

Expediente

Publicação da Companhia de Saneamento do Paraná
Disponível em: www.sanepar.com.br, em Publicações.

Conselho Editorial

Maria Arlete Rosa (presidente), Cleverson Vitório Andreoli, Cristóvão Vicente Scapulatempo Fernandes, Decio Jürgensen, Emílio Trevisan, Miguel Mansur Aisse, Nivaldo Rizzi, Samira Kauchakje, Tânia Lucia Gras de Miranda, Wilson Loureiro

Assessoria Técnica

Dulcinéia Mesatto

Apoio técnico

Constance R. S. Pinheiro

Unidade de Serviços de Comunicação Social

Lea Okseanberg

Coordenação Executiva

Ary Haro dos Anjos Jr.

Editora

Ivanilde Maria Muxfeldt Klais – DRT 1038 PR

Pareceristas desta edição

Antônio Rodolfo Jr., Charles Carneiro, Cleverson Vitório Andreoli, Cristóvão V. S. Fernandes, Eduardo Pegorini, Fernando Fernandes, Harry Alberto Bollmann, Jairo Tardelli Filho, José Marcelo Rocha Aranha, José Roberto Campos, Luiz Antônio Daniel, Luiz Carlos Gomes, Marcos Omir Marques, Miguel Mansur Aisse, Milton Tsutuiya, Nivaldo Rizzi, Pedro Alem Sobrinho, Rafael Kopschitz Xavier Bastos, Roque Passos Piveli

Fotografia

Capa e contracapa: João Henrique

Arte e Diagramação

Carlos Eduardo Deitos

Fotolito/Impressão

Cromos Editora e Indústria Gráfica Ltda

Tiragem

3.500 exemplares

Correspondência

Rua Engenheiros Rebouças, 1376 - Rebouças - Curitiba - PR - Brasil - CEP 80215900
e-mail: ivanildemk@sanepar.com.br

Ficha Catalográfica

Catalogação na Fonte
Sanare/Companhia de Saneamento do Paraná. V.22
Curitiba: Sanepar, 2004 - Semestral
ISSN 0104-7175
1.Saneamento. 2.Sanare - Periódico. I.Sanepar
Companhia de Saneamento do Paraná

Editorial 3

Automação no sistema de abastecimento de água da cidade de Ponta Grossa – Paraná: uma abordagem visando à redução de perdas

Flavio Trojan
João Luiz Kovaleski 4

Otimização da filtração direta através da pré-floculação

Ramon Lucas Dalsasso
Maurício Luiz Sens 12

Avaliação da performance do PVC DEFOFO rígido x PVC DEFOFO dúctil: uma alternativa também necessária no Brasil

Raimunda Maria Pires
Jorge Neves Moll 25

Reabilitação de redes de ferro fundido. Estudo de caso da cidade de Curitiba

Margareth dos Santos Burger 38

Sobrevivência de coliformes totais e *Escherichia coli*, isolamento e identificação de fungos em amostras de água “in natura”

Mônica Paul Freitas
Ida Chapaval Pimentel
Carlos Roberto Dalke
Rodrigo Makowiecky Stuart 51

A ictiofauna do alto curso do Rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba, Paraná: perspectivas para sua conservação

Vinícius Abilhoa
Cláudia Regina Boscardin 58

Produção brasileira de lodos de esgotos

Maria Fernanda de Sousa Machado
Roberto Feijó de Figueiredo
Bruno Coraucci Filho 66

Nossa capa:

Barragem do Iraí, Piraquara, Região Metropolitana de Curitiba.

Nesta edição da **Sanare – Revista Técnica da Sanepar**, a Companhia de Saneamento do Paraná apresenta uma série de artigos sobre pesquisas acadêmicas e aplicadas cujos resultados, certamente, trazem contribuições significativas para o setor do saneamento básico e ambiental.

Os temas abordados são:

- Automação no sistema de abastecimento de água da cidade de Ponta Grossa-Paraná: uma abordagem visando à redução de perdas;

- Otimização da filtração direta através da pré-floculação;

- Avaliação da performance do PVC DEFOFO rígido x PVC DEFOFO dúctil: uma alternativa também necessária no Brasil;

- Reabilitação de redes de ferro fundido. Estudo de caso da cidade de Curitiba;

- Sobrevivência de coliformes totais e *escherichia coli*, isolamento e identificação de fungos em amostras de água “in natura”;

- A ictiofauna do alto curso do Rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba, Paraná: perspectivas para sua conservação;

- Produção brasileira de lodos de esgotos.

Entre os destaques desta edição, ressaltam-se os trabalhos Reabilitação de redes de ferro fundido. Estudo de caso da cidade de Curitiba e Avaliação da performance do PVC DEFOFO x PVC DEFOFO dúctil: uma alternativa também necessária no Brasil. O primeiro comprova a viabilidade de reabilitar redes de ferro fundido, que compõem o sistema de distribuição de água tratada, sem que as obras provoquem transtorno no tráfego de pedestres ou de veículos. Os resultados encontrados no segundo trabalho podem subsidiar a elaboração de nova norma da

Associação Brasileira de Normas Técnicas. A proposta de nova norma já foi enviada, pela Sanepar, à ABNT.

Depois de 11 anos de existência, a **Sanare** conquistou excelente aceitação e credibilidade perante seus diversos públicos. Ligada à Sanepar e à sua história, a **Sanare** tem sido um dos instrumentos de partilha dos conhecimentos técnicos gerados na operação dessa grande empresa. A revista é, também, um dos alicerces para a formação do capital intelectual da Companhia de Saneamento do Paraná. Além disso, tornou-se um veículo de divulgação técnico-científica de âmbito nacional e de alcance internacional. No entanto, é necessário evoluir e por isso a **Sanare** está passando por uma reformulação.

Entre outras medidas estratégicas, será realizado o recadastramento geral da base de dados de assinantes. Neste número, encartada nas páginas centrais, há uma ficha que deverá ser preenchida por todos os interessados em continuar recebendo esta publicação. Todos os endereços, que atualmente constam da base de dados, serão automaticamente cancelados.

Lembra-se que a assinatura da **Sanare – Revista Técnica da Sanepar** é isenta de custos. Todavia, os custos para envio da ficha de atualização cadastral correm por conta do remetente. O prazo de envio desta ficha é de 30 dias, após o recebimento desta edição.

Caso prefira, nosso leitor poderá atualizar seu cadastro e responder ao questionário Perfil do Leitor pelo endereço: www.sanepar.com.br (vá em publicações e clique no link Recadastramento).

Em caso de dúvida, entrar em contato pelo correio eletrônico sanare@sanepar.com.br.

Automação no sistema de abastecimento de água da cidade de Ponta Grossa – Paraná: uma abordagem visando à redução de perdas



Flavio Trojan
João Luiz Kovaleski

Automation in the water supply system in the city of Ponta Grossa – state of Paraná:
An approach aiming at the reduction of losses

Resumo

Este trabalho apresenta resultados decorrentes da automação no sistema de abastecimento de água da cidade de Ponta Grossa – Paraná, implantado em 2001. Tem por objetivo verificar as contribuições da automação aplicada a sistemas de abastecimento de água, principalmente no que se refere ao controle de perdas de água do sistema. Este artigo apresenta um estudo de caso da empresa de saneamento básico da cidade de Ponta Grossa. Faz uma análise comparativa dos índices de perdas anuais num período anterior e posterior à implantação da automação - 1998 a 2003. Indica alguns resultados importantes alcançados como: a redução da pressão média nas tubulações transportadoras, a rapidez e qualidade nos reparos dessas tubulações, formação de uma base de informações para a criação de programas para novas instalações e para melhorias no sistema, citados na literatura como essenciais para o controle do índice de perdas.

Palavras-chave: automação em sistemas de abastecimento de água; saneamento básico; perdas de água.

Abstract

This paper shows some results from the automation introduced in the processes of the

water supply system of the city of Ponta Grossa, in the State of Paraná, which was implanted in 2001. Its purpose is to check the contributions of the automation applied to water supply systems, principally with respect to the control of water losses. This paper presents a case study of Ponta Grossa's sanitation company. It performs a comparative analysis of the annual loss rates in a period before and after such implementation, namely, 1998 to 2003. It shows some important results, such as: reduction of the average pressure inside the conveying pipes, speediness and quality of piping repairs, the creation of an information basis to generate programs for new installations and system improvements, which are mentioned in the specialized literature as essential for controlling the loss rates.

Keywords: automation of water supply systems, basic sanitation, water loss.

Introdução

Dentre todos os recursos naturais, o mais importante para o bem-estar da humanidade é a água. Durante milênios, constituiu-se em patrimônio inteiramente livre do qual os habitantes da Terra se serviam despreocupadamente.

Com o progresso, surgiram os agrupamentos urbanos, cujas múltiplas atividades exi-

resultados alcançados: a redução da pressão média nas tubulações transportadoras, a rapidez e qualidade nos reparos dessas tubulações



giam, a cada dia, uma maior quantidade de água. Além de ser um bem indispensável para a vida humana, a água é também matéria-prima industrial, tornando-se cada vez mais escassa.

Na ocorrência destes fatos, o administrador público moderno enfrenta duas classes de problemas no que se relaciona ao uso da água: nos países subdesenvolvidos, providenciar a correta destinação dos recursos hídricos em proveito das perspectivas populacionais; nos países desenvolvidos, a educação das pessoas para a preservação desses recursos naturais.

Sendo assim, a automação de sistemas pode contribuir, significativamente, para um melhor aproveitamento de vários recursos naturais, seja no simples controle da iluminação de um ambiente ou no controle operacional de um sistema de abastecimento de água de uma cidade.

SILVEIRA (1998) descreve automação como sendo um conceito e um conjunto de técnicas por meio das quais se constroem sistemas ativos capazes de atuar com eficiência maximizada pelo uso de informações recebidas do meio sobre o qual atuam.

Com base nas informações, o sistema calcula a ação corretiva mais apropriada para a execução da ação e esta é a característica de sistemas em malha fechada, conhecidos como sistemas de realimentação. Para tanto, são utilizados controladores que, por meio da execução algorítmica de um programa ou circuito eletrônico, comparam o valor atual com o valor desejado, efetuando o cálculo para ajuste e correção. O valor desejado também é conhecido na literatura inglesa como *setpoint*.

Com os avanços da eletrônica e da informática, há uma profusão de equipamentos e aplicativos dedicados à automação. Se por um lado isto favorece a implantação de sistemas, pois há uma redução dos custos, devido à grande oferta, por outro torna necessário um maior cuidado na especificação desses equipamentos e, mais importante, na integração dos sistemas entre si.

MÁRIO FILHO (2001), explica que o

conceito de automação em sistemas de abastecimento de água assemelha-se muito ao que acontece no setor elétrico. Da mesma forma que esse segmento pode ser dividido em geração, transmissão e distribuição de energia, o setor de saneamento possui a produção de água, transporte para os reservatórios e distribuição aos consumidores.

A automação em saneamento ainda é pontual. Isso é reflexo da falta de recursos das companhias de saneamento, majoritariamente estatais.

MOREIRA (2002) aponta que, no Brasil, a prestação dos serviços de saneamento está centralizada em 27 concessionárias estaduais, responsáveis pelo atendimento de 75% da população servida por sistemas de abastecimento de água (mais de 3.700 municípios). Os demais municípios (cerca de 1.300) são atendidos por empresas municipais autônomas. Cerca de 93% da população atendida pelo abastecimento de água mora em área urbana. A taxa média de novas ligações de água e de esgotos é de 2% ao ano, enquanto que a taxa de crescimento da população urbana varia em 1,2% ao ano. O consumo per capita de água no país varia entre 71 e 278 litros/habitantes/dia.

Outro entrave enfrentado para a adoção da automação nesse segmento é o aspecto geográfico, que influencia os meios de comunicação. Geralmente as unidades de monitoração e controle remotos estão instaladas em locais que não possuem infra-estrutura de telecomunicação ou energia elétrica, implicando até o aproveitamento de estruturas alternativas.

Os principais atrativos para se justificar o investimento em automação residem na melhoria da qualidade do tratamento de água, por meio do monitoramento e controle em tempo real, redução de custos operacionais através do gerenciamento de energia elétrica consumida e controle de perdas físicas no sistema. Existe uma perda muito grande de água em vazamentos, ligações clandestinas, mau estado de hidrômetros, que pesa no índice de atuação de uma companhia de saneamento. Destaca-se que são gastos energia elétrica e

***o sistema
calcula a ação
corretiva mais
apropriada para
a execução da
ação***



produtos químicos, que são caros, para elevar e tratar a água. Do volume total, só 60% chega ao destino, para ser consumido. Quanto mais a companhia puder aumentar o índice de aproveitamento, será melhor, porque diminui o custo da produção.

LAMBERT (1999) apresenta um modelo conceitual do índice de vazamentos na infraestrutura de um sistema de abastecimento (IVIN). Segundo o autor, para se ter um potencial de recuperação do índice de perdas de água no sistema necessita-se atuar em controle de pressão das tubulações de distribuição, rapidez e qualidade nos reparos em tubulações que apresentaram vazamentos e a criar programas de escolha, instalação, manutenção e melhoria da qualidade das tubulações.

MÁRIO FILHO (2001) ressalta, ainda, que a automação em saneamento soluciona também uma série de dificuldades operacionais, como manter operadores nas unidades de tratamento, ligando e desligando bombas. Por comandos realizados principalmente por telemetria, várias unidades podem ser assistidas a partir de um centro de controle operacional com funções de operação, otimização e planejamento (menor custo, maior segurança).

A necessidade de sistemas de controle de processos mais sofisticados para as estações de tratamento e distribuição de água torna-se uma realidade. Do ponto de vista da supervisão, o acesso remoto via Internet, em processos industriais, vem emergindo, dada à vasta abrangência e demais facilidades oferecidas pela rede mundial. Seguindo essa tendência, destacam-se novos barramentos industriais, como o *Foundation Fieldbus*, idealizado para processos contínuos distribuídos, e *Softwares* de supervisão e controle com recursos para *Web*.

Em localidades em que a geografia se mostra bastante acidentada, um sistema de automação torna-se primordial, com necessidade de um controle mais eficiente, procurando evitar o rompimento de tubulações nos pontos mais baixos e, por outro lado, procurando manter o mínimo de condições de abastecimento nos pontos críticos ou mais altos geograficamente.

O objetivo deste trabalho de pesquisa é verificar as contribuições da automação aplicada a sistemas de abastecimento de água urbanos. Com base na literatura apresentada, fazer uma análise e discussão dos resultados encontrados no estudo de caso apresentado a seguir.

Metodologia

A pesquisa foi elaborada através de estudo de caso da Companhia de Saneamento do Paraná, atuante na cidade de Ponta Grossa na prestação de serviços em saneamento básico. Com análise e discussão da variação de seu indicador de perdas de água no sistema de abastecimento dos anos 1998 a 2003, que compreende um período anterior e posterior a implantação da automação no sistema, que se deu em 2001, e com a detecção da melhoria de outros fatores operacionais relacionados ao processo produtivo e distributivo no abastecimento de água.

O estudo consistiu em pesquisa documental extraída de fontes primárias: relatórios, documentos públicos, pesquisa bibliográfica e de fontes secundárias extraídas de publicações em revistas.

Estudo de caso

A Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), que atua em saneamento básico na cidade de Ponta Grossa – Paraná, foi criada em 23 de janeiro de 1963 para cuidar das ações de saneamento básico em todo o Estado do Paraná. É uma empresa estatal, de economia mista, cujo maior acionista é o governo do Estado, com 60% das ações. Tem atualmente um foco social, que vai além da prestação de serviços públicos, concentrando esforços na transmissão de informações, na educação e na conservação ambiental.

O município de Ponta Grossa contabiliza população de aproximadamente 280 mil habitantes (IBGE, 2000). A Sanepar abastece, na cidade, cerca de 75 mil ligações de água, distribuídas numa extensão territorial de 2.064 km². Tem um consumo médio de água em torno de um

na primeira
etapa de
implantação da
automação, o
investimento foi
de 860 mil
dólares

milhão de m³ mês, ou seja, aproximadamente 120 litros/habitante/dia (SANEPAR, 2003).

Com investimento de aproximadamente US\$ 860 mil, implantou-se uma primeira etapa da automação no sistema de abastecimento, abrangendo válvulas de controle automáticas em tubulações de grande porte, sensores de medição de pressão e de vazão nos principais pontos críticos do sistema e um sistema de supervisão por *software*. Assim pôde-se monitorar todo o sistema.

A automação foi implantada com vistas a atender as características hidráulicas do município, monitorando e atuando conforme os pontos mais críticos do sistema. A supervisão é feita por *software*, que gera alertas de anormalidades e por meio do qual são tomadas decisões para a atuação, visando a equilibrar o sistema.

A estrutura da automação baseia-se num sistema distribuído em hierarquia em que Controladores Programáveis (dispositivos capazes de desencadear ações segundo uma programação) estão interligados entre si, com comunicação através de *modems*, conectados por linhas privativas de telefonia. No ponto crítico de cada área de abastecimento automatizada está instalado um controlador programável, que faz a aquisição dos dados de pressão, vazão ou nível de reservatórios, transmitindo-os para o controlador da área superior ou “mestre” (área imediatamente mais próxima ao centro de supervisão), o qual desencadeia ação de abertura ou fechamento, se estiver controlando uma válvula, por exemplo.

Cada área é operada de maneira autônoma, sendo que, ao ocorrer qualquer problema na supervisão, as áreas continuarão operando sem prejuízo, até que o sistema volte ao normal.

Desta maneira se constitui a malha de integração hierárquica do sistema, sendo o ponto alto da hierarquia, o centro de supervisão. A supervisão é composta por uma estação SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), onde são gerenciados todos os pontos da automação, com geração de alarmes, relatórios e gráficos de acompanhamento,

e algumas estações *Client's*, que fornecem subsídios para os setores de engenharia, manutenção e gerência administrativa da empresa e também filtram a informação conforme a necessidade de cada setor.

Como todas as companhias que atuam no setor de serviços em saneamento básico, desde a sua implantação na cidade de Ponta Grossa, a Sanepar, monitora a variação de um indicador estratégico para o ramo: o índice de perdas físicas. Tem-se neste indicador o reflexo da eficiência na detecção de problemas inerentes à operação, quais sejam: identificação de vazamentos em tubulações e a rápida manutenção nessas tubulações, análise da Micromedição (somatória dos consumos dos habitantes) para a detecção de problemas relacionados com o mau estado dos hidrômetros (medidores de vazão de consumo) e ocorrência de ligações clandestinas e fraudes na rede pública de abastecimento.

As perdas físicas em sistemas de abastecimento de água são calculadas pela relação percentual entre as diferenças dos volumes de captação (Volume Aduzido), volume de distribuição (Volume Produzido ou Distribuído) e, ainda, com o volume de medição (Volume Micromedido).

- **Volume Aduzido:** é o volume (m³) de água correspondente a toda água captada pelas empresas de saneamento, oriundo de rios ou grandes reservatórios naturais, como barragens, realizado através de sucção ou gravidade com destino final nas estações de tratamento de água onde serão adicionados produtos químicos para o devido tratamento da água tornado-a potável. Pode-se quantificar esse volume com equipamentos medidores de grandes vazões, chamados macromedidores.

- **Volume Produzido ou Distribuído:** trata-se do volume (m³) da água distribuída à população por uma rede de tubulações transportadoras de água, após seu tratamento nas ETAs (Estações de Tratamento de Água). Esse volume pode ser quantificado também através de equipamentos medidores de grandes vazões, instalados nas saídas das Estações de Tratamento.

a estrutura da automação baseia-se num sistema distribuído em hierarquia



- **Volume Micromedido:** compreende a somatória dos volumes registrados em hidrômetros (medidores de pequenas vazões) instalados na entrada de residências para medir o consumo individual dos moradores de uma cidade.

A determinação do índice de perdas, adotada pelas empresas de saneamento, está na diferença percentual entre os volumes de água citados. Por exemplo, a diferença do volume aduzido que não é distribuído transforma-se em um percentual de perdas para a produção de água (PSP - Perdas no Sistema Produtor), conseqüentemente todo o volume distribuído que não é medido nas residências, transforma-se em percentual de perdas para a distribuição (PSD - Perdas no Sistema Distribuidor)

Apresentação e discussão dos resultados

Num período anterior a três anos da implantação do sistema de automação no sistema de abastecimento de água da cidade de Ponta Grossa, o indicador de perdas físicas acumulado em 12 meses apresentava variação média de aproximadamente 3,5%. Constantemente desenvolviam-se ações para reduzir as perdas no sistema. Um exemplo destas iniciativas é apesquisa de vazamentos em toda a área urbana do município que, além de apresentar custo elevado, não alcançava 100% dos resultados esperados.

A figura 1 demonstra que logo após a implantação do sistema em 2001, pôde-se constatar uma recuperação significativa no indicador e, o mais importante, permanecendo em queda, na média 7,5%, fato que não vinha ocorrendo nos anos anteriores.

O índice de perdas, percentual acumulado em um ano (PSD12) apresentou, após a implantação da automação, redução de 47,29% em 2001, para 38,91% em 2002, mantendo-se em declínio no ano seguinte até alcançar 32,23%, em 2003. Para comparação, a média desse índice no Paraná é em torno de 39%.

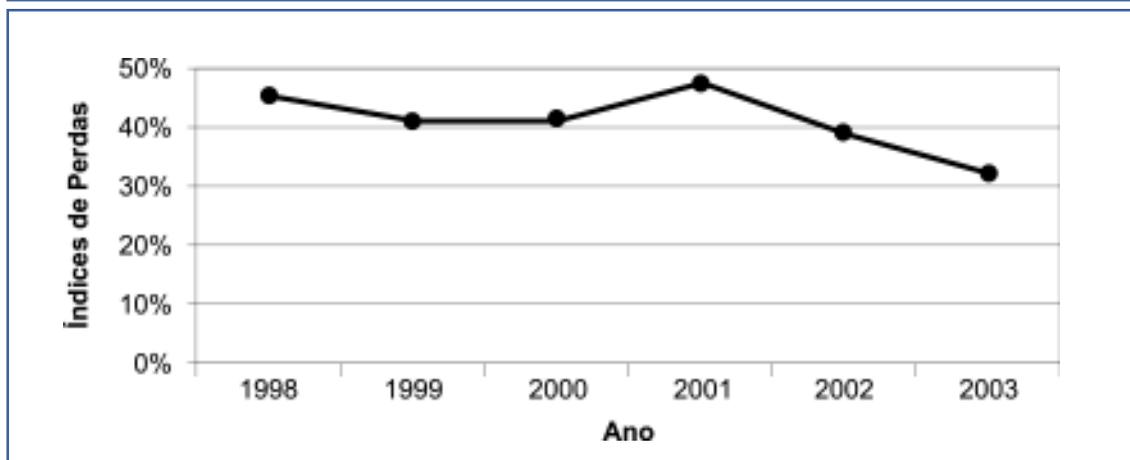
Em dois anos, o índice apresentou um declínio de 15,06%, que representou o mais significativo deste indicador em um pequeno espaço de tempo na história da empresa na cidade. Essa redução reverteu-se em economia de custos da ordem US\$260 mil, em dois anos, e numa projeção de faturamento bruto (se toda esta água recuperada pudesse ser comercializada) na ordem de US\$500 mil ao ano.

Considerando-se que o sistema está em constante crescimento, em torno de US\$10 mil ao ano, e essas perdas recuperadas vão sendo contabilizadas no retorno do investimento, estima-se retorno do capital investido na ordem de US\$140 mil ao ano, projetando-se um tempo de retorno do investimento para aproximadamente 6 anos.

No índice de perdas do sistema produtor (PSP), o controle é mais eficiente, pois a

estima-se retorno do capital investido na ordem de US\$140 mil ao ano, e o retorno do investimento em 6 anos

FIGURA 1 - EVOLUÇÃO DO ÍNDICE DE PERDAS NO SISTEMA DISTRIBUIDOR (PSD12) EM PONTA GROSSA (1998-2003)



água que é perdida neste processo destina-se apenas a lavagens de filtros e outras poucas atividades operacionais da produção, sendo que parte desta água ainda pode ser reaproveitada, através de recirculação. Nesse setor do abastecimento o indicador de perdas da produção apresenta índices abaixo de 3% ao ano.

Verificou-se que, após a implantação do sistema de automação, resolveram-se alguns dos principais pontos abordados por Lambert em seu modelo conceitual do índice de vazamentos na infra-estrutura de um sistema de abastecimento (IVIN):

- Controle de pressão nas tubulações de distribuição: a automação do sistema é composta por vários equipamentos de controle, monitoramento e comunicação. Entre eles estão as válvulas autocontroladas. Nestas válvulas tem-se um controle efetivo da pressão mínima que se deve operar nas tubulações transportadoras de água de determinadas regiões, conforme estudo das demandas de consumo e geografia dessas regiões. Ao passo que as pressões tendem a aumentar nos pontos críticos (*set-point* do controle das válvulas), essas “válvulas inteligentes”, imediatamente restringem-se, baseadas em uma lógica de programação pré-estabelecida em controladores programáveis, procurando manter o equilíbrio.

- Rapidez e qualidade nos reparos em tubulações que apresentaram vazamentos: o sistema de abastecimento, sendo monitorado em sua distribuição, tanto por medidores de pressão (PT – *Pressure Transmission*) quanto por medidores de vazão (FT – *Flow Transmission*) pode, no momento em que ocorrer uma anormalidade no sistema, gerar em um *software* de supervisão um alarme indicando a região em que a anormalidade está instalada, facilitando a rapidez no reparo de tubulações se for caracterizado vazamento.

- Programas de escolha, instalação, manutenção e melhoria da qualidade das tubulações: na atividade industrial, onde a

automação de processos mostra-se uma realidade, percebe-se que ela traz subsídios para a Tecnologia da Informação dentro do seu contexto, sendo a base para novos investimentos e novos projetos de melhoria dos processos.

Não é diferente para o setor de saneamento que precisa estar planejando seus investimentos e inserindo novas técnicas de controle e melhoria da qualidade da água e dos materiais que a transportam. A supervisão, que integra a automação do sistema, é fonte de dados para a Gestão da Produção nessas empresas.

Pela análise mais detalhada do índice de perdas no sistema de abastecimento de água do caso estudado, percebe-se uma característica sazonal. No período de verão, por exemplo, constata-se maior consumo de água pela população e diminuição na pressão média das tubulações, diminuindo também a ocorrência de vazamentos ou na vazão que se perde nas tubulações rompidas. No inverno, ocorre o inverso, aumentando assim a pressão média nas tubulações e conseqüentemente tem-se maior probabilidade de ocorrência de novos vazamentos e aumento da vazão perdida nos vazamentos existentes e, conseqüentemente, aumento do índice perdas.

Na ocorrência de vazamentos em tubulações de diâmetro maior do que 150mm, estes são mais visíveis e de fácil detecção, portanto tem-se maior eficiência na manutenção dessas tubulações. Já na ocorrência de pequenos vazamentos em tubulações de menor porte e principalmente localizadas próximas a córregos, riachos ou galerias de águas pluviais, tem-se uma situação crítica, pois o vazamento ou conjunto de pequenos vazamentos não se apresenta mais tão visível ou de fácil localização, podendo permanecer ali por meses ou anos, até a sua detecção e conserto.

Após a implantação de um sistema de automação no abastecimento, percebe-se que o controle tornou-se muito mais refinado. Na supervisão do sistema destinam-se técnicos

**após a
implantação de
um sistema de
automação no
abastecimento,
percebe-se que
o controle
tornou-se muito
mais refinado**



para analisar o comportamento das redes de distribuição, pois estas estão sendo monitoradas diariamente, fornecendo dados muito mais confiáveis para projetos de melhorias e, ainda, acionar equipes de manutenção imediatamente após indícios de ocorrências de vazamentos, através de alarmes.

Através de estudos dos consumos característicos de cada região da cidade, monitorados por equipamentos medidores de vazões, delimitou-se curvas de demanda característica para cada uma delas e, através dessas informações, pode-se proporcionar na supervisão limites de referência que, quando ultrapassados, geram alarmes ou alertas, indicando que naquela região está acontecendo alguma anormalidade, podendo ser um vazamento de tubulação ou até um alto consumo para aquele momento, mostrando um novo perfil de consumo para a região.

Assim restringe-se a área de procura por anormalidades e vazamentos, sabendo-se pela diferença entre as vazões características e vazões medidas, até o provável diâmetro das tubulações que podem estar apresentando perda de água por vazamento.

Pôde-se também constatar uma melhoria significativa na operação do sistema, como já sinalizado por MARIO FILHO (2001), sendo no acionamento automático de motores para transmissão de água entre reservatórios, bem como o acompanhamento das variações nos níveis desses reservatórios, otimizando assim a reservação. As pressões médias nas tubulações diminuem, reduzindo também a possibilidade de vazamentos constantes.

Conclusão

Os resultados encontrados demonstram que a automação do sistema de abastecimento de água permite o controle e a atuação rápida para corrigir distorções que ocorrem, como as perdas no abastecimento. A automação de sistemas é ferramenta poderosa que auxilia o administrador a gerenciar a produção e evitar gastos desnecessários. Além de atender seus clientes com mais qua-

lidade, estará preservando o meio ambiente. No caso do tratamento e distribuição de água, tornou-se imprescindível um controle refinado, pois sendo um bem cada vez mais escasso para a humanidade, precisa ser utilizada de forma racional. Na Sanepar de Ponta Grossa, isto vem acontecendo e mostrando alguns resultados positivos. O índice de Perdas Físicas decaiu nos últimos anos em decorrência da implantação de um sistema de automação.

Também na operação do sistema de abastecimento os resultados são satisfatórios, através da minimização das rotinas de produção e distribuição por controles automáticos e muito mais eficazes.

A automação, juntamente com ações de manutenção, gerenciamento e de melhorias para o sistema de abastecimento, ajudam de maneira significativa a controlar esse índice, que é o mais importante indicador da eficiência das companhias de saneamento no mundo.

Obter controle sobre o índice de perdas de água é uma maneira de utilizar de forma racional os recursos naturais, sem prejuízo para o meio ambiente.

Referências

BOLTON, W. **Engenharia de controle**. São Paulo: Makron Books, 1995.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ. **Relatórios de Indicadores Estratégicos do Sistema de Informações Sanepar: SIS**. Curitiba, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo da cidade de Ponta Grossa e Rio de Janeiro**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/default.php#>>. Acesso em: 10 abr. 2004.

LAMBERT, A. et al. A review of performance indicators for real losses from water supply systems. *AQUA*, v. 48, n. 6, p. 227-237. 1999.

M. FILHO. Automação no saneamento básico: diferentes necessidades para um mesmo

a automação do sistema de abastecimento de água permite corrigir as perdas

objetivo. **Revista Controle & Instrumentação**, São Paulo, v. 61. 2001.

MIRANDA, E. C. Indicadores de perdas de água: o que, de fato, eles indicam? In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2002, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF.: ABES, 2002.

MOREIRA, M. A. Saneamento: mercado de R\$ 6 bilhões/ano. **Revista Controle & Instrumentação**, São Paulo, v. 69. 2002.

SILVEIRA, P. R.; SANTOS, W. E. Automação e controle discreto. São Paulo: Érica, 1998. p. 23.

a automação do sistema de Ponta Grossa trouxe a minimização das rotinas de produção

Autor

Flavio Trojan,

bacharel em Ciências Econômicas pela UEPG; tecnólogo em Eletrônica - Automação Industrial; professor de Informática Industrial no Cefet-PR em Ponta Grossa; especialista em Gestão Industrial; funcionário da Sanepar e mantenedor do sistema de automação em Ponta Grossa.

João Luiz Kovaleski,

doutor, professor do Programa de Pós-graduação PPGEP do Cefet-PR.

Otimização da filtração direta através da pré-floculação



Ramon Lucas Dalsasso
Maurício Luiz Sens

Direct filtration optimization by means of pre-flocculation

Resumo

Neste trabalho são apresentados dados de um estudo sobre modificações em um sistema de tratamento de água por filtração direta descendente, com o objetivo de melhorar o seu desempenho em função das características da água a ser tratada, caracterizada por baixa cor aparente e turbidez, porém com elevada concentração de fitoplâncton. Os trabalhos foram conduzidos em uma unidade piloto composta por uma unidade de floculação em meio granular expandido, seguida de um filtro rápido descendente. As condições de coagulação foram avaliadas previamente em ensaios de jar teste. Foram utilizados dois coagulantes comerciais, sulfato de alumínio e hidróxicloreto de alumínio, e duas configurações de meio filtrante, uma com camada dupla, antracito e areia, e outra com camada única de antracito. Os resultados mostraram que a adoção de um meio filtrante de maior granulometria, juntamente com a utilização do hidróxicloreto de alumínio e a pré-floculação, permitiu ampliar a duração das carreiras de filtração em 334%, reduzir o consumo de água de lavagem de 23,8% para 5,5%, e produzir água filtrada com melhor qualidade em termos de cor aparente, turbidez e alumínio residual.

Palavras-chave: filtração direta, pré-floculação, floculador granular, tratamento de água.

Abstract

This work presents data from a study about experimental changes carried out in an existing

gravity filtration system for water treatment, in order to improve its performance, due to the characteristics of the water that will be treated, which is characterized by low apparent color and turbidity, but with a high phytoplankton concentration. The works were carried out in a pilot plant composed by a flocculating unit with expanded granular medium, followed by a rapid gravity filter. Coagulation conditions were previously evaluated in jar tests. Two commercial coagulants were used, namely: aluminum sulfate and aluminum hydroxychloride. Also, two configurations of media beds were used: one with double layer, anthracite and sand, and another with one single anthracite layer. The results showed that the use of a higher granulometry media bed, associated with the use of aluminum hydroxychloride and pre-flocculation, allowed to increase the time between back-washings by 334%, reduce the consumption of washing water from 23.8% to 5.5% and produce filtered water with better quality in terms of apparent color, turbidity and residual aluminum.

Keywords: direct filtering, pre-flocculation, granular flocculator, water treatment.

Introdução

A aplicação da filtração direta está fortemente condicionada à qualidade da água bruta, sendo relevantes os seguintes parâmetros: turbidez, cor verdadeira, sólidos em suspensão, densidade de algas e quantidade de coliformes (DI BERNARDO et al., 2003). Os autores fazem menção também a importância da natureza e distribuição do ta-

a pesquisa foi realizada em uma unidade de floculação em meio granular expandido, seguida de filtro rápido descendente

manho das partículas. Caso predominem partículas com tamanho médio na faixa de 1 a 3 mm, é conveniente promover a floculação após a coagulação para reduzir os custos operacionais da ETA e possibilitar a produção de água com melhor qualidade.

ARBOLEDA (2000) ressalta que não há nada definitivo com relação à necessidade ou não de floculação prévia quando se aplica a filtração direta descendente. O autor discorre sobre uma série de experiências de vários outros autores, onde há casos de benefício na duração das carreiras de filtração pelo uso da pré-floculação, mas há casos também em que foi observado o efeito contrário. A mesma observação foi feita com relação à qualidade da água filtrada, principalmente em relação ao tempo de floculação. Sendo assim, o autor recomenda o estudo de cada caso em particular.

Os mecanismos da filtração em meio granular resultam da ação conjunta de três fenômenos: transporte, aderência e desprendimento das partículas em suspensão que se pretende remover. Em geral, o regime de escoamento na filtração é laminar, de modo que as partículas se movem ao longo de linhas de corrente. Para que sejam removidas é necessário que os mecanismos de transporte desviem suas trajetórias, conduzindo-as à superfície dos grãos (coletores) do meio filtrante, e as forças que tendem a mantê-la aderida ao coletor superem as que atuam do sentido de desprendê-la.

Partículas com tamanho inferior a 1mm são eficientemente transportadas por difusão browniana até a superfície dos grãos que constituem o filtro, mantendo-se aderidas a ele se estiverem desestabilizadas. Entretanto partículas menores tendem a provocar maior perda de carga. Partículas maiores, da ordem de 10 mm estão sujeitas ao transporte por ação hidrodinâmica quando sujeitas a gradientes de velocidade diferente de zero, aspecto relacionado às características do meio granular e à taxa de filtração.

Para tentar melhorar a eficiência do processo pode-se promover a floculação prévia e/ou aumentar a granulometria do meio filtrante, mas é necessário avaliar se os flocos são capazes de resistir às forças de cisalhamento para

sua maior penetração no leito filtrante, estando sujeitos ao aumento da velocidade da água entre os grãos, pois do contrário pode ser necessário interromper a carreira devido à ocorrência de transpasse. A resistência e a densidade dos flocos podem ser influenciadas pelo tipo e pela dosagem de coagulante ou de auxiliar de coagulação utilizado no tratamento.

De acordo com BRANDÃO et al. (1996) a perda de carga desenvolvida por um filtro, para um mesmo volume de sólidos retidos, será tanto menor quanto maior for o tamanho das partículas que chegam na unidade, o que, a princípio, permitiria adotar taxas de filtração mais elevadas.

Entretanto DE PÁDUA (2001), ressalta que a qualidade da água produzida em unidades de filtração de alta taxa não é afetada substancialmente quando se adotam taxas de até 600 m³/m².d, desde que a água seja adequadamente pré-condicionada, contudo, valores elevados de taxa de filtração influenciam de modo expressivo a perda de carga.

As águas da lagoa do Peri, situada na Ilha de Florianópolis (SC), foram utilizadas no presente estudo. O manancial caracteriza-se pela forte presença de fitoplâncton, com domínio de espécies filamentosas como a *Cylindrospermopsis raciborskii* e *Pseudonabaenas sp* (LAUDARES, 1999). RISSOLI et al. (2000) estudaram a pré-filtração em pedregulho como pré-tratamento à filtração rápida descendente, para tratar água de lago com elevada concentração de algas. Seus estudos indicaram a necessidade de material com tamanho efetivo de pelo menos 2,4 mm no filtro descendente para a obtenção de carreiras com duração aceitável.

Metodologia

As investigações experimentais foram realizadas no Laboratório de Águas da Lagoa do Peri L.A.L.P.(convênio UFSC/CASAN - Companhia Catarinense de Águas e Saneamento), situado na ETA - Estação de Tratamento de Água da Lagoa do Peri, na cidade de Florianópolis (SC), onde foi construída uma instalação piloto com floculação em meio granu-

não há nada definitivo com relação à necessidade ou não de floculação prévia quando se aplica a filtração direta descendente



lar e filtração direta descendente. A ETA citada é do tipo Filtração Direta Descendente, com meio filtrante de dupla camada (antracito e areia), e utiliza sulfato de alumínio como coagulante.

O piloto foi alimentado com água da lagoa citada, com baixa turbidez e cor aparente, porém com elevada concentração de fitoplâncton em determinadas épocas do ano. Foram realizados ensaios em jarreste para definir as condições de mistura rápida e coagulação para os coagulantes: sulfato de alumínio e hidroxiclreto de alumínio. As características do floculador e condições operacionais como: gradiente de velocidade médio e tempo de floculação, foram definidas com base em estudos prévios com água do mesmo manancial (DALSASSO, 2003).

Como coagulantes foram utilizadas soluções a 1% preparadas com água filtrada, dos produtos comerciais: Sulfato de Alumínio (SA), com 14,4% de Al_2O_3 , e Hidroxiclreto de Alumínio (PANFLOC AB34 da Panamericana S.A), com 10,5% de Al_2O_3 e 67,47% de

basicidade. Para ajustes do pH de coagulação utilizou-se solução de cal hidratada comercial a 0,5% ou solução de ácido sulfúrico PA 0,05N, ambas preparadas com água filtrada. Os demais produtos químicos utilizados nas análises de qualidade da água foram PA.

Considere os símbolos de frequência: H = Horário, D = Diário, S = Semanal. Para caracterização da água bruta foram analisados: alcalinidade(S), clorofila *a* (S), cor aparente (D), cor verdadeira (S), COT (S), condutividade (D), cloretos (S), Dureza (S), fitoplâncton (S), nitrogênio amoniacal (S), nitrato (S), oxigênio dissolvido (S), pH (D), temperatura (D), turbidez (D). Da água coagulada foi medido: pH (H) e temperatura (H). Da água floculada foi medida a turbidez (H) e avaliado o tamanho dos flocos (H). Da água filtrada foi medido a cada hora: temperatura, pH, cor aparente, e turbidez. Foi coletada para cada ensaio uma amostra composta de água filtrada para análise do alumínio residual. As técnicas analíticas e os equipamentos utilizados nas análises estão indicados no Quadro 1.

QUADRO 1 - PARÂMETROS DE CONTROLE DE QUALIDADE DA ÁGUA E MÉTODOS ANALÍTICOS

Parâmetro	Método analítico / Equipamento associado
Alcalinidade total	Volumétrico / Titulador digital
Alumínio	Kit HACH/ ** Espectrofotômetro
Clorofila	NUSCH – extração com etanol / *Espectrofotômetro
Cor aparente	APHA Platinum-Cobalt – S.M / **Espectrofotômetro, l = 455nm
Cor verdadeira	Idem ao da cor aparente, com filtragem em membrana 0,45mm
COT	Kit HACH / **Espectrofotômetro
Condutividade	Conduvímetero HACH
Cloretos	Volumétrico / Titulador digital c/ nitrato de prata
Dureza total	Volumétrico / Titulador digital c/ EDTA
Fitoplâncton	Contagem em câmara de SR com microscópio invertido
Nitrato	Kit HACH / **Espectrofotômetro
Nitrogênio amoniacal	Kit HACH / **Espectrofotômetro
Oxigênio dissolvido	Kit HACH / **Espectrofotômetro
PH	pHmetro digital HACH Senslon
Temperatura	Termômetro de mercúrio
Turbidez	Turbidímetro portátil HACH DR 2100P

* HACH DR 4000, ** HACH DR 2010

foram realizados ensaios em jarreste para definir as condições de mistura rápida e coagulação para os coagulantes

Os ensaios de jarteste foram feitos com um equipamento modelo LDB310 da Nova Êtica com as seguintes características: 6 cubas de 2 L; gradiente de velocidade variável de 10 a 2000 s⁻¹ (20 a 800 rpm); controle de rotação por tacógrafo digital, e extração simultânea de amostras. A filtração das amostras foi feita em Filtrros de Laboratório de Areia (FLAs) acoplados ao aparelho de jarteste, com as seguintes características: meio filtrante com 15 cm de areia (grãos de 0,42 a 0,84mm e tamanho efetivo 0,5mm); filtração com taxa entre 80 a 100 m³/m².d com carga hidráulica constante.

O sistema piloto utilizado nos ensaios está representado pela Figura 1. A água bruta proveniente da lagoa alimenta constantemente o reservatório inferior, de onde é bombeada para uma câmara de nível constante dotada de orifício calibrado. A vazão excedente retorna para o tanque de água bruta. A câmara de mistura rápida é alimentada com vazão constante e recebe os produtos químicos através de bombas dosadoras de diafragma. A mistura rápida é feita por agitador mecânico com rotação regulável. O volume da câmara de mistura rápida também é regulável. A partir dessa câmara, o piloto é alimentado por gravidade, podendo a água coagulada passar ou não pelo floculador granular.

O floculador foi construído com tubo de acrílico transparente, com diâmetro interno de 115 mm e altura total de 3,2 m. O material granular tem as seguintes características: massa específica = 1,055 g/cm³; diâmetro equivalente = 3,3 mm; coeficiente de esfericidade = 0,86; porosidade = 39%; base química = PS (poliestireno); altura de leito antes da expansão = 1,61 m. O filtro foi construído em chapas de aço inoxidável, com altura total de 4,2 m, seção interna útil de 19,5 x 19,5 cm. Possui visores laterais para observar a expansão do leito durante a lavagem. O filtro operou com taxa constante de 200 m³/m².d e carga hidráulica variável. As características dos leitos filtrantes avaliados estão na Tabela 1.

As carreiras foram encerradas quando a perda de carga total no meio granular atingiu 1,76 m ou por deterioração progressiva da qualidade da água filtrada. A lavagem do filtro foi feita com ar e água filtrada bombeada, com dois ciclos: injeção de ar por 5 min – injeção de água filtrada por 5. A injeção de água para lavagem, com velocidade ascensional de 1 m/min, foi controlada por medidor eletrônico de vazão. A injeção de ar, na razão de 20 L/s.m² (2736 L/h), foi controlada pela regulagem da pressão de alimentação, fixada em 1 atm, previamente aferida com rotômetros.

TABELA 1 – COMPOSIÇÃO DOS MEIOS FILTRANTES UTILIZADOS NO FILTRO PILOTO

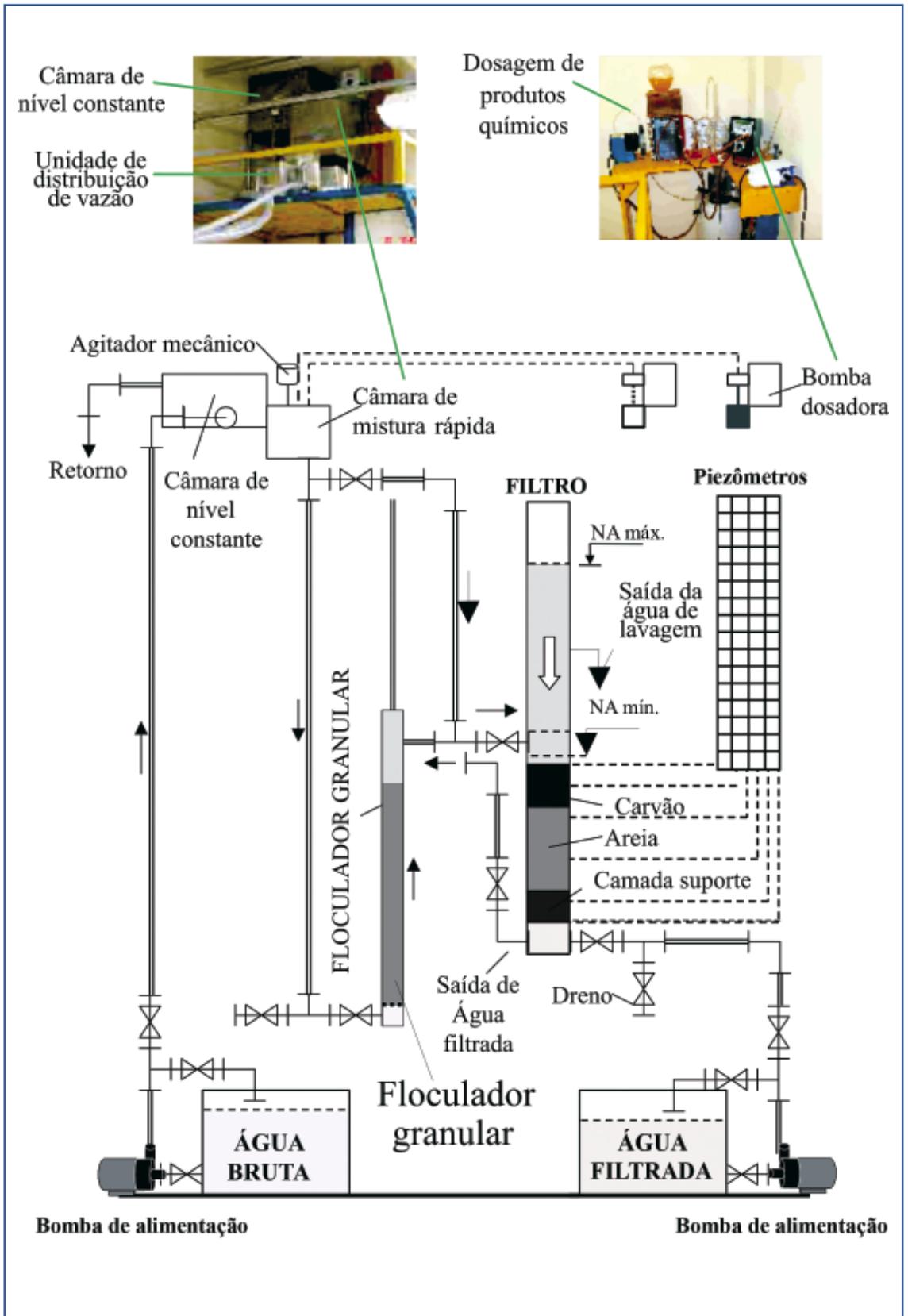
Características	Meio L1		*Meio L2	
	Antracito	Antracito	Areia	
Material	Antracito	Antracito	Areia	
Espessura da camada	143 cm	90 cm	30 cm	
Tamanho efetivo dos grãos	2,5 mm	1,1	0,50 mm	
Coefficiente de desuniformidade (CD)	1,1	1,1	< 2	
Características da camada suporte com 35 cm de espessura foi utilizada para ambos meios				
Subcamadas	Diâmetro (mm)		Espessura (cm)	
Topo	19,0 a 12,7		5	
6. ^a camada	12,7 a 6,4		5	
5. ^a camada	6,4 a 3,2		5	
4. ^a camada	3,2 a 1,6		5	
3. ^a camada	3,2 a 6,4		5	
2. ^a camada	6,4 a 12,7		5	
Base	12,7 a 19,0		5	

* Existente na ETA da lagoa do Peri

*a água bruta
proveniente da
lagoa alimenta
constantemente
o reservatório
inferior*



FIGURA 1 - ESQUEMA GERAL DO SISTEMA PILOTO DE FLOCULAÇÃO/FILTRAÇÃO DIRETA



o piloto é alimentado por gravidade, podendo a água coagulada passar ou não pelo floculador granular

Os ensaios foram feitos em dias consecutivos e de forma alternada, com e sem pré-floculação. Foram feitas três séries de ensaios totalizando 20 ensaios conforme segue:

1. Série C11: meio filtrante L2 e sulfato de alumínio como coagulante – 8 ensaios (4 com e 4 sem pré-floculação);
2. Série Ec25: meio filtrante L1 e sulfato de alumínio como coagulante – 6 ensaios (3 com e 3 sem pré-floculação);
3. Série Epca25: meio filtrante L1 e hidróxido de alumínio como coagulante – 6 ensaios (3 com e 3 sem pré-floculação).

Inicialmente foram realizados os ensaios da série C11. Em seguida o meio filtrante foi substituído, para a realização dos demais ensaios. Alguns ensaios foram desconsiderados e refeitos em função da não-obtenção do mesmo padrão de qualidade da água filtrada. Após a troca do meio filtrante de L2 para L1, constatou-se que nos primeiros ensaios, e de forma mais acentuada nas primeiras cinco horas de cada ensaio, o pH da água filtrada resultou inferior ao da coagulada. Em função desse aspecto que afetava a qualidade da água produzida pelo filtro, oito ensaios foram desconsiderados e refeitos na série Ec25.

Resultados e Discussões

As variações na qualidade da água bruta

durante período de estudo são mostradas na Tabela 2. As variações com influência mais acentuada sobre a filtração direta são relacionadas a matéria em suspensão, ou seja, fitoplâncton e turbidez. O fitoplâncton na lagoa do Peri tem influência sazonal, com forte presença no verão. A turbidez em parte é devida ao fitoplâncton, mas também varia em função dos ventos, principalmente do quadrante norte, que provocam o embate das águas nas margens e o revolvimento do material sedimentado no fundo da lagoa, junto a captação que alimenta a ETA e o sistema piloto. A cor aparente e o COT são influenciados pelo fitoplâncton e pela matéria vegetal decomposta que integra o solo do fundo da lagoa. Apesar de ampla, as variações de pH ocorreram na realização de apenas dois ensaios consecutivos. Na maior parte do tempo o pH esteve próximo da neutralidade.

O manancial em questão vem sendo estudado nos últimos três anos, e as variações sofridas na qualidade de suas águas não diferem muito da apresentada, exceto pela ocorrência de picos acentuados de fitoplâncton da ordem de $2,7 \times 10^5$ indivíduos/mL. Em data posterior aos estudos apresentados foi avaliada a distribuição do tamanho de partículas em um conjunto de amostras daquele manancial, que pode ser usado como referência para explicar os efeitos positivos obtidos pela pré-floculação. A Figura 2 mostra esses resultados, onde observa-se o predomínio de partículas com tamanhos = 2 mm.

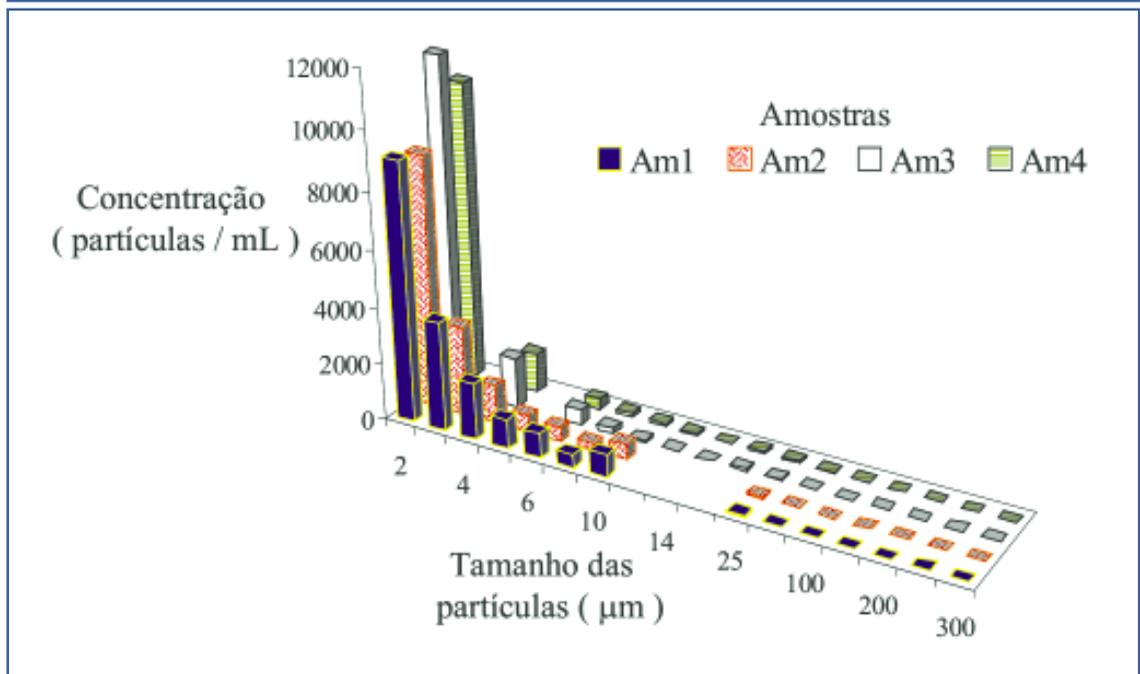
Os ensaios em jarreste mostraram varia-

a cor aparente e o COT são influenciados pelo fitoplâncton e pela matéria vegetal decomposta que integra o solo do fundo da lagoa

TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS DA LAGOA DO PERI, JANEIRO-ABRIL/2004

Parâmetros	Varição	Parâmetros	Varição
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	6,5 a 13	Dureza total (mg/L CaCO ₃)	6,5 a 13,6
Clorofila a (mg/L)	4,6 a 34,7	Nitrogênio (mg/L NH ₄)	0,02 a 0,16
Fitoplâncton (ind / mL)	1,3x10 ⁴ a 9,95x10 ⁴	Nitrato (mg/L NO ₃ ⁻)	0,017 a 0,8
Cor aparente (uH)	43 a 97	Oxigênio Dissolvido (mg/L)	6,8 a 9,8
Cor verdadeira (uH)	5 a 10	pH	6 a 9
COT (mg/L)	4,6 a 7,5	Temperatura (°C)	22 a 31
Condutividade (mS/cm)	53 a 80	Turbidez (uT)	3 a 8,5
Cloretos (mg/L Cl ⁻)	11,4 a 22		

FIGURA 2 - DISTRIBUIÇÃO DE PARTÍCULAS EM AMOSTRAS DE ÁGUA DA LAGOA DO PERI, AGOSTO-2004



ções nas condições de coagulação em função das características da água e do tipo de coagulante utilizado. Em termos de mistura rápida, independentemente da qualidade da água bruta e do coagulante utilizado, resultou: Gradiente de velocidade $G = 1200 \text{ s}^{-1}$ e tempo de mistura rápida $T = 30 \text{ s}$. Em termos de coagulação os parâmetros foram os seguintes: coagulação com sulfato de alumínio - SA (ensaios da série C11) \Rightarrow dosagem = 16 a 18 mg/L, pH de coagulação = 5,6 a 5,8, turbidez da água filtrada = 0,5 uT; SA (ensaios da série Ec25) \Rightarrow dosagem = 22 a 29 mg/L, pH de coagulação = 5,6 a 5,8, turbidez da água filtrada = 0,5 uT; coagulação com hidróxicloreto de alumínio - PAC (ensaios da série Epca25) \Rightarrow dosagem = 20 a 22 mg/L, pH de coagulação 5,5 a 6,5, turbidez da água filtrada = 0,3 uT. Observa-se que a faixa do pH de coagulação é mais ampla com a utilização do hidróxicloreto de alumínio do que com a utilização do sulfato de alumínio, aspecto que contribuiu para obtenção de água filtrada com melhores características, tanto em jarreste como em sistema piloto, quando da utilização daquele primeiro coagulante.

A Tabela 3 mostra os principais resultados obtidos nos ensaios realizados e considerados, em termos de qualidade da água bruta, condições de coagulação e qualidade da água filtrada. As condições de floculação foram: gradiente de velocidade médio = 55 s^{-1} (53 a 56); tempo médio de floculação = 2,85 min (2,8 a 2,9); Velocidade ascensional = 731 m/d; Expansão média do leito = 52 % (50 a 53); GT médio = 9405 (9275 a 9576).

A Figura 3 mostra os valores médios de qualidade da água filtrada e duração das carreiras por série de ensaios realizados. Observa-se que nos ensaios da série C11 as carreiras tiveram duração média de 5 horas, com ou sem pré-floculação. Nos ensaios da série Ec25 a duração média foi da ordem de 13,4 horas, com ou sem pré-floculação, um aumento médio de 168% em relação aos ensaios da série C11. Esse aumento foi devido à mudança da granulometria, cujo tamanho efetivo aumentou de 1,1mm para 2,5mm, e na altura do meio filtrante, que passou de 0,9m para 1,43m. Nas duas séries de ensaios em questão, o coagulante foi o sulfato de alumínio. Na série C11 a dosagem variou de 16 a 18

nos ensaios da série C11 as carreiras tiveram duração média de 5 horas, com ou sem pré-floculação

TABELA 3 - RESULTADOS DE ENSAIOS DE FILTRAÇÃO DIRETA COM E SEM PRÉ-FLOCULAÇÃO, JANEIRO-ABRIL/2004

Ensaio	Água bruta			Coagulação		Água filtrada (sem pré-floculação)		Água filtrada (com pré-floculação)		Duração da carreira (h)
	pH	Turbidez (uT)	Cor aparente (uH)	pH	Coagulante: dose: mg/L (tipo)	Turbidez (uT)	Cor aparente (uH)	Turbidez (uT)	Cor aparente (uH)	
C11cpf1	6,6 6,4-6,8	6,8 6,13-7,61	90,9 85-97	5,6 5,5-5,7	16 (SA)	-	-	0,6 1,33-0,38	7,4 14-5	4,7
C11spf1	6,8 6,6-6,8	7,2 6,46-8,52	94 90-97	5,7 5,6-5,8	16 (SA)	0,6 1,23-0,37	6,7 14 -4	-	-	4,3
C11cpf2	6,8 6,7-6,9	7,3 6,14-8,20	91,9 88-96	5,7 5,5-5,8	16 (SA)	-	-	0,6 1,25-0,43	8,8 17-5	5,8
C11spf2	6,7 6,4-6,9	5,6 4,83-6,54	81,3 72-90	5,8 5,7-5,8	16 (SA)	0,7 1,52-0,46	8,9 17-6	-	-	6
C11cpf3	6,7 6,5-6,9	6,3 5,19-7,26	86 81-88	5,8 5,6-6,0	17,8 (SA) 16-18	-	-	0,6 1,13-0,39	7,5 16-4	5,5
C11spf3	6,6 6,45-6,8	5,9 5,17-6,61	79,1 76-81	5,6 5,5-5,8	18 (SA)	0,6 1,22-0,42	7,3 17-5	-	-	4,3
C11cpf4	6,6 6,4-6,7	6,8 5,67-8,16	85,1 82-91	5,8 5,7-5,9	18 (SA)	-	-	0,6 1,34-0,41	7 14-5	4,7
C11spf4	6,8 6,8-6,9	5,6 5,35-5,8	80,5 79-82	5,7 5,65-5,8	18 (SA)	0,6 1,12-0,38	8 16-4	-	-	5
Ec25cpf1	7 6,96-7,36	3,8 3,15-4,35	59,2 54-62	5,7 5,4-5,82	24 (SA)	-	-	0,5 1,21-0,35	7 14-5	11,8
Ec25spf1	7 6,5-7,4	3,6 3,17-4,14	58,1 52-63	5,7 5,4-5,9	23,9 (SA) 22-24	0,6 1,74-0,38	7,1 24-5	-	-	12,5
Ec25cpf2	7 6,87-8,38	4 3,47-4,56	55,5 53-58	5,9 5,75-6,34	29 (SA) 27-29	-	-	0,5 1,53-0,29	5,5 23-3	15,5
Ec25spf2	7 6,84-7,47	3,9 3,28-4,97	53,9 48-59	5,8 5,75-5,92	27,3 (SA) 24-28	0,5 1,21-0,35	6,1 14-4	-	-	14
Ec25cpf3	7 6,87-7,08	4 3,47-4,54	62,3 59-65	5,8 5,71-5,91	28,8 (SA) 28-29	-	-	0,5 1,53-0,33	5,9 25-3	13
Ec25spf3	7 6,9-7,08	4 3,83-4,09	56,8 52-59	5,8 5,76-5,84	28 (SA)	0,5 1,51-0,38	6,3 17-5	-	-	13,5
Epca25cpf1	7,5 6,35-8,94	3,5 3,13-4,55	53,9 50-58	6 5,79-6,29	22 (PAC)	-	-	0,6 0,91-0,34	7,5 13-5	21,9 *17
Epca25spf1	6,9 6,57-8,48	3,6 3,24-4,03	57,3 53-64	6,1 5,95-6,24	22 (PAC)	0,4 0,72-0,28	5,6 11-2	-	-	13,3
Epca25cpf2	7,1 6,37-8,61	4 3,51-4,86	60,7 57-66	5,9 5,79-6,22	22 (PAC)	-	-	0,4 0,97-0,25	5,8 14-3	20,7
Epca25spf2	6,8 5,98-7,84	4,2 3,47-4,75	65,4 60-71	6 5,7-6,3	21,9 (PAC) 20-22	0,5 0,57-0,39	7,4 10-5	-	-	12,4
Epca25cpf3	7,1 6,53-8,9	3,5 3,01-3,98	49 44-61	6 5,76-6,15	22 (PAC)	-	-	0,4 0,69-0,3	4,9 9-2	22,4
Epca25spf3	6,6 6,08-6,86	3,8 3,1-4,73	50,5 43-56	6 5,91-6,08	21,1 (PAC) 20-22	0,5 0,53-0,39	5,1 6-3	-	-	13

a qualidade da água filtrada na série Ec25 foi ligeiramente superior em termos de cor aparente e turbidez



OBS: Os valores separados por hífen (Ex: 43-56) representam a faixa de variação do parâmetro.

* Carreira encerrada com duração de 17h e 1,31m de perda de carga, devido a fortes variações no pH da água bruta, dificultando o controle do pH de coagulação e conseqüentemente da qualidade da água filtrada. 21,9 h representa a duração estimada da carreira para atingir 1,76m de perda de carga.

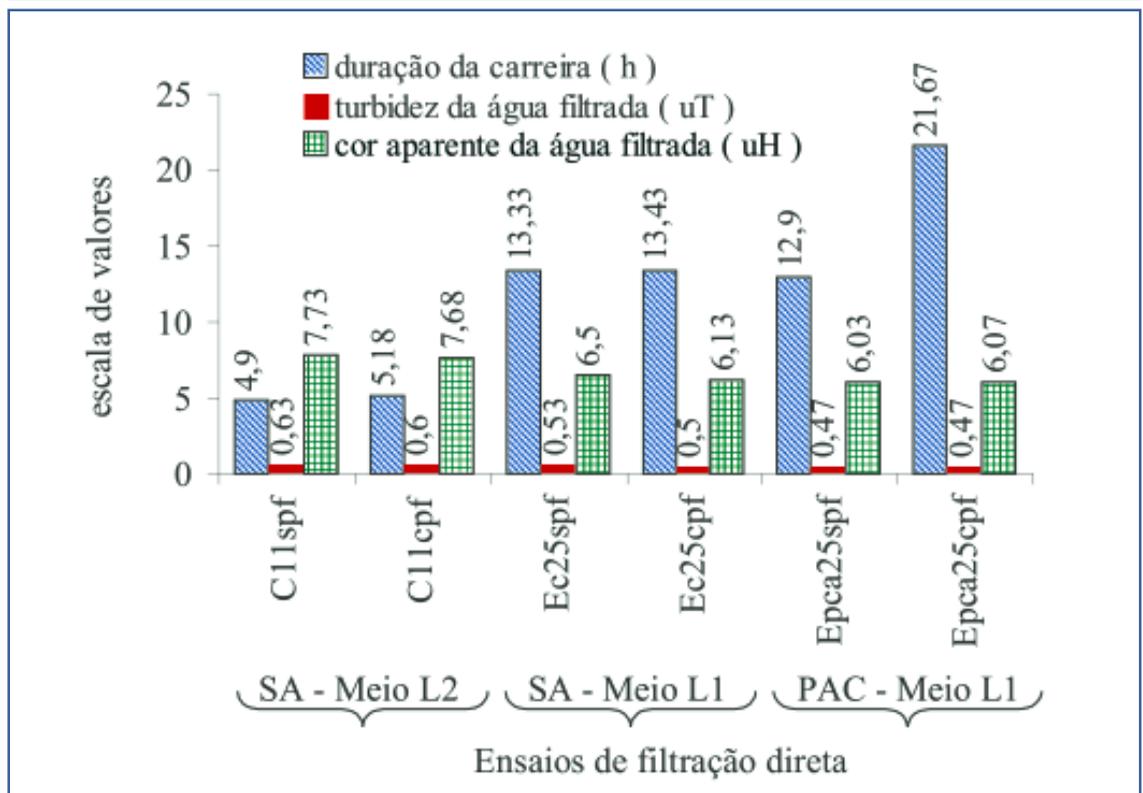
mg/L, enquanto na série Ec25 a dosagem variou de 22 a 29 mg/L. A qualidade da água filtrada na série Ec25 foi ligeiramente superior em termos de cor aparente e turbidez, provavelmente devido a dosagem mais elevada de coagulante. Se na série C11 fosse utilizado as mesmas dosagens, a diferença na duração das carreiras teria sido superior a 168%.

Comparando os ensaios da série Epca25, utilizando hidróxicloreto de alumínio (PAC), com os ensaios da série Ec25, utilizando sulfato de alumínio (SA), observa-se que não houve diferença significativa na duração das carreiras sem pré-floculação, pois a dosagem de PAC variou de 20 a 22 mg/L, portanto inferior a dosagem de SA. Comparando apenas os ensaios da série Epca25, a pré-floculação aumentou a duração das carreiras em 68%. Considerando todas as séries de ensaios, a mudança na granulometria aumentou mais a duração das carreiras do que a pré-floculação. O aumento acumulado devido à mudança de granulometria, mudança de coagulante e pré-floculação, foi da ordem de 334%.

Os efeitos da pré-floculação nessa particular situação foram devidos a mudança do coagulante. De acordo com DI BERNARDO *et al.* (2003), alguns estudos ressaltam o melhor desempenho do PAC em relação ao SA na floculação, por apresentar maior estabilidade das espécies hidrolisadas, aspecto que favorece a agregação das partículas em menor tempo, e possibilita aplicar menores dosagens do coagulante para obter a mesma qualidade de água, quando comparado ao sulfato de alumínio, como observado no presente estudo. Estudos evidenciam o aumento da concentração de espécies poliméricas com a adição de $[OH^-]$ no preparo do PAC. Os autores apresentam resultados de jarreste em que houve redução significativa na turbidez da água filtrada utilizando PAC, quando a basicidade do produto comercial passou de 8% para 18%. No presente estudo foi utilizado PAC com basicidade de 67,47%.

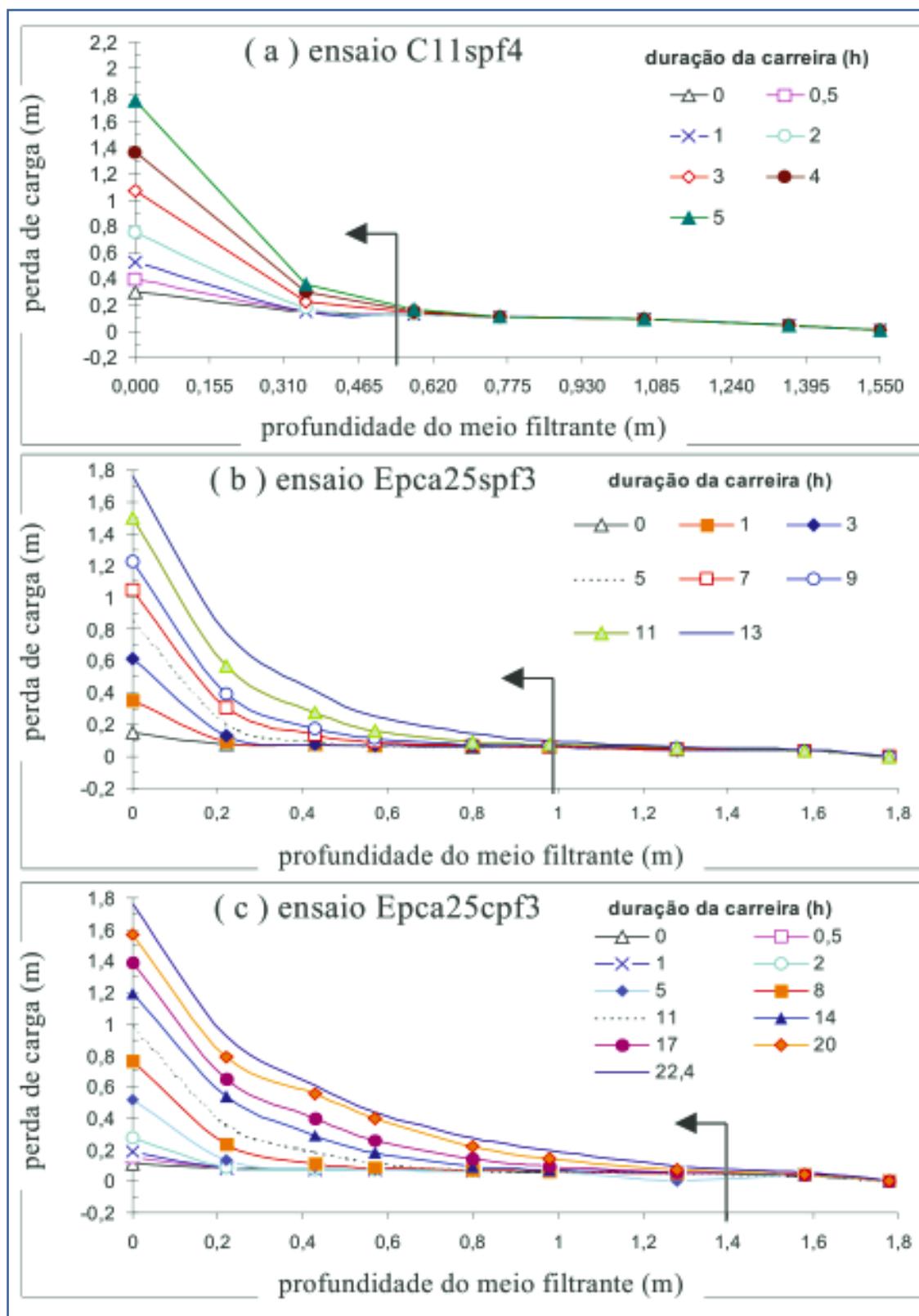
A Figura 4 ilustra a participação do meio filtrante na retenção de impurezas para três ensaios. Na figura citada o gráfico (a) representa um ensaio da série C11 sem pré-floculação.

FIGURA 3 - VALORES MÉDIOS DE QUALIDADE DA ÁGUA FILTRADA E DURAÇÃO DAS CARREIRAS



a mudança na granulometria aumentou mais a duração das carreiras do que a pré-floculação

FIGURA 4 - COMPARATIVO DA VARIAÇÃO DA PERDA DE CARGA NO MEIO FILTRANTE NOS ENSAIOS DE FILTRAÇÃO DIRETA, EM FUNÇÃO DO TIPO DE LEITO E DO COAGULANTE



melhora na qualidade da água filtrada em termos de turbidez, no ensaio com pré-floculação



Nesse caso a retenção de impurezas ocorreu praticamente nos primeiros 30 cm, atingindo seu limite próximo de 50 cm. Esse comportamento ocorreu nos demais ensaios dessa série, com ou sem pré-floculação, resultando carreiras de curta duração. Os gráficos (b) e (c) ressaltam a diferença da participação do meio filtrante em função da pré-floculação, do antracito com granulometria maior e do uso do PAC como coagulante. No caso (b) a participação do leito atingiu cerca de 1m, e no caso (c), com pré-floculação, atingiu cerca de 1,4m, conseqüência da resistência dos flocos às forças de cisalhamento, que possibilitou a sua penetração até as camadas mais profundas do meio filtrante. Durante os ensaios com pré-floculação observou-se intensa produção de flocos com tamanho estimado de 0,3 a 0,5mm. A Figura 5 mostra a variação da perda de carga total no meio filtrante e na qualidade da água filtrada para dois ensaios da série Epca25. Percebe-se uma ligeira melhora na qualidade da água filtrada em termos de turbidez, no ensaio com pré-floculação.

Embora o efeito maior da pré-floculação tenha sido prolongamento das carreiras de filtração pela redução da perda de carga, observou-se uma ligeira melhora na qualidade da água filtrada. Nos ensaios com sulfato de alumínio, percebeu-se maior estabilidade na qualidade da água filtrada frente às variações ocorridas no pH de coagulação, havendo pré-floculação. Esse aspecto refletiu-se no controle do alumínio residual conforme a Tabela 4.

Nos ensaios com a pré-floculação as concentrações de alumínio residual foram menores tendo o sulfato de alumínio como coagulante. Para os ensaios com hidróxicloreto de alumínio, a concentração de alumínio residual na água filtrada esteve abaixo do limite de detecção, independentemente da pré-floculação ou não.

O consumo de água para lavagem dos filtros teve o seguinte comportamento médio: ensaios da série C11 = 23,8%; ensaios da série Ec25 = 8,96%; ensaios da série Epca25 = 9,3% - sem pré-floculação e 5,5% - com pré-floculação. Portanto, a produção efetiva dos filtros, relação entre o volume produzido e o consumido na lavagem, variou de 76,2% a 94,5%.

Conclusões

A aplicação da filtração direta no tratamento de águas com presença significativa de fitoplâncton requer no mínimo estudos sobre a composição granulométrica do meio filtrante, para obtenção da carreiras com duração aceitável.

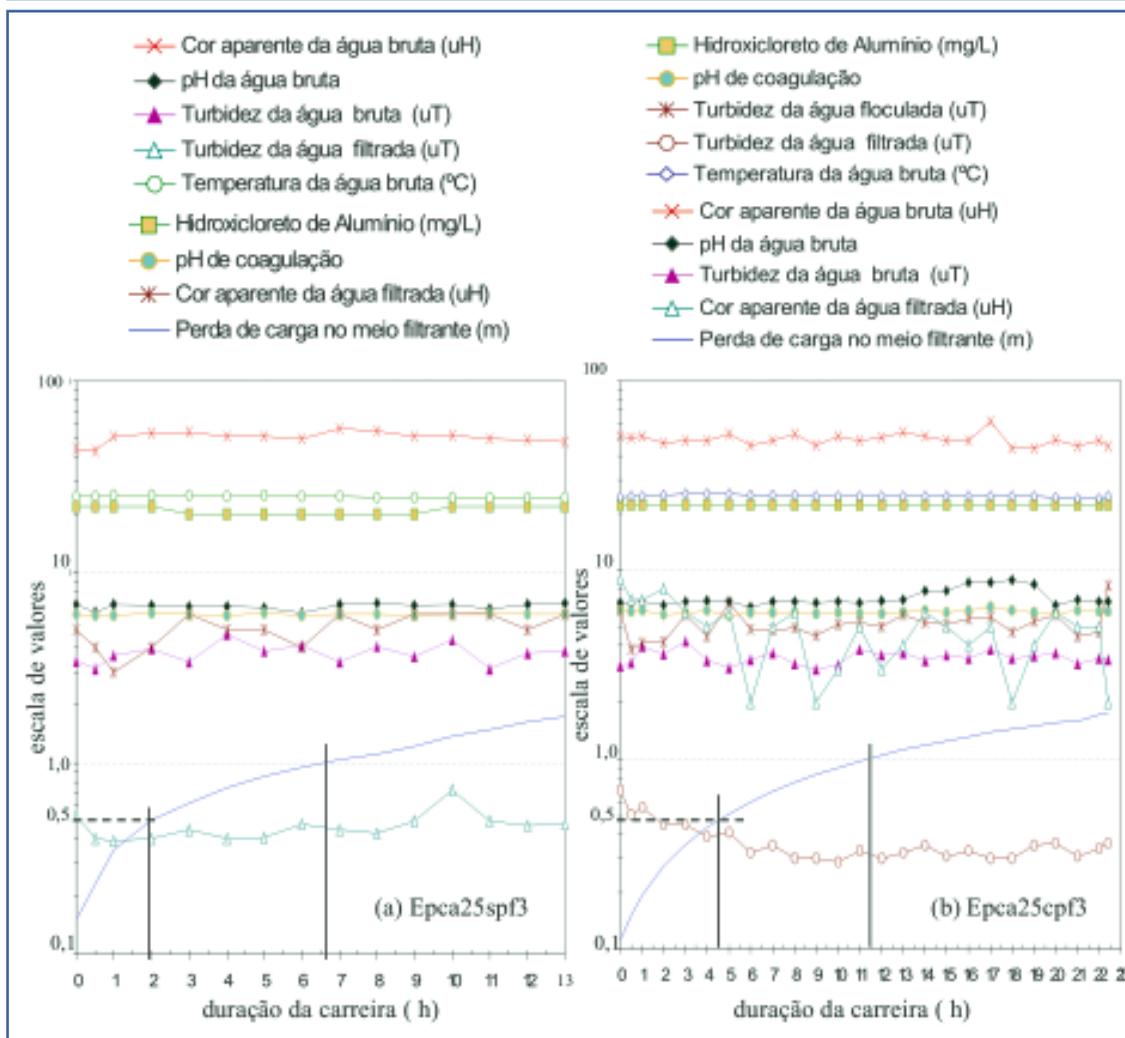
A pré-floculação mostrou benefícios significativos em termos de aumento na duração das carreiras de filtração, entretanto o sucesso de sua aplicação depende do coagulante utilizado e das características do meio filtrante. No presente estudo o hidróxicloreto de alumínio forneceu os melhores resultados, enquanto com sulfato de alumínio não houve benefícios em

a produção efetiva dos filtros, relação entre o volume produzido e o consumido na lavagem, variou de 76,2% a 94,5%

TABELA 4 - ALUMÍNIO RESIDUAL NOS ENSAIOS DE FILTRAÇÃO DIRETA COM E SEM PRÉ-FLOCULAÇÃO

Ensaio	Alumínio Residual mg/L Al ³⁺	Ensaio	Alumínio Residual mg/L Al ³⁺	Ensaio	Alumínio Residual mg/L Al ³⁺
C11cpf1	0,17	C11spf4	0,24	Epca25spf1	< 0,01
C11spf1	0,23	Ec25cpf1	0,15	Epca25spf2	< 0,01
C11cpf2	0,15	Ec25spf1	0,32	Epca25cpf2	< 0,01
C11spf2	0,25	Ec25cpf2	0,10	Epca25spf3	< 0,01
C11cpf3	0,15	Ec25spf2	0,19	Epca25cpf3	< 0,01
C11spf3	0,19	Ec25cpf3	0,09		< 0,01
C11cpf4	0,09	Ec25spf3	0,12		

FIGURA 5 - VARIAÇÕES NA PERDA DE CARGA E NA QUALIDADE DA ÁGUA FILTRADA ENTRE ENSAIOS DE FILTRAÇÃO DIRETA DESCENDENTE COM E SEM PRÉ-FLOCULAÇÃO



a pré-floculação mostrou benefícios significativos em termos de aumento na duração das carreiras de filtração

termos de aumento na duração das carreiras de filtração.

A qualidade da água filtrada em termos de cor aparente e turbidez foi levemente beneficiada pela pré-floculação, principalmente com a utilização do hidroxiclreto de alumínio. Entretanto, os níveis de alumínio residual na água filtrada foram significativamente menores com a pré-floculação utilizando sulfato de alumínio, e não detectáveis pelo método analítico empregado, utilizando-se hidroxiclreto de alumínio com ou sem pré-floculação;

A pré-floculação com sulfato de alumínio contribuiu para a manutenção, com maior facilidade, dos níveis de qualidade da água filtrada

em termos de cor aparente e turbidez, frente as variações no pH de coagulação decorrentes das variações no pH da água bruta, considerando o controle operacional do sistema piloto;

Com as alterações estudadas, dentre elas a pré-floculação em meio granular expandido com duração média de apenas 2,85 min, é possível tratar uma água do tipo da lagoa do Peri, com concentração de fitoplâncton da ordem de 9×10^4 indivíduos/mL através da filtração direta descendente, produzindo água filtrada com qualidade adequada em termos de cor, turbidez e alumínio residual, e carreiras de filtração com duração e produção efetiva aceitáveis.

Referências

ARBOLEDA, J. V. **Teoría y práctica de la purificación del agua**. Santa Fe de Bogotá. Colombia: McGraw-Hill, 2000. t. 2.

BRANDÃO, C. C. S.; LACERDA, M. R. S.; ABREU, M. C. Influência do tempo de floculação na filtração direta de águas com baixa turbidez e teor elevado de algas. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 7., 1996, Lisboa. **Anais...** Lisboa, Portugal, 1996.

DALSASSO, R. L.; SENS, M. L.; EMMENDOERFER, M. L.; SIMIONI, D. Floculação em meio granular com materiais alternativos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2003, Joinville. **Anais...** Joinville, SC: ABES, 2003.

DE PÁDUA, V. L. **Filtração direta descendente**: investigação experimental da coagulação, floculação e filtração em instalação piloto. Relatório de atividades PROSAB 3. Universidade Federal do Ceará, 2001.

DI BERNARDO, L. et al. **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta**. PROSAB 3. Rio de Janeiro: RIMA, 2003. 498 p.

RISSOLI, Maria do Carmo M.C., CARVALHO, R.P.M. e BRANDÃO, C.C.S. O efeito da coagulação química na pré-filtração em pedregulho de águas com presença de algas, e seu potencial como pré-tratamento para a filtração rápida descendente. Anais do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, pp 1-11 Porto Alegre - Brasil, 2000.

SILVA, R. L. Aspectos limnológicos, variabilidade espacial e temporal na estrutura da comunidade fitoplanctônica da Lagoa do Peri. São Carlos, 1999. 218 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Carlos.

Autores

Ramon Lucas Dalsasso, engenheiro sanitarista, mestre em Engenharia Ambiental, pesquisador do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC .

Maurício Luiz Sens, engenheiro sanitarista, professor titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC.

o hidróxicloreto de alumínio forneceu os melhores resultados, enquanto com sulfato de alumínio não houve benefícios

Avaliação da performance do PVC DEFOFO rígido x PVC DEFOFO dúctil: uma alternativa também necessária no Brasil



Raimunda Maria Pires
Jorge Neves Moll

Performance evaluation of rigid DEFOFO PVC x ductile DEFOFO PVC: An alternative that is also necessary in Brazil

Resumo

Dentre diversos programas para reduzir vazamentos, iniciou-se na Sanepar o Programa de Desenvolvimento Tecnológico de Tubulações Plásticas, com o objetivo de buscar solução para os problemas existentes, nas áreas de manutenção e operação da Sanepar. Destaca-se que os tubos de PVC DEFOFO (diâmetro externo equivalente ao ferro fundido) utilizados nas redes e adutoras apresentam de forma crônica rupturas do tipo frágil, mesmo sendo fabricados em acordo com a NBR 7665. Uma das ações que têm sido continuamente realizadas na Sanepar é a pesquisa de vazamentos nas suas redes de distribuição de água. Esta atividade, embora eficiente na detecção dos vazamentos e na rapidez de execução de seus consertos não leva a uma redução do índice de perdas aos níveis desejados porque os consertos e reparos têm sido realizados com o mesmo material original da rede. Ficou evidente a necessidade de se encontrar uma solução com novos materiais, ou um “up grade” dos existentes, visando evitar novos eventos de ruptura. Com visão sistêmica do problema de perdas fez-se diversas visitas a campo, no Estado do Paraná, e observou-se que o material não atendia ao desempenho esperado, mesmo estando dentro das exigências das normas vigentes. Com a contratação de consultoria específica, trabalhou-se com resultados de pesquisas executadas na Inglaterra onde ocorreram situações semelhantes

e pode-se inferir que os problemas na Europa tinham os mesmos sintomas e causas. Esta avaliação, baseada também em pesquisas desenvolvidas na Europa e nas constatações de campo, com a finalidade de minimizar as rupturas direcionam as propostas no sentido de se propor norma técnica para os tubos de PVC com melhor resistência à propagação da fissura conhecidos como PVC M ou PVC A, incorporando novos testes, adequando-a às normas internacionais. Além disso, recomenda-se melhorias no processo de assentamento dos tubos, bem como capacitação da mão-de-obra.

Palavras-chave: PVC DEFOFO, PVC rígido, PVC dúctil, normas, PVC modificado.

Abstract

The Plastic Pipes Technologic Development Program was launched in Sanepar as one among its several programs to reduce water losses. Although manufactured according to the standard NBR 7665, the DEFOFO PVC pipes (external diameter equivalent to those of cast iron ones) used in the networks and in the water mains chronically show fractures of fragile type. The search for leaks in its water distribution networks is one of the actions that have been continuously taken by Sanepar. Although efficient to detect leaks and swift to carry out repairs, this activity did not lead to a loss rate reduction to the desirable levels because repairs are made with the same origi-

uma das ações que têm sido continuamente realizadas na Sanepar é a pesquisa de vazamentos nas suas redes de distribuição de água



nal materials of the damaged network. In order to avoid new fracture events it is evident that a solution with new materials - or an upgrade on the existing ones - must be found. Keeping in mind a systemic vision of the problem, several field visits were made in the State of Paraná and it was observed that the material did not comply with the expected performance, even being within the current standards. A specific consultancy work was contracted and the results of researches carried out in England were considered because similar situations happened there. Therefore, one can infer that the problems with PVC pipes in Europe had the same symptoms and causes of those in Brazil. With the purpose of minimizing fractures, this evaluation, which is also based upon field data and in researches developed in Europe, directs proposals towards a technical standard for PVC pipes with a better slow crack growth resistance, which are known as PVC M or PVC A, including new tests and the adaptation to international standards. Besides, it is recommended that the process for laying pipes must be improved, as well as labor's capacitation.

Keywords: DEFOFO PVC, rigid PVC, ductile PVC, standards, modified PVC.

Introdução

À medida em que as perdas de água representam grande impacto em custos financeiros, sociais e ambientais é necessário estar alerta às novas tecnologias desenvolvidas em caráter mundial e situações similares que ocorrem no Brasil, cujas soluções podem e devem ser aplicadas com o objetivo de contribuir diretamente na solução do problema, objeto desta pesquisa.

A constatação em campo de que o PVC DEFOFO sofre fratura frágil, concorrendo para o maior índice de perdas nos sistemas de abastecimento, em redes executadas com este material, impulsionou o presente estudo no sentido de apresentar soluções para os problemas enfrentados pelas empresas de saneamento. O objetivo é diminuir e, se possível, eliminar as

perdas de água transportada, ocasionadas pela ruptura "tipo frágil" das tubulações. A figura 1 demonstra este tipo de ruptura, encontrada nos sistemas administrados pela Sanepar no Estado do Paraná.

Desde a década de 70 a questão das perdas nos sistemas de abastecimento de água tem sido uma das grandes preocupações em todos os setores ligados ao saneamento, tanto que hoje já se considera o índice de perdas como medida de eficiência de um sistema de água.

Uma das ações que tem sido continuamente realizada na Sanepar é a pesquisa de vazamentos nas suas redes de distribuição de água. Esta atividade, embora eficiente na detecção dos vazamentos e na rapidez de execução de seus consertos, não leva a uma redução do índice de perdas aos níveis desejados, mas permite identificar as constantes rupturas nos tubos de PVC DEFOFO. A título de ilustração cita-se três ocorrências com rompimento longitudinal tipo frágil, registradas em janeiro e fevereiro de 2000 conforme demonstrado na tabela 1.

No rompimento ocorrido na Rua Cândido Hartmann, como se tratava de reincidência, substituiu-se a tubulação de PVC DEFOFO por tubulação de ferro, visando evitar novas ocorrências.

Após muitos programas para reduzir os vazamentos, concluiu-se que uma nova abordagem do problema se impunha, sendo um deles o Programa de Desenvolvimento Tecnológico de Tubulações Plásticas. A análise do PVC DEFOFO teve início através de pesquisa junto às áreas de operação, manutenção e projeto da Sanepar. Os relatórios encaminhados por estes setores à equipe responsável pela pesquisa documentavam ocorrências de rupturas destes tubos e constituíram subsídios fundamentais para os resultados deste estudo. Concomitantemente foi feita a análise das normas e especificações vigente, bem como a contratação de consultoria especializada no assunto.

Outra vertente importante do estudo foi o acompanhamento das ocorrências constatadas em campo, a disponibilização de amostras para

*precisa de mais
um olho pois foi
acrescentada
mais uma
pagina*

FIGURA 1 : RUPTURA “TIPO FRÁGIL” EM TUBOS DE PVC DEFOFO RÍGIDO NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE SÃO JOSÉ DOS PINHAIS - PR



***PVC DEFOFO
sofre fratura
frágil,
concorrendo
para o maior
índice de
perdas nos
sistemas de
abastecimento***



TABELA 1 – ROMPIMENTOS DE TUBOS PVC DEFOFO

DATA	LOCAL	DN	PRESSÃO
4/1/00	Rua.Cândido Hartman, entre Filastro Nunes e Ney I. Piá de Andrade - Curitiba	150 mm	50 mca
5/1/00	Rua Teodoro Makioka n.º 3919 - Curitiba	200 mm	30 mca
18/2/00	Estrada da Roseira, próximo Renault – São José dos Pinhais	250 mm	35 mca

exame do fabricante e realização de ensaios pertinentes.

Como o enfoque deste projeto é de natureza tecnológica, cujo objetivo é o aperfeiçoamento de materiais visando a redução de perdas, houve uma aproximação entre a Sanepar e os maiores fabricantes do País, os quais mostraram-se dispostos a estudar soluções para o problema.

Em um dos estudos realizados foi identificado que no início da década de 90 países como a Inglaterra, Nova Zelândia, Austrália e África do Sul passaram a utilizar também o PVC dúctil ou modificado. Este material começou a ser utilizado para solucionar o mesmo tipo de problema que se enfrenta atualmente no Brasil.

Desenvolvimento

Para a consecução do objetivo proposto, foi analisada a norma vigente no Brasil - NBR 7665 - Sistema para adução e distribuição de água - Tubos de PVC 12 DEFOFO e o projeto de norma vigente na Inglaterra - BSI PAS 27 - *Unplasticized poly (vinyl choride) alloy (PVC-A) pipes and bends for water under pressure*. Verificou-se, então que na Inglaterra já se contemplam vários testes para melhoria da performance do tubo de PVC DEFOFO. Cabe destacar que alguns destes testes já estão contemplados nas normas ISO 4422-1 *Pipes and fittings made of unplasticized poly (vinyl chloride) (PVC- U) for water supply-specificatios Part 1: General* e ISO 4422-2-2 *Pipes and fittings made of unplasticized poly (vinyl chloride) (PVC-U) for water supply Specifications Part 2:Pipes (with or without integral sockets)*.

Materiais “fortes“ não são necessariamente tenazes (*tough*) e em muitos casos podem ter comportamento frágil. O melhor exemplo é o vidro, que é extremamente resistente (forte) mas, pela simples ocorrência de um pequeno risco, defeito ou entalhe pode tornar-se muito quebradiço. Isto ocorre devido às altas tensões que são desenvolvidas na extremidade do risco, proporcionando o crescimento da fissura.

Em adição a necessidade de resistência, rigidez e deformabilidade dos tubos plásticos, uma característica importante é a tenacidade, (*toughness*) que aumenta a resistência do material à propagação rápida da fissura. Isto é particularmente importante no caso do PVC-U, *Unplasticized polyvinylchoride* ou PVC não-plastificado, que no Brasil é conhecido por PVC rígido, o qual pode apresentar ruptura do tipo frágil seguindo a propagação rápida da fissura na parede do tubo, principalmente quando não for bem processado e bem asentado.

A falha frágil é caracterizada por trincas que iniciam e avançam lentamente através de um longo período de tempo. Quando ocasionada pelas cargas de reaterro (cargas pontuais) a trinca avança pela parede e após na direção axial. Se o material é de baixa propagação desta fratura, os lábios de cisalhamento irão impedir a propagação desta fratura. Já a ruptura dúctil ocorre quando o tubo está submetido a uma sobrepressão contínua e consiste em um aumentando diametral do mesmo que eventualmente tomará a forma de um balão e, após, sofrerá a ruptura. Esta forma de ruptura ocorre em testes preconizados na maioria das normas, mas raramente encontrado em serviço. A

acompanhamento dos vazamentos nas redes de distribuição permitiu identificar as constantes rupturas nos tubos de PVC DEFOFO



figura 2 ilustra estes dois tipos de falhas.

A propriedade que em tubos de plástico é conhecida como “*Fracture Toughness*” é a capacidade do material plástico de resistir a propagação da fratura. Na indústria de água é inevitável que os tubos assentados estejam com sobrecargas, arranhados ou com riscos na superfície que atuam como tensões concentradas. Portanto, a característica requerida é de alta resistência à propagação da fratura ou que o material apresente escoamento e plasticidade para deformar e resistir ao fissuramento (rachadura).

Nas extremidades das trincas a concentração de tensão leva o material a escoar. Quanto menor a tensão de escoamento maior a zona plástica. É sempre vantajoso ter um material com uma tensão de escoamento baixa, o que permitirá gerar plasticidade em um nível de alongação inferior. As zonas plásticas absorvem energia e geralmente previnem a propagação lenta da fratura. Estas zonas também são responsáveis por transformar as trincas com formato agudo em abauladas, anulando, portanto, a concentração de tensão. A trin-

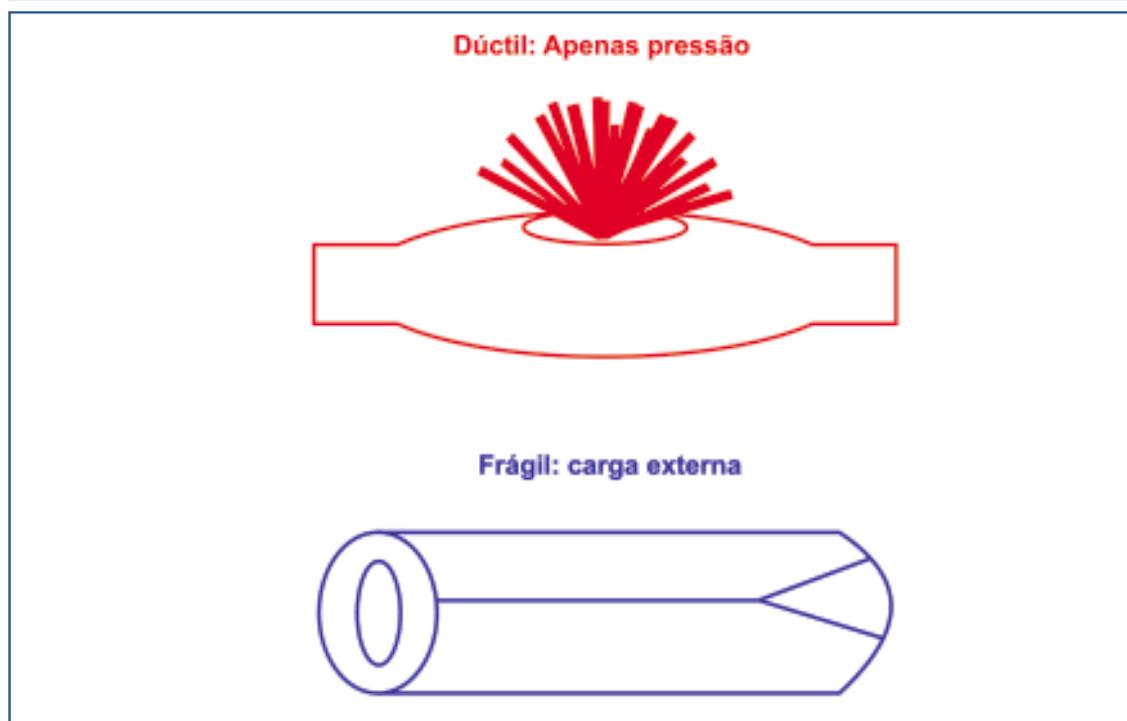
ca passa a significar apenas uma redução de material na seção transversal. Um conceito de projeto inteligente.

A resistência é a capacidade do material de suportar as solicitações decorrentes das cargas de tração e compressão. A resistência dos tubos de plástico depende de quanto tempo eles estarão sujeitos a uma carga e a uma determinada temperatura. Quanto maior a duração da carga, menor é a resistência. Quanto maior a temperatura, menor é a resistência. Esta perda de resistência dos materiais plásticos sob carga e temperatura é chamada de *Creep*.

A performance do sistema em plástico depende de quatro elementos:

- Resistência - Falha na máxima Tensão;
- Tenacidade (*Toughness*) - Resistência à fratura frágil;
- Ductilidade - Escoamento *versus* fissuramento, isto é, equilíbrio entre resistência e tenacidade;
- Deformabilidade - Capacidade em absorver deformação.

FIGURA 2 - DIFERENTES FORMA DE FALHAS EM TUBULAÇÕES



o qual pode apresentar ruptura do tipo frágil seguindo a propagação rápida da fissura na parede do tubo



Fonte: os autores

É importante que se tenha o conhecimento de que quando se projeta um sistema de tubulação pressurizada é necessário estar atento à tensão induzida na parede do tubo devido à pressão de operação interna. Materiais metálicos usados em tubos pressurizados são elásticos, isto é; as relações entre tensão e tração são lineares e independem do tempo de duração da carga. No entanto, os plásticos são diferentes. Sua deformação não é proporcional à tensão ou independente do tempo de duração da carga.

Plásticos como o PVC ou PE (Polietileno) não têm um comportamento elástico. A maioria das equações de projetos que foram derivadas da adoção de comportamento elástico pode ainda ser usada, desde que os valores de resistência sejam apropriadamente estabelecidos. O uso de equações elásticas requer a seleção de valores de resistência que levem em conta as respostas às cargas de longa duração. Para materiais como o PVC ou PE, estes valores são determinados em testes de pressão, conduzidos em amostras de tubos feitos do material em avaliação.

Usando a curva de regressão mostrada na figura 3, a resistência dos tubos de PVC rígido pode ser calculada para a vida desejada de projeto. Na Europa, a vida de projeto adotada é de 50 anos, enquanto nos EUA (que utilizam as normas ASTM D1598 e D2837) esta vida é de 100 anos, sendo que esta dife-

rença é de apenas 3% menor em relação aos 50 anos. Na vida de projeto, pode-se identificar uma resistência média ($\sigma_{\text{média}}$) para o tubo como mostra a figura 3, e isto normalmente é feito para uma temperatura de teste de 20°C. Esta resistência do tubo é uma média e não leva em conta a pequena variação em torno da curva de regressão média. Isto, por certo, não é um valor conservador da resistência do tubo.

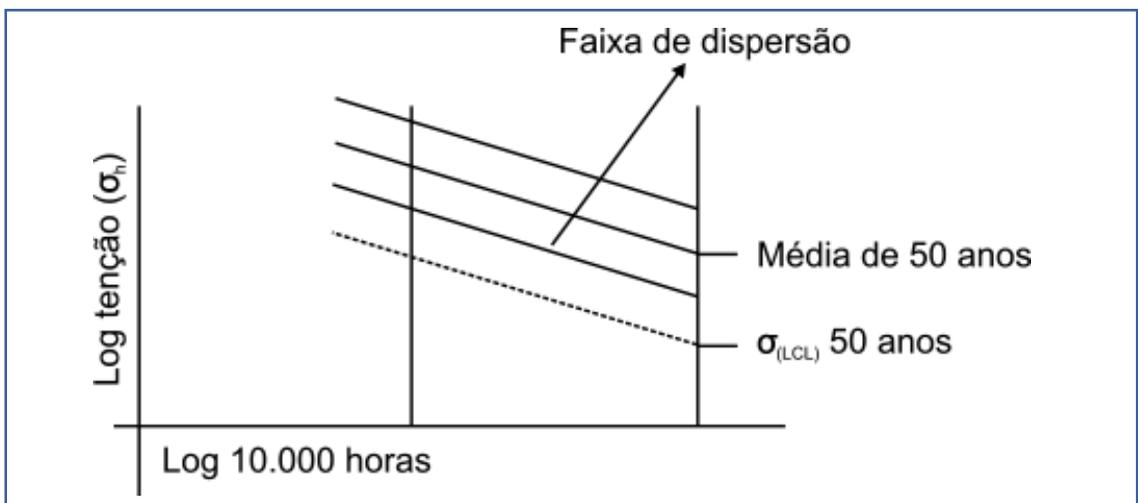
O limite de confiança inferior (σ_{LCL}) *Lower Confidence Limit* é conservador e leva em conta a pequena variabilidade da resistência do tubo através das fórmulas estatísticas. A indústria européia e americana de tubos plásticos adota 97,5% do valor limite da confiança inferior (σ_{LCL}) o que implica que na vida de projeto de 50 anos, 97,5% de todos os tubos serão aprovados. O restante, 2,5% não-aprovados, será coberto pelo fator de segurança adotado. O valor σ_{LCL} é calculado com base na ISO TR 9080 ou documentos similares, normalmente a 20°C (resistências a outras temperaturas podem ser calculadas). Para tubos de plástico, o valor da σ_{LCL} é uma propriedade do material e é requerida a fim de possibilitar o cálculo da espessura da parede do tubo, necessária para uma dada pressão de serviço.

O valor final da resistência dos tubos plásticos é o MRS (*Minimum Required Strength*), como resistência mínima requerida, especificada na ISO 12162.

a deformação dos plásticos não é proporcional à tensão ou independente do tempo de duração da carga



FIGURA 3 - CURVA DE REGRESSÃO



O MRS discutido é definido a 20°C para 50 anos de vida e leva em consideração os valores do σ_{LCL} que são similares e coloca-os em família ou grupos que têm a mesma resistência. Por exemplo, quando a faixa de variação do σ_{LCL} varia de 25,00 a 27,99 MPa o MRS correspondente será de 25,00 MPa.

Conceitos utilizados

Craze e Crack

Craze é o fenômeno de formação de uma fissura, é uma região de falha que ainda contém material polimérico que interliga as superfícies opostas do *craze*. Esta região não é uma verdadeira fissura (*crack*), mas está plasticamente estendida e orientada em uma direção paralela à tensão aplicada. Internamente disperso dentro do polímero orientado estão vazios, na forma de orifícios muito pequenos, os quais são interligados (fibrilamento) para formar canais contínuos no *craze*. Sob carga contínua (como no caso de tubos sob pressão) *crazes* poderão apresentar uma redução de resistência, a uma extensão onde as fissuras poderão ser formadas.

Crack ou Fissura é um defeito por meio do qual duas novas superfícies são criadas e não são ligadas por polímero. Quando uma fissura está sendo formada pela aplicação da tensão poderá haver uma ligação temporária e localizada destas superfícies, perto da parte inferior da fissura. No entanto, esta ligação temporária (*craze*) poderá ser fraca ou instável ou, subseqüentemente colapsável, permitindo a propagação da fissura (*crack*). Portanto o *craze* poderá ser o estágio inicial da fissura propriamente dita (*crack*).

Creep

Creep relaciona a estabilidade dimensional do material sob carga. Em materiais plásticos esta estabilidade dimensional é importante e o tubo deve ser capaz de resistir a modestas cargas de tração por longos períodos de tempo sem qualquer mudança significativa nas dimensões ou forma. *Creep* é, portanto, um fator importante a ser considerado quando se avalia a pressão de trabalho e seu efeito na vida útil do tubo.

Para gerar a relação entre tempo e resistência (mantendo a temperatura constante), amostras individuais são sujeitas a teste de pressão interna (P_t) contínua e pré-determinada que solicita a parede da amostra do tubo, com uma tensão circunferencial (σ_h). A relação entre tensão circunferencial (σ_h) e pressão interna (P_t) utilizada para tubos plásticos é dada por:

$$\sigma_h = P_t \left(\frac{de - e}{2e} \right)$$

Onde:

e - espessura da parede mínima

de - diâmetro externo médio

As amostras dos tubos nos laboratórios de teste ficam sob uma temperatura controlada, em um banho de água até o tempo de falha (t_f). Nos laboratórios o tempo de teste (t_t) pode ser de algumas horas até tempos superiores a 40 anos. Os dados gerados pelos testes de pressão de um número de amostras de tubos de plástico permitem construir o gráfico da tensão circunferencial (σ_h) contra o tempo de falha (t_f) sob uma temperatura determinada. A figura 3 apresenta a curva de regressão resultante para tubos de PVC.

Pode ser visto neste gráfico (figura 3) que para tubos de PVC rígido (ou mesmo para PE), os dados σ_h/t_f caem dentro de uma linha reta com uma razoável aproximação e com baixa dispersão. Isto garante uma confiança na extrapolação da resistência dos tubos de plásticos para 50 anos, 100 anos ou tempos maiores, a 20°C. Para a construção do gráfico foram adotadas ferramentas complexas de matemática, como detalhado na ISO TR 9080.

as amostras dos tubos nos laboratórios de teste ficam sob uma temperatura controlada, em um banho de água até o tempo de falha

Fator de segurança e tensão de projeto

Para que o usuário final possa trabalhar com total confiança com os tubos de plástico, o valor do MRS (ou σ_{LCL}) é dividido por um fator de segurança (C) para se chegar a tensão de projeto σ_s para tubulação. σ_s é dada por:

$$\sigma_s = \frac{MRS}{C}$$

Para tubos de PVC rígido, o “C” normalmente adotado é 2.0 e depende:

- do material, particularmente do equilíbrio entre a resistência e a propagação de trincas (toughness);
- da performance histórica no campo;
- da preferência do usuário.

Espessura da parede

Nos tubos de plástico a espessura mínima requerida (e_{min}) em milímetro para uma pressão de trabalho (P) em MPa, e um diâmetro externo (d_{em}) em milímetros, é calculada por:

$$e_{min} = \frac{d_{em} \times P}{2 \times \sigma_s + P}$$

Rigidez

Rigidez é a capacidade de um tubo plástico de resistir a cargas externas como vácuo, pressão externa de água, pressão do reaterro. A rigidez de um tubo plástico é proporcional a inércia *versus* módulo de elasticidade. Como o módulo de elasticidade dos materiais plásticos é baixo, a rigidez também apresenta valores menores que os materiais tradicionais. Como exemplo pode ser dito que o módulo de elasticidade do PVC que é de 3.000 Mpa enquanto o módulo do aço é 200.000 Mpa.

Deformabilidade

Deformabilidade é a capacidade dos materiais plásticos para absorver deformações. A

deformabilidade, portanto, é um fator importante para tubulações plásticas enterradas, uma vez que estas são classificadas como flexíveis, ou seja, quanto maior a deformação permissível, maior poderá ser a deflexão diametral do tubo. A tabela 2 mostra a deformação permissível para diferentes materiais.

A pesquisa na Europa

Em Barcelona, na Espanha, após a detecção de falhas nos tubos de PVC no fim da década de 70, passou-se a utilizar tubos de PE (polietileno) até DN 150 e ferro dúctil nos diâmetros superiores, conforme informações obtidas junto à empresa Águas de Barcelona.

Na Inglaterra, onde ocorreram os mesmos problemas, a utilitária North West Water contratou, no fim da década de 70, o professor J. M. Marshall, da consultoria da Pipeline Development Ltda, para pesquisar as causas das falhas nos tubos de PVC rígido. O primeiro diagnóstico, segundo MARSHALL (1980), apontava para dois pontos onde havia pouco conhecimento:

- Os tubos de PVC rígido para pressão são sensíveis a defeitos na parede, oriundos do processo de extrusão que atuam como pontos de início das fraturas;
- A sensibilidade à fragilidade relativa dos tubos de PVC rígido, pela ação de cargas concentradas na sua superfície externa oriundas de objetos pontiagudos e duros (pequenas pedras), possíveis de estar presentes no berço de assentamento dos tubos;

Estes problemas iniciais foram contornados da seguinte forma:

como o módulo de elasticidade dos materiais plásticos é baixo, a rigidez também apresenta valores menores que os materiais tradicionais

TABELA 2 - DEFORMAÇÃO PERMISSÍVEL

MATERIAL DO TUBO	DEFORMAÇÃO PERMISSÍVEL [%]
PVC	2.5 (não é um valor limite)
PE	5.0 (não é um valor limite)
PRFV*	0.5** (valor limite)

*PRFV: Tubo plástico reforçado com fibra de vidro

**pode ser maior para resinas específicas

- Melhoria no processo de produção, com a eliminação de defeitos e inclusões na parede do tubo durante a extrusão. Isto foi assegurado pela introdução do primeiro teste de propagação de fratura (teste do anel C), em cada lote produzido;
- Treinamento do pessoal de campo para a construção de um berço adequado para o tubo de PVC.

Estas ações iniciais amenizaram os problemas. No entanto, se fazia necessário desenvolver uma nova geração de tubos de PVC, com alteração de seu comportamento quando sujeito a ação de cargas concentradas, ou seja, alterar o comportamento de ruptura frágil para dúctil.

Na época, o polietileno já era conhecido como um material com alta ductilidade, levando a pesquisa a procurar agregar aos tubos de PVC rígido estas propriedades dúcteis. Isto foi conseguido misturando ao PVC rígido outros materiais de alta resistência à propagação de fratura (acrilatos e polietileno clorado), resultando no PVC-M (PVC Modificado) também conhecido como PVC-A (PVC; ou liga de PVC). Um outro tipo de PVC conhecido com excelente propriedade de resistência a propagação da fratura é o PVC-O (PVC Orientado).

Estas pesquisas foram concluídas com êxito no final da década de 1980 e já no início de 1990 estes tubos foram lançados no mercado inglês pela empresa Hepworth.

Hoje os tubos de PVC-M já são utilizados em várias partes do mundo. Para exemplificar podem ser citadas as seguintes normas vigentes: SABS Part II. 1988 (South África), AS 3707 (Australian), PINZ 14-1 1997 (New Zealand) e Draft BSI spec. PAS 27:1999 (England).

Comentários de testes e comparativo de normas

Teste de Pressão Hidrostática a 20°C durante 1 hora

A adição de agentes modificadores de impacto ou tenacificantes reduz levemente a resistência total do PVC-M, em relação ao PVC-U, mas deixa um considerável aumento em te-

nacidade do tubo de PVC-M, especialmente a resistência do material à propagação das fissuras. Este efeito é mais notado na resistência inicial, a qual não tem muito significado quando se tratam de tubos plásticos. Portanto, a resistência hidrostática do PVC-M a 1 hora é de 36 MPa, comparada a 42 MPa do PVC-U. No entanto, a resistência à falha dos dois materiais é similar em períodos de longa duração.

A curva de regressão para o PVC-M é menos inclinada que o PVC-U (PVC Rígido) o que indica uma melhor retenção das propriedades, resultando em um valor mínimo para 50 anos de 24,5 contra 25 MPa para o PVC-U. Ou seja, o PVC-M alcança um valor que pode ser considerado igual ao PVC-U.

Levando em consideração que o coeficiente de segurança do PVC-M é 1,6 (BSI PAS 27) e partindo do pressuposto que se adota a mesma espessura do PVC-U (NBR 7665) que tem o C.S = 2, o PVC-M que se pretende introduzir no Brasil é muito mais seguro que o tubo da NBR 7665 vigente.

Tenacidade do anel (C-ring toughness)

A aplicação do teste mecânico de fratura foi introduzida com o objetivo de obter melhor avaliação da qualidade da formulação e do processamento, uma vez que muitas das falhas dos tubos em serviço são iniciadas pela má instalação, o que possibilita o aparecimento de uma tensão localizada. O exemplo que pode ser citado é o de uma pedra pontiaguda.

A resistência à propagação da fratura de um material é uma medida de sua capacidade em resistir à propagação da fissura. O teste de propagação da fratura foi desenvolvido no sentido de medir o processo de crescimento lento da fissura, ou seja quando do aparecimento do “craze”.

Este teste “C” do anel envolve a preparação do corte de um anel do tubo no qual é feito um entalhe pontiagudo, com uma profundidade especificada e com aplicação de uma tensão pré-calculada para um tempo específico. A carga será aplicada a fim de que seja iniciada a propagação da fissura. O modo como a fissura se propaga e seu comportamento será investigado, para sinalizar a demonstração de ductilidade

a
deformabilidade
é um fator
importante
para tubulações
plásticas
enterradas



(pelo branqueamento do material).

Resistência hidrostática a temperatura elevada - 60°C

O teste a temperaturas elevadas é essencial para a identificação da transição dúctil-frágil. O teste de pressão a 20°C dá uma identificação de melhoria da tenacidade enquanto o teste a 60°C irá claramente expor o limite do material. Se há uma tendência de falha frágil, esta ocorrerá a alta temperatura. Na BSI PAS 27 não consta este teste, em virtude do PVC-M ter um comportamento dúctil. O teste de pressão a 60°C nos tubos de PVC-M mostra falhas dúcteis com expansão do tubo. O tubo de PVC-M testado a 60°C durante 1.000 horas, atinge o mínimo de 12,5 MPa, valor este adotado também para tubos de PVC-U (NBR 7665) que é de 12 MPa.

Teste de pressão hidrostática a longo prazo em tubos com entalhe a 20° C (sensibilidade ao entalhe)

Como já explanado anteriormente o desenvolvimento de PVC-M ocorreu em decorrência da necessidade de melhorar a tenacidade ou a resistência à propagação de fissuras e como consequência, a prevenção do surgimento de falhas frágeis em serviço. Quando do manuseio ou instalação dos tubos é comum que a superfície seja arranhada ou assentada no topo de objetos com pontas. Um método para assegurar que falhas frágeis não se desenvolvam, em curto ou longo prazo nestas superfícies com entalhes sob pressão, é efetuar teste de pressão hidrostática a temperatura elevada, em amostra com entalhe. Nestas condições, foram efetuados testes nos tubos de PVC-M, com entalhe muito agudo (raio do entalhe: 0,03 mm) com 20% da espessura de parede, comprimento (L) igual a 100mm. Nestas condições o comportamento do tubo foi similar ao tubo sem entalhe, mostrando escoamento dúctil do material.

Resistência ao impacto

A resistência ao impacto, assim como o teste de cloreto de metileno em tubos de PVC visa analisar a boa qualidade do processo de fabricação dos tubos. O teste de impacto a 0°C adotado pela norma ISO 3127 tem a finalidade

de apresentar um resultado com menor dispersão em torno do valor médio e ser mais rígido, uma vez que o PVC tem uma maior sensibilidade ao impacto em baixas temperaturas.

Resistência a pressão a longo prazo - definição da tensão de projeto

Nas normas internacionais ISO/TR 9080 (1992) ISO 12162 (1995) ASTM D 1598 e ASTM D2837 a resistência dos tubos plásticos é calculada através de ensaio de longa duração (ensaio de 10.000 horas) com extrapolação para 50 anos (ISO) ou 100 anos (ASTM). A tensão resultante deste ensaio é a tensão adotada como a tensão de projeto para o dimensionamento da espessura de parede, necessária para resistir a pressão de projeto do tubo.

A tabela 2 relaciona os testes solicitados por diferentes normas, comentando a necessidade de incorporação de novos testes à norma brasileira visando a melhoria da performance dos tubos de PVC DEFOFO.

Conclusões

A resistência dos tubos de plástico depende de quanto tempo eles estarão sujeitos a uma carga e a uma temperatura. Quanto maior a duração da carga menor é a resistência. Quanto maior a temperatura, menor é a resistência.

A chave do critério de performance do sistema em plástico depende de quatro elementos:

- Resistência - Falha na máxima tensão;
- Tenacidade (*Toughness*) - Resistência à fratura frágil;
- Ductilidade - Escoamento versus fissuramento, ou seja, equilíbrio entre resistência e tenacidade;
- Deformabilidade - Capacidade para absorver deformação.

É importante ter-se o conhecimento de que quando se projeta um sistema de tubulação pressurizada é necessário dar atenção à tensão induzida na parede do tubo, devido à pressão de operação interna. Materiais metálicos usados em

nova geração de tubos de PVC, com alteração de seu comportamento quando sujeito a ação de cargas concentradas



TABELA 2 – TESTES SOLICITADOS PARA O PROJETO DE NORMA PROPOSTO DO PVC-M

TESTE	COMENTÁRIOS
Dimensional (Aparência)	
Estabilidade dimensional (Longitudinal reversion)	
Aspecto visual (Freedom from defects)	
Tenacidade do anel (C-ring toughness)	Verifica o comportamento dúctil na fratura, o comportamento frágil não é aceito. Realiza “cloreto de metileno” antes.
Temperatura de amolecimento (VICAT)	Verifica qualidade do composto (matéria-prima)
Resistência ao impacto	Teste de processo: Este teste tem a função de avaliar a qualidade do processo de extrusão e a qualidade de plastificação. A temperatura de 0°C além de ser mais crítica que a de 20° para o PVC, apresenta resultados com menor dispersão em torno da média.
Teste Cloreto de metileno	Este teste tem a função de avaliar a qualidade do processo de extrusão e a qualidade de plastificação.
Teste de pressão hidrostática Temp.: 20°C Tempo: 1h Tensão mínima: 36 MPa	
Teste de pressão hidrostática Temp.: 20°C Tempo: 100h Tensão mínima: 31 MPa Teste de pressão hidrostática Temp.: 60°C Tempo: 1000h Tensão mínima: 12,5 MPa	
Teste de pressão hidrostática em tubos com entalhe a 20°C Temp.: 20°C Tempo: 100h Tensão mínima: 31 MPa	Analisa a resistência à propagação do entalhe no tubo sujeito à pressão interna.
Teste de pressão hidrostática de longa duração	Na NBR 7665 a tensão de projeto de 12,5MPa adotada, pressupõe que o tubo apresente uma resistência de 24,5MPa a 50 anos com SF = 2,0. Na BSI PAS 27PVC-M o teste realizado, de acordo com a ISO/TR9080, deve apresentar o valor mínimo de 24,5 MPa. Tempo de teste de 10.000 horas com extrapolação para 50 anos.

o teste de pressão a 60° C nos tubos de PVC-M mostra falhas dúcteis com expansão do tubo



tubos pressurizados são elásticos, isto é, as relações entre tensão e tração são lineares, e independem do tempo de duração da carga. No entanto, os plásticos são diferentes, pois sua deformação não é proporcional à tensão ou independente do tempo de duração da carga.

Plásticos como o PVC ou PE não têm um comportamento elástico. A maioria das equações de projetos que foi derivada de adoção de comportamento elástico pode ainda ser usada, desde que os valores de resistência sejam apropriadamente estabelecidos. O uso de equações elásticas requer a seleção de valores de resistência que levem em conta as respostas às cargas de longa duração. Para materiais como o PVC ou PE, tais valores são determinados em testes de pressão, conduzidos em amostras de tubos feitos do material em avaliação.

Baseado no diagnóstico e estudos realizados, a proposta que se faz é que seja feita a norma específica para o PVC-M, tendo como referência BSI PAS 27, contemplando os seguintes testes, que não fazem parte atualmente do escopo da norma brasileira de PVC-U (NBR 7665):

- Cloreto de metileno
- Impacto a 0°C (em acordo com a ISO)
- Tenacidade do anel (C- ring teste)
- Resistência à pressão hidrostática a 20°C durante 1 hora, reduzindo de 42MPa para 36 MPa
- Resistência à pressão a longo prazo, para definir a tensão de projeto através da curva de regressão.

A proposta de nova Norma foi encaminhada à ABNT pela Sanepar em setembro de 2004. Enquanto isto, a Companhia de Saneamento do Paraná está finalizando a norma interna que constará do Sistema Normativo da empresa e terá aplicação obrigatória a partir de junho de 2005.

Desta forma, procura-se atender às necessidades de reduzir ou mesmo eliminar vazamentos, relativos as tubulações de PVC DE FOFO,

optando-se por uma solução a partir da revisão aqui proposta, bem como a criação de mecanismos para acompanhamento da performance deste material em campo.

Além disso, recomenda-se melhorias no processo de assentamento dos tubos. Uma das maneiras de se obter melhor qualidade é por meio da capacitação de mão-de-obra.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7665**: sistema para adução e distribuição de água. Tubos de PVC 12 DEFOFO com junta elástica: Requisito. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5647**: sistema para adução e distribuição de água. Tubos e conexões de PVC 6,3 com junta elástica e com diâmetros nominais até DN 100. Rio de Janeiro, 1999.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 1598**: standart method of test for Time: to-failure of plastic pipe under long-term hydrostatic pressure. [S.I.], 1997.

_____. **ASTM D2837**: standart method for obtaining hydrostatic design basis for thermoplastic materials. [S.I.], 2001

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS PAS 27**: unplasticized poly (vinyl choride) alloy (PVC-A) pipes and bends for water under pressure. [S.I.], 1999.

INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION. **ISO 3127**: thermoplastics pipes: determination of resistance to external blows; round-the-clock method, [S.I.], 1994.

_____. **ISO 4422-1**: pipes and fittings made of unplasticized poly (vinyl chloride) (PVC- U) for water supply: specifications. Part 1: General. [S.I.], 1996.

_____. **ISO 4422-2**: pipes and fittings made of

a proposta que se faz é que seja feita a norma específica para o PVC-M, tendo como referência BSI PAS 27



unplasticized poly (vinyl chloride) (PVC-U) for water supply: specifications. Part 2: Pipes (with or without integral sockets). [S.l.], 1996.

_____. **ISO 12162**: thermoplastics materials for pipe and fittings for pressure applications. Classification and designation: overall service (design) coefficient. [S.l.], 1995.

_____. **ISO/ TR 9080**: thermoplastic pipe for the transport of fluids methods of extrapolation of hydrostatic stress rupture data to determine the long-term hydrostatic strength of thermoplastics pipe materials. [S.l.], 1992.

MARSHALL, J. C. M.; MARSHALL, G. P. **The development of toughness in plastics pressure pipe by modification of PVC**. [S.l.]: Pipeline Developments, 1980.

UNI-BELL PVC PIPE ASSOCIATION. **Handbook of PVC pipe design and construction**. [S.l.: s.n.], 1993.

*a proposta de
nova Norma foi
encaminhada à
ABNT pela
Sanepar em
setembro de
2004*

Autores

Raimunda Maria Pires,
engenheira civil, pós-graduada em
Gerenciamento de Projetos (UFPR), pesquisadora da Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento da Sanepar.

Jorge Neves Moll,
engenheiro civil, mestre em Engenharia Sanitária,
consultor na área de tubulações plásticas.

Reabilitação de redes de ferro fundido. Estudo de caso da cidade de Curitiba



Margareth dos Santos Burger

Rehabilitation of cast iron pipe networks. A case study in the city of Curitiba

Resumo

No Brasil, a partir do final da década de 60, as tubulações de ferro fundido dúctil para condução de água potável passaram a ser fabricadas com revestimento interno protetor, de argamassa de areia e cimento, o que dificulta a formação de tubérculos ao longo de sua vida útil. Tal prática, porém, não era adotada até então, o que ocasiona até os dias de hoje, em função da agressividade da água, grandes incrustações que reduzem a seção do tubo e, conseqüentemente, a vazão e a pressão, e comprometem a qualidade da água distribuída, além de corrosão, que pode ocasionar fugas de água. Todos estes fatores comprometem o abastecimento da população. Apesar destes inconvenientes, a rede de ferro fundido cinzento, mesmo depois de 50 ou 60 anos em operação, encontra-se com grande parte da sua extensão em perfeitas condições mecânicas e, se reabilitada, estará apta a transportar água com confiabilidade por pelo menos mais cinqüenta anos a um custo inferior ao de uma rede de ferro nova, porém nas mesmas condições. Este artigo descreve os procedimentos adotados pela Sanepar para reabilitação de 120 quilômetros de redes de distribuição de água, executadas em ferro fundido cinzento na cidade de Curitiba, com tecnologia alemã, adaptada às necessidades do Brasil.

Palavras-chave: reabilitação; ferro fundido cinzento; métodos não destrutivos; incrustação; argamassa acrílica.

Abstract

In Brazil, as from the late 1960s, ductile cast iron piping for drinking water started to be manufactured with an internal protective lining made of a sand & cement mortar meant to reduce the formation of tubercles during the pipes' life. However, such practice was not adopted till then, and up to the present, due to the aggressiveness of the water, this provokes large incrustations, which reduce the pipes' section and consequently the water flow and pressure, thus affecting the quality of water, besides increasing the pipe's corrosion, which can cause water leaks. All these factors jeopardize the water supply for the population. In spite of these inconveniences, and even after 50 or 60 years of operation, the gray cast iron network is mostly in perfect mechanical conditions. If rehabilitated, it will be capable of reliably conveying water for at least another 50 years, at a cost that is smaller than that one of a new iron network, under the same conditions. This paper describes the proceedings adopted by Sanepar to rehabilitate 120 kilometers of water distribution network in the city of Curitiba. This was made with German technology adapted to the Brazilian needs, on gray cast iron pipes.

Keywords: recovering, rehabilitation, gray cast iron, non-destructive methods, incrustation, acrylic mortar.

a rede de ferro fundido cinzento, mesmo depois de 50 ou 60 anos em operação, encontra-se com grande parte da sua extensão em perfeitas condições mecânicas



Introdução

A reabilitação de sistemas de abastecimento de água existentes tem sido a tônica de muitas empresas prestadoras de serviços de abastecimento público de água. Uma vez construídos os sistemas, de forma a garantir o abastecimento a toda população beneficiada, deve-se atuar na sua manutenção e conservação. Os horizontes de projeto variam de acordo com as demandas, podendo atingir 50 anos ou mais, de acordo com as necessidades identificadas. Para o caso de redes de distribuição de água, considera-se 50 anos como o tempo necessário para o atendimento das demandas de projeto.

Segundo ALEGRE (1996), “reabilitação pode ser considerada como todo um conjunto de atividades conducentes a transformar um sistema deficiente ou inadequado num sistema que forneça um serviço de boa qualidade aos consumidores, com custos de operação razoáveis. Estas atividades podem ir desde a substituição ou reparação de condutas à total reconstrução do sistema, ou à alteração dos procedimentos e meios de apoio à operação”.

Ainda no mesmo artigo, a autora responde a questão *por quê e quando reabilitar*. Segundo ela, “um sistema de distribuição de água requer ser reabilitado quando atinge um estado que não lhe permita mais cumprir a missão a que se destina. A chave desta missão é a satisfação dos consumidores, em termos de quantidade e qualidade da água distribuída, bem como outros aspectos da qualidade do serviço prestado pela entidade gestora, como seja o custo do serviço. Conseqüentemente, a reabilitação é motivada pela combinação de fatores sociais, de saúde pública, ambientais, econômicos e financeiros. O processo de tomada de decisão tendo em vista a procura da melhor estratégia de reabilitação tem que ter em linha de conta todos estes aspectos”.

A crescente urbanização tem gerado, nas cidades de médio e grande porte, centros com alto tráfego de veículos e pessoas, o que dificulta a execução de serviços de manutenção e reabilitação, da forma convencional, das unidades lineares componentes de um sistema de abaste-

cimento de água, ou seja, das redes de distribuição de água. Obras oriundas da necessidade de execução destes serviços nas redes de distribuição geram transtornos à vida da cidade e, via de regra, são necessárias autorizações específicas e sob rigoroso controle para a realização destes serviços.

Curitiba não foge a esta premissa e conta com movimento intenso nas regiões centrais da cidade. O subsolo destas regiões reflete a vida agitada e apresenta tubulações com as mais diversas finalidades como, por exemplo, atender as demandas de telefonia, gás, luz e televisão a cabo. Muito antes, porém, destas necessidades advindas de um desenvolvimento tecnológico sem precedentes, este subsolo foi escavado com o objetivo de se instalar tubulações destinadas a levar água aos domicílios dos curitibanos e coletar os esgotos por eles gerados. O lançamento da pedra fundamental do reservatório do Alto São Francisco, em 1904, dá início ao saneamento de Curitiba. A sua inauguração, em 24 de agosto de 1908 caracteriza o início de operação. O sistema de distribuição de água foi construído com tubulações de ferro fundido cinzento. Até os dias de hoje a rede instalada no início do século passado mantém a sua integridade física.

Atualmente, a prática amplamente adotada para reabilitação da capacidade de transporte das redes de distribuição de água executadas em ferro fundido cinzento, que apresentam incrustações, é a sua substituição por redes de PVC. Este procedimento é executado a custos plenamente aceitáveis e em prazos satisfatórios, porém causa transtornos relevantes em regiões centrais de grandes cidades que apresentam ruas destinadas apenas à circulação de pedestres e espaços exclusivos para circulação de veículos de transporte coletivo, entre outros. Portanto, a utilização e sistematização de novas tecnologias para reabilitação de redes de distribuição de água por meio de Métodos Não Destrutivos (MND) impõe-se como alternativa importante em locais onde o acesso às tubulações enterradas torna-se extremamente trabalhoso em função dos motivos já expostos (figuras 1 e 2).

obras oriundas da necessidade de execução destes serviços nas redes de distribuição geram transtornos à vida da cidade



**FIGURA 1 – VALA PARA IMPLANTAÇÃO/
REABILITAÇÃO DE REDES DE FORMA
CONVENCIONAL**



**FIGURA 2 – REABILITAÇÃO DE REDES POR
MND- SEM INTERFERÊNCIA NA ROTINA
DA CIDADE**



com o objetivo de recuperar a capacidade de distribuição de água de redes de ferro fundido cinzento incrustadas a Sanepar implementou o projeto piloto de reabilitação de redes

Outro aspecto, de interesse histórico, é a idade de alguns trechos das redes objeto desta reabilitação. A Sanepar tem buscado preservar a história do saneamento no Paraná e, embora o objetivo da utilização desta técnica para reabilitação de redes não seja o resgate histórico, não se poderia deixar de mencionar este valor. Se-

gundo SCHUSTER (1997), “o saneamento básico do Paraná ocupa uma grandeza infinitesimal desse tempo e espaço e o seu passado histórico guarda passagens ainda não reveladas. E esse passado deve ser buscado sempre mais a fundo para que seja a história preservada”.

Com o objetivo de recuperar a capacidade de distribuição de água de redes de ferro fundido cinzento incrustadas, que apresentam redução de diâmetros, ou seja, da capacidade de transporte e comprometimento da qualidade da água, notadamente no que se refere à cor, a Sanepar implementou projeto piloto de reabilitação de redes, por meio de um método não destrutivo. Além de remover as incrustações, é feito um revestimento na rede para que o problema não volte a ocorrer. Um exemplo de incrustação é apresentado na figura 3.

**FIGURA 3 – AMOSTRA DE INCRUSTAÇÃO
NA REDE DE FERRO FUNDIDO CINZENTO**



O processo de recuperação por meio de limpeza e revestimento em argamassa acrílica permite:

- recuperar a capacidade de distribuição da rede, melhorando significativamente as suas condições hidráulicas, minimizando possíveis faltas d’água decorrentes de incrustações;
- eliminar os problemas decorrentes do fornecimento de água suja;
- garantir a proteção contra corrosões e incrustações;
- identificar e consertar vazamentos;
- verificar a estrutura física da rede;
- garantir a integridade da mesma por um período histórico de pelo menos mais 50 anos.

Processo

O processo consiste basicamente na limpeza da tubulação com a remoção de incrustações e no posterior revestimento com argamassa acrílica. Antes da execução dos serviços, com o objetivo de avaliar o estado das tubulações e planejar o trabalho, são realizadas sondagens e/ou vídeo-inspeção por meio da introdução de microcâmeras na tubulação.

Acesso à tubulação

O acesso à tubulação se dá por meio da escavação de apenas duas valas de acesso com aproximadamente 1,0m x 1,5m no começo e no fim do trecho, de cerca de 100 metros, em reabilitação. A abertura da vala é executada manual ou mecanicamente. Eventualmente é necessária a escavação de vala intermediária no meio da quadra quando esta tiver extensão maior que 100 metros. Para a execução das valas de acesso é realizado estudo prévio das interferências no subsolo, como galerias de águas pluviais, tubulações de gás, dutos telefônicos, elétricos, redes de esgoto. As valas de acesso, após a conclusão dos serviços e enquanto não forem reaterradas, são cobertas com placas de aço ou madeira, de forma a garantir o acesso de veículos e pedestres com plena segurança.

O acesso ao interior da tubulação é feito através do corte e retirada de pequenos trechos de tubo denominados carretéis, que permitem entrada e saída de materiais e equipamentos para execução dos serviços. Após o corte da tubulação, o trecho que se manterá em operação é isolado de forma a garantir o abastecimento do restante da rede que não está em processo de reabilitação. Na eventualidade dos serviços ultrapassarem 24 horas, o abastecimento é garantido por meio de ligações provisórias em PEAD.

Limpeza da tubulação

A limpeza interna da tubulação se dá por meio da introdução de equipamentos formados por coroas de lâminas de aço cortantes seguidas de rodos de borracha que fazem a raspagem das incrustações existentes (figura 4). Os raspadores são arrastados mecanicamente por meio de guinchos hidráulicos de dez toneladas

FIGURA 4 - RASPADORES DE AÇO E RODOS DE BORRACHA



situados nas extremidades do trecho em reabilitação. A velocidade de arraste deve ser rigorosamente constante, controlada eletronicamente no painel de controle do equipamento, de forma a evitar imperfeições na raspagem. Para a limpeza completa da tubulação, o equipamento é arrastado tantas vezes quantas sejam necessárias para que todo o material destacado da tubulação seja retirado completamente (figura 5). Nos ramais domiciliares é injetado ar comprimido em contrafluxo através da ligação predial para remoção dos resíduos provenientes da limpeza. A limpeza remove completamente todos os corpos estranhos, de forma a garantir o perfeito contato entre a tubulação e o revestimento a ser executado.

A limpeza das superfícies internas dos carretéis e das singularidades é efetuada manualmente.

Revestimento

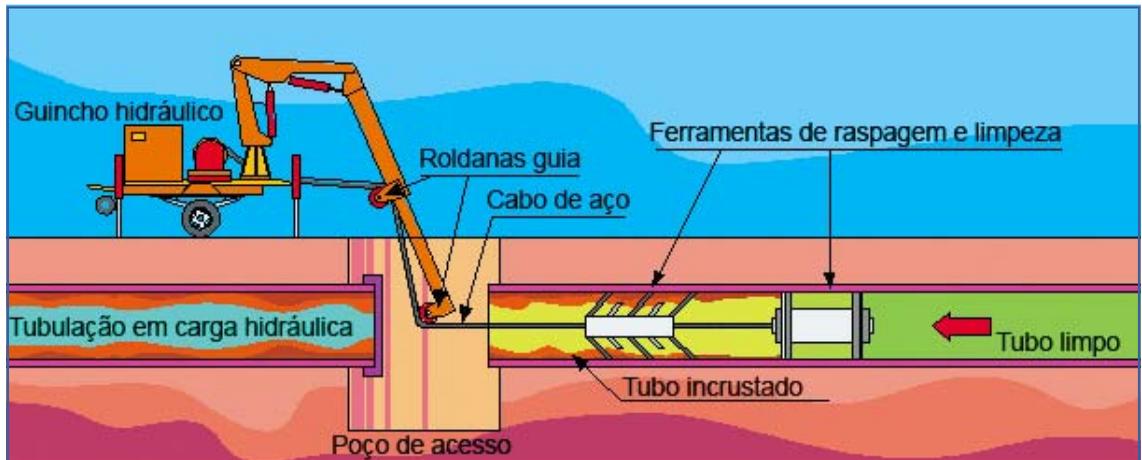
Concluída a raspagem com a retirada de todo material incrustado, passa-se para a próxima etapa que é o revestimento da tubulação com argamassa.

O revestimento é executado com argamassa acrílica que permite uma expectativa de vida maior que a argamassa de areia e cimento. A argamassa acrílica é argamassa de areia e cimento, aditivada com polímeros ou resina acrílica, tornando-a mais nobre e aumentando as características de adensamento, impermeabilidade,

o acesso à tubulação se dá por meio da escavação de apenas duas valas de acesso, no começo e no fim do trecho em reabilitação



FIGURA 5 – ESQUEMA DO PROCESSO DE LIMPEZA



coesão, fluidez, trabalhabilidade e durabilidade.

A mistura dos componentes da argamassa é realizada mecanicamente em recipiente sem arestas, permitindo perfeita homogeneidade.

Características da argamassa

O aglomerante hidráulico utilizado trata-se de cimento Portland de acordo com as NBR 5732/1991, 5735/1991, 11718/1992 ou 5737/1992. Em função das condições específicas a que a argamassa estará submetida, podem ser empregados outros tipos de cimento, ficando esta decisão a cargo das partes interessadas.

A areia usada é constituída de partículas granulares inertes, duras, resistentes e estáveis, com distribuição granulométrica controlada, atendendo a NBR 7211/1983. A água deve ser necessariamente potável.

Os aditivos aplicados têm que ser compatíveis com cimento, não ser à base de cloretos e não comprometer a potabilidade da água. Quando o aditivo for uma emulsão polimérica de base acrílica, ele deve acrescentar à argamassa em preparo as seguintes propriedades:

- reduzir a relação água/cimento;
- aumentar a resistência mecânica da argamassa, sem perder a trabalhabilidade;
- reduzir a permeabilidade;
- baixar a permeabilidade a cloretos;
- aumentar a durabilidade da argamassa;
- não ser tóxico ou inflamável;
- poder ser usado tanto em superfícies verticais como horizontais.

Antes da aplicação do revestimento, todas as aberturas na tubulação como hidrantes, ventosas, derivações e ramais são fechadas adequadamente. O material utilizado para o fechamento destas singularidades é retirado após o processo de revestimento sem lhe causar nenhuma espécie de dano.

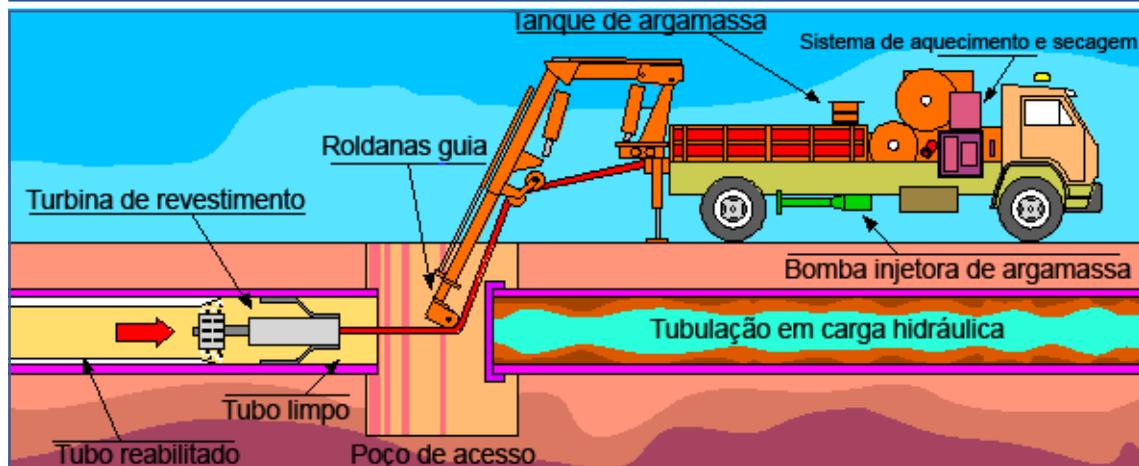
A argamassa acrílica é inserida na tubulação pelo processo de pulverização centrifugada, que consiste na introdução de turbina pneumática com duas entradas, uma para argamassa e outra para o ar comprimido (figura 6). Após a pulverização, a argamassa é secada com ar quente de forma controlada, a temperaturas entre 40 e 50°C para acelerar a cura. Em quatro horas após a secagem, o abastecimento pode ser restabelecido.

Os procedimentos permitem também identificar vazamentos na rede, uma vez que, feita a limpeza e o posterior revestimento, quando da sua recarga eventuais orifícios serão identificados, pois com a recuperação da pressão, o vazamento aflora à superfície. Para estes casos, o conserto na rede é feito imediatamente com substituição do trecho danificado. É possível ainda verificar os serviços por meio de filmagem do interior da rede enquanto esta ainda estiver sem carga, o que permite a identificação de pontos de fuga e ligações clandestinas. Logo após a reabilitação, geralmente durante o processo de desinfecção, o vazamento aflora, se torna visível e é imediatamente reparado.

Após a retomada do abastecimento, equi-

antes da aplicação do revestimento, todas as aberturas na tubulação são fechadas adequadamente

FIGURA 6 – ESQUEMA DO PROCESSO DE REVESTIMENTO



pes de pesquisa realizam inspeção com o objetivo de identificar algum vazamento que eventualmente não tenha aflorado.

Serviços complementares

Para o caso de trechos em que não é possível executar a limpeza e revestimento em função da tubulação estar com as características mecânicas comprometidas, apresentando vazamentos ou em diâmetros inferiores a 75mm, a reabilitação se dá por meio da substituição do trecho por uma nova tubulação.

O revestimento dos carretéis e das singularidades é efetuado manualmente (figura 7). Estas peças são reinstaladas após os serviços de revestimento.

FIGURA 7 – CONEXÃO REVESTIDA MANUALMENTE



Procedimentos e ações

Experiência da Sanepar

Internalização da tecnologia

Reclamações de falta de água ou de água suja em diversos sistemas da empresa levam a busca constante de alternativas para a solução desses problemas. A substituição de redes antigas de ferro por novas em PVC tem sido uma solução econômica adotada em larga escala, no entanto nem sempre indicada. Para grandes sistemas, como o caso de Curitiba, que apresenta tráfego intenso nas regiões centrais, vias destinadas a pedestres e canaletas exclusivas para o tráfego de ônibus, a simples substituição redundaria em transtornos de grande impacto para a população, para o comércio e para a organização do tráfego. Estes impedimentos, muitas vezes, levam a se postergar a substituição, o que pode gerar insatisfação dos clientes com relação à falta de água ou fornecimento de água vermelha.

O sistema de abastecimento de água da cidade de Curitiba, operado pela Sanepar, conta com mais de 5.300 quilômetros de redes de distribuição de água em operação, sendo 350 quilômetros em ferro fundido, apresentando em muitos casos corrosões e incrustações devido à agressividade da água. Os efeitos indesejados para os casos de corrosão são as fugas de água, aumentando o índice de perdas reais no sistema, além da possibilidade de contaminação das

para o caso de trechos em que não é possível executar a limpeza e revestimento a reabilitação se dá por meio da substituição por uma nova tubulação



redes por elementos estranhos originários do solo. No caso da formação de tubérculos, ou seja, das incrustações, a redução da seção da rede é significativa, comprometendo a capacidade de transporte da água e gerando um grande número de reclamações por falta de água, além de água suja.

A Sanepar conta com áreas específicas de suporte aos processos operacionais, responsáveis, entre outras atividades, pela busca e internalização de tecnologias ainda desconhecidas ou não aplicadas no âmbito da empresa.

Com o objetivo de avaliar a necessidade e a aplicabilidade dos serviços ofertados, um engenheiro da área de suporte esteve em diversas unidades da empresa com representantes de uma empresa executora dos serviços. Em conjunto com a Unidade de Distribuição de Curitiba, optou-se pela execução de projeto piloto com o objetivo de avaliar todo o processo, desde a garantia de abastecimento, a mínima interferência no tráfego e nas demais atividades da cidade, até os custos envolvidos.

O projeto piloto envolveu quase 1.500 metros de rede de ferro fundido cinzento localizada no centro da cidade. A obra teve duração de 13 dias sem nenhuma interrupção no abastecimento.

O projeto piloto, além de avaliar a tecnologia e os resultados obtidos, permitiu também dar amplo conhecimento aos técnicos da empresa envolvidos com o assunto, a partir da visitação ao canteiro de obras onde sempre havia técnicos disponíveis, para demonstração das atividades do processo de reabilitação.

Os resultados obtidos na área piloto foram plenamente satisfatórios, o que levou a Unidade de Distribuição de Curitiba (USDICT) a optar por esta tecnologia para reabilitação de aproximadamente 120 quilômetros de redes de ferro fundido nas regiões centrais da cidade, envolvendo áreas extremamente adensadas, espaços exclusivos para circulação de pedestres e veículos e o setor histórico da cidade. Estas regiões já apontavam para a necessidade de algum tipo de reabilitação há alguns anos. Porém, os transtornos que poderiam ser ocasionados por reabilitações convencionais, ou seja, substituição de redes sem aplicação de métodos não-destrutivos,

foram decisivos na postergação dos serviços, tendo sido adotadas soluções paliativas de forma a garantir o abastecimento.

O projeto foi dividido em dois lotes, sendo o primeiro de aproximadamente 54 quilômetros e o segundo de 70 quilômetros. Os resultados obtidos no piloto e nos dois lotes são apresentados na tabela 1 e sequenciais.

Antes do início dos serviços, os clientes das áreas que sofreram interferências foram comunicados por meio da entrega de folhetos explicativos, em que constam a data e informações sobre os serviços que seriam executados (figura 8).

os clientes foram comunicados por meio da entrega de folhetos explicativos, em que constavam a data e informações sobre os serviços que seriam executados

FIGURA 8 - FOLHETO EXPLICATIVO ENTREGUE AOS CLIENTES

Como utilizar a água racionalmente

- Um litro de 15 minutos esgota 100 litros de água. Produzido a tempo para 10 minutos, o consumo cai para 75 litros.
- Cada vez que você lava as mãos, com a torneira aberta o tempo todo, são gastos 7 litros de água.
- Para economizar os recursos é necessário reduzir um litro de água.
- A válvula de descarga é um grande vilão no consumo de água. Quando a água não sai, pode ser reaproveitada por 50% de que se trata em uma residência. Nunca jogar sabão, óleo ou lixo no vaso e não jogar bacia dentro do vaso de água para evitar mau cheiro dentro.
- Uma torneira que não funciona deve ser consertada imediatamente. Um vazamento de 2 ml de água, quantidade suficiente para inundar as instalações de uma casa, custa por 14 dias.
- Deixar a máquina aberta enquanto lava o carro, sem parar, de modo a não parar, custa 200 litros de água, o que equivale a 1,5 minutos de torneira aberta com o mesmo consumo de água para lavar um veículo.

A Sanepar vai melhorar a rede de água da sua rua.

Mais qualidade. Mais água na sua torneira.

No próximo dia _____ a Sanepar estará realizando a limpeza e a revestimento da rede de água da sua rua. Por isso, o deslocamento da sua casa ficará interrompido durante a execução desse serviço, programado para durar 24 horas. Caso ocorra alguma eventualidade, a Sanepar estará abastecendo seu imóvel de forma alternativa.

Este serviço é essencial para retirar o acúmulo de resíduos no interior da tubulação. A rede de água será limpa, limpa e revestida. Esse processo proporcionará maior durabilidade à rede, além de aumentar a pressão e garantir a qualidade da água distribuída.

Solicitamos aos moradores que, neste dia, não utilizem água para atividades de grande necessidade. Pedimos, ainda, que facilitem o acesso dos técnicos, devidamente identificados, até o relógio (hidrômetro) para que a limpeza da rede de água da sua imóvel seja feita.

A empresa contratada pela Sanepar e que estará realizando esse serviço é a Tejofran de Saraném.

Ligue 195 para mais informações

Avanço tecnológico

Os equipamentos utilizados no projeto piloto consistiam de um caminhão de revestimento com guincho manual, um guincho de 10 toneladas rebocado, um gerador e um compressor também rebocados (figura 9).

FIGURA 9 - EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NO PROJETO PILOTO



Para a execução da reabilitação nos lotes 01 e 02 foi utilizado caminhão combinado, composto por gerador, compressor, bombas de argamassa, sistema de aquecimento de ar, sistema de hidrojetamento e um turbo guincho para dez toneladas de tração e com autopropulsão, de forma a reduzir ainda mais os impactos causados à população (figura 10).

Resultados

Projeto Piloto

Na extensão total do projeto piloto, de aproximadamente 1.500 metros, houve apenas um ponto da rede com comprometimento da estrutura física do tubo, o que confirmou a expectativa de integridade física das redes de ferro fundido.

Após a conclusão dos serviços do projeto piloto, a Unidade de Distribuição de Curitiba levantou os custos finais da reabilitação, comparando-

FIGURA 10 - EQUIPAMENTO COMBINADO



os com a substituição por PVC e por ferro dúctil-FD para as mesmas condições, conforme tabela 1. Os custos envolvidos, na ocasião da execução do projeto piloto, foram inferiores aos pesquisados para outras regiões do País, e a avaliação da produtividade aliada à economia de escala permitiu ainda mais a redução dos custos para a execução dos serviços objeto do projeto – Lote 01.

Segundo CAPRIGLIONI (2002), “a reabilitação da rede de ferro fundido tem uma grande vantagem financeira numa comparação direta com sua substituição por material similar. No caso da troca por PVC, embora haja pequena desvantagem financeira, isto é compensado pela qualidade infinitamente melhor do ferro fundido. Embora cada trecho deva merecer uma análise de viabilidade técnica e financeira para reabilitação, por meio do projeto piloto pudemos observar que o método pode ser utilizado em larga escala e contribuir para que o imenso patrimônio subterrâneo e em bom estado seja aproveitado, com economia, respeito à população e ao meio ambiente.”

foi utilizado caminhão combinado composto por gerador, compressor, bombas de argamassa, sistema de aquecimento de ar, sistema de hidrojetamento e um turbo guincho para dez toneladas de tração e com autopropulsão

TABELA 1 - COMPARAÇÃO DE CUSTOS - 2002

Diâmetro Nominal DN (mm)	Substituição por PVC (R\$/m)	Substituição por FD (R\$/m)	Reabilitação (R\$/m)
75	37,15	71,95	49,43
100	41,49	83,21	53,61

Fonte: USDICT 2002.

Projeto - Lote 01

Ao longo de todo o trabalho foram avaliadas as condições mecânicas e hidráulicas das tubulações e observou-se que 84,41% apresentavam-se em boas condições mecânicas, porém com níveis altos de incrustações, comprometendo desta forma o fluxo normal de abastecimento. Os trechos que apresentavam incrustações passaram pelo processo completo de limpeza e revestimento.

As redes revestidas representaram 15% e sofreram somente o processo de limpeza com o objetivo de se assegurar que os trechos não estavam obstruídos por nenhum elemento estranho como pedras, pedaços de madeira e eventual incrustação.

Dos 54.154 metros rehabilitados, apenas 317 metros, ou seja, 0,59%, tiveram que ser substituídos por não apresentarem condições de recuperação por ter sua integridade física comprometida.

A extensão e o percentual representativo por diâmetro são apresentados na tabela 2 e figura 11.

observou-se que 84,41% apresentavam-se em boas condições mecânicas, porém com níveis altos de incrustações, comprometendo o fluxo normal de abastecimento

FIGURA 11 - PERCENTUAL DE COMPROMETIMENTO DAS TUBULAÇÕES POR DIÂMETRO

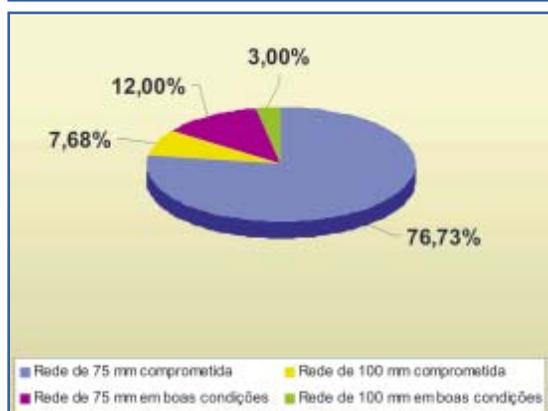


TABELA 2 - NÍVEL DE COMPROMETIMENTO DAS TUBULAÇÕES REABILITADAS- PROJETO - LOTE 01

Procedimentos	Diâm.nominal 75mm		Diâm.nominal 100mm	
	extensão	%	extensão	%
Limpeza/ revestimento	41.555	76,73	4.157	7,68
Limpeza	6.503	12,01	1.622	3,00
Substituição	317	0,59		

Fonte: GMCT- 2004

A média de vazamentos causados por furos e trincas antigos, provocados por corrosão e protegidos pelas incrustações antes da limpeza, ramais com vazamentos e ferrules abandonados (figura 12), encontrados no período de junho a dezembro de 2003, foi de 3,45vaz./km, enquanto a média de 2002 para o sistema de Curitiba foi de 0,92vaz/km USDICT (2002).

FIGURA 12 - REPRESENTATIVIDADE DOS TIPOS DE VAZAMENTOS ENCONTRADOS



Os custos de contratação objeto do projeto – Lote 01 são apresentados na tabela 3.

TABELA 3 - CUSTOS PROJETO - LOTE 01 E RESPECTIVA REDUÇÃO EM RELAÇÃO AO PROJETO PILOTO - 2002

Diâmetro Nominal DN (mm)	Reabilitação (R\$/m)	Redução de Custo (%)
75	42,25	14,52
100	47,37	11,64

Fonte: USAC - 2002

A tabela 4 demonstra a recuperação de pressão em alguns setores de manobra, bem como a extensão reabilitada. A extensão total da tabela 3 representa 50% da extensão total reabilitada.

TABELA 4 - RECUPERAÇÃO DE PRESSÃO (P)

Setor de Manobra	Extensão Reabilitada (m)	P _{máxima} antes reabilitação (mca)	P depois reabilitação (mca)	
			Mínima	Máxima
0004200512	999	5	15	20
0003000218	951	15	15	30
0004000307	828	5	15	20
0004200421	2880	5	20	30
0009100111	2454	8	20	25
0004200403	2200	5	20	30
0004000111	1335	4	15	20
0006100501	1069	5	15	35
0006100502	764	5	15	35
0007000105	769	5	15	25
0004000134	465	5	20	35
0005000204	1615	5	25	30
0004000105	708	10	25	28
0004000112	220	12	20	25
0004000135	164	12	20	25
0006100328	2939	5	15	40
0003000104	636	4	20	25
0004100212	1290	5	5	35
0003000132	840	4	20	25
0003000134	481	4	20	25
0004000210	2793	10	15	25
0004000309	865	5	20	35

Fonte: Sanepar 2003

Projeto - Lote 02

A comprovação da eficiência do método para reabilitação de redes, notadamente no que se refere à recuperação das pressões, foi definitiva na decisão de se reabilitar através do mesmo procedimento mais um lote, agora de 70 km, objeto de concorrência internacional e com recursos financiados pela Caixa Econômica Federal – FGTS. De 15.000m reabilitados até a conclusão deste artigo 76% passaram pelo processo de limpeza e revestimento e 24% apenas pelo processo de limpeza. Nesta extensão não foi necessária a substituição de tubulações, uma vez que todo o trecho encontrava-se com a sua integridade fisi-

ca preservada. A extensão e o percentual representativo por diâmetro são apresentados na tabela 5.

Apesar da extensão apresentada na tabela 5 representar apenas 20% de toda a prevista já é possível notar um aumento na extensão das tubulações que sofrerão apenas o processo de limpeza. Este aumento é natural, uma vez que os serviços iniciais foram destinados a regiões mais críticas e em setores mais antigos da cidade. Na seqüência dos serviços é compreensível que, ao longo dos trechos em processo de reabilitação, sejam encontradas tubulações de ferro já revestidas por se tratarem de redes executadas a partir da década de 70, já fabricadas com

no Lote 01, dos 54.154 metros reabilitados, apenas 317 metros, ou seja, 0,59%, tiveram que ser substituídos



revestimento interno protetor.

Embora, para o Lote 02 do projeto, os preços da reabilitação tenham sido elevados em relação aos do lote 01, estes valores são inferiores à média da variação, no mesmo período, da mão-de-obra da construção civil e dos combustíveis, itens relevantes na composição dos custos de reabilitação (tabela 6).

Os materiais alternativos mais comuns para implantação e reabilitação de redes de abastecimento de água, bem como suas vantagens e desvantagens são apresentados na tabela 7.

O resultado final do revestimento, em comparação com a rede de ferro fundido cinzento incrustada, é demonstrado na figura 13.

FIGURA 13 - RESULTADO FINAL - TUBULAÇÃO REVESTIDA X TUBULAÇÃO INCRUSTADA



a reabilitação de redes de ferro fundido por meio de Método Não Destrutivo é ferramenta absolutamente viável em sistemas de grande porte

Conclusões e recomendações

O objetivo central da reabilitação de redes de distribuição de água é promover a melhoria das condições hidráulicas, a recuperação da capacidade de transporte e da confiabilidade da rede e a eliminação de água vermelha, porém há que se registrar outras vantagens oriundas deste serviço, como o conhecimento da rede e a conseqüente atualização cadastral, a identificação de vazamentos e a readequação de setores de manobra.

A reabilitação de redes de ferro fundido por meio de Método Não Destrutivo para diâmetros a partir de 75mm é ferramenta absolutamente viável em sistemas de grande porte, com redes de ferro íntegras física e mecanicamente. Os resultados obtidos pela Sanepar comprovam objetivamente a eficiência do método e a excelente relação custo x benefício, porém não se pode deixar de levar em consideração outros aspectos relevantes como o mínimo distúrbio para os clientes de um modo geral, que na maioria dos casos não percebem a realização da obra, bem como a satisfação dos comerciantes que não têm suas atividades prejudicadas pela execução de valas com rompimento de pavimentos e grandes interferências tanto na circulação de pedestres como de veículos.

Os custos da reabilitação por meio de Método Não Destrutivo são inferiores aos custos de substituição de rede existente por uma

TABELA 5 - NÍVEL DE COMPROMETIMENTO DAS TUBULAÇÕES REABILITADAS - LOTE 02

Procedimentos	Diâm.nominal 75mm		Diâm.nominal 100mm	
	extensão	%	extensão	%
Limpeza/ revestimento	10.718	71,45	651	4,34
Limpeza	2.263	15,08	1.375	9,17

Fonte: URCTLeste-2004

TABELA 6 - ELEVÇÃO DOS CUSTOS DA REABILITAÇÃO E INFLAÇÃO NO PERÍODO NOV/ 02 A AGO/04

Diâmetro Nominal DN (mm)	Lote 02 R\$/m	Lote 02 - % elevação em relação ao Lote 01	Inflação no período %
75	47,83	13,2	17
100	50,40	6,4	17

Fonte: USAQ 2004

TABELA 7 –MATERIAIS PARA REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA - VANTAGENS E DESVANTAGENS

ITEM	Ferro Fundido Reabilitado		Ferro Fundido Novo	
	Diam. Nominal	75	100	80 (equivale 75)
Equivalência de custos*	1,56	1,74	3,70	4,00
Vida Útil	50 anos		100 anos	
Normas	NBR6916, NBR7560, NBR7661/EB43, NBR7663/EB303, NBR8682		NBR6916, NBR7661/EB43, NBR7663/EB303, NBR8682	
Vantagens	Durabilidade; poucas ações de manutenção; ampla linha de conexões; custo implantação; não necessita valas; retirada e reposição de pavimento em no máximo 3 pontos da quadra; recuperação da capacidade hidráulica da rede antiga comparada a uma rede nova de FºFº; facilidade de localização com equipamentos específicos; baixos transtornos à população.		Durabilidade; poucas ações de manutenção; ampla linha de conexões; resistência a rompimentos; facilidade de localização com equipamentos específicos.	
Desvantagens	Pode necessitar de proteção catódica.		Custo implantação; abertura de valas; retirada e reposição de pavimentos em todo o trecho; pode necessitar proteção catódica; transtornos no tráfego e vias de acesso; peso.	

ITEM	PVC		PEAD	
	Diam. Nominal	75	100	75
Equivalência de custos*	1	1,26	1,44**	1,63**
Vida Útil	50 anos		50 anos	
Normas	NBR 5647, NBR 7665, ISO TR 9080		ISO 4427	
Vantagens	Custo de implantação; material conhecido na empresa; leve; baixa rugosidade; ampla linha de conexões; intercambiável com conexões de ferro.		Baixos índices de manutenção; custo implantação; possibilidade reabilitação não-destrutiva (relining e pipe bursting); baixo índice de vazamentos; material utilizado p/distribuição de gás (estanqueidade); possibilidade de instalação sem abertura de valas (furo dirigido); simplicidade execução de valas (alinhamento); leve; baixa rugosidade (s/ incrustações); bobinas de 100m até DN 100; permite curvatura sem utilização de conexões (reduzido núm.conexões); intercambiável com conexões de ferro.	
Desvantagens	Maiores ações de manutenção em relação ao Ferro e ao PEAD; transtornos no tráfego e vias de acesso; dificuldade de localização com equipamentos específicos; retirada e reposição de pavimentos em todo trecho.		Material pouco aplicado na Sanepar; mão-de-obra especializada; transtornos no tráfego e vias de acesso; dificuldade de localização com equipamentos específicos; retirada e reposição de pavimentos em todo o trecho.	

os custos da reabilitação por meio de Método Não Destrutivo são inferiores aos custos de substituição de rede

*Considerando que os custos podem variar ao longo do tempo os mesmos são apresentados de forma relativa. O coeficiente 1,00 corresponde em 2004 a R\$ 27,4. **Custos sem inclusão das conexões a cada 100m
Gecip–/Margareth/Raimunda -26/01/2004

nova rede de ferro dúctil, solução raramente adotada. Ainda que os custos desta reabilitação sejam superiores à substituição por redes de PVC a recomendação é que seja feita a reabilitação por meio de limpeza e revestimento onde há redes de ferro fisicamente íntegras, dos dois lados da rua.

Embora a indicação inequívoca de reabilitação por meio do Método não Destrutivo descrito neste artigo seja para grandes centros urbanos, a tecnologia não pode ser desprezada para cidades de menor porte, desde que as redes tenham diâmetro igual ou superior a 75mm.

Referências

ALEGRE, H. Diagnóstico de sistemas de abastecimento de água. In: ENCONTRO NACIONAL DE SANEAMENTO, 7., 1996, Coimbra, Pt. **Anais...** Coimbra, Pt, 1996.

BARBOSA, D. M. **Reabilitação de redes de ferro fundido**: especificação básica 01/2000. São Paulo: Tejofran, 2000.

_____. **Reabilitação de redes de ferro fundido em Curitiba**: projeto piloto São Paulo: Tejofran, 2002.

BRITO, S. R. de. **Saneamento de Curitiba**. Departamento de Água e Esgoto, 1934.

CAPRIGLIONI, M. S. S. **Justificativa/Viabilidade**: PL 004/02. Curitiba: Sanepar/ USDICT, 2002.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **NTS 030**: revestimento interno com argamassa acrílica, para tubulações de aço, ferro fundido e ferro dúctil de pequenos diâmetros, destinados à condução de água. São Paulo, 1997

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ. Unidade de Serviço de Distribuição de Curitiba. **Especificação técnica reabilitação de redes**. 2002.

MAYS, W. M. **Water distribution systems**

handbook. Arizona: McGraw-Hill, 1999.

NAYYAR, M. L. **Piping handbook**. USA: McGraw-Hill, 1992.

SCHUSTER, Z. L. L. **Água & esgoto**: história e estórias paranaenses. Curitiba: Sanepar, 1997.

Agradecimentos

À engenheira Marisa Sueli S. Capriglioni da Sanepar, coordenadora do projeto; aos engenheiros Diniz de Medeiros Barbosa, Rose Margareth E. Jablinski e Cláudio Jablinski da empresa Tejofran; ao engenheiro Carlos J. S. C. Nery da empresa Saint Gobain, pelas informações que subsidiaram a elaboração deste artigo.

a tecnologia também pode ser usada em cidades de menor porte, desde que a rede tenha diâmetro igual ou superior a 75 mm



Autora

Margareth dos Santos Burger, engenheira civil, especialista em hidrologia pela Universidade de Pádua - Itália.

Na Sanepar, atuou nas áreas de desenvolvimento operacional e controle de perdas e atualmente integra a Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento (APD).

Sobrevivência de coliformes totais e *Escherichia coli*, isolamento e identificação de fungos em amostras de água “in natura”



Mônica Paul Freitas
 Ida Chapaval Pimentel
 Carlos Roberto Dalke
 Rodrigo Makowiecky Stuart

Survival of total coliform bacilli and *Escherichia coli*, isolation and identification of fungi in “in natura” water samples

Resumo

Neste trabalho pesquisou-se a incidência e o tempo de sobrevivência de coliformes totais e *E.coli* bem como procedeu-se o isolamento e identificação de fungos em amostras de água “in natura”. As amostras foram coletadas antes de a água chegar à estação de tratamento, no Rio Iguaçu e nas barragens dos rios Iraí e Passaúna, que abastecem Curitiba-PR e região metropolitana. As análises dos fungos foram realizadas com três amostragens de cada rio. A partir dos resultados deste trabalho observou-se que os coliformes totais tiveram seu maior tempo de sobrevivência no Rio Iguaçu onde permaneceram viáveis por sete semanas. Os coliformes fecais apresentaram tempo de sobrevivência menor, sendo detectados até a quinta semana no Rio Iguaçu e na barragem do rio Iraí. Dezesesseis gêneros de fungos filamentosos foram identificados nas amostras; *Acremonium* sp., *Aspergillus* sp.; *Bipolaris* sp., *Cylindrocladium* sp., *Epicoccum* sp., *Fonsecaea* sp., *Fusarium* sp., *Mucor* sp., *Penicillium* sp., *Phoma* sp., *Rhizoctonia* sp., *Scopulariopsis* sp., *Trichoderma* sp., outros fungos dematiáceos e *Mycelia sterilia* I e II. Os fungos encontrados nas amostras são todos saprófitas do solo o que, com os resultados das análises bacteriológicas, confirma a condição de poluição destes rios.

Palavras chaves: Água de rio, coliformes totais; *Escherichia coli*; fungos.

Abstract

Research on the incidence and survival time of total coliform bacilli and *E. coli*, and on isolation and identification of fungi in “in natura” water samples. Before the treatment plant’s water intakes, samples were collected at the Iguaçu River and at the Iraí and Passaúna dams, which supply Curitiba and its Metropolitan Area, in the state of Paraná. The analyses of the fungi were made in three samples collected from each river. From the results, it was observed that the total coliform bacilli had their longest survival time at the Iguaçu River, where they remained viable for seven weeks. Fecal coliform bacilli showed a shorter survival time, being detected up to the fifth week at the Iguaçu River and at the Iraí River dam. Sixteen filamentous fungi genres were identified in the samples: *Acremonium* sp., *Aspergillus* sp., *Bipolaris* sp., *Cylindrocladium* sp., *Epicoccum* sp., *Fonsecaea* sp., *Fusarium* sp., *Mucor* sp., *Penicillium* sp., *Phoma* sp., *Rhizoctonia* sp., *Scopulariopsis* sp., *Trichoderma* sp., other dematiaceous fungi and *Mycelia sterilia* I and II. The fungi that were found are all soil saprophytes, which, together with the results of the bacteriological analyses, confirm the pollution condition of these rivers.

os coliformes fecais apresentaram tempo de sobrevivência menor, sendo detectados até a quinta semana no Rio Iguaçu e na barragem do rio Iraí



Keywords: River water, total coliform bacilli, *Escherichia coli*, fungi.

Introdução

A água é um recurso natural que vem sendo contaminado em decorrência do desenvolvimento industrial, do crescimento demográfico e da ocupação do solo de forma intensa e acelerada. Isto vem provocando o comprometimento dos recursos hídricos para o consumo humano, recreação e múltiplas atividades, aumentando consideravelmente o risco de transmissão de doenças de origem hídrica.

Segundo GORDON (2001), a contaminação fecal da água é considerada um risco à saúde humana, e há uma preocupação quanto ao nível de bactérias do grupo coliforme em fontes naturais. A origem destes coliformes pode ser proveniente da contaminação fecal humana, de animais domésticos e selvagens, como também de sistemas sépticos inadequados, ou transbordamentos de esgotos. Estas bactérias podem representar risco à saúde ou ainda indicar a presença de outros microorganismos patogênicos como, por exemplo, o vírus da hepatite A.

Testes de rotina simples da qualidade bacteriológica da água de consumo são feitos para detectar a presença de bactérias do grupo coliforme, que atuam como indicadores de poluição fecal, e evidenciam a possibilidade da presença de microorganismos patogênicos. Gosto e odor anormal na água potável são associados à presença de microorganismos procarióticos como bactérias, actinomicetos e cianobactérias, porém fungos podem estar envolvidos (STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 1995).

Os fungos podem ser encontrados em diferentes habitats aquáticos, como rios, lagos, estuários, águas residuais, etc. A correlação entre a densidade dos fungos e o acúmulo de matéria orgânica, sugere que os fungos podem ser usados como indicadores de poluição. Infelizmente, nenhuma espécie ou grupo em especial tem sido identificado como importante neste sentido (STANDARD METHODS FOR THE

EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 1995).

A ocorrência e distribuição da maioria dos fungos são afetadas pela presença de poluição orgânica na água. Em água corrente não poluída existe um grande número de espécies representantes dos chamados autênticos fungos aquáticos (espécies com zoósporos flagelados), Hyphomycetes aquáticos e fungos de solo (incluindo fungos leveduriformes). Águas moderadamente poluídas contêm esporos ou células dos três grupos acima citados, porém possuem um número relativamente maior de fungos de solo em relação aos dois outros grupos. E em águas muito poluídas predominam os fungos de solo, incluindo também as leveduras (STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 1995).

Este trabalho teve como objetivo determinar o tempo de sobrevivência de coliformes totais e *E. coli*, bem como isolar e identificar os fungos presentes nas amostras de águas do Rio Iguaçu e das barragens dos rios Iraí e Passaúna.

Materiais e Métodos

Coleta das amostras

As amostras de água foram coletadas em frascos de cinco litros na barragem dos rios Iraí e Passaúna e no Rio Iguaçu, que abastecem a cidade de Curitiba-PR e Região Metropolitana. Essa coleta foi realizada antes de a água entrar na estação de tratamento, sendo chamada de análise bruta da água.

Metodologia

O trabalho foi dividido em duas etapas paralelas, em uma delas foram realizadas as análises bacteriológicas e na outra o foco de estudo foi o isolamento e identificação de fungos presentes nas mesmas amostras.

As análises bacteriológicas foram realizadas utilizando a técnica da membrana filtrante segundo o STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER (1995), no laboratório da SANEPAR, Curitiba – PR.

determinar o tempo de sobrevivência de coliformes totais e *E. coli*, isolar e identificar os fungos presentes do Rio Iguaçu e rios Iraí e Passaúna

As análises dos fungos foram realizadas com três amostragens de cada rio, sendo a primeira no dia 3 de outubro de 2003, a segunda no dia 30 de outubro de 2003 e a terceira no dia 28 de novembro de 2003.

Para a detecção e quantificação dos fungos foi usada a técnica de *Pour Plate*, utilizando o meio batata dextrose ágar (BDA) pH 6,8 adicionado do antibiótico estreptomina (100 mg / L). Em cada placa foram colocados 1 mL da amostra e 10 mL de meio BDA, sendo estes homogeneizados através de movimentos de rotação.

Após a solidificação do meio, estas placas foram incubadas a uma temperatura entre 20°C e 24°C, recebendo iluminação indireta (STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 1995). A leitura foi realizada mediante a contagem do número de colônias formadas após cinco e sete dias.

Foi realizada a purificação dos fungos isolados para a obtenção de colônias monospóricas, colocando uma porção do micélio das colônias em tubos de ensaio contendo 2,0 mL de solução de "TWEEN 80" 0,01%v/v esterilizado e submetidos à agitação por dois minutos com o auxílio de um agitador. Após a agitação, com o auxílio de uma micropipeta, foram retirados 30 mL da suspensão de esporos, semeados em placas de Petri contendo meio BDA e incubados a 28°C por três a sete dias dependendo da taxa de germinação dos esporos.

Após o crescimento das colônias, a identificação dos isolados foi realizada mediante a observação macroscópicas de suas colônias e microscópicas de suas estruturas de reprodução (sexual e assexual), onde foi utilizada a técnica de microcultivo (KERN e BLEVINS, 1999) e literatura especializada (ELLIS, 1971, 1976; BARNETT e HUNTER, 1972; AINSWORTH, SPARROW e SUSSMAN, 1987; ARX, 1974; KONEMAN e ROBERTS, 1987; LARONE, 1987).

Resultados e discussão

Pela técnica da membrana filtrante foi possível observar a presença de coliformes totais

até a sétima semana no Rio Iguaçu, até a quinta semana na barragem do Rio Iraí e, na barragem do Rio Passaúna, estes foram detectados apenas nas duas primeiras semanas.

Os coliformes fecais foram detectados até a quinta semana no Rio Iguaçu e na barragem do Rio Iraí, e até a segunda semana na barragem do Rio Passaúna.

As amostras de água do Rio Iguaçu apresentaram uma maior contaminação por coliformes quando comparadas com as amostras dos demais rios. Uma possível explicação é o fato de que o Rio Iguaçu é mais "rico" em matéria orgânica e com isso há uma maior disponibilidade de recursos para as bactérias.

As amostras da barragem do Rio Passaúna apresentaram menor número e tempo de sobrevivência de coliformes, sendo estes observados somente até a segunda semana.

Fatores que comumente limitam a sobrevivência de bactérias na água incluem o baixo nível de nutrientes disponíveis, a falta de oxigênio (para as aeróbicas) como também as atividades competitivas, antagônicas e predatórias da população microbiana indígena (BANNING, et al. 2003).

Com relação à pesquisa de fungos, foi possível identificar 16 (dezesseis) gêneros de fungos nas amostras de água analisadas (Tabela 1), dentre os quais estão *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp., *Scopulariopsis* sp., *Trichoderma* sp., *Cylindrocladium* sp., *Phoma* sp., *Mucor* sp., *Rhizoctonia* sp., *Fonsecaea* sp., *Fusarium* sp., *Acremonium* sp., *Bipolaris* sp., *Epicoccum* sp., *Mycelia sterilia* I, *Mycelia sterilia* II, e um fungo dematiáceo não identificado. No Rio Iguaçu foi detectada a presença de 8 (oito) desses gêneros, no Iraí 9 (nove), e no Passaúna 5 (cinco).

Na amostra da barragem do Rio Iraí foram isoladas 152 colônias pertencentes a nove gêneros (tabela 1). Na amostra do Rio Iguaçu foram identificados oito gêneros, porém o número de colônias isoladas foi maior que nas demais amostras, 258 colônias (tabela 1). Na barragem do Rio Passaúna foi encontrado um menor número de gêneros e colônias isoladas, tendo sido identificadas trinta e três colônias pertencentes a cinco gêneros (tabela 1).

as amostras da barragem do Rio Passaúna apresentaram menor número e tempo de sobrevivência de coliformes



TABELA 1 – NÚMERO DE COLÔNIAS DE FUNGOS ISOLADAS DAS TRÊS AMOSTRAS DE ÁGUA DO RIO IGUAÇU E DAS BARRAGENS DOS RIOS IRAÍ E PASSAÚNA

Gêneros	Rio Iguaçu			Rio Iraí			Rio Passaúna		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<i>Aspergillus niger</i>	54			4			31		
<i>Acremonium</i> sp.					64	19			
<i>Bipolaris</i> sp.				7					
<i>Cylindrocladium</i> sp.	1			8					
Dematiáceo				1					
<i>Epicoccum</i> sp.									1
<i>Fonsecaea</i> sp.				1					
<i>Fusarium</i> sp.				2					
<i>Mucor</i> sp.	1								
<i>Mycelia sterilia</i> I		13							
<i>Mycelia sterilia</i> II									2
<i>Penicillium</i> sp.	20	55	68	1					
<i>Phoma</i> sp.		6	13						
<i>Rhizoctonia</i> sp.				8		42			
<i>Scopulariopsis</i> sp.	8						1		
<i>Trichoderma</i> sp.	5	6	11				1		
TOTAL	89	80	92	32	64	61	33	0	3

em águas tratadas, o processo de tratamento é insuficiente para eliminar estes microorganismos

Segundo STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER (1995), os autênticos fungos aquáticos, formadores de zoósporos, não são adaptados a águas poluídas. Nesta situação são mais comuns os fungos originários do solo, incluindo as leveduras, dados que concordam com os resultados encontrados no presente trabalho, em que a grande maioria dos gêneros identificados é saprófita de solo, o que confirma o estado de poluição dos rios em questão.

A população de fungos em água é composta principalmente de *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Cladosporium*, *Epicoccum* e *Mucor* (KHALLIL, 1992), coincidindo com alguns gêneros encontrados neste trabalho.

HIREMATH et al. citado por KHALLIL (1992) demonstrou que *A. flavus*, *A. niger*, e *Penicillium oxalicum* aparecem constantemente em percentuais altos em águas residuais e

lagoas. As fontes mais prováveis destes fungos terrestres são os animais ou plantas e partículas de solo.

Confirmando os resultados obtidos no presente trabalho, WARRIS (2001), observou que águas não tratadas podem conter uma quantidade elevada de fungos filamentosos. Além disso, em águas tratadas, o processo de tratamento é insuficiente para eliminar estes microorganismos, pois a cloração nem sempre tem efeito nos conídios dos fungos.

Para ARVANITIDOU et al. (2000), existe uma predominância de fungos dematiáceos isolados de água potável, mais especificamente *Cladosporium*, *Phoma*, *Alternaria*, e *Aspergillus fumigatus*. Segundo o mesmo autor, fungos filamentosos possuem distribuição ampla, e são encontrados onde houver matéria orgânica, sendo na maioria das vezes parasitas e apesar da larga ocorrência destes organismos, não se tem dado muita importância à sua pre-

sença e significado nos meios aquáticos.

Alguns gêneros encontrados neste trabalho como *Aspergillus* sp. e *Fusarium* sp. foram citados por BRANCO (1986), como gêneros que freqüentemente, mas não obrigatoriamente crescem em ambientes com poluição orgânica e os gêneros *Acremonium* sp. e *Trichoderma* sp., entre outros, como gêneros que toleram a poluição orgânica, mas que normalmente não vivem nestes ambientes.

Em ARVANITIDOU et al. (2000), foi confirmada correlação significativa entre o total de fungos e a maioria das bactérias indicadoras de poluição, dados que concordam com o SEIDLER et al. citado por ARVANITIDOU et al. (2000) que observou que algumas bactérias podem crescer no micélio do fungo protegendo-se dos desinfetantes e obtendo nutrientes.

Confirmando ARVANITIDOU et al. (2000), neste trabalho, foi identificado um total de 16 gêneros, dos quais oito foram observados no Rio Iguaçu, nove na barragem do Rio Iraí e cinco na barragem do Rio Passaúna. Ou seja, nas águas do Rio Iguaçu e na barragem do Rio Iraí, onde a presença de bactérias indicadoras de poluição se mostraram maiores em relação à barragem do Rio Passaúna, foi observado um maior número de gêneros de fungos.

Essa diferença na riqueza de gêneros também pôde ser observada quando comparamos as três amostras de cada rio. Nos três rios houve maior número de gêneros na primeira amostra (seis na amostra do Rio Iguaçu, oito na amostra do Rio Iraí e três na amostra do Rio Passaúna) a qual foi realizada na mesma semana onde também foram observados os maiores valores de NMP (n.º mais provável) de coliformes totais e fecais.

BRANCO (1986) cita que alguns fungos podem testemunhar a presença de material fecal na água, uma vez que, durante uma fase de sua vida, pelo menos, viveram obrigatoriamente no ambiente intestinal de animais herbívoros como é o caso do gênero *Mucor* sp., encontrado em uma amostra do Rio Iguaçu.

A análise de rios e de redes de tratamento de água revela que não é comum encontrar fungos patogênicos ao homem e aos

demais vertebrados mesmo em águas poluídas, porém esta hipótese não pode ser totalmente descartada (STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 1995).

ARVANITIDOU et al., (2000) observou que os fungos são habitantes naturais do solo e da água e que algumas espécies podem se tornar patogênicas ou oportunistas ao homem. Fungos patogênicos são agentes de uma variedade de infecções, e parte destas são mais freqüentemente observadas em pacientes imunocomprometidos, como é o caso dos gêneros *Fonsecaea* sp. isolado na amostra de água da barragem do Rio Iraí e o gênero *Aspergillus* sp., isolado nas amostras dos três rios, que podem ser considerados patogênicos ao homem.

Conclusão

A partir dos resultados obtidos concluiu-se que os coliformes totais tiveram seu maior tempo de sobrevivência no Rio Iguaçu onde permaneceram viáveis por sete semanas. Os coliformes fecais apresentaram um tempo de sobrevivência relativamente menor, sendo detectados até a quinta semana nas amostras dos rios Iguaçu e Iraí.

Com relação aos fungos, a maioria dos gêneros encontrados neste trabalho é comum no solo, sendo identificados nas três amostras um total de dezesseis gêneros. Os resultados encontrados na pesquisa dos fungos concordam com os encontrados na pesquisa de coliformes, sendo possível identificar um maior número de gêneros de fungos de solo em amostras onde a análise bacteriológica revelou haver um maior número de coliformes totais e fecais.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA: **Portarias**. Disponível em: < http://www.anvisa.gov.br/portarias/518_00.html > Acesso em: 30 maio 2004.

AINSWORTH, C. C.; SPARROW, F. K.; SUSSUMAN, A. S. **The fungi**. New York: Academic Press, 1973. v.4a.

**bactérias
podem crescer
no micélio
do fungo
protegendo-se
dos
desinfetantes e
obtendo
nutrientes**



Rio Iguaçu e Rio Iraí, onde a presença de bactérias indicadoras de poluição se mostraram maiores em relação à barragem do Rio Passaúna, foi observado um maior número de gêneros de fungos

ARVANITIDOU, M. et al. A. Occurrence and densities of fungi from northern Greek coastal bathing waters and their relation with faecal pollution indicators. **Water Research**. v. 36, p. 5127-5131, 2002.

ARVANITIDOU, M. et al. High level of recovery of fungi from water and dialysate in hemodialysis units. **Journal of Hospital Infection**. v. 45, p. 225-230, 2000.

BANNING, N.; TOZE, S.; MEE, B. J. Persistence of biofilm-associated *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa* in groundwater and treated effluent in a laboratory model system. **Microbiology**. v. 149, p. 47-55, 2003.

BARNETT, H. C.; HUNTER, B. B. **Illustrated genera of imperfect fungi**. 3rd. ed. Mineapolis: Burgess Publications, 1972.

BRANCO, S. M. **Hidrobiologia aplicada a engenharia sanitária**. 3. ed. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1986.

CRUZ, L. C. H. **Micologia veterinária**. Itaguaí: UFRJ-Imprensa Universitária, 1981.

ELLIS, M. B. **More dematiaceous hyphomycetes**. Surrey, Common Health Mycological Institut, 1976.

FUJIKAWA H.; KAI, A.; MOROZUMI S. A new logistic model for *Escherichia coli* growth at constant and dynamic temperatures. **Food Microbiology**. v. 21, p. 501-509, 2004.

GORDON, D. M. Geographical structure and host specificity in bacteria and the implications for tracing the source of coliform contamination. **Microbiology**. v. 147, p. 1079-1085, 2001.

GRANT, W. D.; LONG, P. E. **Micobiologia ambiental**. Zaragoza, Espanha: Acribia, 1989.

HARRISON, S. J.; MOSS, S. T.; JONES, E. B. G. Fungal adhesion in aquatic hyphomycetes. **International Biodeterioration**. v. 24, p. 271-

276, 1988.

HENDRY, G. S.; JANHURST, S.; D.; HORSNELL, G. Technical note some effect of pulp and paper wastewater on microbiological water quality of a river. **Water Research**. v. 16, p. 1291-1295, 1982.

KERN, M. E.; BLEVINS, K. S. **Micologia médica**. 2. ed. São Paulo: Premier, 1999.

KHALLIL, A. M.; ABDEL-SATER, A. M. Fungi from water, soil and air polluted by the industrial effluents of manquabad superphosphate factory: Assiut, Egypt. **International Biodeterioration & Biodegradation**. v. 30, p. 363-386, 1992.

KONEMAN, E. W.; ROBERTS, G. D. **Micologia prática de laboratório**. Buenos Aires: Médica Panamericana, 1987.

LARONE, D. H. **Medically important fungi: a guide to identification**. New York: Elsevier, 1987.

LENNETTE, B. H. T. **Micobiologia clínica**. 3. ed. Buenos Aires: Médica Panamericana, 1982.

PELCZAR, M. J. Jr. **Micobiologia: conceitos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Makrom Books, 1996. v. 2.

ROITMAM, I. **Tratado de microbiologia**. São Paulo: Manole, 1987. v. 1.

SAVAGEAU, M. A. *Escherichia coli* habitats, cell types, and molecular mechanisms of gene control. **Am Nat**, v. 122, p. 732-744, 1983.

STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. **Microbiological Examination**: part 9000. 19th. ed. Washington, 1995.

SUBERKROPP, K. et al. Effect of sewage treatment plant effluents on the distribution of

aquatic hyphomycetes in the River Erms, Schw. Bische Alb, F. R. G. **Aquatic Botany**. v. 32, p. 141-153, 1988.

TAN, T. K.; LIM, G. A comparison of fungi from polluted water. **Environmental Pollution**. v. 35, p. 57-65, 1984.

TORTORA, G. J. **Microbiologia**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2000.

TRABULSI, L. R. **Microbiologia**. 3. ed. São Paulo: Atheneu, 1999.

VON ARX, J. A. **The genera of fungi sporulation in pure culture**. 2. ed. Vaduz: J. Cramer, 1974.

WARRIS, A. et al. Recovery of filamentous fungi from water in a pediatric bone marrow transplantation unit. **Journal of Hospital Infection**. v. 47, p. 143-148, 2001.

Agradecimentos

À Sanepar e ao CTInfra 3 da UFPR, pelo apoio ao projeto.

Autores

Mônica Paul Freitas,
acadêmica do curso de Ciências Biológicas
da UFPR.

Ida Chapaval Pimentel,
agrônoma, mestre em Microbiologia Agrícola e
doutora em Processos Biotecnológicos,
professora adjunta do Departamento de
Patologia Básica da UFPR.

Carlos Roberto Dalke,
graduado em Economia e em Ciências
Contábeis, professor especialista de Análises
Microbiológicas do Centro Tecnológico Senai,
professor de Microbiologia Aplicada ao Meio
Ambiente no curso de pós-graduação da
Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Rodrigo Makowiecky Stuart,
biólogo, mestrando em Microbiologia
Agrícola na Escola de Agricultura
Luiz de Queiroz – USP.

*fungos são
habitantes
naturais do solo
e da água e que
algumas
espécies podem
se tornar
patogênicas ou
oportunistas ao
homem*



A ictiofauna do alto curso do Rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba, Paraná: perspectivas para sua conservação



Vinícius Abilhoa
Cláudia Regina Boscardin

The ichthyofauna of the Iguaçu river's high stream in the Metropolitan Area of Curitiba, state of Paraná: Perspectives for its preservation

Resumo

A distribuição desigual da pressão exercida pela expansão urbana e por diversas ações antropogênicas, desfigurou em grande parte os aspectos originais da paisagem da Região Metropolitana de Curitiba, onde se localizam as cabeceiras da bacia hidrográfica do Rio Iguaçu. Essas alterações causaram desequilíbrio na dinâmica dos corpos d'água da bacia, resultando no empobrecimento de sua fauna aquática. Estes fenômenos, associados à atual configuração e administração das unidades de conservação locais, as quais ainda não garantem uma efetiva proteção da ictiofauna, correspondem ao grande desafio de desenvolvimento sustentável regional. Para lidar adequadamente com esses problemas, a gestão dos recursos hídricos deve estar associada aos planos diretores locais, definindo diretrizes de uso e ocupação do solo regional e buscando políticas de habitação, levando-se em consideração as restrições impostas pelo suporte natural, como o caráter endêmico da ictiofauna do alto curso do Rio Iguaçu.

Palavras-chave: conservação; ictiofauna; degradação ambiental; gestão de recursos hídricos.

Abstract

The uneven distribution of the pressure caused by urban expansion and by several anthropogenic

actions in great part disfigured the original aspects of the natural landscape in the Metropolitan Area of Curitiba, where the headwaters of the Iguaçu River's hydrographic basin are located. These changes caused unbalanced effects in the basin's water dynamics, which resulted in the impoverishment of the aquatic fauna. These phenomena, associated to the present configuration and management of the local preservation units, which still do not assure an effective protection of the ichthyofauna, are related to the great challenge of a regional sustainable development. In order to properly deal with these problems, the management of hydric resources should be associated with local urban plans, defining guidelines for regional soil use and occupation, and searching for habitation policies, also considering the restrictions imposed by the natural environment, such as the endemic character of the Iguaçu River's high stream's ichthyofauna.

Keys words: preservation, ichthyofauna, environmental degradation, water management.

Introdução

O crescimento rápido da população urbana e da industrialização está submetendo os recursos hídricos e a capacidade de proteção ambiental de muitas cidades a graves pressões. Essa situação leva à poluição pela descarga de

alterações causaram desequilíbrio na dinâmica dos corpos d'água da bacia, resultando no empobrecimento de sua fauna aquática

resíduos municipais e industriais, combinada com a exploração excessiva dos recursos hídricos disponíveis, e ameaça o meio ambiente marinho e de água doce (BEZERRA et al., 2002).

Nas últimas décadas, o crescimento urbano no Brasil tem se concentrado em regiões metropolitanas, que atuam como pólos regionais de desenvolvimento sócio-econômico (SANTOS e SILVEIRA, 2002). Os efeitos desse processo incidiram diretamente sobre a infra-estrutura urbana e os recursos naturais, afetando os sistemas de abastecimento de água, esgoto sanitário, drenagem e a dinâmica dos ecossistemas.

Essa problemática também está presente na bacia do Alto Rio Iguaçu, inserida na Região Metropolitana de Curitiba, comprometendo a qualidade das suas águas e provocando uma série de perturbações no funcionamento dos ecossistemas aquáticos.

Tais alterações têm causado desequilíbrio na dinâmica dos corpos d'água da bacia do Rio Iguaçu, resultando no empobrecimento de sua fauna aquática, e como o caráter endêmico da ictiofauna nesta região é de aproximadamente 80%, os riscos de extinção têm características globais, diferentemente do que ocorre em outras bacias do Rio Paraná.

Baseados no atual conhecimento sobre a ictiofauna e as pressões exercidas pelo desenvolvimento regional, a proposição de soluções definitivas para a sua conservação ainda é prematura. Todavia, é necessária a adoção de medidas que contemplem a complexidade e o dinamismo da Região Metropolitana de Curitiba, desacelerando o atual estado de modificação ambiental e garantindo a manutenção do equilíbrio da estrutura populacional da fauna de peixes.

Aspectos gerais da área

A região denominada aqui por “Alto Iguaçu” não possui definição formal de seus limites, aceitando-se que compreenda o trecho desde suas nascentes até a divisa entre o Primeiro e o Segundo Planalto Paranaense, onde o Rio Iguaçu corta a Escarpa Devoniana em um longo trecho de corredeiras (MAACK, 1981), sendo que a partir da localidade de Engenheiro Bley (Porto Amazonas) essa escarpa se dilui, e

os limites entre os planaltos não podem mais ser diferenciados através deste acidente geográfico (BOGNOLA et al., 2002).

Neste trecho superior do Rio Iguaçu localiza-se a Região Metropolitana de Curitiba (RMC), dentro do Primeiro Planalto Paranaense. As configurações fisiográficas mais marcantes dessa região apresentam-se à leste e ao sul. À leste está a Serra do Mar, uma das principais reservas florestais do Estado, em cujas vertentes encontram-se os mananciais que alimentam os afluentes do Rio Iguaçu. Ao sul, sobre um relevo plano de solos hidromórficos sujeitos a inundações, a drenagem apresenta um aspecto anastomosado, com inúmeras lagoas naturais e artificiais distribuídas ao longo das extensas áreas de várzea.

A Região Metropolitana de Curitiba é composta por 26 municípios, concentrando cerca de 25% da população total e 30% da população urbana do Estado do Paraná. Esta região forma uma área de urbanização contínua que reflete mais a expansão das áreas urbanas de Curitiba do que o crescimento independente e autônomo dos municípios conurbados (COMEC, 2001).

A área total da RMC possui cerca de 10 mil km² e uma população estimada de mais de 2,5 milhões de habitantes, com densidades populacionais nos municípios variando de 11,14 hab/km² em Bocaiúva do Sul, até densidades elevadas como em Curitiba com 3.655 hab/km². Deve-se observar que a grande parcela da população ocupa o “Altíssimo Iguaçu”, com destaque para Curitiba que possui cerca de 60% da população total (SUDERHSA, 2000).

O meio natural

A posição geográfica da região proporciona a ocorrência de atributos naturais diversificados, cuja interação modela feições dentro de uma dinâmica na qual o material geológico e o clima foram os principais elementos deste processo, gerando ecossistemas com características distintas.

O clima da região é considerado como temperado-úmido, sem uma estação seca definida, com temperaturas médias inferiores a 22°C para o mês mais quente e temperaturas médias superiores a 10°C na maior parte do ano (IAPAR, 1978).

É necessária a adoção de medidas que contemplem a complexidade e o dinamismo da Região Metropolitana de Curitiba, desacelerando o estado de modificação ambiental



No Primeiro Planalto, devido à baixa declividade, o Rio Iguaçu apresenta meandros com amplas curvaturas e extensas várzeas, características que lhe conferem aspecto senil. Em conjunto com as lagoas naturais e as cavas resultantes da extração de areia, este ambiente forma um canal anastomosado, que no decorrer do Período Quaternário foi progressivamente coberto por um pacote sedimentar com extensas várzeas, dando uma característica peculiar à região (PELLENZ e LOYOLA, 1994; Decreto Municipal n° 472/93).

Este planalto possui uma topografia suavemente ondulada, onde além do ambiente da planície de inundação do Rio Iguaçu existem também diversos riachos. Esses corpos d'água, em função do regime de chuvas, sofrem mudanças estacionais decorrentes da expansão e contração do ambiente aquático durante as variações climáticas (LOWE-McCONNELL, 1975; JUNK et al., 1989), levando ao desenvolvimento de uma comunidade característica, fato que lhes confere complexidade no seu estudo e conseqüente conservação.

A formação vegetal regional é basicamente constituída pelas formações típicas de Floresta com Araucária (Floresta Ombrófila Mista), associadas a regiões de estepes (campos) e vastas superfícies de várzeas. A fitofisionomia regional predominante corresponde às regiões de Floresta Ombrófila Mista Aluvial, que é a vegetação ciliar dos rios e riachos, entremeadas pelas várzeas graminóides úmidas, ou Formações Pioneiras de Influência Fluvial. Esta associação está diretamente relacionada às condições edáficas (solos hidromórficos) e ao regime hídrico da drenagem, que proporcionam deposição aluvial em períodos de cheia (ZILLER, 1995; MORO, 2001).

A distribuição dessas paisagens na área ocorre de forma desigual e dispersa, provocada pela pressão exercida pela expansão urbana e por diversas ações antrópicas, que desfiguraram em grande parte os aspectos originais da vegetação.

Recursos hídricos

O Rio Iguaçu é o de maior bacia hidrográfica dentro do Estado do Paraná e pertence

a grande região hidrográfica do Rio Paraná. Estende-se por 72 mil km² na região sudeste da América do Sul, abrangendo áreas do sul do Brasil e nordeste da Argentina, sendo que a maior parte de sua drenagem (79%) está em território paranaense (MAACK, 1981).

A bacia do Alto Rio Iguaçu perfaz cerca de 9 mil km², o que corresponde à área geográfica dos municípios banhados pelas principais nascentes e partes altas do curso dos rios nos estados do Paraná e Santa Catarina, localizados entre suas cabeceiras até a divisa entre o Primeiro e o Segundo Planalto. A área de drenagem desta bacia pode ser dividida em duas regiões distintas, sendo uma a que inclui suas origens propriamente ditas e outra formada pelo conjunto das cabeceiras dos rios da Várzea e Negro, os quais somente se juntam ao Rio Iguaçu na proximidade do município de São Mateus do Sul.

Esta bacia abrange total ou parcialmente os municípios de Curitiba, Colombo, Campina Grande do Sul, Quatro Barras, Piraquara, Pinhais, São José dos Pinhais, Fazenda Rio Grande, Mandirituba, Araucária, Contenda, Balsa Nova, Agudos do Sul, Tijucas do Sul, Quitandinha, Lapa, Porto Amazonas, Campo do Tenente, Piên, Campo Largo, Campo Magro, Almirante Tamandaré e Itaperuçu no Paraná; e Campo Alegre, São Bento do Sul e Rio Negrinho em Santa Catarina.

Os mananciais da bacia do Alto Rio Iguaçu são fundamentais para o abastecimento público da RMC, pois representam hoje cerca de 62% da oferta de água (ANDREOLI et al., 1999a).

Em termos de disponibilidade hídrica, considerando-se a população de aproximadamente de 2,5 milhões de habitantes e a vazão média de 187 m³/s (SUDERHSA apud COMEC, 2001), a RMC está enquadrada num contexto mundial no limite entre a situação normal e pobre, com mais de 2.500m³/hab.ano, sendo que as previsões futuras para o abastecimento indicam uma situação crítica (ANDREOLI et al., 1999b).

No Paraná e na RMC, o desafio frente à perspectiva de escassez de recursos hídricos levou a elaboração da Lei Estadual n.º 12.248/98, que criou o sistema integrado de gestão e proteção dos mananciais da RMC, e na Lei Es-

os mananciais da bacia do Alto Rio Iguaçu são fundamentais para o abastecimento público da RMC



tadual n.º 12.726/99, que instituiu a política estadual de recursos hídricos e criou o sistema estadual de gerenciamento de recursos hídricos, com a finalidade de compatibilizar as possibilidades do desenvolvimento com as disponibilidades desses recursos naturais.

Uso do solo

A ocupação do território e a caracterização do uso do solo ocorrem geralmente em função da disponibilidade dos recursos naturais, aliados aos interesses econômicos voltados à demanda de mercado da época (SANTOS e SILVEIRA, 2002).

A Região Metropolitana de Curitiba, onde se insere a bacia do Alto Rio Iguaçu, não fugiu a esta condição e percorreu os ciclos econômicos característicos do processo de colonização do Brasil, gerando ambientes impactados com características e dinâmicas próprias nos padrões de uso do solo.

A área da Região Metropolitana de Curitiba (RMC) faz parte de um território de colonização mais antiga no Estado, decorrente da fixação da população, devido inicialmente à mineração do ouro, à criação de gado, à cultura do mate e à extração de madeira, com a consolidação das vilas de Curitiba e São José dos Pinhais (CASTRO NETO, 2002).

O estabelecimento de colônias agrícolas de migrantes europeus acelerou a ocupação da região, acarretando em um aumento significativo da população, com a formação de vilas que originaram os demais municípios (COMEC, 1997). Entre as décadas de 50 e 80 verificou-se um reforço na tendência de expansão da malha urbana de Curitiba em direção aos municípios limítrofes, com a ampliação e maior adensamento populacional, destacando-se o forte vetor de ligação com São José dos Pinhais, que na década de 60, ocupou a baixada do vale do Rio Iguaçu (COMEC, 2001).

A evolução da ocupação urbana na RMC teve seu grande incremento nas três últimas décadas, caracterizando-se por um intenso crescimento nas periferias do município de Curitiba, que gerou uma malha urbana extensa, horizontal e de baixa densidade média, com impactos

negativos sobre os recursos naturais (COMEC, 2001).

Nessa última década, como consequência da dinâmica do processo econômico nacional, estabeleceu-se um novo ciclo de ocupação da região, transformando a RMC em um pólo industrial, em detrimento do setor agropecuário (COMEC, 2001).

Com relação à problemática habitacional na RMC, o intenso crescimento populacional e a falta de uma política de habitação geraram um processo de ocupação irregular em diversos pontos de seu território (COMEC, 2001). Como consequência, áreas menos valorizadas do ponto de vista do mercado imobiliário, entretanto, importantes para a conservação ambiental (várzeas), foram alvo de invasões em função do alto crescimento demográfico ocorrido nas duas últimas décadas (SAMEK et al., 2003).

Unidades de conservação

As Unidades de Conservação são áreas naturais protegidas por meio de legislação específica, como a resolução do Conselho Nacional de Meio ambiental (Conama) n.º 11 de 3/12/87 e Lei Federal n.º 9.985 de 18/07/00, a qual institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação.

No que tange à abordagem da questão dos recursos hídricos no Alto Rio Iguaçu, a segunda metade da década de 90 trouxe importantes avanços institucionais. Para a proteção das áreas de mananciais na RMC, dentre os diversos instrumentos de gestão, destacam-se as APAs (Unidades de Proteção Ambiental) e as UTPs (Unidades Territoriais de Planejamento), pela sua importância à organização e administração do uso e ocupação do solo.

As APAs configuram-se como unidades de conservação destinadas a proteger e conservar a qualidade ambiental e os sistemas naturais existentes. Requerem a definição de um zoneamento ecológico-econômico e a criação de uma câmara de apoio técnico. Na RMC, no contexto das áreas de mananciais, foram instituídas até o momento cinco APAs: dos rios Passaúna, Iraí, Piraquara, Pequeno e Verde (COMEC, 2001).

a evolução da ocupação urbana na RMC teve seu grande incremento nas três últimas décadas



As UTPs foram criadas pela Lei Estadual n.º 12.248/98, e são instrumentos de gestão e proteção dos mananciais da RMC. São compostas pelas bacias contribuintes dos mananciais de interesse da RMC, para facilitar o planejamento, aglutinando municípios com especificidades a serem trabalhadas conjuntamente. São aplicadas em áreas de mananciais que estão sobre forte pressão de ocupação urbana. Já foram criadas e regulamentadas as UTPs do Guarituba, de Pinhais, do Itaquí, de Quatro Barras e de Campo Magro (COMEC, 2001).

Além dessas unidades de conservação, parques lineares ao longo dos rios foram implantados em Curitiba a partir da década de 70, visando garantir a preservação de remanescentes de florestas ciliares e da fauna, além de proteger o sistema natural de drenagem, minimizando o problema das enchentes (PEYERL, 1997).

Entretanto, a atual configuração das unidades de conservação na região do Alto Rio Iguaçu não garante ainda uma efetiva proteção das regiões de cabeceiras dos rios, sendo que a delimitação e a conservação desses ambientes são essenciais para a preservação da biodiversidade de peixes.

Ictiofauna

Composição

De um modo geral, a ictiofauna da bacia do Rio Iguaçu é caracterizada pelo seu elevado grau de endemismo, pela ausência de inúmeras famílias de peixes e pelo pequeno número de espécies, quando comparada com outros afluentes da bacia do Rio Paraná (JULIO JR. et al., 1997).

A ictiofauna do alto Rio Iguaçu é composta por 47 espécies de peixes, sendo que nove (19,1%) podem ser consideradas exclusivas para esse sistema hidrográfico, não ocorrendo em outros riachos na bacia do Rio Paraná (ABILHOA, 2004). Entretanto, este resultado deve ser considerado subestimado, em função do número ainda insuficiente de levantamentos em algumas áreas dessa bacia e da falta de consenso acerca do “status” taxonômico de al-

gumas espécies registradas.

Mesmo que seja considerada a falta de informações filogenéticas e de distribuição dos organismos aquáticos neotropicais para a reconstrução histórica da gênese dos sistemas hidrográficos dessa região, as observações geomorfológicas e paleoclimáticas existentes indicam que a ictiofauna do alto curso do Rio Iguaçu passou por processos únicos que levaram ao seu aparecimento e riqueza, configurando-se como uma área geográfica natural (ABILHOA, 2004).

Espécies ameaçadas

Devido à falta de conhecimento básico sobre a distribuição dos peixes neotropicais, as espécies raras ou ameaçadas dificilmente são consideradas na elaboração de listas oficiais.

Raras exceções são observadas na legislação do Estado de Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná e Rio Grande do Sul, na relação de peixes ameaçados do Brasil (ROSA e MENEZES, 1996), nas publicações avulsas sobre os padrões de Biodiversidade da Mata Atlântica do Sudeste e Sul do Brasil (MENEZES et al., 1990) e sobre as ações prioritárias para conservação de elasmobrânquios (LESSA et al., 2000).

Apesar da escassez de informações, na recente lista nacional (Instrução Normativa n.º 5, 28/05/2004) e paranaense (ABILHOA e DUBOC, 2004) de espécies de peixes ameaçados de extinção, algumas das espécies registradas no Alto Rio Iguaçu foram enquadradas em categorias de ameaça da IUCN, em função da constatação do declínio de suas populações, da destruição de seus habitats, do isolamento das populações sobreviventes e de áreas de distribuição reduzidas.

Cinco espécies registradas para este trecho da bacia foram citadas nos trabalhos de conservação acima: os lambaris *Glandulocauda melanopleura* e *Hyphessobrycon taurocephalus*, os bagres *Rhamdiopsis moreirai* e *Trichomycterus castroi* e o barrigudinho *Cnesterodon carnegiei*. Estas espécies são endêmicas do Rio Iguaçu e têm sido registradas em pequeno número nos estudos recentes realizados.

a ictiofauna da bacia do Rio Iguaçu é caracterizada pelo seu elevado grau de endemismo



Espécies exóticas

Uma parcela significativa de espécies registradas no alto curso do Rio Iguaçu corresponde a peixes introduzidos de outras bacias hidrográficas e de outros continentes, como o corimba *Prochilodus lineatus*, as tilápias *Oreochromis niloticus* e *Tilapia rendalli*, o black-bass *Micropterus salmoides*, o bagre-africano *Clarias gariepinus*, as carpas *Cyprinus carpio* e *Ctenopharyngodon idella*, e o dojô *Misgurnus anguillicaudatus*.

Estas espécies ocorrem na região por causa da introdução acidental (aquicultura) ou intencional (“peixamento” de reservatórios), sendo que o registro do dojô parece estar relacionado às atividades de aquarioria.

A introdução acidental pode ter sido causada pela inundação de lagos artificiais usados para a piscicultura, levando algumas espécies exóticas para o ambiente, enquanto que as atividades de “peixamento”, realizadas na sua maior parte por instituições públicas e clubes de pesca, provavelmente foi responsável pela introdução da maior parte das espécies de peixes na bacia do Alto Rio Iguaçu. Estas introduções podem ter causado a redução ou extinção de populações naturais locais, devido à competição por alimento, abrigo ou a disseminação de parasitos (AGOSTINHO, 1996; AGOSTINHO e JULIO JR., 1996).

Tendências e recomendações

As regiões metropolitanas brasileiras em processo de urbanização apresentam alguns problemas comuns, relacionados à sua infraestrutura urbana e aos recursos hídricos, como a grande migração de pessoas para as áreas de preservação permanente, a insuficiência de coleta e tratamento de efluentes, a crescente impermeabilização do solo e o desmatamento da floresta ciliar que agrava o problema de erosão e assoreamento do leito dos rios.

Para lidar adequadamente com esses problemas, a gestão dos recursos hídricos deve estar associada aos planos diretores locais, definindo diretrizes de uso e ocupação do solo regional e buscando políticas de habitação, levando-se em consideração as restrições impostas pelo

suporte natural.

Com relação às características regionais da ictiofauna, qualquer programa que tenha como objetivo sua proteção deve considerar que a preservação de remanescentes de áreas inalteradas ou pouco alteradas é a principal prioridade, aliada a um programa de conhecimento ictiofaunístico dos rios e riachos do Estado do Paraná, com o objetivo de formar coleções testemunho dos diversos ambientes em instituições oficiais.

Um programa de inventário e monitoramento da ictiofauna deve procurar também áreas que estão em perigo imediato de alteração, para que medidas sejam adotadas para desacelerar o atual estado de modificação ambiental e garantir a manutenção do equilíbrio da estrutura populacional da fauna aquática. A identificação dos níveis de variabilidade genética entre as populações e a verificação da existência de fluxo gênico entre as mesmas é de fundamental importância para o escopo desse programa.

As espécies exóticas registradas na área de estudo sugerem a elaboração de um plano de monitoramento para os ambientes aquáticos atingidos pelas introduções. Além da composição específica, devem ser obtidas informações sobre a distribuição das populações, estrutura das comunidades, hábitos alimentares e reprodução, sendo que o programa estabelecido deve visar o acompanhamento dos impactos da fauna exótica sobre a fauna de peixes nativa, gerando informações para o manejo.

Referências

ABILHOA, V. **Composição, aspectos biológicos e conservação da ictiofauna do alto curso do Rio Iguaçu, Região Metropolitana de Curitiba, Paraná, Brasil**. Curitiba, 2004. 82 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná.

ABILHOA, V. (Eds.) et al. **Livro vermelho dos animais ameaçados de extinção no Estado do Paraná**. Curitiba: Mater Natura/ IAP, 2004. p. 581-678.

AGOSTINHO, A. A.; JULIO JR, H. F. Amea-

populações naturais locais, devido à competição por alimento, abrigo ou a disseminação de parasitos



ça ecológica: peixes de outras águas. **Ciência Hoje**, v. 21, n. 124, p. 36-44, 1996.

AGOSTINHO, A. A. O lado oculto da introdução de peixes. **Boletim Informativo da Abrapoa**, n. 9, p. 9-10, 1996.

ANDREOLI, C.V. et al. Os mananciais de abastecimento do sistema integrado da Região Metropolitana de Curitiba. **Sanare - Revista Técnica da Sanepar**, v. 12, n. 12, 1999a.

ANDREOLI, C.V. et al. Limites ao desenvolvimento da Região Metropolitana de Curitiba, impostos pela escassez da água. **Sanare - Revista Técnica da Sanepar**, v. 12, n. 12, 1999b.

BEZERRA, M.C.; FACCHINA, M.M.; RIBAS, O.T. **Agenda 21**: resultado da consulta nacional. Brasília, DF.: MMA/PNUD, 2002. 156 p.

BOGNOLA, I.A. et al. **Levantamento de reconhecimento dos solos da região centro-leste do Estado do Paraná**: (área 10). Rio de Janeiro: Embrapa, 2002. 110 p.

CASTRO NETO, V. Grande Curitiba: um olhar sobre a evolução urbana. **Metrópolis**, v. 4, n. 1, p. 15-27. 2002.

COORDENAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA. **Plano de desenvolvimento integrado da Região Metropolitana de Curitiba (PDI)**: documento síntese para discussão. Curitiba: Secretaria de Estado do Planejamento e Coordenação Geral, 2001. 87 p.

_____. **Relatório ambiental da Região Metropolitana de Curitiba**. Curitiba: Secretaria de Estado do Planejamento e Coordenação Geral, 1997. 100 p.

CURITIBA. Decreto Municipal n. 472 de 4 de maio de 1993. Institui o Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental do Iguaçu. **Diário Oficial do Município**.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ.

Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná. Londrina: IAPAR, 1978. 41 p.

JÚLIO JR., H. F.; BONECKER, C. C.; AGOSTINHO, A. A. Reservatório de Segredo e sua inserção na bacia do Rio Iguaçu. In: AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C. **Reservatório de Segredo**: bases ecológicas para o manejo. Maringá: EDUEM, 1997. p. 1-17.

JUNK, W. J.; BAYLEY, P. B.; SPARKS, R. E. The flood pulse concept in river-floodplain system. **Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.**, v. 106, p.110-127, 1989.

LESSA, R. et al. **Avaliação e ações prioritárias para conservação da biodiversidade da zona costeira e marinha**. Biodiversidade de elasmobrânquios do Brasil. Rio de Janeiro: MMA/CNPq, BIORIO, BDT/FAT, 2000. Disponível em: <<http://www.bdt.fat.org.br/workshop/costa/elasmo>>. Acesso em: 15 out. 2002.

LOWE-McCONNELL, R. H. **Fish communities in tropical freshwater**: their distribution, ecology and evolution. London: Longman, 1975. 337 p.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Curitiba: Secretaria da Cultura e do Esporte do Estado do Paraná, 1981. 442 p.

MENEZES, N. A. et al. Peixes de riacho da Floresta Costeira Atlântica Brasileira: um conjunto pouco conhecido e ameaçado de vertebrados. In: SIMPÓSIO DE ECOSSISTEMAS DA COSTA SUL E SUDESTE BRASILEIRA: ESTRUTURA, FUNÇÃO E MANEJO, 2., 1990, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Publ. ACIESP, v. 1, n. 71, p. 290-295, 1990.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Instrução Normativa n. 5. Lista nacional das espécies de invertebrados aquáticos e peixes ameaçados de extinção. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, p. 102, 28 maio 2004. Seção 1.

para lidar adequadamente com esses problemas, a gestão dos recursos hídricos deve estar associada aos planos diretores locais



MORO, R.S. A vegetação dos Campos Gerais da escarpa devoniana. In: DITZEL, C. H. M.; SAHR, C. L. (Coord.). **Espaço e Cultura; Ponta Grossa e Campos Gerais**. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2001. p. 481-503.

PELLENZ, E.; LOYOLA, L. C. A extração mineral como objetivo de análise do uso do solo na área dos mananciais do Alto Iguaçu região metropolitana de Curitiba/Paraná. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, 1., 1994, Foz do Iguaçu; SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., 1994, Foz do Iguaçu. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1994. p. 211-224.

PEYERL, L. (Coord.). **Monitoração da gestão urbana**: gestão do uso do solo e disfunções do crescimento urbano. Curitiba: Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba / Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 1997.

ROSA, R. S.; MENEZES, N. A. Relação preliminar das espécies de peixes (*Pisces, Elasmobranchii, Actinopterygii*) ameaçadas no Brasil. **Revta. Bras. Zool.**, v. 13, n. 3. p. 647-667, 1996.

SAMEK, J.L. et al. Plano diretor de drenagem da bacia do Rio Iguaçu: Região Metropolitana de Curitiba. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. 15., 2003, Curitiba, **Resumos...** Curitiba: ABRH, 2003. p. 25.

SANTOS, M.; SILVEIRA, M. L. **O Brasil; Território e sociedade no início do século XXI**. Rio de Janeiro: Record, 2002. 473 p.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL. **Cadastro dos usuários de recursos hídricos da Região Metropolitana de Curitiba**. Curitiba: PROSAM/Consórcio Ambitec Montgomery Watson Brasil Ltda./Esse Engenharia e Consultoria Ltda., 2000. 1 CD.

ZILLER, S. R. **As formações vegetais da área de influência do futuro reservatório do**

Rio Iraí em Piraquara/Quatro Barras, PR. Curitiba: Instituto Ambiental do Paraná/GTZ, 1995. 87 p.

medidas sejam adotadas para garantir a manutenção do equilíbrio da estrutura populacional da fauna aquática

Autores

Vinícius Abilhoa,
biólogo, doutor em Zoologia pela UFPR,
coordenador do Grupo de Pesquisas em
Ictiofauna do Museu de História
Natural Capão da Imbuia, técnico da
Secretaria Municipal do Meio Ambiente da
Prefeitura de Curitiba.

Cláudia Regina Boscardin,
bióloga, especialista em Análise Ambiental
pela UFPR e em Gerenciamento Ambiental na
Indústria pela UFPR/Senai, assessora técnica
da Secretaria Municipal do Meio Ambiente da
Prefeitura de Curitiba.

Produção brasileira de lodos de esgotos



Maria Fernanda de Sousa Machado
Roberto Feijó de Figueiredo
Bruno Coraucci Filho

The brazilian production of
sewage sludge

Resumo

Este trabalho foi realizado com a finalidade de se traçar um panorama da produção dos lodos de esgotos no país, visando conhecer a situação atual e trazer subsídios para futuros projetos. Foi feito no período de 2000 a 2001 um cadastramento de 984 operadoras de sistemas de água e esgoto, das quais foram recebidas informações de 275 ETEs, localizadas em 17 estados brasileiros e no Distrito Federal. O levantamento dessas informações, de difícil execução, não atingiu cem por cento das estações, porém conseguiu abranger grande parte das operadoras e as principais que atuam no setor. As 275 ETEs informadas atendem uma população de 12.777.974 habitantes, correspondendo a uma vazão de 1.877.616 m³/dia. A produção informada de lodo úmido foi de 308.633 t/ano, enquanto que a produção estimada em massa seca foi de 151.724 t SST/ano, correspondendo a uma produção média de 33 g SST/hab.dia. Pelas informações obtidas pode-se dizer que os lodos de esgotos são de boa qualidade e que poderiam ser utilizados na agricultura. Cerca de 50% do lodo produzido pelos sistemas informados são dispostos em aterros.

Palavras-chave: biossólido; lodo; esgoto; tratamento; engenharia sanitária.

Abstract

This paper aims to get a view of the sewage sludge production in Brazil, in order to understand the present situation and offer information to future projects. Along the 2000-2001 period 984 water and wastewater systems operators were

registered, from which information was received regarding 275 wastewater treatment plants, located in 17 different Brazilian states and in Brasília, at the Federal District. Raising this information was a difficult survey, which did not reach all treatment plants, although it encompassed a big part of the operators, as well as the main ones that work in this industry. The 275 plants mentioned serve a population of 12,777,974 inhabitants and release a flow of 1,877,616 m³/day. The informed humid sludge production was of 308,633 t/year, while the production of dry matter was estimated in 151,724 t SST/year, which corresponds to an average production of 33 g SST/inhab.day. According to the information obtained, one can say that the sewage sludge is of good quality and could be used in agriculture. Around 50% of the sludge produced by the surveyed plants is disposed at sanitary landfills.

Keywords: bio-solids, sludge, sewage, treatment, sanitary engineering.

Introdução

De acordo com MIKI, ANDRIGUETTI e ALÉM SOBRINHO (2001), lodo é o termo utilizado para os sólidos gerados durante o processo de tratamento de esgotos antes do tratamento adequado para disposição final. Ainda segundo os mesmos autores, biossólidos são os produtos orgânicos gerados nos processos de tratamento de esgotos primário e secundário que podem ser reutilizados de modo benéfico, após tratamento adequado. Acrescente-se a essas definições que os biossólidos são ricos em macro e micronutrientes,

cerca de 50% do lodo produzido pelos sistemas informados são dispostos em aterros



o que os tornam atraentes para o uso agrícola. O termo biossólido foi introduzido pela WEF – Water Environment Federation no início dos anos 90, no intuito de dar uma conotação mais apropriada a um produto que possa ser reutilizado de forma benéfica, isto é, não devendo ser mais visto como um resíduo final a ser descartado. Era dessa forma que os projetistas de estações de tratamento de esgotos consideravam os biossólidos, citando no final de seus projetos que ao lodo de esgoto deveria ser dado um destino conveniente, isto é, livrar-se dele da melhor (ou pior) maneira possível.

Hoje o conceito sobre o valor dos biossólidos como um recurso, e não mais como um produto final a ser descartado, vem sendo bem difundido e o seu reaproveitamento já é uma realidade e cada vez mais aceito. Diversos exemplos de sua utilização já são vistos no exterior e no Brasil, seja através de projetos de pesquisa ou de casos concretos de aplicação.

Segundo FIGUEIREDO (1997) a quantidade de lodo de esgoto, e conseqüentemente a de biossólidos, vem aumentando em todo o mundo, seja porque estações de tratamento vêm sendo construídas, ou novas tecnologias estão sendo adotadas, ou mesmo a legislação vem se tornando cada vez mais restritiva. Dados da Europa, de acordo com o mesmo autor, indicam que a produção de lodo era de 7,4 milhões de toneladas, em massa seca, por ano, com previsão de aumentar 50% nos dez anos seguintes, para uma população estimada de 420 milhões de habitantes. Em média, 77 % da população européia estavam conectadas à rede coletora de esgotos e, da população conectada, 64% eram servidas com tratamento. Nos Estados Unidos, a produção de lodo era de 6,2 milhões de toneladas no ano de 1993, devendo atingir 12 milhões de toneladas em 2000 (MIKI, ANDRIGUETTI e ALÉM SOBRINHO, 2001).

Essa tendência de aumento da quantidade de biossólidos observada para os países europeus e para os Estados Unidos também se aplica ao Brasil. Deve-se lembrar, no entanto, que as quantidades de biossólidos produzidas no Brasil ainda devem ser pequenas devido ao limitado número de ETEs no país. Espera-se que aqui as taxas de crescimento sejam ainda maiores, tendo em vista essa carência atual em

sistemas de tratamento de esgotos.

De acordo com MACHADO (2001) e FIGUEIREDO (1997) o destino dos biossólidos tem sido bastante diverso. Os mais freqüentes são: disposição em aterros; uso agrícola; incineração; compostagem; disposição no mar; e, outras aplicações minoritárias, tais como reuso industrial, como material de construção, restauração de terrenos e conversão em óleo combustível. A disposição no mar não é mais permitida nos Estados Unidos. Na Europa predominava em 1997 a disposição de lodos em aterros (46,5%), seguida de uso na agricultura (36,1%), incineração (9,6%) e lançamento no mar (7,8%). A partir de 1998 esta última opção tornou-se ilegal na Europa.

Neste trabalho está sendo apresentado um levantamento genérico efetuado no território nacional, no período de 2000 a 2001, quando foram pesquisadas entidades que operam estações de tratamento de esgotos. A pesquisa não teria sido possível sem a colaboração imprescindível daquelas operadoras que procuraram, no melhor de suas condições, fornecer as informações solicitadas. Todas as informações recolhidas foram processadas e os resultados mostram um panorama da situação dos lodos de esgotos no Brasil. Os autores agradecem as operadoras que voluntariamente participaram deste projeto e esperam que este diagnóstico venha preencher uma lacuna e que sirva como referência para aqueles que atuam na área.

Metodologia

O projeto foi desenvolvido em várias etapas, conforme explicitado a seguir: elaboração de formulário padrão para ser enviado às prestadoras de serviço; cadastramento das operadoras de sistemas de água e esgoto; contato direto com as operadoras e envio dos questionários; e, recebimento das informações e processamento dos dados.

Foi elaborado um formulário, contendo as seguintes solicitações: dados gerais sobre a estação de tratamento de esgoto; dados gerais sobre o lodo de esgoto da estação; e, características físicas, químicas e biológicas do lodo. As principais informações solicitadas em cada grupo estão apresentadas nos quadros 1 e 2. As características do lodo são as mesmas apresentadas na tabela 5.

a quantidade de lodo de esgoto, e conseqüentemente a de biossólidos, vem aumentando em todo o mundo



QUADRO 1 - DADOS GERAIS SOBRE A ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO

DADOS GERAIS SOBRE A ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO	
Denominação do Órgão:	
Nome da ETE:	
Município:	Estado:
População atendida pela ETE:	habitantes
Volume diário de esgoto tratado:	m ³ /dia
Capacidade de tratamento da ETE:	m ³ /dia
ASSINALE O SISTEMA DE TRATAMENTO UTILIZADO NA ETE	
Sistemas de lagoas de estabilização	
Sistemas de lodos ativados	
Sistemas aeróbios com biofilme	
Sistemas anaeróbios	
Sistemas de disposição no solo	
Outros – favor especificar	

FONTE: adaptado de MACHADO, 2001.

QUADRO 2 - DADOS GERAIS SOBRE O LODO DE ESGOTO DA ESTAÇÃO

DADOS GERAIS SOBRE O LODO DE ESGOTO DA ESTAÇÃO	
Produção diária de lodo na ETE: kg/dia	
ASSINALE OS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE LODO UTILIZADOS NA ETE	
ADENSAMENTO	
Gravidade	
Flotação	
Mecanizado / Centrífuga	
Mecanizado / Prensa	
DIGESTÃO	
Aeróbia	
Anaeróbia	
DESIDRATAÇÃO / SECAGEM	
Leito de secagem	
Lagoa de secagem de lodo	
Mecanizada / Filtro a vácuo	
Mecanizada / Filtro prensa	
Mecanizada / Filtro de esteira	
Mecanizada / Centrífuga	
TRATAMENTO COMPLEMENTAR	
Incineração	
Compostagem	
Secagem térmica	
Estabilização química	
Desinfecção	
OUTROS – FAVOR ESPECIFICAR	
ASSINALE A(S) FORMA(S) EMPREGADA(S) PARA A DISPOSIÇÃO FINAL DO LODO E INDIQUE SUA(S) RESPECTIVA(S) QUANTIDADE(S) DIÁRIA(S)	
Aterro sanitário	kg
Aplicação no solo com fins agrícolas	kg
Aplicação em áreas de reforestamento	kg
Produção de composto / fertilizante organo-mineral	kg
Produção de agregado leve para a construção civil	kg
Fabricação de cimento e de produtos cerâmicos	kg
OUTROS – FAVOR ESPECIFICAR	
	kg

FONTE: adaptado de MACHADO, 2001.

as quantidades de biossólidos produzidas no Brasil ainda devem ser pequenas devido ao limitado número de ETEs no país

O cadastramento das operadoras foi realizado com base no Catálogo da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (CABES), no cadastro da Associação dos Servidores Municipais de Água e Esgoto (ASSEMAE) e nas informações obtidas nas coordenadorias da Fundação Nacional de Saúde (FNS). Procurou-se desta forma fazer um cadastramento o mais amplo possível, abrangendo o maior número de operadoras. Foram incluídas desde entidades de pequeno porte até grandes empresas. Foram cadastradas inicialmente 984 operadoras de sistemas de água e esgoto na grande totalidade do território nacional.

Após a etapa de cadastramento das operadoras passou-se ao contato inicial via telefônica. O objetivo desta etapa foi explicar no que consistia o levantamento, tendo então sido solicitada a colaboração de cada entidade. Esse primeiro contato também serviu para fazer uma triagem daquelas operadoras que possuíam ETES. O contato direto inicial nem sempre foi fácil e em muitos casos sem sucesso. Por este motivo algumas ETES ficaram fora do levantamento. Após o contato e de posse das informações inicialmente solicitadas, o questionário foi enviado às operadoras através de fax, correio ou e-mail, de acordo com a preferência indicada.

Após o recebimento dos formulários preenchidos as informações foram compiladas em uma planilha padrão, para uniformizar os dados e facilitar a análise. Os resultados foram agrupados por Estado, por região geográfica, pelo sistema utilizado na ETE e pelo destino final do lodo. A composição média dos lodos de esgotos está apresentada em tabela específica.

Resultados e discussão

O levantamento de dados por meio de questionários é uma tarefa extremamente árdua. Mesmo após o envio dos questionários houve a necessidade de um acompanhamento para esclarecimentos e reforçar a importância do preenchimento dos mesmos. A maior dificuldade foi o contato com pequenas operadoras, o que impediu que a abrangência da pesquisa fosse mais ampla. Algumas entidades não responderam ao questionário, outras demoraram bastante para

enviar as informações solicitadas. Apesar de ser uma atividade voluntária, o retorno final foi bastante expressivo. Pode-se dizer que as operadoras que participaram representam a maioria das que atuam no setor de água e esgoto, tendo muitas delas demonstrado interesse em conhecer as conclusões deste trabalho. As operadoras que colaboraram com este trabalho estão listadas a seguir:

AMSS/Cuiabá - Agência Municipal de Serviços de Saneamento de Cuiabá;

CAER - Companhia de Águas e Esgotos de Roraima;

CAESB - Companhia de Água e Esgoto de Brasília;

CAGECE - Companhia de Água e Esgoto do Ceará;

CAGEPA - Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba;

CASAN - Companhia Catarinense de Águas e Saneamento;

CEDAE - Companhia Estadual de Águas e Esgotos, RJ;

CESAMA - Companhia de Saneamento e Pesquisa do Meio Ambiente de Juiz de Fora, MG;

CESAN - Companhia Espírito Santense de Saneamento;

COMPESA - Companhia Pernambucana de Saneamento;

COPASA - Companhia de Saneamento de Minas Gerais;

CORSAN - Companhia Riograndense de Saneamento;

DESO - Companhia de Saneamento de Sergipe;

DMAE/Porto Alegre - Departamento Municipal de Águas e Esgotos de Porto Alegre;

EMBASA - Empresa Baiana de Águas e Saneamento S/A;

SAAE/Sertãozinho - Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Sertãozinho, PR;

SAAE/Volta Redonda - Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Volta Redonda, RJ;

SAAE/Jataizinho - Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Jataizinho, PR;

SAAE/Ribeirão Claro - Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Ribeirão Claro, PR;

SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo;

SAMAE/Caxias do Sul - Serviço Autônomo

os resultados foram agrupados por Estado, por região geográfica, pelo sistema utilizado na ETE e pelo destino final do lodo



Municipal de Água e Esgoto de Caxias do Sul, RS;

SAMAE/Ibiporã - Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto de Ibiporã, PR;

SAMAE/Jaguapitã - Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto de Jaguapitã, PR;

SANEAGO - Saneamento de Goiás S/A;

SANEAR - Companhia Colatinense de Meio Ambiente e Saneamento, ES;

SANEATINS - Companhia de Saneamento do Tocantins;

SANEMAT - Companhia de Saneamento do Estado de Mato Grosso;

SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná;

SANESUL - Empresa de Saneamento do Mato Grosso do Sul;

SEMAE/Piracicaba - Serviço Municipal de Água e Esgoto de Piracicaba, SP; e,

SEMAE/São Leopoldo - Serviço Municipal de Água e Esgoto de São Leopoldo, RS.

Observou-se que nos questionários houve mais retorno sobre esgoto e menos sobre lodo, talvez devido à indisponibilidade desses últimos

dados de forma sistemática. Em alguns casos houve a necessidade de recontactar a operadora para sanar dúvidas quanto ao preenchimento. Os resultados aqui apresentados traduzem fielmente as informações constantes nos questionários recebidos. Das 984 operadoras inicialmente cadastradas foram recebidas informações de 275 estações de tratamento de esgotos, representando 17 estados brasileiros e o Distrito Federal, situados nas regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul. É importante citar que daquelas cadastradas inicialmente nem todas operam ETEs e que algumas, que poderiam estar operando alguma ETE, não disponibilizaram informações ou apresentaram dados inconsistentes. Na totalização dos dados as ETEs foram agrupadas em quatro grupos: sistemas de lagoas de estabilização (ex. facultativas, anaeróbias), sistemas aeróbios (ex. lodos ativados, filtro biológico), sistemas anaeróbios (ex. UASB, filtro biológico anaeróbio, tanques Imhoff) e sistemas mistos (ex. associação de sistemas).

Na tabela 1 apresenta-se a produção de lodo de esgoto por Estado, especificando-se

TABELA 1 - PRODUÇÃO DE LODO DE ESGOTO POR ESTADO (2000-2001)

Estado	Nº de ETEs	Vazão atual de esgoto tratado (m³/dia)	Vazão de projeto (m³/dia)	População atendida (hab)	Produção informada de lodo ⁽¹⁾ (t/ano)	Produção estimada de lodo (t SST/ano)
CE	57	129.940	-	737.606	-	5.238
DF	15	164.093	388.380	1.044.630	10.807	12.917
ES	26	35.656	84.658	147.784	-	1.157
GO	24	84.538	-	615.348	-	3.820
MG	07	11.327	25.550	163.100	1.307	2.048
MS	16	54.719	88.724	241.372	24	1.346
MT	11	21.426	28.657	123.902	554	1.414
PB	01	12.960	15.550	60.000	-	328
PE	02	55.920	87.840	560.100	-	7.478
PR	76	208.625	-	1.229.744	10.164	11.567
RJ	07	160.295	202.028	1.626.210	169.154	23.763
RR	01	9.072	30.240	45.000	-	246
RS	11	36.993	64.458	311.005	7.711	3.354
SC	05	33.676	55.582	249.023	4.654	3.171
SE	06	29.236	81.200	263.200	-	2.624
SP	08	826.029	1.132.870	5.348.950	104.258	71.171
TO	02	3.111	25.887	11.000	-	82
BRASIL	275	1.877.616	2.311.624	12.777.974	308.633	151.724

⁽¹⁾ refere-se a lodo úmido
 FONTE: MACHADO, 2001.

na totalização dos dados as ETEs foram agrupadas em quatro grupos



para cada um deles o número informado de ETEs, a vazão atual de esgoto tratado, a vazão de projeto, a população atendida, a produção informada e a produção estimada de lodo. A título de informação, obteve-se uma média de contribuição de esgoto de 146,9 L/hab.dia.

Houve uma grande dificuldade em se obter a produção de lodo, uma vez que a grande maioria das operadoras não monitora o volume e tampouco a massa de lodo produzido, levando a uma enorme dificuldade na definição de um valor quantitativo para o lodo de esgoto no Brasil. Além disso, operadoras forneceram resultados baseados em lodo úmido, sem informação a respeito dos seus teores de umidade. Antevendo-se a dificuldade de se comparar os valores informados, optou-se por fazer uma estimativa das quantidades de lodo, baseando-se nos sistemas utilizados para tratar o esgoto, na população atendida e na vazão de esgoto tratado, tomando-se por base valores da literatura (ALÉM SOBRINHO, 2000).

Para as 275 ETEs informadas, atendendo uma população total de 12.777.974 habitan-

tes, estimou-se a produção de lodo em 151.724 t SST/ano, referindo-se, portanto, à produção de lodo em massa seca. Observa-se que esses valores ainda são pequenos em relação à população brasileira e à quantidade total de lodo que poderá vir a ser gerada. Das 275 ETEs, 97 utilizavam um sistema anaeróbio, 94 eram lagoas de estabilização, 42 utilizavam um sistema aeróbio e outras 42 um sistema misto. A maior parte da população investigada está conectada a um sistema aeróbio (70,2%), enquanto que 16,9% estão ligadas a lagoas de estabilização.

Na tabela 2 estão apresentados os mesmos resultados, porém relacionados com as regiões geográficas. Verifica-se que a maior parte do lodo produzido, cerca de 65%, provém da região sudeste que, apesar de possuir um menor número de ETEs, concentra as unidades de maior atendimento populacional e com sistemas que produzem maiores quantidades de lodo per capita.

O destino do lodo produzido é bastante incerto, como visto na tabela 3. Cerca de 45% são encaminhados para aterros sanitários e 5,6% são destinados à agricultura. No entan-

TABELA 2 – PRODUÇÃO DE LODO DE ESGOTO POR REGIÃO (2000-2001)

Estado	Nº de ETEs	Vazão atual de esgoto tratado (m³/dia)	Vazão de projeto (m³/dia)	População atendida (hab)	Produção informada de lodo ⁽¹⁾ (t/ano)	Produção estimada de lodo (t SST/ano)
Norte	03	12.183	56.127	56.000	-	328
Nordeste	66	228.056	184.590	1.620.906	-	15.668
Centro-Oeste	66	324.776	505.761	2.025.252	11.385	19.497
Sudeste	48	1.033.307	1.445.106	7.286.044	274.719	98.139
Sul	92	279.294	120.040	1.789.772	22.529	18.092
BRASIL	275	1.877.616	2.311.624	12.777.974	308.633	151.724

⁽¹⁾ refere-se a lodo úmido
 FONTE: MACHADO, 2001.

a maior parte está conectada a um sistema aeróbio (70,2%), enquanto que 16,9% estão ligadas a lagoas de estabilização

TABELA 3 – DESTINO FINAL DO LODO DE ESGOTO PRODUZIDO (2000-2001)

Destino final	Quantidade informada ⁽¹⁾ (t/ano)	Quantidade informada (%)	Quantidade estimada (t SST/ano)	Quantidade estimada (%)
Aterro sanitário	138.418	44,9	75.844	50,0
Agricultura	17.333	5,6	22.973	15,1
Indefinido	152.882	49,5	52.907	34,9
BRASIL	308.633	-	151.724	-

⁽¹⁾ refere-se a lodo úmido
 FONTE: MACHADO, 2001.

to, quase metade da quantidade informada tem destino indefinido. Da quantidade estimada, verifica-se que metade do lodo vai para aterro, 15% vão para a agricultura e 35% têm destino indefinido. Acredita-se que grande parte do lodo com destino indefinido vá para aterro.

Na tabela 4 são apresentados os valores calculados de produção média de lodo per capita de acordo com o sistema de tratamento de esgoto utilizado. Os resultados de produção média diária per capita estão coerentes com aqueles observados na literatura (ALÉM SOBRINHO, 2000). Obteve-se para o Brasil um valor médio de 33 gSST/hab.dia. Para se ter um valor de comparação, na União Européia verifica-se um valor médio de 78 gSST/hab.dia (MATTHEWS e LINDNER, 1996), com médias próximas à do Brasil para Grécia, Espanha e Portugal (40, 42 e 35 gSST/hab.dia, respectivamente).

A composição média do lodo de esgoto no Brasil está mostrada na tabela 5. Os resultados obtidos mostram uma grande variação de valores em torno da média, o que pode ser visto na coluna de desvio padrão. A composição do lodo não é normalmente verificada pelas operadoras, são informações difíceis de serem obtidas e pouquíssimas ETEs dispõem desses resultados. Operadoras de ETEs localizadas nas regiões Sul e Sudeste e no Distrito Federal contribuíram com essas informações. Esta tabela está sendo apresentada para ser utilizada como fonte de comparação com levantamentos futuros e para fornecer subsí-

dios para possíveis projetos de aplicação em áreas agrícolas. De uma forma geral, a composição média do lodo de esgoto atende aos requisitos para aplicação agrícola previstos pela legislação adotada na União Européia e nos Estados Unidos.

Conclusão

O levantamento feito no período de 2000 a 2001 abrangeu a maior parte das entidades públicas, privadas ou mistas que operam estações de tratamento de esgotos no país. Do total das operadoras inicialmente cadastradas (984), foram recebidas informações de 275 ETEs, localizadas em 17 estados brasileiros e no Distrito Federal. Como é sabido, a grande maioria dos municípios brasileiros não dispõe de tratamento de esgotos o que se refletiu nas respostas recebidas.

A população atendida pelas 275 ETEs é de 12.777.974 habitantes, correspondendo a uma vazão total de 1.877.616 m³/dia, o que resultou em uma contribuição média de 146,9 L/hab.dia.

A produção informada de lodo úmido foi de 308.633 t/ano, enquanto que a produção estimada de lodo, em termos de massa seca, foi de 151.724 t SST/ano, resultando em uma produção média de 33 g SST/hab.dia. Quase metade do lodo produzido é disposta em aterros sanitários. Pelas informações recebidas quanto à qualidade do lodo, pode-se dizer que ele atende aos requisitos internacionais para o uso agrícola.

TABELA 4 – PRODUÇÃO MÉDIA PER CAPITA DE LODO DE ESGOTO DE ACORDO COM O SISTEMA DE TRATAMENTO UTILIZADO (2000-2001)

Sistema de tratamento de esgoto	Produção média anual per capita de lodo (kg SST/hab.ano)	Produção média diária per capita de lodo (g SST/hab.dia)
Lagoas de estabilização	6,75	18
Sistemas aeróbios	14,01	38
Sistemas anaeróbios	5,48	15
Sistemas mistos	8,96	25
BRASIL	11,87	33

FONTE: MACHADO, 2001.

de uma forma geral, a composição média do lodo de esgoto atende aos requisitos para aplicação agrícola previstos pela legislação

TABELA 5 – COMPOSIÇÃO MÉDIA DO LODO DE ESGOTO NO BRASIL (2000-2001)

Parâmetro	Média	Desvio padrão	Mediana
pH	7,33	2,02	6,60
Condutividade, dS/cm	338,03	534,93	55,40
Matéria seca, %	32,12	37,78	13,00
Matéria orgânica, %	56,19	7,96	57,40
Cinzas, %	38,98	9,50	40,10
Nitrogênio amoniacal, %	2,02	2,39	1,51
Nitrogênio nitrato/nitrito, %	1,46	1,87	0,96
Nitrogênio total, % N	5,75	8,88	3,01
Carbono total, % C	28,16	6,00	25,74
Relação C/N	8,50	3,54	8,50
Enxofre total, % SO ₃	0,30	0,25	0,24
Fósforo total, % P ₂ O ₅	1,82	1,58	1,48
Potássio hidrossolúvel, % K ₂ O	0,36	0,53	0,14
Cálcio total, % CaO	4,27	6,55	1,35
Magnésio total, % MgO	0,22	0,20	0,11
Arsênio, mg/kg M.S.	14,69	31,14	2,70
Cádmio, mg/kg M.S.	10,75	17,69	0,74
Chumbo, mg/kg M.S.	80,37	95,42	38,80
Cobre, mg/kg M.S.	255,39	256,93	199,50
Cromo, mg/kg M.S.	143,72	212,84	62,80
Mercúrio, mg/kg M.S.	2,35	4,11	0,85
Molibdênio, mg/kg M.S.	112,88	188,08	8,62
Níquel, mg/kg M.S.	41,99	73,85	11,60
Selênio, mg/kg M.S.	27,24	47,17	0,01
Zinco, mg/kg M.S.	688,83	814,80	207,00
Coliformes fecais, NMP	20.312,67	394.315,24	37.838,00
Estreptococos fecais, NMP	100,00	141,42	100,00
Salmonella sp, NMP	1,00	1,73	0,00
Ovos de helmintos, NMP	13,47	18,66	6,94

a grande maioria dos municípios brasileiros não dispõe de tratamento de esgotos



FONTES: MACHADO, 2001.

Referências

ALEM SOBRINHO, P. Tratamento de esgoto e geração de lodo. In: **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. 312 p.

CATÁLOGO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **CABES XVIII**: guia do saneamento ambiental no Brasil, 93/96. 3. ed. Rio de Janeiro: [S.n.], 1998. 440 p.

FIGUEIREDO, R. F. de. **Reuso e destino dos biossólidos**: relatório. Milão, Itália: Politécnico di Milano/DIAR-Sezione Ambientale, 1997. 152 p.

MACHADO, M. F. de S. **A situação brasileira dos biossólidos**. Campinas, SP, 2001. 282 f. Dissertação (Mestrado) – FEC, Universidade de Campinas, 2001.

MATTHEWS, P.; LINDNER, K. H. European Union. In: MATTHEWS, P. (Ed.). **A global atlas of wastewater sludge and biosolids use and disposal**. Londres: IAWQ, 1996. 197 p.

MIKI, M. K.; ANDRIGUETI, E. J.; ALÉM SOBRINHO, P. Tratamento da fase sólida em estações de tratamento de esgotos. In: TSUTIYA, M.T. et al. (Eds). **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: Sabesp, 2001. 468 p.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Departamento de Saneamento e Ambiente da Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp pelo uso de suas instalações e ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão de bolsa de mestrado. Agradecem as prestadoras de serviços de saneamento pelas informações fornecidas.

Autores

Maria Fernanda de Sousa Machado, engenheira civil pela UFMG, mestre em Engenharia Civil, área de concentração em Saneamento e Ambiente, pela Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp.

Roberto Feijó de Figueiredo, engenheiro civil pela Unicamp, mestre em Hidráulica e Saneamento pela EESC-USP, mestre em Engenharia pela UC Berkeley, Ph.D. em Engenharia pela UC Davis, professor titular do Departamento de Saneamento e Ambiente da FEC-Unicamp.

Bruno Coraucci Filho, engenheiro civil pela Unicamp, mestre em Hidráulica e Saneamento pela EESC-USP, doutor em Engenharia Civil, área de Hidráulica e Sanitária, pela EPUSP, professor titular do Departamento de Saneamento e Ambiente da FEC-Unicamp.

*a interação
água-rocha
determina o
tratamento da
água para
consumo
humano*

Normas editoriais

1 - São aceitos artigos técnicos ou opinativos, inéditos ou não, desde que obedecem às normas para apresentação de documentos científicos. Os artigos serão submetidos à apreciação do Conselho Editorial que pode aprovar ou não a publicação.

2 - A Sanepar reserva-se o direito de fazer correções ortográficas que permitam melhor compreensão do texto, sem alterar o estilo e o conteúdo original, bem como adotar padronizações estabelecidas pela Gramática e Editoria da **Sanare - Revista Técnica da Sanepar**.

3 - Os artigos são publicados em língua portuguesa, e seus respectivos resumos, em inglês.

4 - Os artigos publicados na **Sanare - Revista Técnica da Sanepar**, podem ser reproduzidos total ou parcialmente, desde que citada a fonte.

5 - O conteúdo do material publicado é de responsabilidade exclusiva do (s) autor (es), podendo não representar as políticas da Sanepar. O (s) autor (es) responsabilizam-se pela veracidade das fontes e informações que subsidiaram seus trabalhos.

Normas para apresentação dos artigos

A **Sanare - Revista Técnica da Sanepar** é publicada de acordo com os padrões editoriais recomendados pela Universidade Federal do Paraná com base nas normas da ABNT. São publicados artigos em dois formatos: Opinião e Técnicos. Os autores devem obedecer aos seguintes critérios:

Opinião: os textos opinativos devem ter entre 3 mil e 6 mil caracteres. Estes artigos são textos corridos, sem tabela, fotografia ou figura.

Técnicos: devem ter no mínimo 10 mil caracteres e no máximo 25 mil caracteres.

Formato e Apresentação: os artigos devem ser digitados em Word for Windows, e enviados por e-mail ou em disquete acompanhados de uma cópia impressa. Devem ser escritos em português utilizando a fonte Arial 12, em espaçamento simples. Devem também apresentar um currículo do (s) autor (es) de no máximo 3 linhas com a primeira letra em maiúscula e as demais, referentes a cargos, funções e títulos em minúsculas.

Título do artigo: em no máximo 3 linhas. Não colocar o título em caixa de texto.

Nome do autor ou autores: devem ser escritos na ordem direta. Exemplo: Pedro Antônio Almeida Filho. Se houver mais de um autor, o nome do coordenador pode figurar em primeiro lugar. Os demais devem ser escritos em ordem alfabética.

Resumo: o texto deve ter no máximo 200 palavras, em português, apresentado em um único parágrafo.

Palavras-chave: até cinco palavras. São termos ou frases representativas dos assuntos tratados no artigo, apresentados pela ordem em que aparecem no texto. Devem ser precedidas da expressão Palavras-chave. As palavras devem ser separadas por ponto e vírgula. Exemplo: Palavras-chave: lixo; coleta de lixo; educação ambiental; saneamento.

Tradução do resumo: o abstract é providenciado pela Sanepar. Agradecimentos: se houver, apresentar no final do artigo.

Introdução, Materiais e métodos, Discussão, Resultados e todas as demais sessões: escrever em negrito, com alinhamento à esquerda e, somente com a letra inicial em maiúscula. Em

subtítulo se aparecerem nomes próprios, usar apenas a primeira letra em maiúscula. Não utilize itálico em títulos e subtítulos. Siglas: escrever com letras maiúsculas as siglas com até três letras, como IAP, FAO, OMS PND, ETA, ETE (no plural ETAs, ETEs, ONGs). Esta recomendação vale para todos os casos, ou seja: quando mencionadas no texto, em citações e referências. As siglas, com quatro letras ou mais que não formem palavra, como BNDES, devem ser grafadas com todas as letras em maiúsculas e, quando formam palavras possíveis de serem lidas, como Unesco, devem ser grafadas apenas com a primeira letra em maiúscula.

Citações: menção aos documentos consultados para compor o artigo. Podem aparecer de duas formas, dependendo do contexto. Aparecem em uma frase como: Segundo LEE (1997), em letras maiúsculas, ou podem ser mencionadas após a idéia do (s) autor (es) escritas em letras maiúsculas entre parênteses, exemplo (LEE, 1997). Para até dois autores citar o nome de ambos, da seguinte forma ANDREOLI e FERNANDES (2001) ou (ANDREOLI; FERNANDES, 2001). Quando houver três autores: ANDREOLI, FERNANDES e CARVALHO (2001) ou (ANDREOLI; FERNANDES; CARVALHO, 2001). Para as citações com mais de três autores deve ser utilizada a expressão et al. No corpo do texto, segundo FERREIRA et al. (2001) ou no final do parágrafo (FERREIRA et al., 2001) com ponto no final, sem itálico, ou negrito. Citação de informações ou documentos eletrônicos acessados via internet seguem as mesmas recomendações dos documentos impressos.

Tabela, quadros, figuras: A tabela é utilizada para apresentar dados, em geral, numéricos que foram trabalhados, avaliados e interpretados, o quadro contém geralmente texto e a figura é a ilustração que explicita ou complementa visualmente um texto, como desenhos, diagrama, estampa, esquemas, fluxogramas, fotografias, gráficos, material cartográfico, plantas e outras. Sempre que forem apresentados dados numéricos as unidades deverão estar claramente expressas. As tabelas, os quadros e figuras devem ser auto-explicativos. Devem ter legenda que facilite a compreensão das informações apresentadas. No corpo do artigo as palavras tabela, quadro ou figura devem ser grafadas em minúsculas e seguidas do seu número de ordem. No título escreve-se com todas as letras em maiúsculas, exemplo TABELA 1 - Observe que depois do número e antes do título há um hífen. O título deve ser escrito na parte superior com todas as letras em maiúsculas. O conteúdo das tabelas e quadros deve ser delimitado geográfica e cronologicamente. (ex.: TABELA 1 - PRODUÇÃO DE LODO DE ESGOTO NA ETE - BELÉM - CURITIBA, 1995 - 2000). Se houver fonte deve figurar abaixo da tabela, quadro ou figura transcrita em Arial 11. Exemplo FONTE: SANARE, 1999.

Fotografias: Identificadas no texto como figura, devem ser enviadas em papel fotográfico, ou digital, com alta resolução, extensão JPG ou TIFF. A legenda da fotografia obedece aos padrões acima descritos.

Referências: Seguir o que preconiza a NBR-6023 da ABNT, de agosto de 2000. Podem ser referenciados documentos extraídos da Internet. Exemplos: BRUCKMAN, A. Approaches to managing deviant behavior in virtual communities. Disponível em: <ftp.media.mit.edut.pub/asb/papers/chiance-chi94> Acesso em: 04 dez. 1994.

INFORMAÇÕES: Poderão ser obtidas pelo telefone: (0xx41) 330-3153.

REMESSA: Os artigos devem ser enviados a DMA/APD, pelo e-mail sanare@sanepar.com.br e a cópia impressa aos cuidados de DMA/APD/Sanare - Revista Técnica da Sanepar, Companhia de Saneamento do Paraná, Rua Engenheiros Rebouças, 1376, Bairro Rebouças, CEP 80215-900, Curitiba/PR.