico, São Carlos, 2007. Dissertação de mestrado- Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007. .

13. SLOBODA, E.; DANTAS, A. D. B; VIEIRA, E. M; DI BERNARDO, L. Caracterização das Substâncias Húmicas Aquáticas e Comparação com as Substâncias Húmicas de Turfa. 24° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Set. 07. Belo Horizonte, MG.2007.

14. THURMAN, E. M. *Organic geochemistry of natural waters.* Dordrecht: Nihoff, M.; Junk, W. 489 p. 1985.

15. THURMAN, E, M.; MALCOLM. R. L. Preparative isolation of aquatic substances. Environmental Science Technology. 15, 463-466. 1981.

16. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Method 551.1 Determination of chlorination disinfection byproducts, chlorinated solvents, and halogenated pesticides/herbicides in drinking water by liquid-liquid extracion and gas chromatografhy with electron-capture detection. CD-ROM Revisão 1. Set., Ohio, USA. 2005.

17. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Method 552.2 Determination of haloacetic acids and dalapon in, in drinking water by liquid-liquid extracion, derivatization and gas chromatografhy with electron-capture detection. CD-ROM Revisão 1. Set., Ohio, USA, 2005.

18. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. National Primary Drinking Water Standards. USA, 2003.

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 31 27/8/2008 14:54:31

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO MECÂNICO DE TUBOS MECHANICAL PERFORMANCE EVALUATION OF

Antônio Domingues de FIGUEIREDO [(1)];
Pedro Jorge CHAMA NETO[(2)]

[(1)] Professor Doutor, Departamento de Engenharia de Construção Civil Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. Caixa Postal 61548 CEP 05508-900, e-mail: antonio.figueiredo@poli.usp.br; [(2)]Engo Civil, M.Sc., Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), e-mail: pedrochama@ajato.com.br

RESUMO

A ABNT publicou em 2007 a revisão da norma NBR 8890:2007 - *Tubo de concreto de seção circular para águas pluviais e esgotos sanitários - Requisitos e métodos de ensaios.* Além de atualizar a tecnologia, esta norma incorporou a possibilidade de se usar o reforço de fibras de aço para os tubos ao invés da armadura convencional constituída por vergalhões. O novo sistema de reforço exige uma nova metodologia de avaliação do desempenho mecânico.

Neste trabalho são apresentados os aspectos fundamentais do novo método de ensaio de compressão diametral de tubos reforçados com fibras de aço e suas diferenças em relação ao método utilizado para avaliação do tubo convencional. Conclui-se que a norma apresenta um caráter inovador por incorporar uma nova tecnologia que ainda não foi empregada em escala de obra e, por isso mesmo, tem um caráter conservador dado o elevado nível de exigência associado ao concreto reforçado com fibras de aço quando comparado com o reforço convencional.

ABSTRACT

The Brazilian standards association (ABNT) had published in 2007 the new standard NBR 8890:07 *Precast circular concrete pipe for pluvial and sanitary drain – Requirements and test methods.* This standard had incorporated some important technological innovations, like the possibility of steel fibers use as reinforcement, instead steel bars. The use of fibers requires a different test method procedure for the mechanical evaluation by the three-edge bearing test execution.

In this work, some fundamental aspects related to this new test procedure for steel fiber reinforced concrete pipes are presented and compared to the traditional test. This new standard could be considered as an innovative one because incorporate a new technology that was not applied in the Brazilian market up to its application. On the other hand, it was conservative too due to the higher requirements associated to this new kind of reinforcement for pipes.

Palavras-chave: tubos de concreto, fibras de aço, desempenho, controle, método de ensaio.
Key words: concrete pipes, steel fibers, performance, control, test method.

1. INTRODUÇÃO

É notória a necessidade de implantação de sistemas de saneamento básico e a carência de recursos para tal que caracterizam o Brasil. Portanto, é absolutamente essencial a busca pela viabilização de novas tecnologias que permitam executar este tipo de obra com mais economia, ou com maior durabilidade e, preferencialmente, com ambas as coisas. Neste sentido, algumas pesquisas vêm sendo realizadas no Brasil há algum tempo no sentido de se viabilizar o uso de fibras de aço como material de reforço de tubos de concreto (CHAMA NETO, FIGUEIREDO, 2003; RAMOS, 2004).

Com este trabalho prévio, foi possível inserir na última revisão da norma brasileira NBR 8890:2007 - *Tubo de concreto, de seção circular, para águas pluviais e esgotos sanitários* da possibilidade de utilização das fibras como reforço regular dos tubos. Estas pesquisas foram fundamentais devido a uma peculiaridade das obras de saneamento, que consiste no ambiente típico de aplicação do tubo de concreto, qual seja, o fato de serem empreendimentos desenvolvidos majoritariamente com dinheiro público. Assim, é muito difícil haver a aplicação de um componente que não esteja previsto pela normalização nacional.

Deste modo, para se evitar o erro de inibir a inovação tecnológica por não haver aplicação prévia da técnica, optou-se por manter uma postura conservadora, no sentido de ser mais exigente para o tubo com novo sistema de reforço. Portanto, foi possível realizar a incorporação da nova tecnologia na norma, mesmo não havendo aplicação corriqueira prévia. Para que isto fosse possível, um dos aspectos fundamentais que foram trabalhados nesta norma foi o próprio método de ensaio para avaliação do desempenho mecânico do tubo, qual seja o ensaio de compressão diametral. Este ensaio guarda algumas diferenças metodológicas quando aplicado para tubos com os diferentes sistemas de reforço, ou seja, vergalhões e fibras de aço, sendo algo mais rigoroso para este último. Neste trabalho, o método é descrito e seus principais aspectos são discutidos.

2. MÉTODO DE ENSAIO PARA AVALIAÇÃO DOS TUBOS

O método de ensaio para a verificação da adequação do desempenho mecânico dos tubos de concreto para águas pluviais e esgoto é o de compressão diametral (Figura 1). Esta concepção básica é uma prática tradicional para este tipo de avaliação adotada tanto na Europa (NBN EN1916 *Concrete pipes and fittings, unreinforced, steel fibre and reinforced)* como no Brasil (NBR 8890:2007).

Para que haja um melhor entendimento é necessário fazer uma breve descrição das duas metodologias de ensaio e seus respectivos requisitos de desempenho. Apesar de algumas diferenças nos procedimentos de ensaio o princípio das exigências é similar. No ensaio para tubos

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 32 27/8/2008 14:54:31

reforçados com armadura convencional, o componente é submetido a um carregamento contínuo até a sua ruptura e são determinadas as cargas de fissura e de ruptura. A carga de fissura é definida como a carga medida no instante em que, no tubo submetido ao ensaio, apresenta uma fissura com abertura de 0,25 mm e comprimento de, no mínimo, 300 mm.

A abertura da fissura é medida através de uma lâmina padrão feita em chapa de aço de 0,2 mm de espessura e largura de 12,7 mm, afinada na ponta para 1,6 mm. Considera-se a fissura de 0,25 mm de abertura quando a ponta da lâmina padrão penetrar sem dificuldade 1,6 mm, com pequenos intervalos, na distância de 300 mm. Dada a concepção simplista, o método de ensaio não permite avaliar o comportamento mecânico da peça, ficando restrito apenas à verificação da conformidade do componente ao requisito especificado. Além disso, a carga de fissura é sempre um parâmetro duvidoso, pois depende muito da sensibilidade e acuidade do técnico responsável pela realização do ensaio. Apenas a carga atingida na ruptura é um parâmetro confiável, caso a prensa esteja corretamente aferida, pois corresponde à carga máxima atingida durante a realização do ensaio.

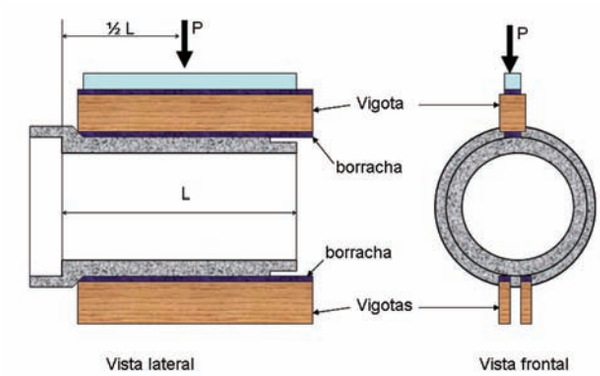


Figura 1: Ensaio de compressão diametral de tubos de concreto para águas pluviais e esgoto.

O ensaio prescrito pela norma NBR 8890:2007 para a verificação de conformidade do desempenho do tubo de concreto reforçado com fibras de aço não está sujeito às subjetividades do ensaio para avaliação do tubo convencionalmente armado. Este ensaio prescreve que o tubo seja carregado progressivamente a uma velocidade constante até a carga atingir o valor equivalente a dois terços da carga de ruptura especificada para o componente.

Esta carga é equivalente à carga de fissura do tubo convencionalmente armado. O procedimento de ensaio continua com a manutenção dessa carga por, no mínimo, um minuto, após o que se deve observar se o tubo apresenta alguma fissura ou qualquer tipo de alteração. Por isto, esta carga foi denominada carga mínima isenta de dano na NBR 8890. Caso seja constatado qualquer dano, o tubo é reprovado e, caso isto não ocorra, o tubo deverá ser carregado até a sua carga máxima, sendo esta registrada imediatamente.

Ou seja, neste procedimento a observação do laboratorista encarregado do exame do tubo é feita com a devida tranqüilidade e a constatação da ocorrência de fissura é um procedimento muito mais simples do que a medida de sua abertura. Assim, o procedimento fica muito menos sujeito à subjetividade do julgamento do laboratorista, ou mesmo de sua falta de habilidade.

Após o carregamento do tubo até a carga máxima (carga de ruptura) ocorre uma progressiva redução dessa carga. Quando o valor da carga medida atingir 95% da carga máxima registrada, o tubo deverá ser totalmente aliviado reduzindo sua carga a zero. Na seqüência, deve-se re-aplicar uma carga equivalente à carga mínima isenta de dano (dois terços da carga de ruptura) e mantê-la por mais um minuto. Neste momento deve-se verificar se o tubo apresenta capacidade de suporte da carga mantida nesta situação.

Caso isto ocorra, o tubo deverá ser carregado novamente e a carga máxima atingida neste re-carregamento deverá ser anotada, sendo a mesma, correspondente à carga máxima pós-fissuração,. Esta carga máxima pós-fissuração deverá ser, no mínimo, 5% superior à carga mínima isenta de dano. O esquema da seqüência de carregamento utilizada neste ensaio se encontra apresentado na Figura 2.

Vale ressaltar que a proporção de dois terços é a mesma adotada pela norma brasileira para a relação entre carga de fissura e de ruptura ou carga mínima isenta de danos e carga de ruptura. Assim, o nível de carregamento que o tubo deve sustentar sem dano visível previsto no caso do reforço com fibras de aço é o mesmo que é exigido para a carga de fissura do tubo convencional e, ambas as cargas são adotadas para a definição da classe dos tubos. Ou seja, um tubo reforçado com fibras não deve apresentar dano visível enquanto o tubo convencional admite uma fissura de 0,25 mm para a mesma faixa de carregamento.

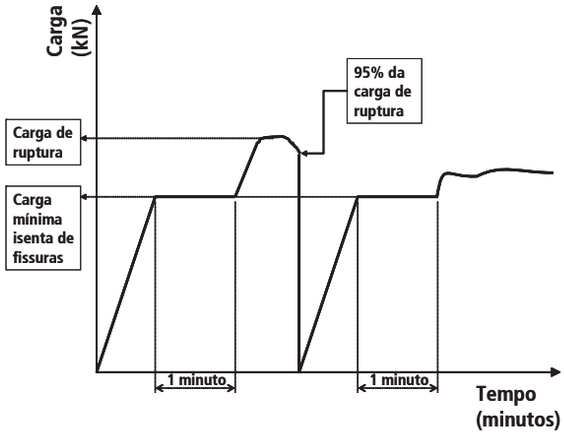


Figura 2: esquema de carregamento do tubo reforçado com fibras de aço segundo a norma NBR 8890:2007.

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 33 27/8/2008 14:54:31

3. COMPORTAMENTO DOS TUBOS REFORÇADOS COM FIBRAS DURANTE O ENSAIO

Para melhor compreensão do comportamento do concreto reforçado com fibras de aço em relação ao concreto reforçado com telas metálicas ou vergalhões, foram realizados vários estudos onde se empregou um sistema de medida de deformação diametral do tubo concomitantemente ao seu carregamento. Para estes ensaios, o equipamento utilizado teve que ser dotado de um sistema de aquisição de dados compatível com as necessidades de levantamento das curvas de carga por deformação diametral do componente.

Para maior confiabilidade e precisão dos resultados, também foi implantado um sistema para aquisição das deformações dos tubos através de LVDTs, posicionados nas extremidades dos tubos e apoiados na borda oposta conforme o apresentado na Figura 3. Com esta forma de posicionamento dos transdutores evitou-se que deformações extrínsecas à peça ensaiada interferissem no resultado medido. Na Figura 4 pode ser observado em detalhe o posicionamento do LVDT na parte superior interna do tubo durante o ensaio de compressão diametral.

Este posicionamento ocorreu sobre uma pequena folha de acetato (Figura 4b) de modo a se evitar que o LVDT entre na fissura que se forma no tubo durante o ensaio. Com este arranjo de ensaio tornou-se possível levantar a curva de carga por deslocamento médio medido em ambos os LVDTs. Vale ressaltar que, para a norma, não é necessário este tipo de sofisticação para a realização do ensaio, bastando apenas a utilização de um sistema que possibilite a leitura precisa do nível de carregamento independentemente do nível de deformação diametral a ele associado.

Figura 3: configuração inicial do sistema de posicionamento dos LVDTs para medida contínua de deformação dos tubos de concreto.

Pode-se observar pelos resultados de Chama Neto (2002) apresentados na Figura 5, que a capacidade resistente do tubo reforçado com fibras para baixos níveis de deslocamento é tão maior quanto maior for o teor de fibras de aço. Estes ensaios foram feitos seguindo a metodologia do carregamento contínuo, diferentemente daquilo que foi definido pela norma brasileira mais recentemente. No entanto, os mesmos tornam possível comparar o desempenho do reforço com fibras com o reforço convencional quando atuam em um tubo de concreto.

Para o teor de 40 kg/m3 a capacidade resistente oferecida pelas fibras nesta situação é bem superior que o reforço convencional. A situação se inverte quando se observa a evolução dos resultados para níveis maiores de deslocamento, onde o tubo reforçado com tela passa a ter um comportamento superior ao da fibra. No entanto, deve-se ressaltar que o comportamento mais interessante é, justamente, do tubo reforçado com fibras dado que sua maior capacidade resistente ocorre para os baixos níveis de deformação e consequentemente, baixos níveis de fissuração.

Este comportamento é explicado pelo fato da fibra reforçar toda a espessura do tubo, ao contrário da tela que, para garantir o recobrimento mínimo de proteção, acaba por ser posicionar junto á linha neutra da parede do tubo (Figura 6). Por outro lado, deve-se ter o cuidado de evitar que consumos muito baixos de fibra sejam utilizados, pois acabam por conferir uma baixa resistência pós-fissuração.

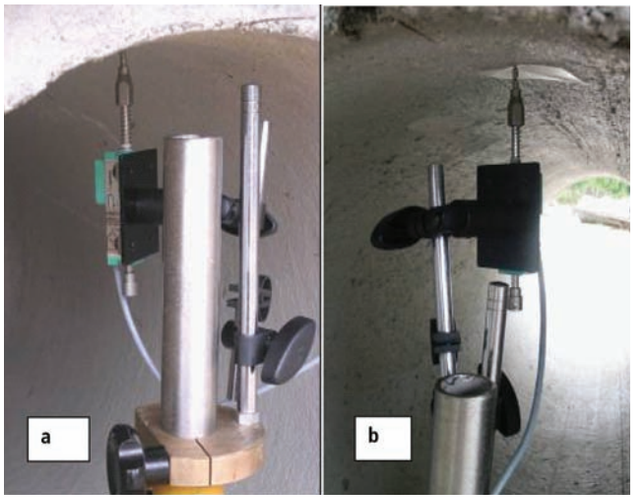


Figura 4: (a) detalhe do suporte para posicionamento do LVDT para leitura da deformação do tubo de concreto durante o ensaio de compressão diametral e (b) da folha de acetato que evitava a entrada da agulha em uma possível fissura.

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 34 27/8/2008 14:54:33

O comportamento positivo do concreto reforçado com fibras de aço para controle da fissuração e o fato de se armar toda a espessura do tubo acabam por trazer outras vantagens, como a redução do nível de perdas durante armazenamento, transporte e aplicação dos tubos. Apesar de ser possível aumentar a capacidade de redução de perdas com a utilização de baixos teores, não se pode esquecer que a capacidade de reforço é muito dependente do teor de fibra utilizado (Figura 7). Assim, baixos teores de fibras comprometem o comportamento do tubo durante o ensaio e fazem com que o mesmo não tenha condições de atender aos requisitos especificados pela norma brasileira, como está mais bem discutido a seguir.

O comportamento típico de um tubo reforçado com fibras de aço se encontra apresentado no gráfico apresentado na Figura 8, o qual foi obtido com o controle eletrônico das deformações diametrais em conjunto com o carregamento. Para melhor compreensão do comportamento do tubo durante o ensaio, vale observar que existe um trecho elástico inicial que é seguido por um trecho mais abatido indicando o início da fissuração. Após esse início da fissuração o tubo ainda mostra uma capacidade de suportar aumento no carregamento com maiores deformações.

Em seguida ocorre a carga máxima, onde ocorre a propagação da fissura, que é seguida de uma instabilidade (caracterizada pela redução dos pontos obtidos pela aquisição de dados) devido à transferência de carga da matriz para as fibras. Depois dessa região de instabilidade, ocorre um certo patamar de escoamento característico de *softening*. Quando a carga atinge 95% da carga máxima há o alívio do tubo caracterizado por uma linha descendente com pontos bem afastados devido à maior velocidade de remoção de carga.

Vale notar que existe um acúmulo de pontos lidos em torno dos 120kN de carga no trecho inicial e no trecho de re-carregamento, devido ao tempo em que esta carga foi mantida durante a realização do ensaio. Nota-se que durante o re-carregamento o tubo perdeu rigidez devido ao seu estado de fissuração. Nesta situação, os elementos responsáveis pela rigidez são as fibras de aço que atuam como ponte de transferência de tensão ao longo das fissuras que ocorrem no topo, base e laterais do tubo (Figueiredo, 2005). Depois da manutenção da carga a 120kN, percebe-se que não ocorre perda de rigidez do material, que segue a mesma tendência de recuperação de carga nesta região de re-carregamento até atingir a nova carga máxima. Após atingir a carga máxima no re-carregamento, não ocorre instabilidade e o tubo apresenta o característico comportamento de *softening* novamente.

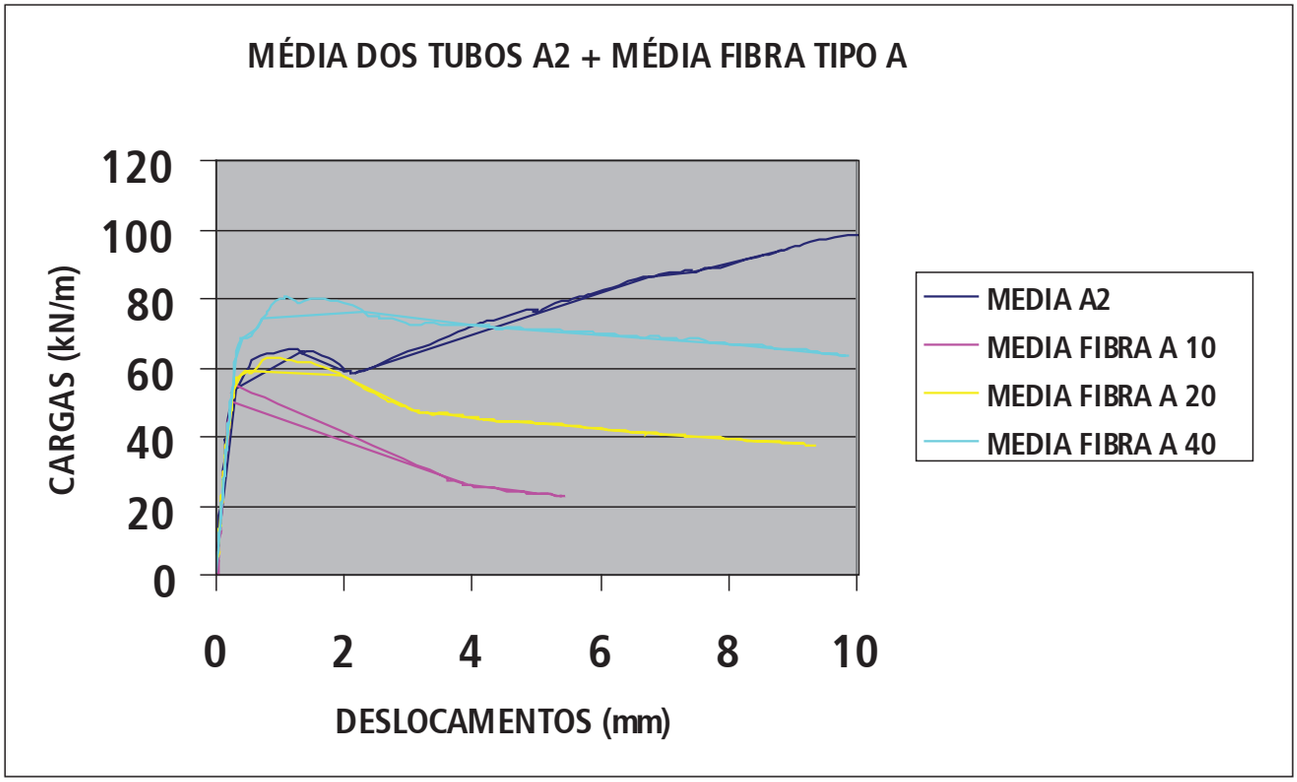


Figura 5: Resultados médios obtidos por Chama Neto (2002) comparando os ensaios de tubos de concreto com reforço de vergalhões (A2) e reforçados com fibras com 10kg/m3 (A 10), 20kg/m3 (A 20) e 40kg/m3.

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 35 27/8/2008 14:54:36

Um exemplo de tubo de concreto reforçado com fibras de aço em conformidade com os requisitos da norma está apresentado na Figura 9, através da curva de carga por deformação diametral obtida como resultado do ensaio de compressão diametral. Percebe-se nitidamente, que o tubo atende ao requisito da carga mínima isenta de dano no trecho linear inicial da curva, onde o concreto responde preponderantemente pelo comportamento do material com a cooperação da fibra. Depois de atingida a carga de pico ocorre o descarregamento do componente e, no re-carregamento, o ganho de carga não ocorre com o mesmo nível de rigidez do trecho inicial.
A retomada de carga segue uma linha quase reta e mais abatida que a primeira, como se houvesse uma redução do módulo de elasticidade do material. Nota-se até que se ultrapassa com sobras os requisitos de desempenho da norma, o que pode ser atribuído ao fato de se ter utilizado um elevado consumo (40kg/m^3) de fibras de aço trefilado com ancoragem em gancho com elevado comprimento (60mm) e fator de forma (80).

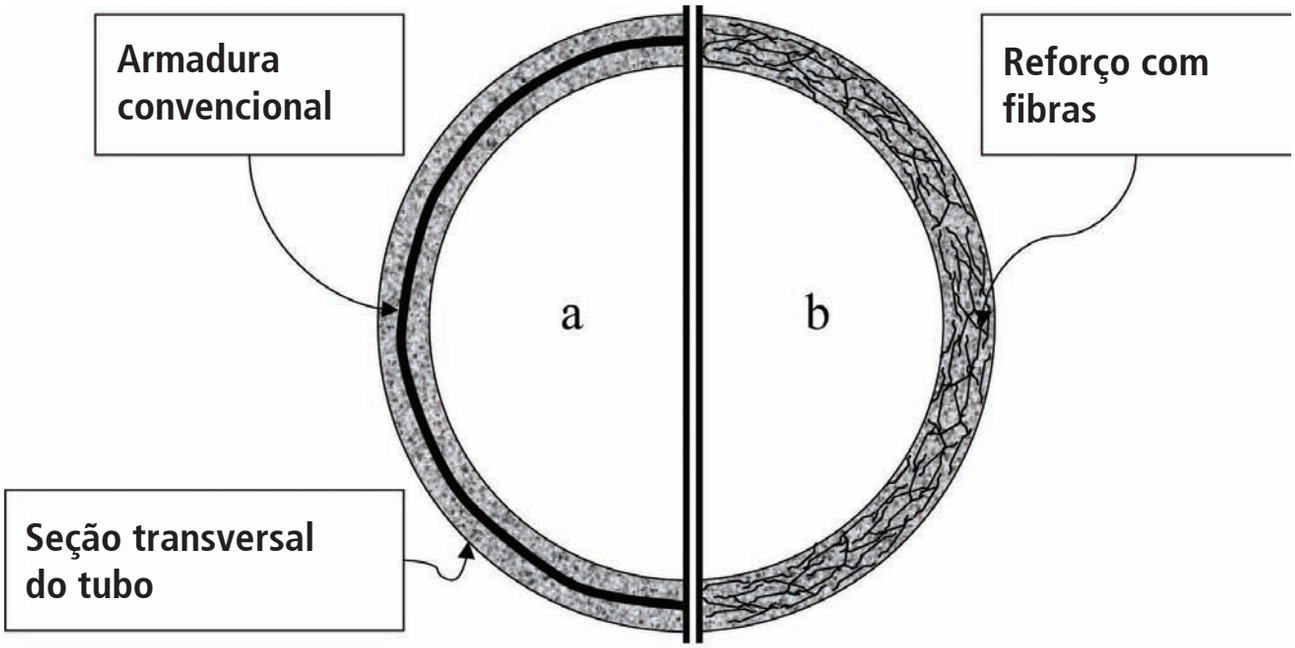


Figura 6: Esquema de concentração de tensões para um concreto sem e com reforço de fibras.

No entanto, o uso de uma fibra de elevado desempenho como o mostrado no exemplo anterior, não é garantia de conformidade para o tubo. Uma prova disto é o exemplo de ensaio de compressão diametral com controle de deformação apresentado na Figura 10. Neste gráfico pode-se observar a não conformidade do tubo com consumo de apenas 10 kg de fibra por metro cúbico. Inicialmente, o mesmo atende ao requisito da carga mínima isenta de dano no trecho linear inicial da curva, onde o concreto é o principal responsável pelo comportamento do tubo. No entanto, com o prosseguimento do carregamento, não consegue atingir a carga de ruptura mínima correspondente a 180kN.
Da mesma forma, ao se proceder ao recarregamento do mesmo, não se consegue atingir a carga mínima isenta de dano e, muito menos, mantê-la por um minuto conforme é exigência da norma. Assim, apesar deste tubo ter uma condição de trabalho razoável se não houver fissuração do mesmo, a norma o reprovaria pelo fato de não atender ao requisito de resistência e por não apresentar uma ductilidade mínima, caracterizada pela resistência pós-fissuração que o tubo apresenta durante o seu re-carregamento. Esta ductilidade é uma condição de segurança para a utilização do tubo para sistemas de coleta de águas pluviais e esgoto. Isto ocorre porque a ruptura frágil do mesmo poderá significar elevados riscos ao pessoal que venha a trabalhar no seu interior, bem como para qualquer que seja a utilização dada à superfície da região onde o mesmo tenha sido enterrado.

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 36 27/8/2008 14:54:36

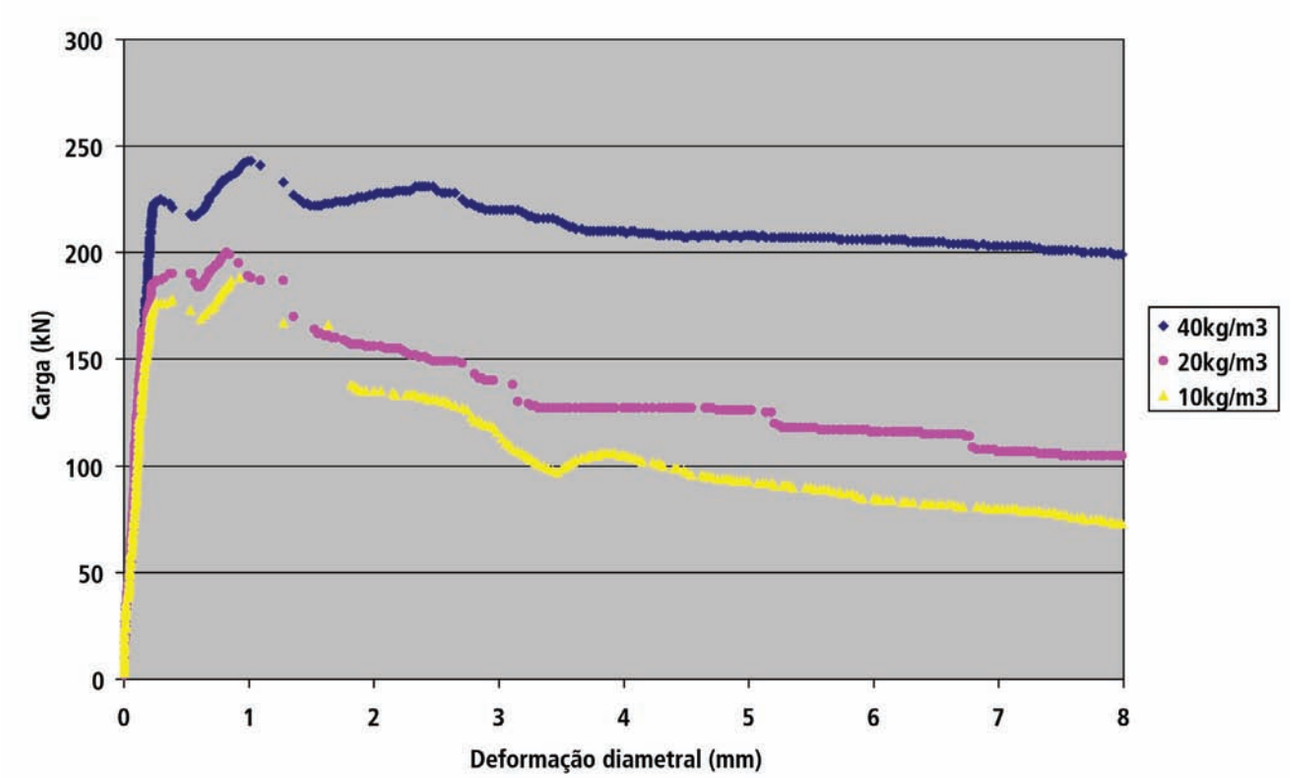


Figura 7: Curvas de carga por deslocamento obtidas no ensaio de compressão diametral de tubos com diferentes consumos de fibra produzidas a partir dos resultados de Figueiredo et al. (2007).

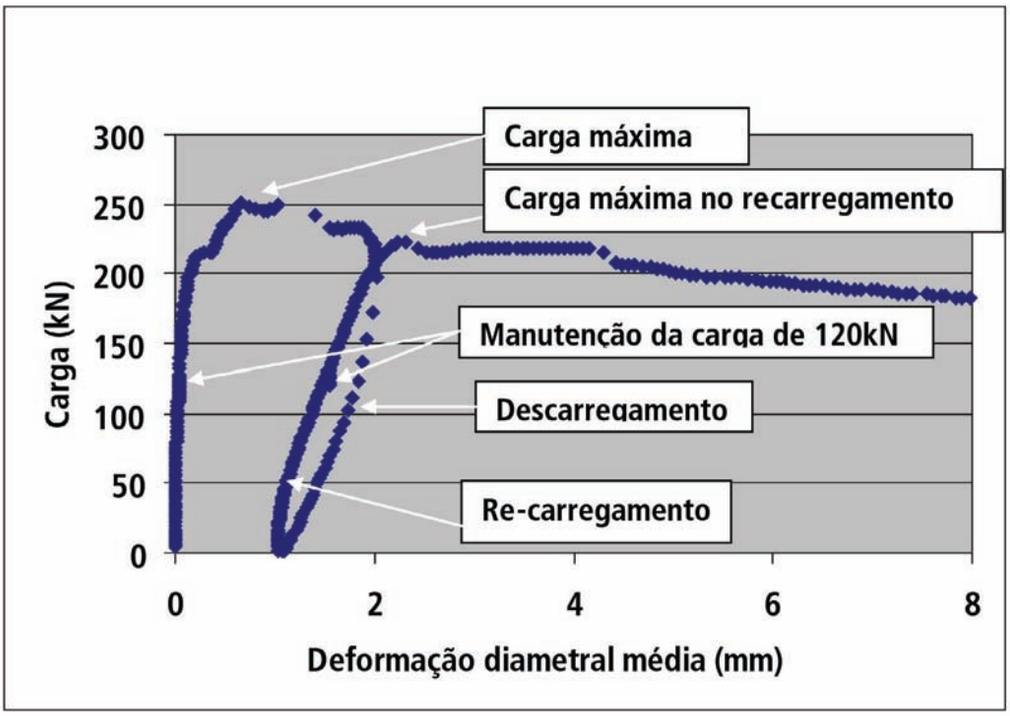


Figura 8: Tubo de concreto com 40kg/m3 de fibras de aço ensaiado segundo a norma NBR 8890:2007 com controle de deformação diametral.

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 37 27/8/2008 14:54:37

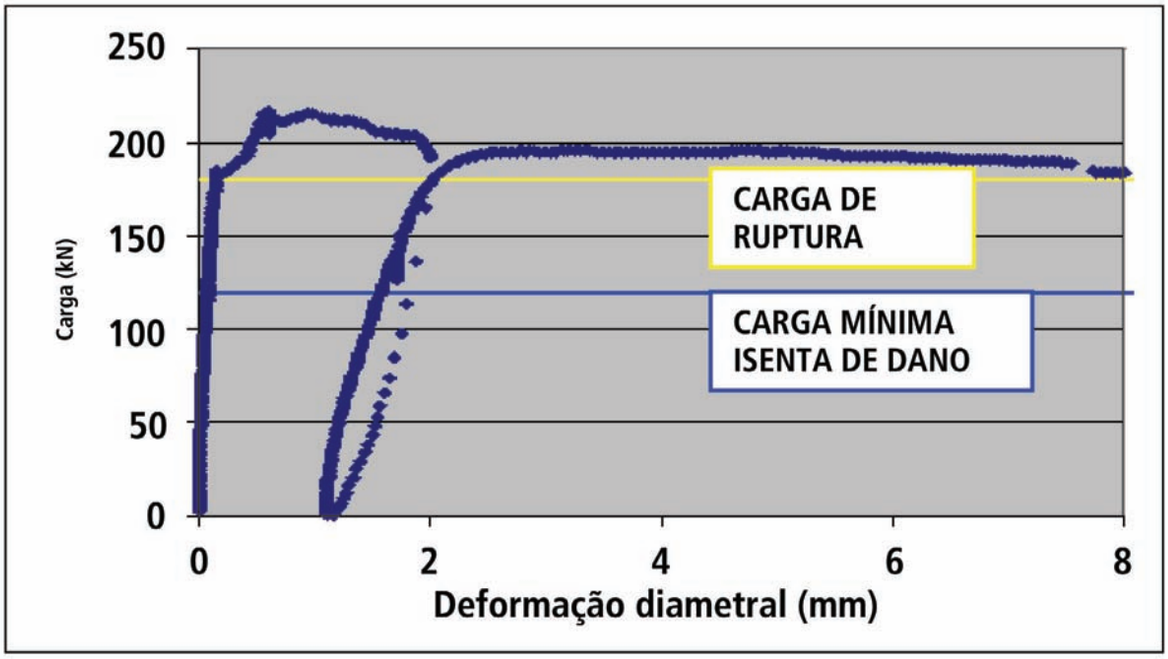


Figura 9: Tubo de concreto EA2 de 2,5m de comprimento com um consumo de fibras de 40kg/m³ ensaiado segundo a norma brasileira apresentando conformidade (exigência de 120kN para carga mínima isenta de dano e 180kN para carga de ruptura).

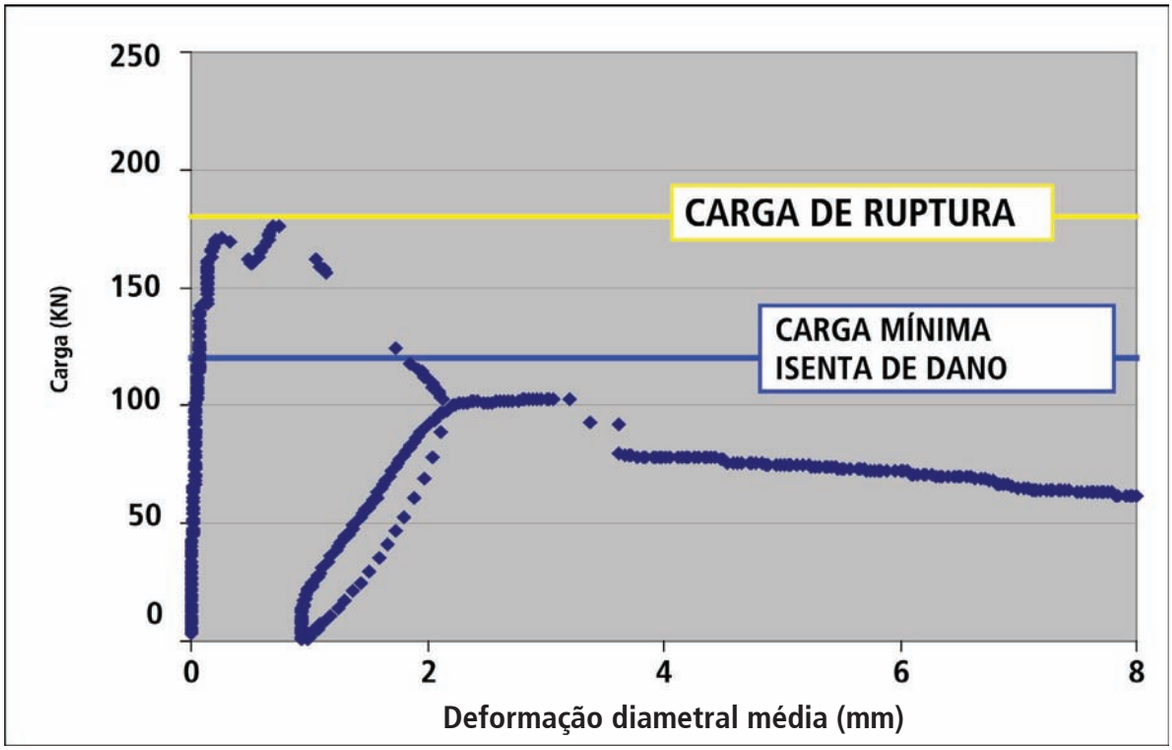


Figura 10: Tubo de concreto EA2 de 2,5m de comprimento com um consumo de fibras de 10kg/m³ ensaiado segundo a norma brasileira e não apresentando conformidade (exigência de 120kN para carga mínima isenta de dano e 180kN para carga de ruptura).

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 38 27/8/2008 14:54:38

4. CONCLUSÕES

A norma NBR 8890:2007 para tubos de concreto para água pluvial e esgoto pode ser considerada uma das grandes conquistas brasileiras na área da tecnologia do concreto. Isto ocorre porque esta norma é a primeira a regular a aplicação do material concreto reforçado com fibras de aço, tendo sido desenvolvida concomitantemente à norma de especificação da fibra de aço para reforço do concreto (NBR 15530:2007). Esta norma é uma grande inovação, pois foi publicada antes mesmo de se ter uma aplicação regular do produto.

Esta situação peculiar ocorreu pelo fato da operação de compra de tubos de concreto ser realizada, fundamentalmente, por órgãos governamentais que devem lançar mão de um edital de licitação. Com isto, apenas tubos regularmente normalizados são passíveis de serem comprados. Por outro lado, o fato de não se ter ainda uma aplicação em larga escala, fez com que a norma apresentasse uma postura que pode ser considerada conservadora, dado que o uso do concreto com fibras estará restrito a tubos com diâmetro nominal igual ou inferior a um metro. Isto foi adotado no sentido de se minimizar riscos de aplicação, os quais são maiores para as redes coletoras de maiores dimensões.

Além disso, a norma foi bem mais exigente para os tubos de concreto com fibras, os quais devem suportar a carga de fissura do tubo convencionalmente armado sem apresentar qualquer tipo de dano. Isto, além de estar a favor da segurança do ponto de vista de resistência mecânica, também é extremamente conservador do ponto de vista de durabilidade, dado que se espera uma menor susceptibilidade da fibra à corrosão eletrolítica. Assim, espera-se que a vida útil dos tubos de concreto reforçado com fibras seja ainda maior. Vale ressaltar também que a norma introduziu algumas novidades, mesmo para a normalização internacional, como a necessidade de se controlar a carga máxima pós-fissuração, o que poderá ser utilizado em condições práticas para a otimização do teor de fibra para cada condição de produção.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Tubo de concreto, de seção circular, para águas pluviais e esgotos sanitários.** NBR 8890, ABNT, Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Fibras de aço para concreto - Especificação**. NBR 15530:07, ABNT, Rio de Janeiro.

CHAMA NETO, P. J. **Avaliação de desempenho de tubos de concreto reforçados com fibras de aço**. São Paulo: USP, 2002. Dissertação (Mestrado em engenharia civil). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 2002.

CHAMA NETO, P. J.; FIGUEIREDO, A. D. de. **Avaliação de desempenho de tubos de concreto reforçados com fibras de aço.** In: 45o CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO DO INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO (IBRACON), 2003, Vitória. 2003.

FIGUEIREDO, A.D. **Concreto com Fibras.** Capítulo 39. Concreto. Ensino, Pesquisa e Realizações. Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2005. pp. 1195-25

FIGUEIREDO, A.D.; CHAMA NETO, P. J.; QUINTA, M. T.; GIMENEZ, A. B. **Avaliação de metodologia de ensaio de tubos de concreto reforçado com fibras para esgoto.** Revista Concreto & Construções do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2007. Aceito para publicação.

NBN EN1916 **Concrete pipes and fittings, unreinforced,** steel fibre and reinforced. Belgisch Instituut voor normalisatie (BIN), Brussel, December 2002.

RAMOS, M.F. **Análise experimental de tubos de concreto reforçado com fibras de aço**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas UNICAMP. Faculdade de Engenharia Civil. Campinas, SP. 2004.

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 39 27/8/2008 14:54:40

AVALIAÇÃO DE MEDIDORES DE VAZÃO COM MÚLTIPLAS TOMADAS DE EVALUATION OF FLOW METERS WITH MULTI-PORT PRESSURE

Nicanor Alencar Camapum Filho[1]
Milton Dall'Aglio [2]

1- Engenheiro Civil – UNOESTE. Engenheiro Mecânico – FENSUPI. Especialização em Engenharia Sanitária – UNESP. Mestrando em Engenharia Civil na área de Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais – UNESP.
2 - Engenheiro Civil. Mestre e Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo EESC-USP. Professor do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da UNESP – Campus de Ilha Solteira.

Endereço: Rua Arthur Villa Real, 217- Vila Formosa- CEP 19013-570- Presidente Prudente – SP- e-mail: nicanoracf@sabesp.com.br

RESUMO

Avalia-se um medidor de vazão prático e econômico, que integra uma haste de inserção multifuros tradicional a um moderno sensor inteligente e um sistema digital de aquisição e condicionamento de dados com microprocessador embutido. Vários medidores estão em serviço contínuo em redes de abastecimento de água, com bons resultados. Dois medidores, com hastes de 1 e de 7 furos, foram aferidos em seções com perfil de velocidade simétrico e assimétrico, utilizando um Pitot Cole padrão. Embora a sonda de 7 furos seja menos sensível às assimetrias do perfil, o menor erro médio (2,2% da leitura) foi obtido em perfil simétrico. O erro com 95% de confiança foi ±3,9m3/h (2,3% da vazão máxima). O sistema mostrou-se tecnicamente viável, de baixo custo, de fácil instalação e, portanto, adequado para atender uma demanda reprimida por macromedidores nos sistemas de abastecimento brasileiros.

ABSTRACT

A practical and inexpensive flow measurement system, made by integration of a traditional multi point insertion probe, and up to date smart pressure sensor and a digital system of data acquisition and conditioning with embedded computing power is considered. Several meters have been used on continuous operation in water supply systems with good results. Two probes, with 1 and 7 orifices, were calibrated in sections with symmetrical and asymmetrical velocity profiles, using a Pitot Cole standard. Although the 7 orifices probe was less sensitive to asymmetry, the smallest mean error (2.2% of the reading) was obtained in symmetrical profiles. The 95% confidence error band was ±3.9m3/h (2.3% full scale). The system has shown its technical feasibility, it is inexpensive, easy to install, and hence it is appropriate to attend a repressed demand for master metering in the Brazilian public water supply systems.

Palavras-chave: Medidor de vazão; Medidor de inserção; Pitot Multifuros; Macromedição

Key words: Flow meter; Insertion meter, Multi-Port Pitot Tube, Master metering.

1. INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento da instrumentação industrial, a medição de vazão ganhou em precisão, confiabilidade e versatilidade, podendo ser aplicada a condições de serviço cada vez mais diversificadas. A variedade dos tipos e modelos de instrumentos de medição de vazão obriga o especialista a uma constante atualização e aumenta a distância que o separa do usuário que aplica este vasto conjunto de técnicas à própria indústria. Desta forma, a escolha do sistema de medição mais adequado para determinada aplicação é freqüentemente um problema para o engenheiro de campo, embaraçado diante de muitas alternativas.

Nas tubulações destinadas ao abastecimento público de água, seja em redes de distribuição, subadutoras ou adutoras, há necessidade de instalação de medidores de vazão para aperfeiçoamento dos programas de controle de perdas e pesquisas de vazamentos.

Atualmente, o medidor de vazão mais utilizado pelas companhias de saneamento do Brasil é o eletromagnético, seguido pelos medidores do tipo Annubar e ultrassônico, que aos poucos têm tomado o lugar dos medidores do tipo turbina, tanto os de seção total como de inserção, no ranking de aplicação.

Essa composição dos produtos comercialmente oferecidos em nosso mercado ignora, em grande parte, as possibilidades dos tradicionais medidores deprimogênicos de inserção. Entretanto, como resultado da evolução da instrumentação digital, aliado ao grande uso de medidores tipo orifício na indústria em geral, transdutores de pressão e condicionadores digitais de sinal de excelente desempenho são disponíveis hoje, a custos relativamente baixos. Nesse contexto, um sistema de medição composto de uma sonda de inserção tradicional, do tipo Pitot, acoplada a um moderno sistema digital de instrumentação, apresenta-se como solução tecnicamente viável, de custo baixo e adequada às condições operacionais dos sistemas de distribuição brasileiros.

A partir dessas premissas, este trabalho propõe-se a avaliar, em condições reais de operação, o desempenho e a confiabilidade de um sistema de medição de vazão composto de medidores de inserção com múltiplos furos, tradicionalmente recomendados (AWWA 1997, Cap. 20), acoplado a um sistema digital de aquisição e tratamento de dados, composto de transdutores de pressão e condicionador/transmissor do tipo industrial. Esse sistema viabiliza as medições contínuas de vazão para grandes diâmetros, com baixo grau de incerteza, baixo custo e facilidade de instalação e manutenção. Apresenta, portanto, grande

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 40 27/8/2008 14:54:40

potencial para enfrentar a deficiência de macromedições nos sistemas de abastecimento públicos, ao evitar o custo elevado de aquisição dos medidores usuais existentes e as dificuldades para instalá-los.

A Tabela 1 apresenta uma breve comparação de custos entre dois dos medidores de vazão mais difundidos atualmente no mercado e o sistema proposto. Os custos consideram as marcas mais utilizadas e incluem os acessórios necessários para a montagem e operação.

Tabela 1: Custos de alguns medidores mais difundidos nas concessionárias de saneamento. Composição do custo: medidor (primário), indicador (secundário), fonte e acessórios de instalação.

Diâmetro (mm)	Eletromagné-tico (R$)	Annubar (R$)	Medidor Proposto (R$)
100	8.900,00	6.429,00	3.000,00
200	10.450,00	6.620,00	3.050,00
300	12.900,00	6.859,00	3.150,00
500	18.550,00	7.552,00	3.300,00
800	37.400,00	10.202,00	3.500,00

Um sensor de inserção dispensa o seccionamento da tubulação para sua instalação, tornando a montagem prática e simples. A haste de múltiplos furos permite diminuir problemas com entupimentos, com a vantagem de ser menos sensível a variações do perfil de velocidades, decorrentes de incrustações ou outras causas que afetem as condições do escoamento. Para verificar essa característica o desempenho da haste com múltiplos furos foi comparado ao de uma haste de apenas 1 furo.

A escolha dos locais para os testes com os medidores foi baseada na necessidade de criação de um laboratório prático e versátil que permitisse manipulações das condições de escoamento. Isto foi possível, com a introdução de poucas modificações, nas instalações da ETA de Presidente Prudente-SP que abastece a zona denominada de Alto ETA. Existe também a necessidade de avaliar o desempenho do medidor em condições reais, incluindo diversos diâmetros e materiais de rede em saídas de reservatórios, objetivando determinar sua capacidade, limites e características técnicas. Desta forma, procurando também ajudar nas gestões operacionais locais, outros pontos foram escolhidos para a instalação do aparelho investigado, conforme lista a seguir:

- Um sistema de bombeamento para rede de distribuição, com derivação para dois setores (Alto da Boa Vista e Jd. Bongiovani), cujas redes de distribuição possuem diâmetros de 250mm em fibrocimento, no Município de Presidente Prudente (foi instalado um medidor para cada derivação);
- Uma rede de saída por gravidade, com diâmetro de 250mm em fibrocimento, no Reservatório da Vila Formosa no Município de Presidente Prudente;
- Uma tubulação de saída de água tratada (distribuição em marcha), com diâmetro de 500mm, em Ferro Fundido na ETA do município de Presidente Epitácio;
- Uma tubulação de saída do booster do Bairro São João, com diâmetro de 200mm, em PVC DeFoFo, no município de Presidente Prudente;
- Uma tubulação de divisa de setor geográfico de abastecimento, na ponte do Jardim Santa Fé, com diâmetro de 300mm, em Ferro Fundido no município de Presidente Prudente;
- Uma rede de saída por gravidade, com diâmetro de 300mm em fibrocimento, para abastecimento dos bairros Cohab e CECAP, no Reservatório da Cohab no Município de Presidente Prudente;
- Uma rede de saída por bombeamento, com diâmetro de 200mm em PVC DeFoFo, no Reservatório da Cohab no Município de Presidente Prudente.

No município de Presidente Prudente estas instalações estão sendo utilizadas para estudos de perdas físicas de água.

METODOLOGIA

Construção das sondas

As sondas foram constituídas de dois tubos de aço inoxidável com comprimento variável ajustando-se a cada tubulação, Ø 6 mm externo e Ø 4 mm interno, com orifícios de Ø 4 mm, atendendo à classe de pressão PN 20. As pressões são coletadas nos tubos que constituem os bordos de ataque e de fuga do perfil da haste, constituindo um medidor do tipo diferencial.

Os tubos são alojados num corpo de bronze, que acomoda dois *o'rings* de borracha crua para vedação e permite a introdução e fixação do conjunto no TAP de instalação no tubo. Os detalhes construtivos do medidor investigado são ilustrados pela Figura 1.

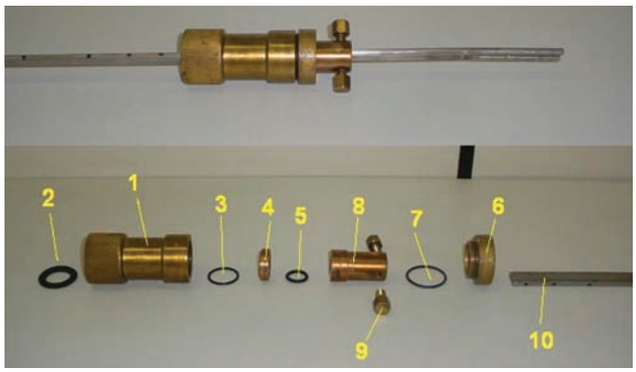


Figura 1 – Foto do medidor montado e dos componentes do medidor investigado.

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 41 27/8/2008 14:54:40

A parte inferior da Figura 1 detalha, em vista explodida, os componentes do medidor, listados a seguir: 1- Base de Bronze SAE 40; 2- Junta de vedação em lençol de borracha com lona simples para fixação da Base de Bronze no TAP; 3- Anel *O'ring* de borracha Buna N para vedação na base do prato intermediário; 4- Prato intermediário em Bronze SAE 40; 5- Anel O'ring (Buna N) para vedação na parte superior do prato intermediário; 6- Porca vazada recartilhada em Bronze SAE 40; 7- Anel O'ring (Buna N) para vedação na base da Porca recartilhada; 8- Mancal guia deslizante em Bronze SAE 40; 9- Parafusos em Bronze SAE 40 sextavados; 10- Haste multifuros em aço inoxidável 316.

Foram utilizadas duas hastes, diferindo apenas no número de furos, sendo uma com 7 furos no bordo de ataque e 7 no bordo de fuga, enquanto que a segunda haste dispunha de apenas um furo central para cada tomada de pressão. Para determinação do posicionamento dos furos, foi seguido o critério de coroas circulares de áreas iguais. A Figura 2 ilustra o aspecto das hastes utilizadas.

Figura 2 – As duas hastes de aço inoxidável com 1 furo e 7 furos

Foram utilizadas duas hastes, diferindo apenas no número de furos, sendo uma com 7 furos no bordo de ataque e 7 no bordo de fuga, enquanto que a segunda haste dispunha de apenas um furo central para cada tomada de pressão. Para determinação do posicionamento dos furos, foi seguido o critério de coroas circulares de áreas iguais. A Figura 2 ilustra o aspecto das hastes utilizadas.

O transdutor de pressão diferencial utilizado foi o modelo LD301, da Smar, cuja concepção é de célula capacitiva. O sensor possui um sistema de compensação de temperatura e uma memória não volátil com um mapeamento da sua curva de calibragem individual. O transdutor de pressão opera em conjunto com um condicionador de sinal que possui uma CPU – Unidade Central de Processamento – incorporada, com várias possibilidades de filtragem e condicionamento digital dos sinais, além de saída analógica de 4 a 20 mA Possui também display para leitura local da pressão ou da vazão, em diversas unidades de engenharia.

Instalações para calibragem

O trabalho de calibragem foi desenvolvido nas dependências da Sabesp de Presidente Prudente-SP. As medições foram realizadas nas instalações da saída para abastecimento da zona Alto ETA. Para investigar se os múltiplos furos efetivamente compensam a assimetria dos perfis de velocidade, os resultados da sonda de 7 furos foram comparados com os da sonda de apenas um furo, nas situações de perfil simétrico e assimétrico.

Foram implantados 3 *TAP*,s no laboratório prático denominado Alto ETA: O TAP_1 com perfil de velocidade axialmente assimétrico, num trecho vertical situado a 0,22 m a jusante de uma curva inferior na saída do barrilete das bombas; o TAP_2, destinado a ensaiar o medidor em seção com perfil de velocidade axialmente simétrico e o TAP_3, destinado ao Pitot Cole utilizado como padrão, ambos em trecho horizontal de tubulação.

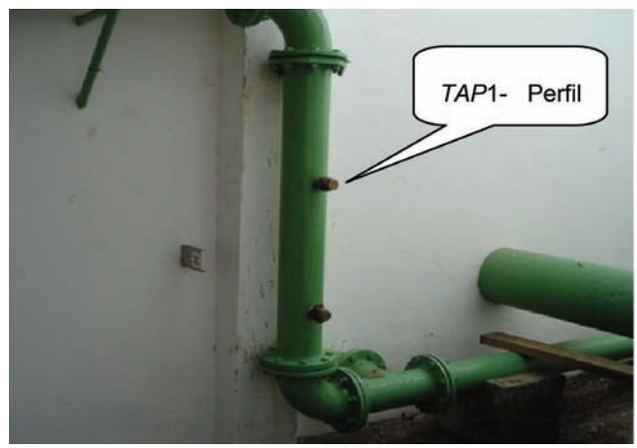


Figura 3 – TAP 1 instalado em local de escoamento com assimetria axial

Os perfis de velocidade nas 3 seções foram determinados com a utilização do Tubo Pitot Padrão, com 11 leituras com medidas descendentes e onze ascendentes para cada *TAP*. A Figura 4 apresenta os perfis de velocidade característicos das duas seções de calibragem utilizadas, caracterizando uma situação recomendada de perfil simétrico (*TAP2*) e uma de perfil assimétrico (*TAP1*).

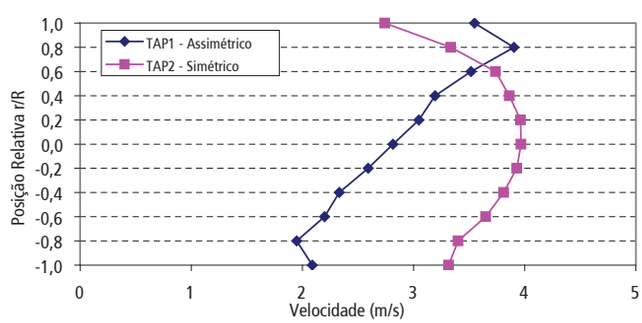


Figura 4 – Perfis de velocidade nas duas seções utilizadas para calibração

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 42 27/8/2008 14:54:42

Foram utilizados, em cada instalação dos medidores: 1- Dois TAP's para instalação na tubulação, com colares de tomada quando necessário (rede fibrocimento); 2- Um Tubo Pitot Cole calibrado; 3- Um Calibre para determinação do diâmetro real interno da tubulação; 4- Transmissor/condicionador de pressão acoplado ao Pitot para determinação das deflexões; 5- Um notebook com planilha em Excel para determinação das vazões com o tubo Pitot Cole.

Procedimento de calibragem

As sondas foram calibradas com a utilização de um tubo de Pitot Cole como padrão, instalado no TAP_3. Na seção padrão foi levantado um perfil de velocidades para uma determinada vazão. As deflexões do Pitot Cole foram medidas com um sistema desenvolvido pelo IPT em 2003 com tecnologia digital de aquisição de dados.

O coeficiente de velocidade do tubo padrão foi calculado da forma usual, conforme recomendado pela Sabesp (1984), com a integração do perfil de velocidades da seção. A partir daí, para cada vazão de ensaio, efetuava-se a leitura com o padrão na linha central do tubo, calculando-se a vazão por meio do coeficiente.

Foram levantadas curvas de calibragem das sondas de 7 furos e de 1 furo nas seções de perfil simétrico (TAP_2) e assimétrico (TAP_1). O limite inferior de vazões corresponde a uma velocidade mínima de 0,3 m/s, que é também o limite prático de emprego do Tubo de Pitot, segundo Taira (2003).

Foram realizados dois ensaios de calibração, cada um com 10 vazões, correspondentes a velocidades variando aproximadamente entre 0,3m/s e 3m/s. No primeiro ensaio, a sonda de 1 furo foi instalada no Tap1 e a de 7 furos no Tap2. No segundo ensaio, as posições das sondas foram alternadas. Em cada ensaio, foi registrada a vazão padrão, a vazão indicada pelo transmissor/condicionador de dados, denominada de Q_M, e a deflexão em mm de coluna de água correspondente ao diferencial de pressão verificado nas hastes ensaiadas.

Metodologia de análise dos dados

A análise dos dados baseou-se na comparação direta dos valores de vazão fornecidos pelo transmissor/condicionador de sinais (Q_M) com a vazão padrão (Q_P) e na determinação de curvas de ajuste da deflexão medida nas hastes em função da vazão padrão.

A vazão Q_M é fornecida a partir de ajustes efetuados durante a instalação dos medidores em campo. Este procedimento emprega as leituras do tubo de Pitot padrão, e uma das equações de calibragem disponíveis em firmware. O valor da vazão é inserido em menu apropriado do sistema computadorizado de condicionamento do sinal, com possibilidade de inserção de tabelas de até 10 pares de dados, para interpolação dos valores de vazão. A partir daí o transmissor de dados passa a registrar diretamente o valor instantâneo da vazão em unidades de engenharia. Esta vazão Q_M representa, portanto, o valor que seria obtido numa instalação normal de campo dos medidores. A leitura de Q_M vale-se de rotinas internas (firmware) do condicionador de sinais para converter o sinal de pressão diferencial em vazão, incluindo algoritmos de filtragem e de médias móveis otimizados para medidores de vazão tipo deprimogênio, amplamente utilizados na indústria.

Na calibragem realizada na estação alto ETA, o erro da leitura de vazão QM foi avaliado a partir do ajuste por mínimos quadrados de retas em função de Q_P ($Q_M = m'Q_P$). As curvas de utilização são do tipo $Q_{Real} = m\ Q_M$. m` e m são coeficientes de proporcionalidade ajustados.

Durante a calibragem, além do valor de vazão em unidades de engenharia, foram lidos também valores instantâneos da pressão diferencial, em mca, o que permitiu o ajuste das curvas de vazão em função da pressão diferencial. O uso das leituras de diferencial de pressão, ou deflexão, foi necessário para se investigar a efetividade do medidor de 7 furos, em comparação com o de 1 furo, na atenuação das condições hidráulicas desfavoráveis de um perfil diferente do utilizado na calibragem. Embora sejam leituras fornecidas pelo mesmo transdutor de pressão e condicionador de sinais, apenas com mudança nas funções de apresentação de dados do equipamento, a leitura das deflexões foi instantânea. Portanto, as deflexões não sofreram os mesmos processos de condicionamento digital que resultaram nas vazões Q_M.

Com os dados de pressão diferencial, foram ajustadas equações de calibragem do tipo exponencial ($\Delta P_i = m' Q_{P,i}^{b'}$) em que o expoente b' é variável, e também com o valor fixo de b' = 2. Na calibragem, os limites de erro da vazão podem ser determinados a partir da variância da variável independente S_x^2. A situação de uso de um medidor difere da situação da calibragem porque, durante o uso do medidor, a variável independente passa a ser a leitura fornecida pelo instrumento, e a variável dependente passa a ser a vazão, que é desconhecida (Doebelin, 1990). Como equação de utilização do medidor, foram utilizadas expressões derivadas das anteriores, do tipo $Q_{Aj,i} = m\ \Delta P_i^b$. Nesse caso, os limites de erro são calculados a partir da variância da variável dependente S_y^2. As faixas de erro são calculadas com 95% de confiança, multiplicando-se S_y por um fator 2 (Doiron et al, 1997).

RESULTADOS

A Tabela 2 resume os dados das regressões lineares realizadas com os dados da vazão medida pelo transmissor/condicionador de sinais e a vazão padrão determinada com o tubo de Pitot, bem como os erros esperados durante a utilização do medidor.

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 43 27/8/2008 14:54:45

Tabela 2: Correlação entre a vazão do medidor Q_M e a vazão do tubo de Pitot (Q_P) para as sondas de 1 furo (1F) e de 7 furos (7F) em perfil assimétrico (T1) e simétrico (T2).

	Dados da Correlação QM x QP			
	1F T1	1F T2	7F T1	7F T2
m	0,9965	0,9905	0,9815	0,9875
r2	0,997	0,992	0,997	0,999
Erro Médio (%)	3,1	3,6	3,2	2,2
Sy (m3/h)	4,37	4,25	3,53	2,53
Faixa de Erro (95%) (m3/h)	6,31	8,65	5,50	3,86

A Figura 5 apresenta graficamente os resultados do ajuste obtido entre a vazão medida QM e a vazão padrão QP para a sonda de 7 furos nas situações de perfil simétrico (*Tap* 2) e assimétrico (*Tap* 1).

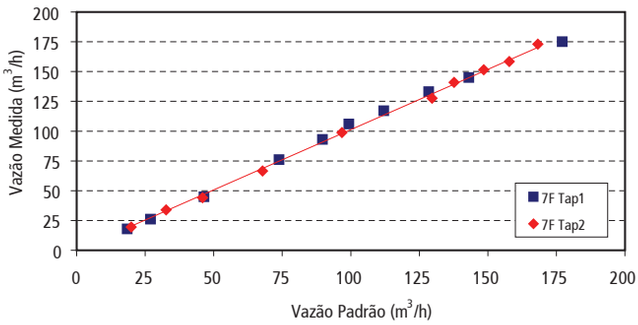


Figura 5: Relação entre a vazão medida QM e a vazão padrão obtida com o medidor com haste de 7 furos no perfil assimétrico (Tap1) e simétrico (Tap2).

A Tabela 3 resume os resultados do ajuste entre as deflexões, em mca e a vazão padrão, em m³/h, utilizando a equação exponencial. A Tabela 4 apresenta as mesmas informações, relativas ao ajuste da equação quadrática.

Tabela 3: Dados do ajuste de curva exponencial ($Q = m\Delta P^b$) aos dados experimentais das sondas de 1 furo (1F) e de 7 furos (7F) em perfil assimétrico (T1) e simétrico (T2).

Dados do Ajuste de Q_P (m³/h) x ΔP (mca)				
	1F T1	1F T2	7F T1	7F T2
m	353,9	200,2	213,0	220,2
b	0,459	0,471	0,445	0,488
r2	0,997	0,994	0,995	0,986
Sy	4,91	6,03	6,20	4,37
Erro Médio (%)	3,18	4,94	4,25	5,91

Tabela 4: Dados do ajuste de curva quadrática ($Q = m\Delta P^{0,5}$) aos dados experimentais das sondas de 1 furo (1F) e de 7 furos (7F) em perfil assimétrico (T1) e simétrico (T2).

Dados do Ajuste de Q_P (m³/h) x ΔP (mca)				
	1F T1	1F T2	7F T1	7F T2
m	384,4	209,1	230,8	225,4
b	0,5	0,5	0,5	0,5
r2	0,986	0,990	0,9915	0,994
Sy	5,02	5,09	4,79	4,01
Erro Médio (%)	7,55	6,26	9,18	6,14

A Figura 6 apresenta os resultados do ajuste obtido entre a deflexão e a vazão para a sonda de 1 furo nas situações de perfil simétrico (*Tap 2*) e assimétrico (*Tap 1*). A Figura 7 apresenta os mesmos resultados do ajuste entre a deflexão e a vazão para a sonda de 7 furos nas situações de perfil simétrico (*Tap 2*) e assimétrico (*Tap 1*). As equações das curvas de ajuste apresentadas são do tipo coeficiente constante (m = 0,5).

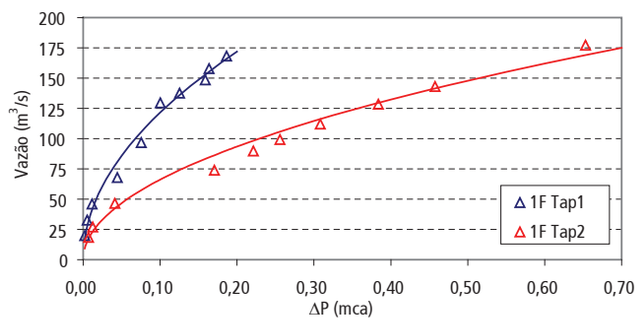


Figura 6: Dados experimentais e curva ajustada aos dados obtidos com o medidor de 1 furo nas duas seções ensaiadas.

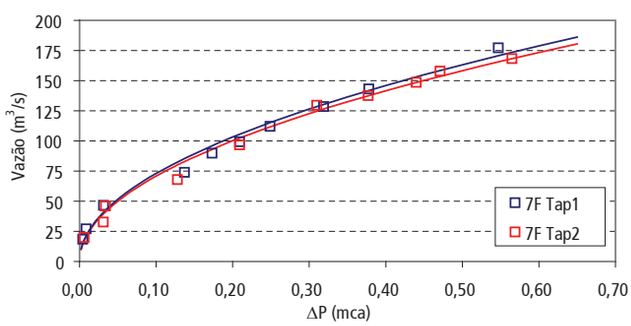


Figura 7: Dados experimentais e curva ajustada aos dados obtidos com o medidor de 7 furos nas duas seções ensaiadas.

DISCUSSÃO

Os medidores investigados neste trabalho foram testados em água tratada, com ausência de sólidos em suspensão e em pressões que variaram de 2mca a 150mca,

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 44 27/8/2008 14:54:45

em utilização contínua por períodos de mais de 24 meses, situações nas quais apresentaram bom desempenho. O primeiro medidor foi instalado em junho de 2003, na rede de fibrocimento de 250mm, na Vila Formosa, e não sofreu intervenção para reparos ou limpeza até o momento. Nas aferições periódicas já realizadas em campo, os desvios situaram-se na faixa de 0,5 a 1%. Esse dado mostra que não ocorreram problemas com a obstrução dos furos da haste nas condições em que os medidores estão operando.

A experiência de uso abrangeu diâmetros de até 500mm, sem registro de problemas devido aos esforços hidrodinâmicos nas hastes. Ressalta-se que a proposta construtiva resulta numa haste com grande resistência mecânica na direção do fluxo, podendo entretanto ocorrer oscilações transversais devido aos vórtices produzidos pela haste. No caso de grandes esforços mecânicos sobre a haste, o efeito danoso poderia ser compensado com a aplicação de outro TAP na posição diametralmente oposta ao primeiro, passando o ponto de maior esforço para o centro da haste e reduzindo o momento fletor. Assim, com base na experiência de uso, pode-se defender um limite de 1,0m de diâmetro, sem modificações expressivas no desenho das hastes, apenas acrescentando-se o segundo *TAP* para apoio.

Como se pode observar na relação de erros da Tabela 2, a sonda que apresentou o menor desvio foi a haste de sete furos e seu melhor desempenho foi observado no *TAP*2 cujo perfil de velocidade é simétrico. Os erros médios na utilização da haste de 7 furos situaram-se entre 2,2% da leitura, no perfil simétrico, e 3,2% no assimétrico. Para a haste de 1 furo, o erro foi ligeiramente menor para o perfil assimétrico (3,2%) que para o perfil simétrico (3,6%).

O bom ajuste das leituras de vazão em relação à vazão padrão pode ser verificado na Figura 5, para as duas condições de perfil, registrando-se que os valores experimentais das duas seções agrupam-se praticamente sob a mesma equação linear de regressão. Utilizando-se o intervalo de confiança de 95% (2S) obtém-se um limite para a faixa de erro de ±3,9m3/h na utilização do medidor com a haste de 7 furos calibrada em perfil simétrico e de ±5,5m3/h para a calibragem em perfil assimétrico.

É interessante verificar também que no caso, teoricamente não recomendável, de utilização da equação de calibragem obtida no Tap2 para calcular as vazões reais de um perfil assimétrico como o *Tap1*, seria obtida uma faixa de erro praticamente igual a da calibragem local. A faixa de erro (2S) subiria de ±5,5m3/h para apenas ±5,7m3/h. Provavelmente esses dados não podem ser extrapolados para qualquer situação de assimetria de perfil, mas constituem um indicativo da baixa sensibilidade do sensor de múltiplos furos a variações pequenas no perfil de velocidades.

Os valores relativamente baixos da faixa de erro máximo provável obtidos colocam o medidor investigado na mesma faixa de desempenho do tubo de Pitot Cole, o que coloca em questão seu uso como padrão de calibração. O valor verdadeiro convencional utilizado como padrão em uma aferição deve possuir margens de erro menores que o instrumento a ser calibrado, sendo o ideal pelo menos uma ordem de grandeza menor (Upp, 1993, Bolton, 1996). Para medição de vazões de água, o método volumétrico direto seria um padrão mais adequado, devido a sua simplicidade. Entretanto, além de modificações nas tubulações seria necessário interromper o abastecimento para a realização das medições, o que inviabilizaria o trabalho. Assim, devido à impossibilidade prática de adoção do método volumétrico direto na instalação em escala real utilizada, o Tubo de Pitot Cole foi utilizado como padrão de comparação.

Comparando-se os dados de incerteza da Tabela 2 com os das tabelas 3 e 4, observa-se que os ajustes de equações às deflexões produziram resultados sensivelmente piores. Como as equações são do mesmo tipo e o medidor de pressão diferencial foi o mesmo nos dois casos, pode-se postular que a incerteza menor nos dados da vazão medida Q_M foi conseguida, em parte, devido às facilidades de tratamento de sinal presentes no transmissor de pressão, como as tabelas de correção das leituras e a filtragem e média móvel providas pela constante de tempo relativamente alta (2 segundos) incluída no processamento do sinal.

Pode-se concluir que o software de tratamento dos dados de pressão diferencial instantânea é de importância fundamental na obtenção de dados de vazão com boa acurácia. Assim, os dados das regressões efetuadas entre as deflexões e a vazão são mais úteis para examinar os efeitos de assimetria no perfil de velocidades do que para quantificar os erros esperados na utilização normal do sistema medidor, melhor representados pela leitura de Q_M.

A Tabela 3 permite concluir que a curva de ajuste exponencial, com coeficientes variáveis, foi a que melhor se adaptou aos dados de deflexão proporcionados pelas sondas. Os coeficientes de correlação dos ajustes com b variável foram melhores, assim como foram menores os desvios padrão, em relação aos obtidos com a equação quadrática (b = 0,5).

O ajuste de equações quadráticas baseia-se no valor teórico de 0,5 previsto para medidores do tipo Pitot estático, ou seja, com determinação precisa da pressão de estagnação e da pressão estática do escoamento. As sondas estudadas possuem orifícios de diâmetro relativamente grande, além de permitirem a ocorrência de circulação de água, pelo interior da haste da sonda, entre dois furos situados em locais de diferentes velocidades (Kurz, 1996). Esses fatores podem levar a que as pressões de montante sejam diferentes das pressões de estagnação. Além disso as sondas estudadas não possuem tomadas de pressão

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 45 27/8/2008 14:54:46

estática e sim da subpressão na esteira a jusante da haste.

Apesar das ponderações em contrário do parágrafo anterior, os valores dos expoentes que produziram o melhor ajuste aos dados experimentais, apresentados na Tabela 3, situaram-se entre 0,45 e 0,49, valores suficientemente próximos do valor teórico para justificar a utilização das equações com expoente constante b = 0,5. Essa decisão se justifica, em primeiro lugar, porque já existem condicionadores de sinal padrão, de utilização corrente na indústria, com a equação quadrática incorporada, facilitando grandemente a montagem de conjuntos de medição eficientes e de baixo custo.

Além disso, a utilização do coeficiente constante b = 0,5 justifica-se porque o ajuste da equação em campo pode ser efetuado a partir de uma única leitura de vazão com o tubo de Pitot como padrão, simplificando grandemente os procedimentos necessários para colocar o medidor em serviço. Com o tempo, e de acordo com as disponibilidades operacionais, novos valores podem ser acrescentados a uma tabela de correção disponibilizada por software, melhorando o valor das estimativas de vazão proporcionadas pelo medidor. No caso do transmissor/condicionador utilizado neste trabalho, utilizou-se para isso facilidades presentes em firmware.

Considera-se agora o caso da necessidade de utilização do medidor em condições hidráulicas desfavoráveis, seja por modificações no perfil de velocidades, que podem ocorrer ao longo do tempo de operação, seja por impossibilidade física ou econômica de instalação em condições ótimas. Essa situação é analisada com base na resposta das duas hastes às modificações do perfil, refletidas nas diferenças entre as equações de ajuste obtidas entre a deflexão e a vazão. A equação utilizada na comparação foi do tipo quadrático, com base nas considerações já apresentadas sobre a conveniência de sua utilização.

Tanto na Tabela 4 como na Figura 6, observa-se que a curva de calibragem da haste com apenas 1 furo variou acentuadamente quando o perfil passou de simétrico para assimétrico, indicando que seriam obtidos valores bem discrepantes se uma calibragem em perfil de velocidade simétrico fosse utilizada em condições de perfil assimétrico.

No caso em que o medidor foi montado com a haste de 7 furos, pode-se observar, na Tabela 4 e na Figura 7, que as equações que proporcionaram o melhor ajuste aos dados experimentais são muito semelhantes. Com base nesses resultados, pode-se argumentar, novamente, que a haste de 7 furos apresenta uma menor sensibilidade às variações do perfil de velocidades.

Com os resultados das regressões na Tabela 4 é possível simular um caso limite em que o medidor tenha sido fornecido com uma equação de calibração válida para perfil simétrico e que, inadvertidamente, seja utilizado em condições de assimetria de perfil, sem nova aferição em campo, como seria desejável. A figura 5 mostra que a utilização de uma haste de apenas um furo no medidor poderia gerar erros intoleráveis. Por outro lado, a Figura 7 permite a previsão de que uma haste de 7 furos teria um comportamento ainda aceitável. Para o caso estudado, especificamente, a aplicação da equação de calibragem obtida no *Tap*2 à situação existente no *Tap*1 conduziu a um erro médio praticamente igual, de cerca de 9%.

Não se encontra na literatura um equacionamento eficiente que relacione as diferenças de velocidade no perfil à pressão coletada pela haste de múltiplos furos. Sabe-se que ocorre uma circulação interna na haste (Kurz, 1996) que proporcionaria uma capacidade de encontrar automaticamente uma pressão correspondente à vazão média (Livelli, 1997, Bolton, 1996). A maior parte das referências alude a uma espécie de pressão média, sem quantificação mais rigorosa.

Morris (1993, pg.327), por exemplo, considera que a sonda de múltiplas tomadas provê apenas uma medição aproximada da vazão média do tubo. Doebelin (1990) afirma que a câmara comum proporcionada pela haste produz uma pressão de "impacto" única, relacionada às pressões totais, e uma pressão "estática" também única. Doebelin cita também a presença do "tubo de interpolação" no interior da câmara única de pressão do medidor patenteado *annubar*, para capturar a pressão num ponto "ótimo" (aspas no original). É possível que essa lacuna seja responsável pela falta de confiança na utilização desse tipo de sensor em perfis com alguma assimetria.

O bom resultado da haste de 7 furos nas condições específicas analisadas não garante, portanto, que múltiplos furos possam efetivamente corrigir assimetrias de perfil em quaisquer condições. O perfil na seção do *Tap*1 (v. fig.3) pode ter favorecido este desempenho, uma vez que as maiores velocidades encontram-se próximas ao ponto de leitura das pressões, na extremidade superior do tubo.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O acompanhamento dos diversos medidores instalados em condições reais de serviço, no monitoramento contínuo de redes de abastecimento, mostrou ser o sistema de medição proposto neste trabalho um instrumento com bom desempenho operacional, em condições de satisfazer as demandas dos sistemas públicos de abastecimento de água tratada.

A incerteza média obtida em condições favoráveis de perfil de velocidades foi da ordem de 2% da leitura, qualificando o medidor como alternativa para soluções patenteadas, como as hastes "Annubar", ou mais caras, como os medidores de inserção com múltiplos

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 46 27/8/2008 14:54:46

sensores magnéticos. Além disso, a tecnologia simples de construção do sensor, aliada ao emprego de instrumentação dedicada de amplo uso na indústria, torna viável a criação e manutenção desses medidores pelos próprios usuários.

Para obtenção de bons resultados é fundamental obter uma boa filtragem dos dados instantâneos de pressão diferencial gerados pela sonda. Esse requisito não é obstáculo ao emprego do medidor porque pode ser adotada uma relação quadrática entre deflexão e vazão. Com isso podem ser utilizadas rotinas já existentes nos condicionadores dedicados a elementos sensores deprimogênicos, amplamente difundidos no mercado.

Em comparação com a haste de apenas 1 furo para tomada de pressão, a haste de 7 furos mostrou-se menos sensível a variações no perfil de velocidades, o que representa uma importante segurança na operação de longo prazo.

Finalmente, pode-se afirmar que o uso da haste de 7 furos no sistema de medição permitiu compensar de forma aceitável os erros causados pela assimetria dos perfis de velocidade investigados. Entretanto, essa afirmação não pode ser generalizada, precisando ser comprovada por meio do desenvolvimento de modelos matemáticos que explicitem a resposta do sensor, uma questão ainda em aberto na literatura.

REFERÊNCIAS CITADAS

1. AWWA - American Water Works Association. **Water treatment plant design**. 3.ed. New York: McGraw-Hill, 1990.

2. BOLTON, W. **Instrumentation and measurement pocket book**. 3.ed. Manchester: Division of Reed Educational and Professional Publishing, 1996.

3. DOEBELIN, E. O. **Measurement systems aplication and design**. 4.ed. California: McGraw-Hill, 1990.

4. DOIRON, T. ; STOUP, J. Uncertainty and dimensional calibrations. **Journal of Research of the Institute of Standards and Tecnology**. v. 102, n. 6, p. 647 – 676, 1997. Disponível em: http://emtoolbox.nist.gov/Publications/NISTJResNov-Dec97-102-6.pdf. Acesso em: 06 de maio de 2008.

5. KURZ, J. **Effect of internal flow circulation on self-averaging pitot tube arrays**. Monterey, CA: Kurz Instruments, Inc., 1996.

6. LIVELLI, G. **Fundamentals of Multi-Port Averaging Pitot Tubes in Natural Gas Measurement**. Texas: Dieterich Standard, Inc., 1997.

7. MORRIS, A. S. **Principles of measurement and instrumentation**. 2.ed. Great Britain: Redwood Books, 1993.

8. TAIRA, N.M. **Treinamento em macromedição, conceitos e termos básicos da medição de vazão de fluidos**. São Paulo: IPT, 2003. (Apostila IPT – Convênio IPT / Sabesp).

9. SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Pitometria: aplicada a pesquisa de vazamentos**. São Paulo: Sabesp, 1984. 110p. (Apostila)

10. UPP, E.L. **Fluid flow measurement**: a practical guide to accurate flow measurement. Houston: Gulf Publishing, 1993. 178p.

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 47 27/8/2008 14:54:46

DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS
DETERMINATION OF GRAVIMETRIC COMPOSITION

[1]Fábio Rogério Carvalho Frésca
[2]Érica Pugliesi
[3]Luciana Miyoko Massukado
[4]Valdir Schalch

[1]Geógrafo. Especialista em Educação Ambiental (CRHEA/EESC-USP). Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental – EESC/USP
[2]Farmacêutica Bioquímica. Doutoranda em Ciências da Engenharia Ambiental – EESC/USP
[3]Engenheira Civil. Especialista em Educação Ambiental (CRHEA/EESC/USP). Mestre em Engenharia Urbana (UFSCar), Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental – EESC/USP
[4]Engenheiro Químico. Doutor em Hidráulica e Saneamento – EESC/USP. Professor livre docente do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC/USP. Coordenador do Núcleo de Estudo e Pesquisa em Resíduos Sólidos (NEPER/USP).

[1]**Endereço:** Rua Delfino Penteado, 202. São Carlos – SP – Brasil. CEP 13560-100. Tel (16) 3371-5690 E-mail: fabio@splendour.com.br, lumassukado@yahoo.com.br

RESUMO

Este artigo apresenta os resultados obtidos no estudo da caracterização física dos resíduos sólidos domiciliares (RSD), realizada no município de São Carlos/SP. A investigação foi conduzida no aterro sanitário e nas três centrais de triagem. No aterro, os resultados mostraram que 59.08% , em peso, são matéria orgânica; 20.83% são resíduos recicláveis e 20.09% são considerados rejeitos. Já nas centrais de triagem, 47,41%, em peso, correspondem ao papel e papelão, 21.60% a plásticos; 12.25% a vidros; 7.63% a metal e alumínio; 5.30% a embalagem cartonada; e 5.79% a rejeitos. Os resíduos encaminhados para essas centrais representam apenas 10% dos resíduos passíveis de reciclagem, demonstrando o potencial de expansão da coleta seletiva. Pode-se inferir também que aproximadamente 80% dos RSD, que chegam ao aterro, poderiam ser reaproveitados, seja por meio da reciclagem ou compostagem.

ABSTRACT

This paper presents the results of household waste physical characterization carried out in São Carlos city, state of São Paulo. The research has been developed in the municipal landfill and in the three waste sorting facilities. In the first case, the results showed that 59.08% by weight are organic matter; 20.83% are recyclable waste and 20.09% are rejects. In the case of the sorting facilities the results indicated that 47.41% by weight, correspond to the paper and cardboard; 21.60% to plastics; 12.25% to glasses; 7.63% to metal and aluminum; 5.30% to carton packaging, and 5.79% are rejects. The waste taken to the sorting facilities represents 10% of the waste available for recycling, demonstrating the potential for the expansion of the municipal curbside collection program. Furthermore, one can verify that approximately 80% of household waste disposed in the landfill could be either recycled or composted.

Palavras-chave: composição gravimétrica, caracterização física, resíduos sólidos domiciliares.

Key words: gravimetric composition, physical characterization, household waste

1. INTRODUÇÃO

O espaço geográfico brasileiro vem se modificando devido ao desenvolvimento tecnológico, à expansão industrial, ao acelerado processo de urbanização e ao crescimento populacional. Estes fatores acarretam, direta ou indiretamente, o aumento da geração de resíduos sólidos. Tratar e destinar adequadamente tal quantidade de resíduos tem sido um grande desafio para os municípios brasileiros.

Dentre os vários tipos de resíduos sólidos destacam-se os resíduos sólidos domiciliares (RSD) que correspondem a 55% (125.281 t/d) do total de resíduos (228.413 t/d) coletados no Brasil (IBGE, 2002). Neste artigo, o termo resíduos sólidos domiciliares – RSD - é utilizado como referência aos resíduos que são gerados nos domicílios. Incluem-se também nesta categoria os resíduos produzidos em estabelecimentos comerciais e industriais cujo volume seja compatível ao estabelecido pela legislação municipal no que se refere à produção máxima diária para ser coletado pelo serviço de limpeza urbana municipal.

Quando os RSD são depositados de forma inadequada cria-se uma série de problemas ambientais, tais como a poluição do solo, da água e do ar. Sob este ponto de vista, a gestão e o gerenciamento dos resíduos sólidos devem buscar soluções que minimizem os impactos decorrentes da crescente produção de resíduos.

Qualquer estratégia de gestão de resíduos deve ser iniciada pelo estudo dos tipos de materiais e da quantidade produzida. A este estudo denomina-se caracterização física sendo a composição gravimétrica o seu resultado. A composição gravimétrica dos resíduos é uma importante ferramenta para a gestão integrada, pois é a premissa básica para se iniciar estudos da viabilidade de implantação de tecnologias para o tratamento e disposição final adequada dos resíduos sólidos (Chung e Poon, 2001; Massukado, 2004; Zeng et al, 2005; Fresca, 2007). Entretanto, ainda são poucos os municípios brasileiros que realizam a caracterização

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 48 27/8/2008 14:54:46

de seus resíduos, seja pela ausência de pessoal técnico qualificado, seja por dificuldades orçamentárias ou até mesmo pelo desconhecimento da importância desta atividade.

Com relação aos resíduos recicláveis encaminhados às centrais de triagem, os resultados da sua caracterização exercem influências sobre o dimensionamento das centrais, seja com relação à área que as mesmas deverão possuir, seja na escolha da quantidade, tipo e capacidade dos equipamentos e ainda no potencial de geração de trabalho e renda para os cooperados.

Para o delineamento da metodologia utilizada na caracterização, verificou-se, por meio da revisão de literatura, que não há um consenso referente à quantidade necessária de amostra a ser caracterizada.

Segundo diversos autores (Tchobanoglous et al, 1993; Zeng et al, 2005; Mancini et al, 2007.), a quantidade ideal da amostra de resíduos a ser caracterizada deve pesar no mínimo 91 kg, pois valores menores tendem a produzir distorções muito grandes no resultado da composição dos resíduos. Com relação à quantidade máxima a ser caracterizada é estabelecido o peso de 140 kg, o qual é justificado pelo fato de que quantidades acima deste valor produzem pouco acréscimo na variância do resultado final da composição gravimétrica (Zeng et al, 2005; Mancini et al, 2007).

De acordo com Chung e Poon (2001) em Hong Kong e na Alemanha a definição da amostra é dada pelo volume e não pelo peso. Desta forma, a amostra deve ter aproximadamente 1 m3, o que correspondeu, em seu estudo, a aproximadamente 190 kg.

Cabe salientar que a definição do tamanho da amostra dependerá também do orçamento, recursos humanos e tempo disponível para a realização do estudo.

Gestão dos Resíduos Sólidos em São Carlos

O município de São Carlos está localizado na região central do Estado de São Paulo, possui área territorial de 1.132 km^2 e densidade demográfica de 188,44 hab/km^2. Atualmente a população está estimada em 220.425 habitantes, apresentando crescimento médio de 1,94 % ao ano (SEADE, 2007).

A gestão e o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos de São Carlos/SP estão sob responsabilidade da Prefeitura Municipal de São Carlos - PMSC, especificamente a cargo do Departamento de Política Ambiental, vinculado à Secretaria Municipal de Desenvolvimento Sustentável, Ciência e Tecnologia - SMDSCT. Dentro desse departamento existe, desde 2001, uma divisão dedicada especialmente à gestão de resíduos sólidos.

São Carlos coleta atualmente uma média de 145 t/d de resíduos sólidos domiciliares. Embora a gestão destes resíduos seja de responsabilidade da prefeitura, os serviços de coleta, transporte, tratamento e disposição final são terceirizados a uma empresa privada, a um custo de R$ 104,33/t.

A coleta de RSD abrange 100% da área urbana a qual está dividida em 15 setores. Nos três setores centrais a freqüência de coleta é diária, pois correspondem a aproximadamente 40% da área habitada da cidade e também são responsáveis por 50% do total de resíduos coletados. Nos demais setores e nos dois distritos pertencentes ao município, Água Vermelha e Santa Eudóxia, a coleta de RSD ocorre em dias alternados.

A coleta seletiva no município foi implementada em 2002 sendo atualmente realizada por três cooperativas de catadores com apoio da PMSC. São coletados em torno de 3 t/d de resíduos recicláveis em 60% da área urbana. O custo de operação da coleta seletiva (transporte, equipamentos de proteção individual, energia elétrica, manutenção e recursos humanos) é de R$ 205,28 por tonelada.

Em 2006 foi iniciado um projeto piloto de coleta dos resíduos orgânicos provenientes de restaurantes, lanchonetes, mercados e varejões, sendo estes encaminhados para a horta municipal a fim de serem compostados. Atualmente são recolhidos cerca de 1,5 t/d provenientes de 50 estabelecimentos. O custo de operação deste sistema (coleta, transporte e operação da compostagem) é de R$ 84,00 por tonelada (PMSC, 2007).

A forma de disposição final dos RSD é o aterro sanitário, localizado na Fazenda Guaporé, zona rural do município, distante da sede municipal em 15 km. Segundo dados do último Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares do Estado de São Paulo, no ano de 2006, o aterro sanitário de São Carlos obteve nota 9.0, o que significa estar operando em condições adequadas (CETESB, 2007).

METODOLOGIA

O estudo da composição gravimétrica dos RSD foi realizado em duas situações: a) resíduos da coleta regular que chegam ao aterro sanitário municipal e; b) resíduos da coleta seletiva encaminhados às centrais de triagem.

Resíduos da coleta regular com destino ao aterro sanitário

A coleta regular dos RSD do município é dividida em quinze setores, que abrangem toda a área urbana do município de São Carlos, sendo também atendidos os distritos de Santa Eudóxia e Água Vermelha (Fig. 01).

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 49 27/8/2008 14:54:46

Figura 01: Mapa da setorização da coleta regular de São Carlos/SP

Definiu-se como unidade amostral o setor de coleta sendo que para cada setor foram realizadas duas caracterizações, perfazendo um total de 30 coletas durante o ano de 2005. As coletas foram divididas em dois períodos: inverno e verão. O objetivo da caracterização em dois períodos distintos foi o de verificar se existem diferenças significativas na geração de resíduos quando submetidos a diferenças sazonais.

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 50 27/8/2008 14:54:47

A metodologia utilizada para caracterizar os resíduos que chegam ao aterro sanitário considerou os modelos utilizados por Gomes (1999) e IPT/CEMPRE (2000) e seguiu também as orientações da norma NBR 10.007 (ABNT, 2004). O procedimento para caracterização foi:

1) *Descarga do caminhão:* os resíduos foram descarregados em local previamente delimitado, formando um monte de aproximadamente 10 toneladas;

2) *Espalhamento:* os resíduos foram espalhados com auxílio de uma pá carregadeira. Nesta etapa, os resíduos volumosos foram retirados e registrados;

3) *Amostra:* Foram escolhidos pontos aleatórios para retirar os sacos, ainda fechados, e desta forma, poder compor a amostra composta (soma das parcelas individuais do resíduo estudado, obtida em pontos, profundidades e momentos distintos). Todos os sacos selecionados foram colocados sobre uma lona plástica. Os sacos plásticos foram rasgados e os resíduos espalhados. Estas parcelas foram misturadas de forma a obter uma amostra homogênea, que ao final pesava aproximadamente 400 kg.

4) *Quarteamento:* Em seguida, procedeu-se a separação desta amostra, ou seja, os resíduos sobre a lona foram divididos em quatro montes de aproximadamente 100 kg e em cada monte se realizou o quarteamento. Deste quarteamento, desprezaram-se duas partes e mantiveram-se as outras duas, restando no total, oito montes de 25 kg, ou seja, 200 kg. Esta quantidade de amostra foi considerada como representativa do total coletado pelo caminhão;

5) *Caracterização:* os resíduos que restaram na lona foram, então, separados e acondicionados em sacolas previamente identificadas e classificados em sete categorias: matéria orgânica (restos de alimentos, folhas vegetais, fezes de animais); papel e papelão (derivados da celulose); plástico filme; plástico duro; alumínio e metal; embalagem cartonada longa vida e rejeitos. As parcelas dos resíduos foram pesadas e a porcentagem de cada material sobre o peso total foi calculada.

A Figura 02 esquematiza o procedimento utilizado para a caracterização física dos resíduos sólidos domiciliares que chegam ao aterro sanitário.

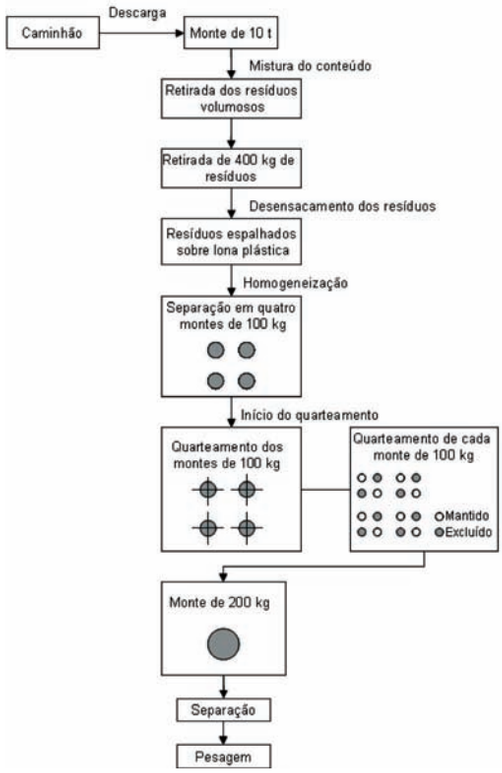


Figura 02: Procedimentos para a caracterização física dos resíduos sólidos domiciliares

Resíduos da coleta seletiva com destino às centrais de triagem

Conforme mencionado a coleta seletiva abrange cerca de 60% da área urbana e está dividida em três regiões, sendo que cada região ficou sob a responsabilidade de uma cooperativa de catadores. Cada região foi dividida em setores, que não coincidem com os da coleta regular. A freqüência da coleta seletiva é de uma vez por semana em cada um dos setores.

Similarmente à coleta regular, a unidade amostral foi definida para cada setor, totalizando 26 caracterizações. As caracterizações foram realizadas nas três centrais no inverno e em uma central no verão. O procedimento para caracterização foi:

1) *Descarga do caminhão:* os resíduos coletados seletivamente foram descarregados em local previamente delimitado na central de triagem.

2) *Triagem:* o material que chega à área de triagem é colocado sobre a bancada para a sua separação, que foi dividido nas categorias papel e papelão; plástico filme; plástico duro; alumínio e metal; vidro; embalagem cartonada longa vida e rejeitos.

3) *Caracterização:* o material separado foi acondicionado

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 51 27/8/2008 14:55:10

em sacos de ráfia e pesado para então se fazer o cálculo da porcentagem sobre o total coletado.

RESULTADOS

Os resultados da caracterização física, realizada no aterro sanitário, são informações importantes para se conhecer o potencial de reaproveitamento dos materiais que são aterrados. A Tabela 01 a seguir apresenta o resultado da caracterização física dos resíduos sólidos domiciliares, porcentagem em peso, que são encaminhados ao aterro sanitário municipal.

Tabela 01: Composição gravimétrica, porcentagem em peso, dos resíduos sólidos domiciliares encaminhados ao aterro sanitário municipal de São Carlos/SP no ano de 2005.

Setor	TIPO DE MATERIAL							
	Matéria Orgânica (%)	Papel e papelão (%)	Embalagem cartonada (%)	Vidro (%)	Metal e alumínio (%)	Plástico Rígido (%)	Plástico Filme (%)	Rejeitos (%)
1	67,10	4,90	0,93	2,20	1,89	3,27	9,21	12,42
2	54,95	11,14	0,87	1,35	1,59	4,01	7,41	20,96
3	47,24	9,49	0,82	2,47	1,22	3,41	7,88	26,30
4	60,82	6,43	0,57	1,51	1,66	3,31	9,69	17,63
5	51,76	6,17	0,96	1,56	1,36	4,20	6,76	22,30
6	72,41	3,52	0,87	1,13	1,07	2,00	7,07	12,57
7	63,72	4,01	1,13	0,81	1,38	2,18	6,20	20,82
8	61,95	2,73	1,34	0,69	1,26	2,15	6,73	24,17
9	53,96	8,66	0,87	2,39	1,01	2,13	7,18	23,40
10	57,20	5,95	1,54	2,45	1,54	2,14	9,39	20,11
11	68,08	4,07	0,77	1,01	1,08	1,94	6,32	17,81
12	42,55	9,22	1,03	2,75	1,19	3,34	6,95	23,60
13	62,33	8,23	0,77	1,56	1,44	3,39	6,70	17,34
14	57,21	6,49	0,95	0,93	1,03	2,31	9,36	22,87
15	64,97	5,58	0,67	2,30	0,90	2,23	7,63	17,01
Média	**59,08**	**6,44**	**0,94**	**1,67**	**1,31**	**2,84**	**7,63**	**20,09**
Desvio padrão	8,10	2,46	0,25	0,69	0,28	0,76	1,20	4,26

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 52 27/8/2008 14:55:11

Os resultados apresentados na Tabela 01 indicam que:

- Dos RSD encaminhados ao aterro sanitário de São Carlos, a matéria orgânica (59,08%) foi a mais representativa, seguida pelos materiais passíveis de reciclagem, plásticos (10,47%), papel e papelão (6,44%), vidro (1,67%), metal e alumínio (1,31%) e embalagem cartonada (0,94%).

- Também observou-se a presença dos materiais denominados de rejeitos com participação de 20,09%, que, são aqueles materiais que ainda não possuem tecnologia ou viabilidade econômica para serem reciclados ou que, em virtude da homogeneização durante a caracterização, ficam muito misturados, tornando impossível sua separação.

- Os resíduos que mais contribuíram para a parcela rejeitos foram as fraldas descartáveis, borrachas, madeiras, resíduos de banheiro e tecidos. Cabe salientar que na parcela rejeitos também estavam presentes papéis picados, papéis de bala, pedaços de plásticos e pequenos metais, que devido à homogeneização da amostra não foi possível proceder a sua separação.

- Por meio desta caracterização pode-se inferir que cerca de 80% dos resíduos sólidos encaminhados ao aterro sanitário poderiam ser reaproveitados, seja via reciclagem (20%) ou compostagem da fração orgânica (60%).

A Tabela 02 apresenta os setores que obtiveram maior e menor índice de geração de cada tipo de resíduo caracterizado nesta pesquisa. A matéria orgânica foi predominante em todos os setores caracterizados apresentando valores entre 42,55% e 72,41%. A embalagem cartonada e o vidro foram os resíduos que tiveram menor representatividade na composição gravimétrica de todos os setores.

Tabela 02: Setores com maior e menor índice de geração para cada tipo de resíduo caracterizado no aterro sanitário de São Carlos/SP em 2005

Tipo de resíduo	Maior índice de geração		Menor índice de geração	
	Setor	%	Setor	%
Matéria Orgânica (59,08%)	06	72,41	12	42,55
Papel e papelão (6,44%)	02	11,14	08	2,73
Embalagem cartonada (0,94%)	10	1,54	04	0,57
Vidro (1,67%)	12	2,75	08	0,69
Metal e alumínio (1,31%)	01	1,89	15	0,90
Plástico rígido (2,84%)	05	4,20	11	1,94
Plástico filme (7,63%)	03	9,69	01	6,20
Rejeitos (20,09%)	03	26,30	01	12,42

A menor quantidade de matéria orgânica gerada no setor 12 é explicada pela coleta ser realizada em uma região industrial. Na caracterização deste setor notou-se a presença de muitos materiais recicláveis e rejeitos, tais como luvas de procedimento, copos plásticos, papel higiênico e papel picado.

O setor 08 compreende os bairros Antenor Garcia, Presidente Collor e Cidade Aracy que são tipicamente de baixa renda. Neste sentido, observa-se que tanto o descarte de papel e papelão quanto o de vidro encontram-se bem abaixo da média, indicando duas possíveis causas. A primeira é a hipótese da população do bairro não gerar estes tipos de resíduos e a segunda é de que a quantidade gerada é previamente separada pelos próprios moradores para que os mesmos façam a sua comercialização.

A Tabela 03 resume as porcentagens médias, em peso, dos resíduos caracterizados no verão e inverno.

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 53 27/8/2008 14:55:11

Tabela 03: Composição gravimétrica média, porcentagem em peso, dos resíduos sólidos domiciliares caracterizados no inverno e verão no aterro sanitário de São Carlos/SP em 2005.

Tipo de resíduo	Inverno (%)	Verão (%)
Matéria Orgânica	60,06	58,11
Papel e papelão	6,78	6,10
Embalagem cartonada	0,91	0,96
Vidro	1,64	1,70
Metal e alumínio	1,23	1,38
Plástico rígido	2,76	2,92
Plástico filme	6,43	8,84
Rejeitos	18,16	22,02

Pode-se inferir que a mudança de estação não teve influência na composição dos resíduos de São Carlos. A explicação refere-se ao fato que em geral, no Brasil, as estações do ano são muito semelhantes, sendo que as temperaturas médias oscilam pouco, portanto os hábitos de consumo praticamente permanecem constantes. Na presente pesquisa, a variação média da temperatura inverno-verão foi de 5,5 ºC; sendo a menor diferença de temperatura igual a 3 ºC e a maior igual a 9 ºC.

Os resíduos coletados seletivamente e que são encaminhados para as centrais de triagem a caracterização foi também realizada nas duas estações, inverno e verão. Porém, no verão a caracterização dos resíduos só foi possível em uma central, devido ao aumento da quantidade de resíduos coletados no fim do ano aliado ao número reduzido de trabalhadores nas outras duas cooperativas.

Com relação à quantidade coletada verificou-se uma menor produção dos resíduos recicláveis no inverno, quando foram coletadas 16,9 toneladas no período de uma semana. Já no verão, esta quantidade aumentou para 21,95 toneladas, significando um aumento de aproximadamente 30%. No entanto, não houve variação significativa na composição destes resíduos pelos mesmos motivos explicitados para a caracterização realizada no aterro sanitário.

A Tabela 04 apresenta a caracterização, porcentagem em peso, dos resíduos coletados seletivamente pelas cooperativas e encaminhados para as centrais de triagem.

Tabela 04: Composição gravimétrica dos resíduos encaminhados para as centrais de triagem de São Carlos/SP no ano de 2005.

Cooperativa/ Resíduo	A (%)		B (%)	C (%)	Média	Desvio Padrão
	Inverno	Verão	Inverno	Inverno		
Plástico rígido	15,48	18,56	17,72	18,5	17,57	1,44
Plástico filme	3,15	4,01	3,79	3,03	3,50	0,48
Vidro	14,88	10,49	13,19	13,97	13,13	1,89
Embalagem cartonada	4,77	4,84	5,78	6,56	5,49	0,85
Latas de alumínio	1,61	1,84	1,42	0,78	1,41	0,46
Metal e outros alumínios	11,05	4,18	5,57	7,56	7,09	2,98
Papel e papelão	44,12	51,60	47,24	39,26	45,56	5,20
Rejeitos	4,93	4,47	5,29	10,32	6,25	2,73
Total	99,99	99,99	100,00	99,98		

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 54 27/8/2008 14:55:11

Ao comparar a Tabela 04 com a Tabela 01 pode-se observar que os índices de participação dos plásticos rígidos e filmes na coleta seletiva, sofrem uma inversão quando comparados aos índices da coleta regular. Na coleta seletiva, os plásticos rígidos têm maior incidência que os filmes. E no aterro sanitário, os plásticos filmes é maioria, quanto comparado aos plásticos rígidos, pois geralmente são utilizados para acondicionar os resíduos, o que diminui também o seu aparecimento na coleta seletiva.

Discussão dos resultados

Segundo informações da PMSC (2006), no ano de 2005, foram depositados no aterro sanitário municipal 49.280 toneladas de resíduos sólidos domiciliares. Utilizando os resultados da caracterização dos resíduos no aterro, pode-se afirmar que naquele ano foram dispostas 29.100 toneladas de matéria orgânica; 3.170 toneladas de papel e papelão; 464 toneladas de embalagens cartonadas; 823 toneladas de vidro; 645 toneladas de metal e alumínio; 1400 toneladas de plástico rígido; 3.760 toneladas de plástico filme e 9.918 toneladas de outros.

Pensando-se na Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), conclui-se que 39.360 toneladas dos resíduos apresentam potencial para serem reaproveitados (via reciclagem e compostagem) e utilizados como novos insumos para a indústria.

Segundo Fehr (2007), estes resíduos passíveis de reaproveitamento e que continuam a ser depositados nos aterros são chamados de resíduos educacionais. Estes resíduos são definidos como aqueles descartados pela falta de conscientização da população ou pelo desconhecimento que certos materiais podem ser reaproveitados, como é o caso da matéria orgânica.

Outra importante análise dos resultados pode ser observado na Tabela 05 a qual compara os resultados da caracterização dos resíduos sólidos domiciliares realizada em 1989 por Gomes (1989) e em 2005 por Fresca (2007), ambos para o município de São Carlos.

Tabela 05: Comparação entre a composição gravimétrica, em peso, dos resíduos sólidos domiciliares em 1989 e 2005.

Tipo de resíduos	Composição gravimétrica (%) em peso	
	1989	2005
Matéria Orgânica	56,70	59,08
Papel e Papelão	21,30	6,44
Plásticos	8,50	10,47
Metal e Alumínio	5,40	1,31
Vidro	1,40	1,67
Embalagem cartonada	---	0,94
Rejeitos	6,70	20,09

Observa-se que mesmo com o aumento no consumo e geração de resíduos passíveis de reciclagem, como no caso dos plásticos, em ambas as caracterizações a maior parcela dos resíduos aterrados ainda é a matéria orgânica, que em condições de anaerobiose se degradam produzindo gás metano e chorume, ambos considerados graves poluentes ambientais.

Verificou-se também redução na disposição final do papel e papelão, de 21,30% para 6,44%, fenômeno que pode ser explicado pela inserção da coleta seletiva no município, cuja venda representa 50% do total encaminhado às centrais de triagem. Outros motivos para a redução deste valor é a substituição de papéis pelas novas tecnologias, como por exemplo, maior acesso aos computadores e internet e também pela ação dos catadores informais que atuam no município.

A redução na participação em peso do metal e alumínio pode ser justificada pelo fato de que na última década o índice de reciclagem, principalmente para as latas de alumínio, cresceu de 37% em 1991 para 94,4% em 2006, impulsionando o mercado formal e informal de comercialização deste resíduo (ABAL, 2008; ABRALATAS, 2008). Este fator explica também porque o alumínio tem pouca representatividade na coleta seletiva (1,41%).

Em função da introdução e expansão do mercado

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 55 27/8/2008 14:55:12

para embalagens cartonadas na década de 90 notou-se o aparecimento deste material na disposição final dos RSD (0,94%) e na coleta seletiva (5,49%).

CONCLUSÃO

Para o caso de São Carlos/SP, a composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares demonstra que mais da metade dos resíduos encaminhados ao aterro sanitário é matéria orgânica. Desta forma, sugere-se que o poder público municipal invista mais esforços no tratamento da fração orgânica dos resíduos, transformando o seu atual projeto piloto em um programa municipal tal como é coleta seletiva.

Com relação aos resíduos potencialmente recicláveis, apesar da coleta seletiva ter iniciado suas atividades em 2002, a quantidade de resíduos recicláveis desviada do aterro sanitário ainda é irrisório (10 % dos resíduos passíveis de reciclagem). Para ampliar a abrangência da coleta seletiva, hoje em torno de 60% da área urbana, é necessário reestruturar o programa de coleta seletiva através da reorganização das cooperativas investindo em treinamento, tecnologia, marketing e educação ambiental.

Em função de as coletas serem realizadas por uma empresa terceirizada cuja roteirização leva em consideração variáveis técnicas (distâncias percorridas, fluxo de veículos e tipo de ocupação), os setores não estão agrupados de acordo com sua classe sócio-econômica. Neste caso, um setor pode abranger diferentes bairros de classes sócio-econômicas distintas. Portanto, para se obter um resultado que relacione o tipo e quantidade de resíduos gerados e a classe sócio-econômica do gerador seria necessário modificar a metodologia da caracterização que ao invés de caracterizar os resíduos por setores, estes seriam caracterizados por bairro.

A partir dos resultados da caracterização física dos RSD observou-se que apenas 20% do total coletado deveriam ser dispostos no aterro sanitário enquanto o restante poderia ser reaproveitado pela compostagem e reciclagem. Para tanto, é necessário a existência de políticas públicas que incentivem ou até mesmo obriguem o desenvolvimento destas atividades. Espera-se que a aprovação do Projeto Lei (1991/2007) que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos seja um marco para o avanço sustentável/consciente deste setor.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas concedidas e aos alunos do Núcleo de Estudos e Pesquisas em Resíduos Sólidos (NEPER) pelo auxílio nas caracterizações.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO (ABAL). Reciclagem do alumínio. Disponível em http://www.abal.org.br/industria/estatisticas_recicla_latas.asp?canal=8. Acessado em: 17 de janeiro de 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE LATAS DE ALTA RECICLABILIDADE (ABRALATAS). Reciclagem. Disponível em: http://www.abralatas.com.br/reciclagem_brasil.asp. Acessado em: 17 de janeiro de 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Norma NBR 10.004** : Resíduos sólidos – classificação. São Paulo, 2004. 71 p.

_____ **Norma NBR 10.007** : Amostragem de resíduos sólidos. São Paulo, 2004. 21 p.

BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. (1999). **Conceitos básicos de resíduos sólidos.** São Carlos, São Paulo: EDUSP, 1999. 109 p.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB. Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares – Relatório síntese 2006. São Paulo: CETESB, 2007. Disponível em ‹ http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios.asp› Acessado em maio 2007.

CHUNG, S.; POON, C. 2001. Characterization of municipal solid waste and its recyclable contents of Guangzhou. Waste Management and Research, v. 19, p. 473-485.

D'ALMEIDA; VILHENA (Org). **Lixo Municipal**: Manual de Gerenciamento Integrado. 2. edição. São Paulo: IPT, 2000. 370 p.

FEHR, M. A Case Study of decentralized household waste management with complete material balance typical of emerging economy contexts. **Proceedings Sardinia 2007**. Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy. 2007.

FRESCA, F.R.C. Estudo da geração de resíduos sólidos domiciliares no município de São Carlos, SP, a partir da caracterização física. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 56 27/8/2008 14:55:12

Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE DADOS – SEADE. Perfil municipal. Disponível em http://www.seade.gov.br/produtos/perfil/perfil.php. Acessado em: 10 de janeiro de 2008.

GOMES, L.P. Estudo da Caracterização Física e da Biodegradabilidade dos Resíduos Sólidos Urbanos em Aterros Sanitários. 1989. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.

MANCINI, S.D. et al. Recyncling potencial of urban solid waste destined for sanitary landfills: the case of Indaiatuba, SP, Brazil. Waste Management and Research, v. 25, p. 517-523.

MASSUKADO, L.M. Sistema de Apoio à Decisão: Avaliando cenários de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos domiciliares. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Sustentável, Ciência e Tecnologia. Informações de custos do sistema de resíduos sólidos domiciliares. Contato pessoal. Jan/2007.

SCHALCH, V. Estratégias para a gestão e o gerenciamento de resíduos sólidos. 2002. Tese (Livre Docência). Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP.

TCHOBANOGLOUS, G.; THEINSEN, H.; VIGIL, S. 1993. Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues. McGrawHill, New York.

ZENG, Y. et al. (2005). Characterization of solid waste disposed at Columbia Sanitary Landfill in Missouri. *Waste Management and Research.* V. 23, p. 62-71.

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 57 27/8/2008 14:55:12

IRRIGAÇÃO DA MAMONA (*RICINUS COMMUNIS L.*) USANDO ESGOTO
IRRITATION OF CASTOR TREE (*RICINUS COMMUNIS L.*) USING

Suetônio Mota[1]
André Bezerra dos Santos[2]
Boanerges Freire de Aquino[3]
Edglerdânia Luzia Lima de Oliveira[4]
Francisco Marcus Lima Bezerra[5]

[1]Engenheiro Civil e Sanitarista. Doutor em Saúde Ambiental pela Universidade de São Paulo. Professor Titular do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará. Membro da Academia Cearense de Ciências.
[2]Engenheiro Civil. Doutor em Saneamento Ambiental pela Universidade de Wageningen, Holanda. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará.
[3]Agrônomo. Doutor em Solos pela University of Missouri, Columbia, EUA. Professor Titular do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará.
[4]Agrônoma. Mestre em Agronomia, área de concentração em Irrigação e Drenagem, pela Universidade Federal do Ceará. Pesquisadora do Prosab.
[5] Agrônomo. Doutor em Irrigação e Drenagem pela ESALQ/USP. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Agrícola do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará.

Endereço para correspondência: Suetônio Mota - Av. Beira Mar, 4.000 – ap. 600, Cep 60165.121 Fortaleza – Ceará / Fone: (85)3366.96.24/ Fax: (85) 3366.96.27. e-mail: suetônio@ufc.br

RESUMO

Avaliou-se a produtividade da mamona irrigada com esgoto doméstico tratado e com água, usando diferentes doses de nitrogênio e potássio. Foram utilizados oito tratamentos, variando-se os teores de nitrogênio e potássio, e obtendo-se as produtividades nas áreas irrigadas com água e com esgoto tratado. Para a mamona irrigada com esgoto, observou-se: quanto ao comprimento dos racemos, foram obtidas as melhores respostas nos tratamentos em que não ocorreu adubação; para o parâmetro "número de sementes", as parcelas em que se adicionou nitrogênio forneceram as melhores respostas; para o "peso de 100 sementes", os melhores resultados ocorreram onde foram aplicados os dois maiores valores de nitrogênio. Para a mamona irrigada com água, os tratamentos com maior adição de nitrogênio forneceram os melhores resultados. As produtividades obtidas nas áreas irrigadas com esgoto tratado mais nitrogênio foram as que apresentaram melhores resultados.

ABSTRACT

The productivity of castor tree irrigated with water and treated sewage, using different nitrogen and potassium doses, was evaluated. Eight treatments were used, varying the concentrations of nitrogen and potassium, and getting the productivity from the areas irrigated with water and treated sewage. For the castor tree irrigated with sewage, it was observed: regarding the raceme length, the best responses were in the treatments that did not contain any fertilizer; for the parameter "seed number", the areas supplemented with nitrogen provided the highest productivity; for the "100 seeds weight" parameter, the best results occurred where contained the two highest nitrogen levels. For the castor tree irrigated with water, the treatments with high nitrogen concentrations provided the best results. The productivities achieved in the areas irrigated with treated sewage and nitrogen supply were the best.

Palavras-chave: reúso de águas; irrigação com esgoto; mamona (Ricinus communis L.); macro-nutrientes.

Key words: reuse of water; irrigation with sewage; castor tree (Ricinus communis L.); macro-nutrients.

1. INTRODUÇÃO

O consumo de água nas atividades humanas varia muito de um local para outro. Os vários usos múltiplos da água e as permanentes necessidades deste recurso face ao crescimento populacional e às demandas industriais e agrícolas, têm gerado permanente pressão sobre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos (TUNDISI, 2003). Como conseqüência, percebe-se um aumento acentuado na escassez de mananciais com qualidade adequada para consumo humano, onerando os custos com o tratamento de água. Assim, vem sendo necessária a utilização de águas de classificação inferior para atividades que requeiram menor qualidade, como é o caso da agricultura.

Em regiões áridas e semi-áridas, as pressões sobre os recursos hídricos são bem maiores, devido à baixa oferta de água. Logo, muitas medidas são tomadas e estudadas para aumentar a oferta de água nessas regiões. Além da administração das bacias hidrográficas locais, um aumento no tratamento de esgotos sanitários provenientes de centros urbanos está sendo estimulado, assim como a adaptação do uso de esgotos tratados para diversas atividades, como: irrigação, piscicultura, recreação, paisagismo e o uso industrial.

O reúso na agricultura traz muitos benefícios, mas existem restrições que limitam significativamente os seus usos (PAGANINI, 2003). Os constituintes presentes nos esgotos brutos e tratados podem ser nocivos ao solo, às águas subterrâneas e superficiais, às culturas e à saúde. Dessa forma, torna-se imprescindível o estudo da qualidade das águas de irrigação e da viabilidade do seu uso, considerando suas diversas variáveis que refletem na saúde dos homens e dos animais, na proteção do meio ambiente, na manutenção da fertilidade do solo, e na produtividade e qualidade das culturas (ALMEIDA, 2005).

Conforme Tundisi (2003), a intensificação da produção agrícola resultou em uso da irrigação em larga escala, tendo como resultado a retirada de 70% da água disponível, em que somente 30% a 60% desta retorna a jusante, tornando

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 58 27/8/2008 14:55:12

a irrigação, em termos globais, o maior usuário da água doce do planeta. O uso de águas residuárias na irrigação de culturas é uma forma alternativa de reduzir a demanda de água nesta prática, além de ser uma medida de controle de poluição de corpos de água.

Sabe-se que os esgotos sanitários são, normalmente, ricos em matéria orgânica e nutrientes. O lançamento destes esgotos em águas superficiais pode causar grandes impactos ambientais, seja pela diminuição do oxigênio dissolvido devido à presença de matéria orgânica, seja pelo fenômeno da eutrofização devido ao aumento da concentração dos nutrientes no corpo receptor (VON SPERLING, 2005).

A utilização de efluentes de estações de tratamento de esgoto (ETE) na agricultura representa um importante suplemento de água para a irrigação, já que os nutrientes minerais e o conteúdo orgânico possuem um grande valor como fertilizantes. Os sistemas de tratamento de esgotos por lagoas de estabilização são ideais para a irrigação, pois fornecem um efluente de excelente qualidade físico-química e microbiológica (PEARSON *et al*, 1988 *apud* SANTIAGO, 1999).

Segundo Bastos (2003), na fertirrigação, a aplicação de fertilizantes também é melhor controlada e parcelada, evitando perdas e atendendo às necessidades nutricionais das plantas nas diferentes etapas de desenvolvimento. A irrigação com esgotos sanitários é uma forma de fertirrigação, e o fornecimento de nutrientes se dá de modo contínuo e gradual, bem como gradual pode ser a disponibilidade dos nutrientes, dependendo da forma (espécie) veiculada pelo efluente aplicado ao solo. A interação entre os diferentes macros e micronutrientes é um dos aspectos mais importantes no processo de nutrição das plantas, merecendo, portanto, investigações detalhadas.

A mamoneira (*Ricinus communis L*) é uma oleaginosa de grande importância econômica e social, sendo uma planta rústica, heliófita, resistente à seca e encontrada em diversas regiões do país. Seu principal produto é o óleo extraído das sementes, que é utilizado na fabricação de cosméticos, aditivos de combustíveis, como o biodiesel, lubrificantes, indústria de plásticos, etc. Segundo Beltrão (2004), o cultivo da mamona no Brasil é antigo, visto ter sido introduzido pelos portugueses, há séculos, e, desde o inicio do século passado, é uma das culturas importantes para os pequenos e médios produtores do Brasil.

A mamoneira é uma planta exigente em nutrientes, tendo nas sementes elevada concentração de óleo e proteínas, o que conduz a uma demanda por elementos essenciais, especialmente nitrogênio, potássio, fósforo, cálcio e magnésio. Para uma produtividade de 2000 kg/ha de sementes, retira do solo as seguintes quantidades de nutrientes: 80 kg de nitrogênio (N), 18 kg de pentóxido de fósforo (P_2O_5), 32 kg de óxido de potássio (K_2O), 12 kg de óxido de Cálcio (CaO) e 10 kg de óxido de magnésio (MgO). Por isso, seu cultivo deve ser feito em solos com boa fertilidade natural ou com suprimento de fertilizantes orgânicos ou minerais para produzir bem (BELTRÃO e GONDIM, 2006).

O óleo da mamona apresenta diversas vantagens em relação aos outros óleos vegetais, quando se trata de produzir biodiesel na região nordeste. Além disso, o óleo de mamona é o melhor para produzir biodiesel por ser o único solúvel em água e não necessitar de calor e do conseqüente gasto de energia que requerem outros óleos vegetais em sua transformação para combustível (SANTOS, 2004).

De acordo com Milani e Severino (2006), o óleo de mamona possui diversas utilizações industriais, desde próteses ósseas até lubrificantes de motores. A atual legislação que institui a adição de biodiesel ao diesel criou grande expectativa na produção de mamona, visto ser um dos óleos indicados para a produção deste, gerando uma demanda por cultivares com adaptação em regiões onde o cultivo da mamona não é tradicional.

O óleo de mamona possui também centenas de aplicações dentro da indústria química, sendo uma matéria prima versátil com a qual se podem fazer diversas reações, dando origem a produtos variados. Suas principais aplicações são para fabricação de graxas e lubrificantes, tintas, vernizes, espumas e materiais plásticos para diversos fins. Derivados de óleo de mamona podem ser encontrados até em cosméticos e produtos alimentares (EMBRAPA, 2008).

Tendo como objetivo a produção de óleo, a ricinocultura parece constituir o verdadeiro caminho e vocação para o semi-árido, pelas seguintes razões (PARENTE, 2003):

- A mamoneira se adapta muito bem ao clima e às condições de solo do semi-árido.
- Estudos realizados pelo CNPA – Centro Nacional de Pesquisa do Algodão, em Campina Grande, está disponibilizando cultivares de mamoneiras que permitem altas produtividades.
- A lavoura da mamona se presta para a agricultura familiar, podendo apresentar renda elevada.
- A torta resultante da extração do óleo de mamona se apresenta como adubo de excelência, encontrando aplicações ideais na fruticultura, olericultura e floricultura, atividades importantes e crescentes nos perímetros irrigados nordestinos.
- A lavoura de um 1 (um) hectare de mamona pode absorver até 8 (oito) toneladas de CO_2 da atmosfera, contribuindo de forma relevante para o combate do efeito estufa.

Na mamona, a nutrição e a adubação mineral possuem grande influência no processo produtivo. Tal prática possibilita aumento de produtividade, apesar de elevar os custos de produção. Assim, faz-se necessário otimizar o cultivo de forma a se obter o maior rendimento com o menor custo possível (CARVALHO, 1998 *apud* SEVERINO *et al.*, 2005).

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar o desenvolvimento de mamoneiras irrigadas com esgoto

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 59 27/8/2008 14:55:12

doméstico tratado e com água, utilizando diferentes níveis dos macronutrientes nitrogênio e potássio na adubação das culturas.

METODOLOGIA

O experimento foi realizado no Centro de Pesquisa sobre Tratamento de Esgotos e Reúso de Águas, situado próximo à estação de tratamento de esgoto (ETE) do município de Aquiraz – CE, da Cagece (Companhia de Água e Esgoto do Ceará). A ETE é composta de quatro lagoas de estabilização em série: 01 anaeróbia; 01 facultativa; 02 de maturação. Utilizou-se o efluente da última lagoa de maturação, o qual vem sendo usado em outras pesquisas sobre reúso de águas em irrigação e piscicultura desenvolvidas no local.

O solo da área da pesquisa foi classificado como Argissolo acinzentado eutrófico com textura arenosa.

Para a irrigação da área do tratamento controle, a água bruta foi bombeada para um reservatório de 10.000 L e, em seguida, distribuída para o sistema de irrigação. O armazenamento de esgoto tratado foi feito em outro reservatório de 10.000 L. Vale ressaltar que antes dos reservatórios foram instalados filtros de disco para a remoção de sólidos em suspensão, de modo a evitar o entupimento dos microaspersores.

A cultura utilizada foi a Mamona (*Ricinus communis L*), cultivar Nordestina BRS – 149, Safra 2005. A cultura foi irrigada por microaspersão, no espaçamento de 2,5 x 2,0 m. O espaçamento entre plantas foi de 1,25 m. Foram implantadas duas áreas compostas de: sistema irrigado com água, com área de 40m x 33m; sistema irrigado com esgoto tratado, com área de 65m x 19m. Foram usados microaspersores com vazão de 50L/hora, sendo que cada microaspersor irrigava 6 plantas. Cada fileira era composta de 3 plantas. As áreas dos sistemas de irrigação foram distribuídas em função da disponibilidade do terreno. No entanto, embora diferentes, foram observadas as mesmas parcelas, distribuição e número de plantas nas duas áreas.

Realizou-se coveamento, adubação (observando os diferentes tratamentos) e semeadura nas áreas irrigadas com água e com esgoto tratado. Após 15 dias da semeadura, procedeu-se ao desbaste da mamona irrigada. Nas covas onde ocorreu falha na germinação, realizou-se o replantio.

O experimento constou de duas áreas distintas (irrigadas com água e com esgoto), com 8 tratamentos em cada uma, com 4 repetições (Blocos) com 6 plantas. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso. As parcelas foram numeradas de 1 a 8, indicando o tipo de adubação aplicada.

Com exceção do Tratamento 8, foram incorporados, além de N e K, adubo orgânico (6 litros por cova), FTE (*Fritz Trace Element*) = 20g/cova, Superfostato Simples = 100g/cova e Calcáreo dolomítico = 50g/cova.

As doses de nitrogênio e potássio utilizadas foram definidas em função das características do solo, do tipo de cultura e de dosagens de nutrientes comumente usadas na região. Foram avaliados os seguintes tratamentos, em cada área:

T1-N0K0: Sem nitrogênio e sem potássio
T2-N0K1: Sem nitrogênio e 30g de potássio
T3-N0K2: Sem nitrogênio e 60g de potássio
T4- N0K3: Sem nitrogênio e 90g de potássio
T5- N1K0: 30 g de nitrogênio e sem potássio
T6- N2K0: 60 g de nitrogênio e sem potássio
T7- N3K0: 90 g de nitrogênio e sem potássio
T8- N0K0: sem nitrogênio, sem potássio e sem adubação orgânica.

Os racemos foram colhidos e seus comprimentos foram medidos utilizando-se uma trena; em seguida, os frutos foram retirados e colocados para secar ao sol; por fim, foram contados os números de sementes e pesadas 100 sementes de cada tratamento, em uma balança digital.

A análise estatística foi feita utilizando o programa estatístico Sisvar, para realização do Teste de Tukey, a nível de significância de 0,05 ($p<0,05$).

Foi realizada análise estatística das variáveis estudadas durante o experimento da mamona irrigada com esgoto doméstico e água de poço, compreendendo: comprimento do racemo; número de sementes; peso de 100 sementes; produção.

Para a realização da análise estatística, foram utilizadas as médias dos quatro blocos (repetições para cada tratamento), obtidas para as variáveis estudadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características da água e do esgoto tratado

A Tabela 1 contém as características da água e do esgoto tratado, usados na irrigação das parcelas onde as mamoneiras foram cultivadas.

Observa-se que o esgoto tratado utilizado oferece condições adequadas para uso em irrigação irrestrita (WHO, 2006). Optou-se por usar esse efluente devido a pesquisa ser realizada em local com toda a infra-estrutura disponível para tal. Além disso, com um efluente de boa qualidade são reduzidos os riscos de contaminação dos operadores do sistema de irrigação.

Em termos de qualidade para irrigação, o esgoto tratado usado na pesquisa classifica-se como C2S1, com risco médio de causar salinização do solo (indicado pela Condutividade Elétrica) e risco baixo de provocar a diminuição da permeabilidade do solo (representado pela RAS – Razão de Adsorção de Sódio), de acordo com o Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos da América (MOTA, 2008). Como o solo do local tem textura arenosa, considera-se que não existem restrições de uso, desde que se observem os necessários cuidados de manejo (aplicação correta da água, garantia de lixiviação).

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 60 27/8/2008 14:55:13

Tabela 1 - Características da água e do esgoto usados na irrigação das mamoneiras

Parâmetro	Característica	n	média	desv pad	mín	máx	coef var
pH	Água	13	6,0	0,7	4,9	7,2	0,12
	Esgoto tratado	13	7,8	1,2	5,8	9,4	0,15
Condutividade	Água	13	208	30	160	260	0,14
(mS/cm)	Esgoto tratado	13	727	137	420	870	0,19
RAS	Água	13	1,2	0,4	0,9	1,6	0,02
(mmol/L)	Esgoto tratado	13	3,8	1,0	2,8	5,1	0,08
Sódio	Água	3	19,2	9,3	9,2	27,6	0,48
(mg/L)	Esgoto tratado	3	53,7	21,9	32,2	75,9	0,41
Cálcio	Água	3	16,0	4,0	12,0	20,0	0,25
(mg/L)	Esgoto tratado	3	45,4	12,9	36,0	60,1	0,28
Magnésio	Água	3	16,2	13,4	7,2	31,6	0,83
(mg/L)	Esgoto tratado	3	28,0	3,6	24,3	31,6	0,13
Potássio	Água	6	10,1	6,7	3,9	16,2	0,67
(mg/L)	Esgoto tratado	6	26,2	10,3	15,6	36,1	0,39
Alcalinidade	Água	11	15,6	4,2	11,2	24,8	0,27
(mg $CaCO_3$/L)	Esgoto tratado	11	148,1	19,8	105,8	167,2	0,13
Cloretos	Água	4	37,7	2,6	36,0	41,4	0,07
(mg Cl-/L)	Esgoto tratado	4	92,5	7,3	85,4	101,7	0,08
DBO	Água	5	16,6	18,4	3,6	48,9	1,11
(mg/L)	Esgoto tratado	5	36,7	21,3	23,1	74,4	0,58
DQO total	Água	9	72,6	90,7	5,0	280,0	1,25
(mg/L)	Esgoto tratado	10	111,8	88,0	25,0	325,0	0,79
DQO filtrada	Água	4	30,2	22,3	5,0	50,0	0,74
(mg/L)	Esgoto tratado	6	51,4	27,3	29,9	105,0	0,53
ST	Água	5	219,3	44,5	145,0	251,0	0,20
(mg/L)	Esgoto tratado	5	520,6	264,7	307,0	962,0	0,51
SST	Água	4	6,8	5,4	1,0	14,0	0,80
(mg/L)	Esgoto tratado	4	15,2	23,1	-9,0	42,0	1,51
STD	Água	4	214,8	47,2	144,0	240,0	0,22
(mg/L)	Esgoto tratado	4	547,5	265,4	305,0	920,0	0,48
Amônia	Água	3	0,0	0,0	0,0	0,0	-
(mg N-NH_3/L)	Esgoto tratado	3	7,7	1,6	6,2	9,3	0,20
Fósforo	Água	7	0,2	0,3	0,0	0,6	1,28
(mg/L)	Esgoto tratado	7	12,8	12,6	0,0	27,2	0,99
Coliformes Totais	Água	8	2,98E+02	9,41E+02	8,00E+01	2,50E+03	1,40
NMP/100 mL)	Esgoto tratado	6	6,53E+02	2,97E+03	2,00E+01	7,77E+03	1,40
E. coli	Água	6	2,65E+01	2,64E+02	1,00E+00	6,70E+02	1,72
(NMP/100 mL)	Esgoto tratado	5	7,73E+01	5,03E+02	1,50E+01	1,18E+03	1,61
Ovos de Helmintos	Água	5	0,0	0,0	0,0	0,0	-
(ovos/L)	Esgoto tratado	5	0,4	1,0	0,0	3,3	2,28
Turbidez	Água	11	13,1	8,3	3,8	33,0	0,63
(UT)	Esgoto tratado	11	29,6	24,2	10,2	99,5	0,82

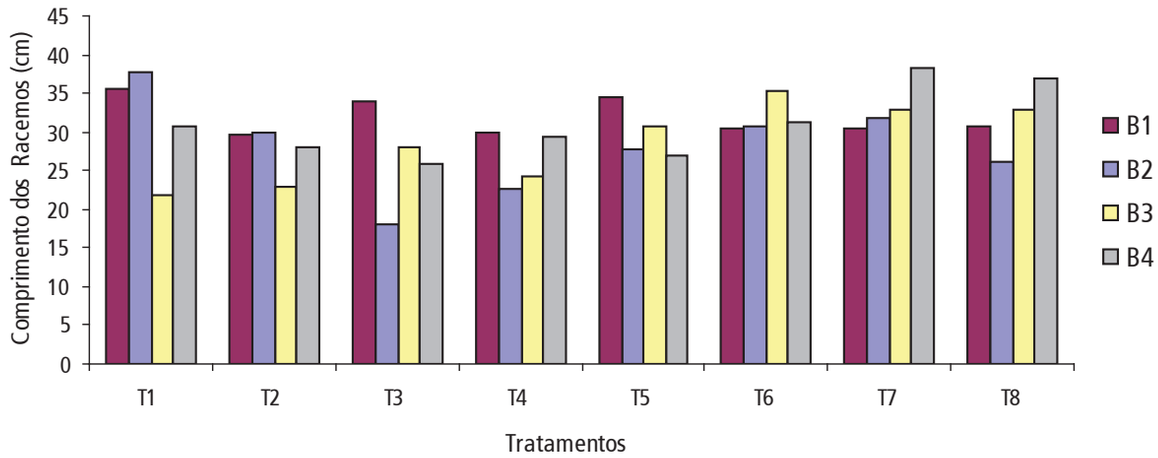
n – número de amostras; desv pad – desvio padrão; mín - mínimo; max – máximo; coef var – coeficiente de variação; RAS – Razão de Adsorção de Sódio; DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio; DQO – Demanda Química de Oxigênio; ST – sólidos totais; SST – sólidos suspensos totais; STD – sólidos totais dissolvidos.

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 61 27/8/2008 14:55:13

Desenvolvimento das culturas

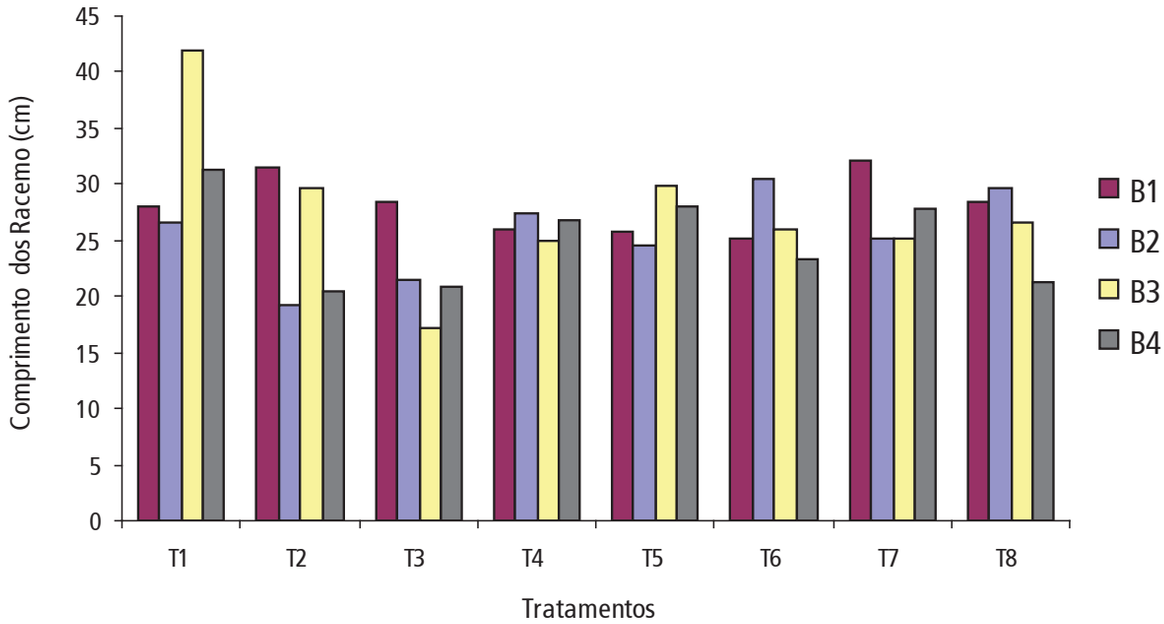
A Figura 1 mostra os valores do comprimento dos racemos das plantas irrigadas com esgoto doméstico. Pode-se observar que os comprimentos, em todos os tratamentos, variaram entre 20 cm e 40 cm.

Os comprimentos dos racemos das plantas irrigadas com água de poço são mostrados na Figura 2. Os maiores comprimentos ficaram entre 30 cm e 35 cm, com exceção do Tratamento 1 / Bloco 3, com valor acima de 40 cm.



Obs. B – Bloco; T1-N0K0: Sem nitrogênio e sem potássio; T2-N0K1: Sem nitrogênio e 30g de potássio; T3-N0K2: Sem nitrogênio e 60g de potássio; T4- N0K3: Sem nitrogênio e 90g de potássio; T5- N1K0: 30 g de nitrogênio e sem potássio; T6- N2K0: 60 g de nitrogênio e sem potássio; T7- N3K0: 90 g de nitrogênio e sem potássio; T8- N0K0: sem nitrogênio, sem potássio e sem adubação orgânica.

Figura 1 - Comprimentos dos racemos irrigados com esgoto doméstico tratado.

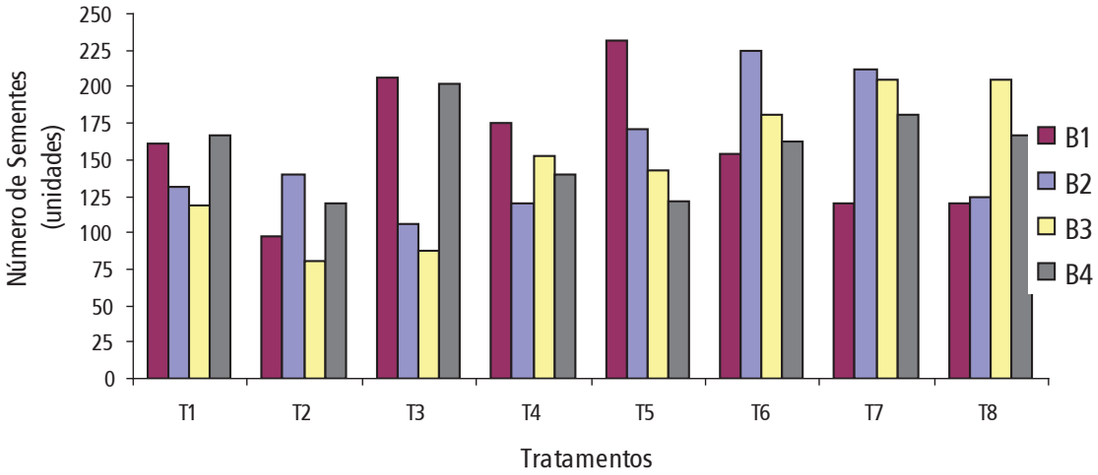


Obs. B – Bloco; T1-N0K0: Sem nitrogênio e sem potássio; T2-N0K1: Sem nitrogênio e 30g de potássio; T3-N0K2: Sem nitrogênio e 60g de potássio; T4- N0K3: Sem nitrogênio e 90g de potássio; T5- N1K0: 30 g de nitrogênio e sem potássio; T6- N2K0: 60 g de nitrogênio e sem potássio; T7- N3K0: 90 g de nitrogênio e sem potássio; T8- N0K0: sem nitrogênio, sem potássio e sem adubação orgânica.

Figura 2 - Comprimento dos racemos da cultura da mamona irrigada com água de poço.

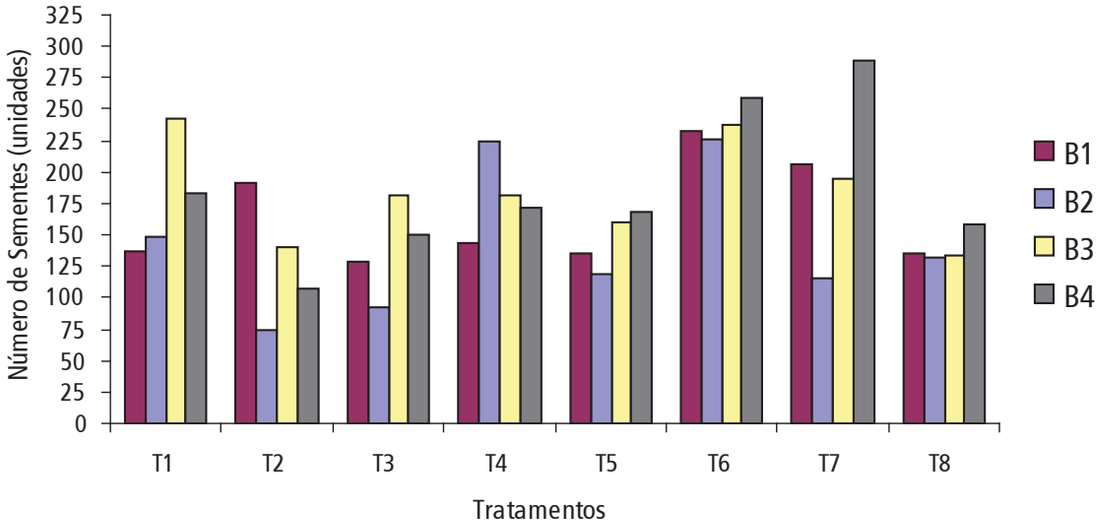
Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 62 27/8/2008 14:55:13

Nas Figuras 3 e 4 são mostrados os valores do parâmetro "números de sementes" para as mamonas irrigadas com esgoto doméstico e água, respectivamente. Para o esgoto (Figura 3) pode-se observar que os tratamentos T5 e T6 forneceram as melhores respostas, com valores entre 225 e 250 sementes em alguns blocos. A pior resposta ocorreu no tratamento T2, com 75 sementes, no Bloco B3. Para a água (Figura 4), nota-se que o tratamento 6 (N2K0: 60 g de nitrogênio e sem potássio) forneceu uma melhor resposta, quando comparado aos demais tratamentos em todos os blocos. De maneira isolada, o tratamento que se destaca é o T7 (Bloco 4), com números de semente superiores a 275 sementes.



Obs. B – Bloco; T1-N0K0: Sem nitrogênio e sem potássio; T2-N0K1: Sem nitrogênio e 30g de potássio; T3-N0K2: Sem nitrogênio e 60g de potássio; T4- N0K3: Sem nitrogênio e 90g de potássio; T5- N1K0: 30 g de nitrogênio e sem potássio; T6- N2K0: 60 g de nitrogênio e sem potássio; T7- N3K0: 90 g de nitrogênio e sem potássio; T8- N0K0: sem nitrogênio, sem potássio e sem adubação orgânica.

Figura 3 - Número de sementes da mamona irrigada com esgoto doméstico tratado.



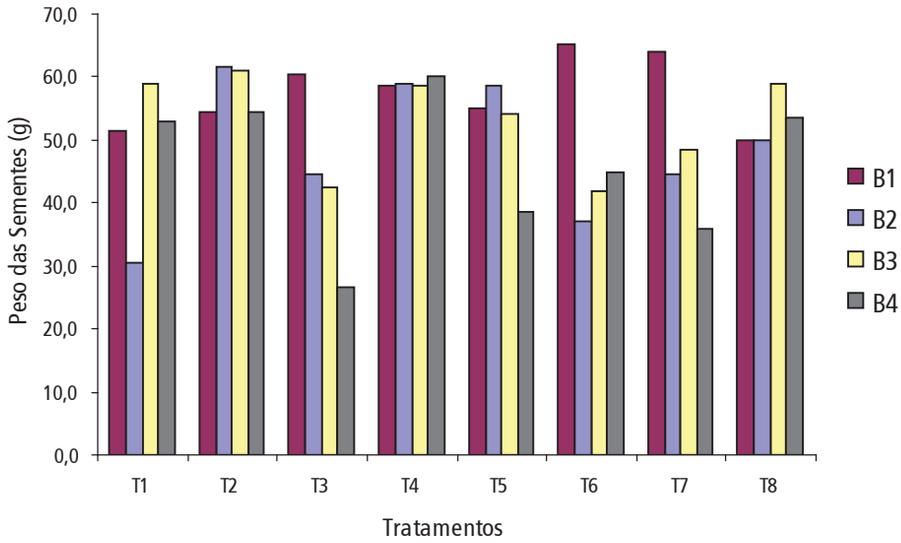
Obs. B – Bloco; T1-N0K0: Sem nitrogênio e sem potássio; T2-N0K1: Sem nitrogênio e 30g de potássio; T3-N0K2: Sem nitrogênio e 60g de potássio; T4- N0K3: Sem nitrogênio e 90g de potássio; T5- N1K0: 30 g de nitrogênio e sem potássio; T6- N2K0: 60 g de nitrogênio e sem potássio; T7- N3K0: 90 g de nitrogênio e sem potássio; T8- N0K0: sem nitrogênio, sem potássio e sem adubação orgânica.

Figura 4 - Número de sementes da mamona irrigada com água.

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 63 27/8/2008 14:55:13

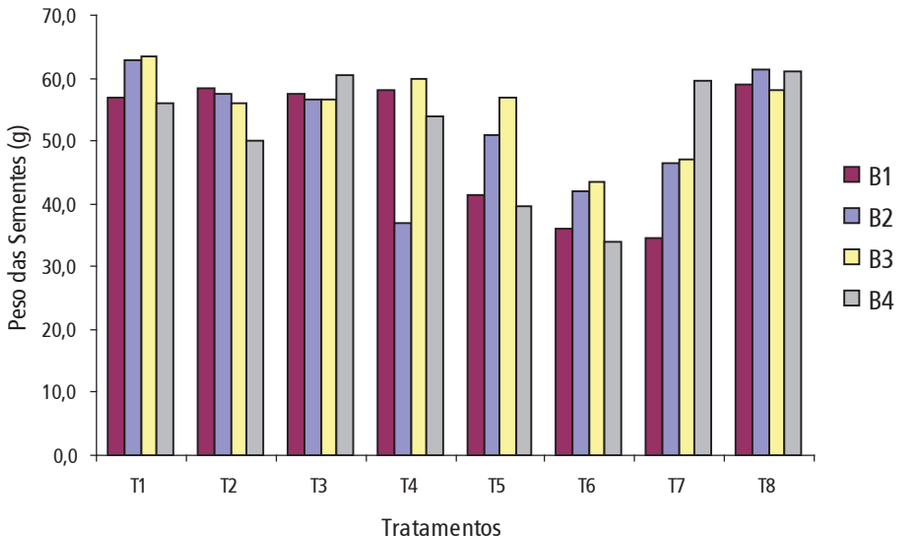
Na figura 5 são apresentados os valores do parâmetro "pesos de 100 sementes" obtidos nos experimentos com esgoto tratado. Pode-se observar que os melhores resultados ocorreram nos tratamentos com valores de nitrogênio entre 60g e 90g, nos tratamentos T6 e T7, respectivamente. Os piores resultados para este parâmetro foram observados nos tratamentos T1 e T3, cujos valores ficaram entre 20g e 30g.

A Figura 6 apresenta os valores do parâmetro "pesos de 100 sementes" obtidos nos experimentos usando água. Observa-se que, em todos os tratamentos, os valores maiores ficaram entre 50g e 65g.



Obs. B – Bloco; T1-N0K0: Sem nitrogênio e sem potássio; T2-N0K1: Sem nitrogênio e 30g de potássio; T3-N0K2: Sem nitrogênio e 60g de potássio; T4- N0K3: Sem nitrogênio e 90g de potássio; T5- N1K0: 30 g de nitrogênio e sem potássio; T6- N2K0: 60 g de nitrogênio e sem potássio; T7- N3K0: 90 g de nitrogênio e sem potássio; T8- N0K0: sem nitrogênio, sem potássio e sem adubação orgânica.

Figura 5 - Peso de 100 sementes de mamona irrigada com esgoto doméstico tratado.



Obs. B – Bloco; T1-N0K0: Sem nitrogênio e sem potássio; T2-N0K1: Sem nitrogênio e 30g de potássio; T3-N0K2: Sem nitrogênio e 60g de potássio; T4- N0K3: Sem nitrogênio e 90g de potássio; T5- N1K0: 30 g de nitrogênio e sem potássio; T6- N2K0: 60 g de nitrogênio e sem potássio; T7- N3K0: 90 g de nitrogênio e sem potássio; T8- N0K0: sem nitrogênio, sem potássio e sem adubação orgânica.

Figura 6 - Peso de 100 sementes de mamona irrigada com água.

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 64 27/8/2008 14:55:14

A Tabela 2 contém os dados de produtividade média da mamona, nas parcelas irrigadas com água e com esgoto, nos oito tratamentos.

Tabela 2 – Produtividades médias das mamonas irrigadas com água e com esgoto, em kg/ha.

Tratamentos	Descrição dos Tratamentos	Produtividade (kg/ha)	
		Irrigação com água	Irrigação com esgoto
T1 - N0K0	Sem Nitrogênio e sem Potássio	1.276,00	1.145,20
T2 - N0K1	Sem N + 30kg/ha de K	1.166,80	932,94
T3 - N0K2	Sem N + 60kg/ha de K	1.063,20	702,09
T4 - N0K3	Sem N + 90kg/ha de K	980,00	1.143,42
T5 - N1K0	30kg/ha de N e sem K	1.315,20	1.350,33
T6 - N2K0	60kg/ha de N e sem K	1.476,00	2.067,16
T7 - N3K0	90kg/ha de N e sem K	1.610,00	2.201,60
T8 - N0K0 – sem adubação orgânica	Sem Nitrogênio, potássio e adubação orgânica	978,00	1.432,52

Observa-se que nos tratamentos que apresentaram melhores resultados foram aplicados 60 e 90 kg/ha de Nitrogênio, sem a utilização de Potássio. Os valores de produtividade foram bem superiores quando se utilizou o esgoto doméstico tratado mais Nitrogênio na irrigação.

Este fato pode ser justificado pelo papel deste nutriente no crescimento dos tecidos vegetais, sendo o Nitrogênio o constituinte fundamental das membranas celulares (natureza lipo-proteica).

Para o tratamento onde não foram aplicadas doses de nitrogênio e potássio, nem foi usada adubação orgânica (T8 – N0K0), a área irrigada com esgoto doméstico tratado apresentou maior produtividade (1.432,52 kg/ha) do que a irrigada com água (978,00 kg/ha), indicando que o esgoto contém parte dos elementos necessários ao desenvolvimento das culturas.

Segundo Beltrão *et al.* (2003), a cultivar BRS 149, em regime de sequeiro, tem uma produtividade média entre 1.000 e 1.500 kg/ha, dependendo das chuvas do ano e do local de produção.

Souza *et al.* (2007), em trabalho realizado na mesma área desta pesquisa, obtiveram os seguintes resultados médios de produtividade: mamoneiras irrigadas com água mais adubação recomendada em função das características do solo – 887,5 kg/ha; mamoneiras irrigadas com esgoto tratado mais adubação recomendada – 1.986,2 kg/ha; mamoneiras irrigadas somente com esgoto tratado – 1.214,6 kg/ha; mamoneiras irrigadas com esgoto mais metade da adubação recomendada – 1.412,4 kg/ha.

Análise estatística

As Tabelas 3 e 4 mostram os resultados da análise estatística das variáveis estudadas durante o experimento da mamona irrigada com esgoto doméstico e água de poço, respectivamente.

Para a realização da análise estatística, foram utilizadas as médias dos quatro blocos (repetições para cada tratamento), obtidas para as variáveis estudadas.

Na Tabela 3, observa-se que somente para a variável "comprimento dos racemos" ocorreu influência significativa ($p<0,05$) entre os tratamentos e entre as repetições (blocos), não sendo observadas diferenças significativas para os demais parâmetros. Quanto à produtividade, ocorreu diferença significativa entre os blocos, mas não houve significância entre os tratamentos.

Pela Tabela 4 pode-se verificar que o tratamento influenciou significativamente ($p<0,05$) para as variáveis comprimento dos racemos, número de sementes e peso de 100 sementes da mamoneira, ao contrário das repetições (blocos), onde só ocorreu significância no peso de 100 sementes. Para as demais variáveis analisadas, não ocorreram influências significativas nem entre os tratamentos nem entre os blocos.

Tabela 3 - Resumo das análises de variâncias: Comprimento do Racemo (CR), Número de Sementes (NS), Peso de 100 Sementes (P100S) e Produção (PD), da mamona irrigada com esgoto doméstico tratado.

Quadrado Médio	ESGOTO					
	F.V	GL	CR	NS	P100S	PD
	Tratamento	7	52,33*	2981,59^{ns}	113,97^{ns}	7543,16^{ns}
	Repetição	3	42,91*	708,97^{ns}	211,94^{ns}	88251,35*
	Resíduo	21	7,60	1412,43	77,20	10100,06
	Média		29,64	153,53	51,13	303,06
	C.V (%)		9,3	24,71	17,18	33,16

Significativo a 0,05 (*) de probabilidade, (^{ns}) não significativo
F. V: Fonte de Variação; GL: Grau de Liberdade; CV: Coeficiente de Variação

Tabela 4 - Resumo das análises de variâncias: Comprimento do Racemo (CR), Número de Sementes (NS), Peso de 100 Sementes (P100S) e Produção (PD), da mamona irrigada com água de poço.

Quadrado Médio	ÁGUA					
	F.V	GL	CR	NS	P100S	PD
	Tratamento	7	64,19*	5702,07*	206,71*	10714,61ns
	Repetição	3	48,84ns	3414,44ns	169,89*	25278,92ns
	Resíduo	21	7,60	1394,27	26,99	9555,86
	Média		26,04	168,71	52,00	346,23
	C.V (%)		20,33	22,13	9,99	28,23

Significativo a 0,05 (*) de probabilidade, (^{ns}) não significativo
F. V: Fonte de Variação; GL: Grau de Liberdade; CV: Coeficiente de Variação

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 65 27/8/2008 14:55:14

CONCLUSÕES

Com base nos resultados da pesquisa, pode-se concluir que:

1. Sistemas de lagoas de estabilização em série compostos de quatro unidades de tratamento podem resultar, em regiões com características semelhantes às da área desta pesquisa, em efluentes com condições de uso em irrigação irrestrita.
2. Quanto ao número de sementes das plantas irrigadas com esgoto, os tratamentos que continham doses de nitrogênio forneceram os melhores resultados (T5 e T6). A não adição de nitrogênio implicou em produtividades bem baixas, como a observada no tratamento T2. Para a mamona irrigada com água, as produtividades cresceram com o aumento das doses de nitrogênio, sendo os melhores resultados encontrados nos tratamentos T6 e T7.
3. Com relação ao parâmetro "peso de 100 sementes", os melhores tratamentos para a área irrigada com esgoto foram obtidos onde se aplicaram as maiores doses de nitrogênio (T6 e T7); os menores valores foram observados nos tratamentos sem a presença de nitrogênio e potássio (T1).
4. Quanto à produtividade na área irrigada com esgoto tratado, observou-se que os melhores valores foram obtidos nos tratamentos onde houve a aplicação de doses de 60 e 90 kg/ha de Nitrogênio, sem utilização de Potássio, obtendo-se valores de 2.067,16 e 2.201,60 kg/ha, respectivamente. Este fato pode ser justificado pelo papel deste nutriente no crescimento dos tecidos vegetais, sendo o Nitrogênio o constituinte fundamental das membranas celulares (natureza lipo-proteica).
5. Os valores de produtividade estão compatíveis com os obtidos em outras pesquisas com mamona, alcançando, alguns deles, números superiores.
6. A utilização de esgoto doméstico tratado na irrigação de mamoneiras e de outras culturas constitui uma prática a ser incentivada em regiões com carência de água como a do semi-árido nordestino.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos Programas Prosab / Finep, ao CNPq, e à Cagece (Companhia de Água e Esgoto do Ceará), pelo apoio para a realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS

Almeida, E. C. Alterações no solo e produção de feijão-caupi pela disposição subsuperficial de esgoto. Dissertação de Mestrado. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará. 2005.

Bastos, R.K.X. (coordenador) Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura. Rio de Janeiro: ABE, 2003.

Beltrão, N.E. de M. A cadeia da mamona no Brasil, com ênfase para o segmento P&D: estado da arte, demandas de pesquisa e ações necessárias para o desenvolvimento. Campina Grande, PB: EMBRAPA, 2004.

Beltrão, N.E. de M.; Gondim, T.M.S. Sistemas de produção: Cultivo da mamona. Versão eletrônica Embrapa Algodão, Set/2006. 2ed. Disponível em: ‹http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mamona/CultivodaMamona_2ed/adubacao.html›. Acesso: 15 de abril de 2008.

Embrapa. Apresentação do produto da mamona. Disponível em: ‹http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/mamona/apresentacao.html› Acesso: 10 de abril de 2008.

Milani, M.; Severino, L.S. Sistemas de produção: Cultivo da mamona. Versão eletrônica Embrapa Algodão, Set/2006. 2ed. Disponível em: ‹http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mamona/CultivodaMamona_2ed/index.html›. Acesso: 07 de abril de 2008.

Mota, S. Gestão ambiental de recursos hídricos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2008.

Paganini, W.S. Reúso de água na agricultura. In: Mancuso, P.C.S.; Santos, H.F. (eds.). Reúso de água. Barueri: Manole, 2003.

Parente, E. J. S. Biodiesel: Uma aventura tecnológica num país engraçado. Fortaleza, 2003. www.tecbio.com.br. Acesso em 20.03.2008.

Santiago, R. G. Avaliação da qualidade do efluente final do Sistema de Lagoas de Estabilização do SIDI, visando ao uso na agricultura. Dissertação de Mestrado. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 1999.

Santos, N. M. R. Biodiesel: uma alternativa energética sustentável. Monografia (Curso de Especialização em Avaliação Ambiental). Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2004.

Severino, L. S.; Moraes, C. R. de A.; Ferreira, G. B.; Cardoso, G. D.; Gondim, T. M. de S.; Beltrão, N. E. DE M.; Viriato, J. R. Crescimento e produtividade da mamoneira sob fertilização química em região semi-arida. Campina Grande: Embrapa Algodão, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, setembro de 2005, n.62.

Souza, N. C.; Mota S.; Santos, A.B. Avaliação da produtividade da mamona irrigada com esgoto doméstico tratado. In: Mota, S.; Aquino, M.D.; Santos, A. B. (organizadores). Reúso de águas em Irrigação e Piscicultura. Fortaleza-CE: Universidade Federal do Ceará/ Centro de Tecnologia, 2007.

Tundisi, J. G. Água no Século XXI: Enfrentando a Escassez. São Carlos: editora RiMa, Instituto Internacional de Ecologia, 2003.

Von Sperling, M. Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos, 3ª. Edição, Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

WHO. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume 2. Wastewater use in agriculture. Geneva: World Health Organization, 2006.

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 66 27/8/2008 14:55:14

O novo site da Revista DAE está repleto de novidades

Notícias em tempo real sobre o que há de novo na área de saneamento e meio ambiente.

Revista digital. Enquetes. Pesquisa inteligente de todos artigos técnicos.

Tudo isso e muito mais no novo site da revista.

www.revistadae.com.br

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 67 27/8/2008 15:08:51

SAÚDE

O respeito com sua saúde começa na natureza, nas fontes onde a Sabesp vai buscar a água para levar até sua casa. Passa pelas estações de tratamento, onde a mais moderna tecnologia é utilizada para garantir a qualidade da água que você vai usar. Continua depois que a água foi usada, nas estações de tratamento de esgoto. Devolver a água usada para a natureza em condições de permitir que a vida siga seu ciclo é uma questão de honra para a Sabesp. De honra e de respeito.

sabesp
A vida tratada com respeito

SECRETARIA DE SANEAMENTO E ENERGIA

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
TRABALHANDO POR VOCÊ

Sabesp Revista_DAE Setembro_178.indd 68 27/8/2008 14:55:16