

REÚSO DE ÁGUA NO CONTEXTO DA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS: IMPACTO, TECNOLOGIAS E DESAFIOS

Rodrigo Braga Moruzzi [1]



OLAM - Ciência & Tecnologia, Rio Claro, SP, Brasil – eISSN: 1982-7784
Está licenciada sob [Licença Creative Commons](#)

Introdução

A disponibilidade de água natural passível de potabilização e em quantidade suficiente para atender as demandas futuras depende de ações urgentes no âmbito da gestão de recursos hídricos. A extração de águas de mananciais superficiais e subterrâneos para usos urbanos, industriais e agrícolas modifica o ciclo natural das águas; e o lançamento de efluentes domésticos e industriais em concentrações acima da capacidade de depuração dos corpos de água tem provocado a degradação da qualidade de mananciais.

No Brasil, o lançamento de esgoto *in natura* ainda é uma das principais causas da deterioração da qualidade dos corpos d'água. Tal procedimento tem inviabilizado a utilização dessas fontes como mananciais para abastecimento, seja por razões técnicas seja por razões econômicas. Ademais, o aumento da demanda e a manutenção do ciclo unidirecional (captação→uso→descarte) têm diminuído rapidamente a oferta de água, culminando em situações de escassez. Assim, torna-se imperativa a adoção de ações de conservação e reúso de água.

Neste contexto e considerando que o tratamento dos esgotos sanitários é realidade em algumas cidades brasileiras pode-se, em função da qualidade requerida, difundir a adoção de técnicas de reúso como alternativa para usos não potáveis visando minimizar a pressão nas fontes naturais de melhor qualidade.

Todavia, o problema deve ser abordado sob a ótica integrada e considerando a complexidade demandada pelo tema.

Este artigo apresenta uma compilação de experiências e traça considerações a respeito do efeito do reúso de esgoto sanitário nos mananciais, das principais tecnologias para tratamento e dos desafios para aplicação segura de técnicas visando o reúso não potável.

Definições e Experiências de Reúso

Sempre que a água com a qualidade requerida para determinado uso torna-se um recurso escasso, são buscadas, de forma sistematizada ou não, alternativas de suprimento ou repressão do consumo para que seja restabelecido o equilíbrio oferta/demanda (ORNELAS, 2004).

O reúso de água consiste na recuperação de efluentes de modo a utilizá-las em aplicações menos exigentes. Desta forma o ciclo hídrico tem sua escala diminuída em favor do balanço energético (METCALF; EDDY, 2003).

De uma maneira geral, o reúso da água pode ocorrer de forma direta ou indireta, através de ações planejadas ou não planejadas e para fins potáveis e não potáveis.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) lançou em 1973 (WHO, 1973) um documento onde foram classificados os tipos de reúso em diferentes modalidades, de acordo com seus usos e finalidades, a saber:

reúso indireto: ocorre quando a água já usada, uma ou mais vezes para uso doméstico ou industrial, é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente a jusante, de forma diluída. Trata-se da forma mais difundida onde a autodepuração do corpo de água é utilizada, muitas vezes sem controle, para degradar os poluentes descartados com o esgoto *in natura*;

reúso direto: é o uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável. Exige a concepção e implantação de tecnologias apropriadas de tratamento para adequação da qualidade do efluente à estação à qualidade definida pelo uso requerido;

reciclagem interna: é o reúso da água internamente as instalações industriais, tendo como objetivo a economia de água e o controle da poluição. É constituído por um sistema em ciclo fechado onde a reposição de água de outra fonte deve-se às perdas e ao consumo de água para manutenção dos processos e operações de tratamento;

reúso potável direto: ocorre quando o esgoto recuperado, através de tratamento avançado, é diretamente reutilizado no sistema de água potável. É praticamente inviável devido ao baixo custo de água nas cidades brasileiras, ao elevado custo do tratamento e ao alto risco sanitário associado;

reúso potável indireto: caso em que o esgoto, após tratamento, é disposto na coleção de águas superficiais ou subterrâneas para diluição, purificação natural e subsequente captação, tratamento e finalmente utilização como água potável. Compreende o fluxograma onde o tratamento do esgoto é empregado visando adequar a qualidade do efluente à estação aos padrões de emissão e lançamento nos corpos d'água.

Considerando o reúso direto planejado para fins não potáveis, pode-se subdividi-lo nas seguintes modalidades:

reúso não potável para fins agrícolas: embora quando se pratica esta modalidade de reúso via de regra haja, como sub produto, recarga do lençol subterrâneo, o objetivo precípuo desta prática é a irrigação de plantas alimentícias, tais como árvores frutíferas, cereais, etc, e de plantas não alimentícias tais como pastagens e forrações, além de ser aplicável para dessedentação de animais.

reúso não potável para fins industriais: abrangem os usos industriais de refrigeração, águas de processo, para utilização em caldeiras, limpeza etc. Pode-se considerar alguns usos comerciais tais como a lavagem de veículos;

reúso não potável para fins recreacionais: classificação reservada à irrigação de plantas ornamentais, campos de esportes, parques, gramados e também para enchimento de lagoas ornamentais, recreacionais etc. Em áreas urbanas pode-se considerar ainda a irrigação de parques públicos, áreas ajardinadas, árvores e arbustos ao longo de rodovias, chafarizes e espelhos d'água;

reúso não potável para fins domésticos: são considerados aqui os casos de reúso de água para rega de jardins residenciais, para descargas sanitárias e utilização desse tipo de água em grandes

edifícios. Pode-se considerar também o reúso para reserva de incêndio, lavagem de automóveis e pisos;

reúso para manutenção de vazões: a manutenção de vazões de cursos de água promove a utilização planejada de efluentes tratados, visando uma adequada diluição de eventuais cargas poluidoras a eles carregadas, incluindo-se fontes difusas, além de propiciar uma vazão mínima na estiagem. Nessa modalidade, pode-se enquadrar o reúso para manutenção de habitat naturais;

reúso em aquacultura ou aqüicultura: consiste na produção de peixes e plantas aquáticas visando a obtenção de alimentos e/ou energia, utilizando-se os nutrientes presentes nos efluentes tratados;

reúso para recarga de aquíferos subterrâneos: é a recarga dos aquíferos subterrâneos com efluentes tratados, podendo se dar de forma direta através de injeção sob pressão, ou de forma indireta utilizando-se águas superficiais que tenham recebido descargas de efluentes tratados a montante. A recarga visa o aumento da disponibilidade e armazenamento de água bem como para controlar a salinização de aquíferos costeiros e para controlar a subsidência de solos.

A Figura 1 apresenta um fluxograma ilustrativo que resume alguns tipos de reúso apresentados e suas formas potenciais considerando a reutilização de esgotos domésticos e industriais.

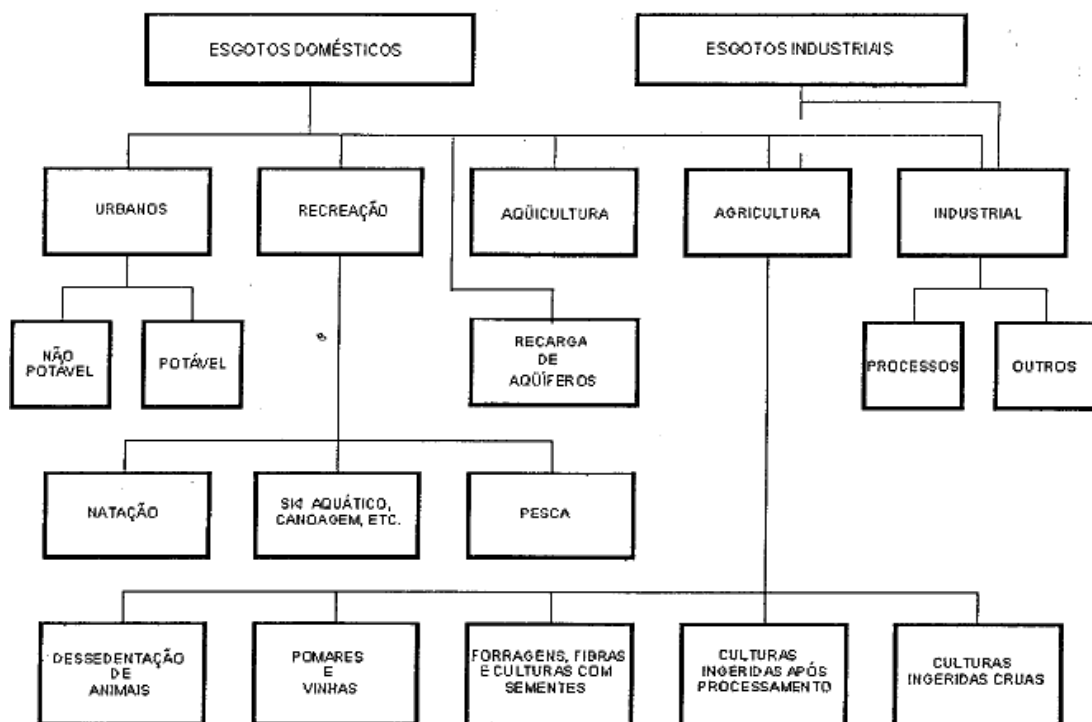


Figura 1: Formas potenciais de reúso de água. Fonte: Hespanhol (2002)

No Brasil, destacam-se algumas ações. Em 1992, a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, seção de São Paulo (ABES-SP) apresenta um documento síntese (ABES, 1992) onde são apresentadas algumas recomendações a médio e a longo prazos visando estimular o reúso como uma prática alternativa ao planejamento ambiental. Nesse documento, são recomendadas algumas ações para facilitar a implantação de um programa de reúso, entre eles: estudos sobre reúso da água, observando o enfoque do uso múltiplo dos recursos hídricos; programas de reciclagem da água em indústrias; estudos e desenvolvimento de sistemas duplo de distribuição; estudos em sistemas avançados de esgoto; desenvolvimento de padrões de qualidade atendendo o reúso pretendido. Muitas dessas ações estão em andamento e grandes conquistas e avanços puderam ser observados desde então, todavia a complexidade do tema traz a clareza de que muito ainda precisa ser feito para que o reúso possa ser difundido amplamente.

Posteriormente, a Resolução n.54, de 28 de novembro de 2005, (BRASIL, 2006) estabeleceu modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água considerando os seguintes aspectos:

- i)** que o reúso de água se constitui em prática de racionalização e de conservação de recursos hídricos;
- ii)** a escassez de recursos hídricos observada em certas regiões do território nacional, a qual está relacionada aos aspectos de quantidade e de qualidade;
- iii)** a elevação dos custos de tratamento de água em função da degradação de mananciais;
- iv)** que a prática de reúso de água reduz a descarga de poluentes em corpos receptores, conservando os recursos hídricos para o abastecimento público e outros usos mais exigentes quanto à qualidade, e
- v)** que a prática de reúso de água reduz os custos associados à poluição e contribui para a proteção do meio ambiente e da saúde pública.

Ainda na referida resolução são estabelecidas as seguintes modalidades de reúso:

I - reúso para fins urbanos: utilização de água de reúso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana;

II - reúso para fins agrícolas e florestais: aplicação de água de reúso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas;

III - reúso para fins ambientais: utilização de água de reúso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente;

IV - reúso para fins industriais: utilização de água de reúso em processos, atividades e operações industriais; e,

V - reúso na aqüicultura: utilização de água de reúso para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos. (BRASIL, 2006)

Existem diversos exemplos mundiais de aplicação de reúso de águas. Na Tabela 1 foram compilados alguns casos de reúso na agricultura, em áreas urbanas, em áreas industriais e casos onde o reciclo é empregado para complementar às fontes de água.

Tabela 1. Compilação das experiências de reúso aplicados em diferentes setores com diversas finalidades. Compilado a partir de Anderson (2003); Mancuso e Santos (2003).

	Local	Vazão (Mm ³ /ano)	Aplicação	Observação
Reúso na agricultura	Monterey, Califórnia - USA	≤ 20	Irrigação 5.000 há de plantação de vegetais	Antes do reúso, o excessivo uso de água subterrânea estava causando a intrusão de água do mar no aquífero
	Cidade do México - México	≈ 1.400	Irrigação de 90.000 há	90% do esgoto sanitário é utilizado para irrigação de áreas com baixa pluviosidade e solo pobre em nutrientes
	Região de Dan - Israel	≈ 130	Percolada para recarga do aquífero e posterior aplicação na agricultura irrigada	A demanda por água em Israel supera a oferta em aproximadamente 1.800Mm ³ /ano
	Virgínia - Austrália	≤ 30	Irrigação de plantações	Parte da água reutilizada provém do tratamento de 43,8Mm ³ /ano por tecnologias de flotação por ar dissolvido e filtração

Reúso em áreas urbanas	St. Petersburg, Flórida - USA	≈29	Usos ornamentais (urbanos e industriais), usos industriais, sistemas de refrigeração de ar e reserva de incêndio	A quantidade de água de reúso utilizada depende das condições meteorológicas. Um adicional de 25,5Mm ³ /ano é injetado no lençol subterrâneo para evitar a intrusão de água do mar.
	Irvine Ranch, Califórnia - USA	≈15	Usos ornamentais, irrigação de pequenas plantações, lagos ornamentais, lavagem de carro e usos industriais	A água de reúso é fornecida por um sistema de abastecimento paralelo ao sistema de abastecimento de água para fins potáveis
	South Bay, Califórnia - USA	≈22	Usos urbanos, industriais e na agricultura	As autoridades limitaram o lançamento de efluentes visando diminuir os impactos no mangue
	Rouse Hill, Sidney - Austrália	n.i	Descarga de vasos sanitários e rega de jardim	A água de reúso abastecerá, por meio de sistema paralelo, 300.000 habitantes
	Homebush Bay, Sidney - Austrália	≈2,5	Descarga de vasos sanitários, irrigação de espaços públicos e jardins residenciais	A água de reúso, proveniente do sistema de tratamento de efluentes sanitários, é misturada à água pluvial. A microfiltração e osmose reversa são utilizadas para atingir o nível requerido de qualidade
	Mawson Lakes, Adelaide - Austrália	n.i	Descarga em vaso sanitário e irrigação ornamental	Adicionalmente, a água pluvial é coletada, tratada e reciclada para alimentação de lagos e como fonte suplementar a irrigação
	São Paulo - Brasil	≈9	Irrigação de áreas públicas e disponibilização da água para uso industrial	Adicionalmente, a água de reúso é utilizada para limpeza de equipamentos e do pátio da empresa de saneamento (SABESP)
Reúso industrial	Phoenix - USA	≈90	Sistema de resfriamento	A estação gera eletricidade a partir da energia nuclear. A média pluviométrica da região é de apenas 175mm/ano.
	Sidney - Austrália	≈1,2	Geração de vapor	O efluente tratado recebe polimento por meio de um sistema que emprega microfiltração e osmose reversa para posterior desmineralização. A água é utilizada na geração de vapor para movimentação das turbinas de geração de energia elétrica
	Port Kembla - Austrália	De ≈13 até 18	Água de resfriamento e extinção de chama em fornos	A água de reúso é utilizada em indústrias de produção de aço
	Brisbane - Austrália	≈5	No processo de refinamento de óleo	O efluente destinado ao reúso é previamente tratado por sistema de membranas
	Singapura	≈26	No processo de fabricação de semicondutores	Utiliza-se de processos de tratamento que empregam microfiltração, osmose reversa seguida de aplicação de ultravioleta.

Reúso para complementar as fontes de água	África do Sul	n.i	A água reciclada constitui uma importante parcela da vazão de muitos rios	Em Pretória e Johannesburg aproximadamente 50% do afluente do reservatório de abastecimento (represa) provem de água de reúso
	Los Angeles, Califórnia - USA	n.i	Recarga de aquífero subterrâneo para abastecimento de água potável.	A água de reúso previamente tratada é filtrada e desinfetada. A quantidade de água de reúso varia de 0 a 23%
	Orange Country, Califórnia - USA	≈73	Recarga de aquífero utilizado para abastecimento com fim potável para prevenir entrada de água salina	Depois de 15 anos de monitoramento não foram observadas alterações substanciais de qualidade da água do aquífero
	Upper Occaquan, Virginia - USA	≈36,5	A água de reúso é descartada no reservatório que abastece o sistema de tratamento de água	A água reciclada representa de 10 a 15% do afluente ao reservatório e o tempo de detenção médio é de 26 dias
	El Paso, Texas - USA	≈13	Recarga de aquífero	O tempo de detenção é de 2 anos antes da água ser bombeada para os poços de abastecimento. Não foram detectados efeitos negativos a saúde, mas a concentração de sólidos dissolvidos sofreu incremento durante o período monitorado
	Windhoek - Namíbia	≈8	A água de reúso é misturada à água do manancial somando a vazão afluente à estação de tratamento de água	Trata-se da primeira planta de reúso do mundo

n.i - não informado

Na Tabela 1 podem ser verificadas diversas aplicações de águas de reúso (dos fins ornamentais aos de irrigação) com diferentes níveis tecnológicos (da aplicação de esgoto *in natura* a adoção de tecnologias avançadas de tratamento). Essa grande variação sugere a existência de diferentes demandas e critérios de aplicação de águas de reúso.

Impacto do Reúso no Balanço Hídrico

(...) Art. 6º Os Planos de Recursos Hídricos, observado o exposto no art. 7º, inciso IV, da Lei nº 9.433, de 1997, deverão contemplar, entre os estudos e alternativas, a utilização de águas de reúso e seus efeitos sobre a disponibilidade hídrica. (BRASIL, 2006)

Em tese, toda a água utilizada provém de reuso não planejado. Os esgotos lançados nos corpos de água são misturados à massa de água que flui nos corpos receptores e utilizados a jusante. A capacidade de depuração da carga orgânica lançada depende da vazão do rio, da quantidade de oxigênio disponível, da capacidade de aeração, entre outros fatores que determinam a capacidade de auto-depuração dos corpos d'água.

A água de reuso tem potencial para atender as demandas menos exigentes, que não necessitam de tratamento visando atender padrões de potabilidade. Nesse sentido, o reuso pode contribuir por meio da diminuição da quantidade captada em mananciais destinados ao abastecimento, do aumento da vida útil de estações de tratamento de água e da diminuição dos riscos e custos associados a busca por novos mananciais.

Sob o ponto de vista quantitativo, o efeito do reuso planejado de efluentes sanitários na vazão dos corpos de água depende do ponto de análise (volume de controle do balanço de massa) e se existe, ou não, transposição entre bacias. Um sistema com um ponto de captação e um ponto de descarte pode implantar um projeto de reuso de efluentes sem que o mesmo cause impacto global no balanço de massa. Isto ocorrerá desde que não seja criada uma nova demanda a ser atendida. Neste contexto, o efluente tratado visando reuso complementar o abastecimento existente o que implicará em um menor volume captado e, na mesma proporção, um menor volume lançado no corpo receptor. Desta forma, o balanço de massa permanece inalterado após o ponto de lançamento. As Figuras 2 e 3 ilustram as considerações mencionadas referentes ao balanço de massa entre os pontos de captação e lançamento (A e B) para as situações sem reuso e com reuso, respectivamente.

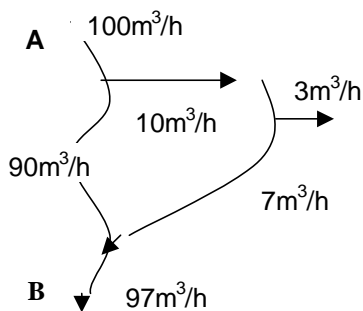


Figura 2: Balanço de massa sem considerar o reúso. Adaptado de AWWA (1996)

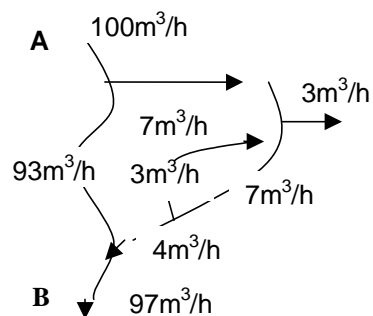


Figura 3: Balanço de massa considerando o reúso de 3 m³/h. Adaptado de AWWA (1996)

Evidentemente, quando o trecho compreendido entre a captação e o lançamento é analisado, verifica-se um balanço positivo de 3 m³/h (Figura 3) quando o reúso é aplicado, comparando-se com o balanço quando o reúso não é aplicado (Figura 2). Esta redução de 3 m³/h na quantidade de água captada pode ser traduzida como uma diminuição na pressão do uso por água potável e representar uma diminuição na vazão da estação de tratamento de água (ETA). Sob esta óptica, o reúso implicou em um impacto benéfico entre o ponto de captação e lançamento.

Contrariamente a situação anterior, a água de reúso pode atender uma nova demanda, criada a partir de sua disponibilidade, sem reduzir o impacto sobre a água potável. Neste caso, a captação não é reduzida e a vazão devolvida por meio do lançamento é diminuída quando comparada ao balanço sem reúso. O efeito da redução da vazão depende da intensidade na qual o recurso é utilizado sendo possível alcançar valores próximos a vazão mínima do corpo de água, prejudicando outros usos.

Para sistemas com transferência entre bacias a mudança na vazão de lançamento implica em uma diminuição da quantidade de águas transferida. As conseqüências podem ser positivas, considerando menor descarte de poluentes, ou negativas, quando são considerados menores volumes de água transferidos. Essas condições variam de acordo com a característica do corpo receptor e distância do ponto de lançamento. Usuários que dependem de uma vazão equalizada podem ver

o reúso como desvantagem enquanto que usuários com preocupações referentes à qualidade da água próximo ao lançamento podem considerar a redução como benéfica.

Nesse contexto, é imperativo que o reúso seja investigado dentro das particularidades regionais uma vez que alterações nos padrões de captação e lançamento devem considerar um ajuste no equilíbrio entre os corpos de água tributários e seus respectivos usos.

Tecnologias de Tratamento

A composição típica de efluentes domésticos não tratados pode ser observada na Tabela 2. Os valores apresentados referem-se a valores médios e podem variar em função da concentração dos constituintes, da hora do dia, do dia da semana, do mês do ano, das características locais, conservação da rede de coleta, entre outras.

Tabela 2. Composição média típica de efluentes sanitários não tratados.

Parâmetro	Unidade	Concentração média
Sólidos Totais (ST)	mg/L	720
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	mg/L	500
Sólidos Suspensos Totais (SST)	mg/L	220
Sólidos Sedimentáveis (SS)	mL/L	10
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	mg/L	220
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	mg/L	500
Nitrogênio Total (N)	mg/L	40
Fósforo Total (P)	mg/L	8
Cloretos	mg/L	50
Sulfato	mg/L	30
Alcalinidade	mgCaCO ₃ /L	100
Graxa	mg/L	100
Coliformes totais	nº/100 mL	10 ⁷ -10 ⁸
Compostos Orgânicos Voláteis	µg/L	100-400

Adaptado de Metcalf; Eddy (2003)

O lançamento de efluente doméstico sem tratamento em corpos de água causa diferentes alterações na sua condição natural tais como: depleção do oxigênio dissolvido, introdução de compostos orgânicos que conferem gosto e odor, matérias tóxicas, metais pesados, nutrientes, óleos e outros constituintes que podem ocasionar as mais diversas implicações. Por esta razão, os efluentes domésticos devem ser tratados antes de seu lançamento nos corpos de água.

Não faz parte do escopo deste artigo a abordagem completa sobre os diferentes níveis de tratamento e suas alternativas tecnológicas, todavia julgou-se conveniente apresentar as principais funções do tratamento em nível primário, secundário e terciário, de acordo com as definições apresentadas em Campos (1999).

O tratamento primário versa a remoção de sólidos grosseiros, por meio de grades, e de partículas suspensas por meio da sedimentação. Já o tratamento secundário visa degradar biologicamente os compostos carbonáceos. Como produto da degradação, existe a produção de biomassa que é função da quantidade de matéria orgânica degradada e do aceptor de elétrons. Assim, após a degradação biológica, os sólidos produzidos devem ser removidos em unidades próprias a este fim e, posteriormente, submetidos ao adensamento, estabilização, secagem e disposição final.

A maioria das estações de tratamento construída no Brasil alcança apenas o nível de tratamento secundário. No entanto, o efluente do tratamento secundário ainda possui nitrogênio e fósforo em quantidade, concentração e formas que podem provocar problemas no corpo receptor, dando origem ao fenômeno conhecido como eutrofização.

O tratamento terciário tem por objetivo, no caso de esgotos sanitários, a redução da concentração de nitrogênio e de fósforo e é, geralmente, fundamentado em processos biológicos realizados em fases subseqüentes denominadas

nitrificação e desnitrificação. A remoção do fósforo pode também ser realizada por meio de um processo físico-químico.

Os níveis de tratamento descritos destinam-se à remoção de sólidos em suspensão e carga orgânica, restando a remoção de organismos patogênicos. Alguns sistemas empregados para a remoção dos sólidos têm capacidade de efetuar uma redução considerável no número de patogênicos. Entretanto, em alguns casos se faz necessário a previsão de unidades dedicadas a esta finalidade, empregando agentes químicos ou físicos.

Merece destaque o fato de que tecnicamente todo efluente pode ser tratado para qualquer uso, entretanto para aplicação em reúso devem ser definidos quais constituintes devem ser removidos e qual o residual recomendado. Por exemplo, a remoção de nitrogênio e fósforo dos efluentes domésticos previne a eutrofização, todavia deve ser controlada quando a aplicação do reúso demandar nutrientes, como na agricultura, paisagismo ou jardinagem.

Em termos gerais, cada nível de tratamento, associado a uma tecnologia produz efluentes com uma determinada característica, com diferentes concentrações residuais de contaminantes. Assim, para cada nível de tratamento existe uma possibilidade de reúso, associada ao risco de contaminação de ordem direta ou indireta.

A Tabela 3 apresenta orientações gerais de reúso de acordo com o tratamento e concentrações esperadas de alguns parâmetros.

Tabela 3: Tipos de uso, tratamento recomendado e concentração esperada de alguns parâmetros.

Usos	Tratamento recomendado	Concentração esperada de alguns parâmetros				
		SST (mg/L)	DBO (mg/L)	NH ₃ (mg/L)	PO ₄ (mg/L)	Coliformes Totais/100ml
Rega de forragens, sementes	Primário	80	120	N.A	N.A	N.A
Rega de pastagem, jardins públicos, lagos ornamentais	Lodos ativados e desinfecção	20	20	N.A	N.A	<23
	Filtro biológico, lodos ativados e desinfecção	10	10	N.A	N.A	<23
Aplicações que demandam remoção de nitrogênio	Aeração prolongada e desinfecção	10	10	5	N.A	<23
Aplicação agrícola, parques e jardins e recreação de contato primário	Secundário e desinfecção	10	10	5	N.A	<2,2
	Secundário, filtração e desinfecção	10	10	5	N.A	<2,2
	Secundário, filtro Dynasand e desinfecção	10	10	5	N.A	<2,2
Piscicultura	Secundário, filtro Dynasand, remoção de fósforo e desinfecção	10	10	1	2	<2,2
Culturas alimentícias, parques, irrigação de pátios escolares e para lagos recreacionais de acesso irrestrito	Processo Bardenpho (remoção biológica de fósforo) e desinfecção	10	10	1	2	<2,2
Recarga de lençóis por injeção no solo e por meio de bacias de recarga	Secundário, filtro Dynasand, adsorção e desinfecção	<2	<2	1	2	<2,2
Torres de resfriamento, água de processo, caldeiras e geradores de vapor	Secundário, filtro Dynasand, adsorção, osmose reversa e desinfecção	<1	<1	<1	2	<2,2
	Secundário, recarbonatação, osmose reversa e desinfecção	<1	<1	<1	2	<2,2

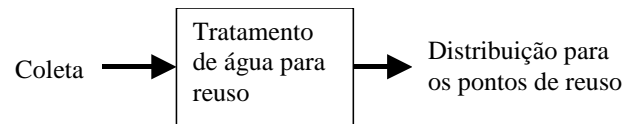
Fonte: Adaptado de Mancuso e Santos (2003).

Conforme observado por Mancuso e Santos (2003), os sistemas de tratamento apresentados na Tabela 3 são apenas recomendações gerais, compilados a partir de diferentes autores, que podem apontar uma estratégia.

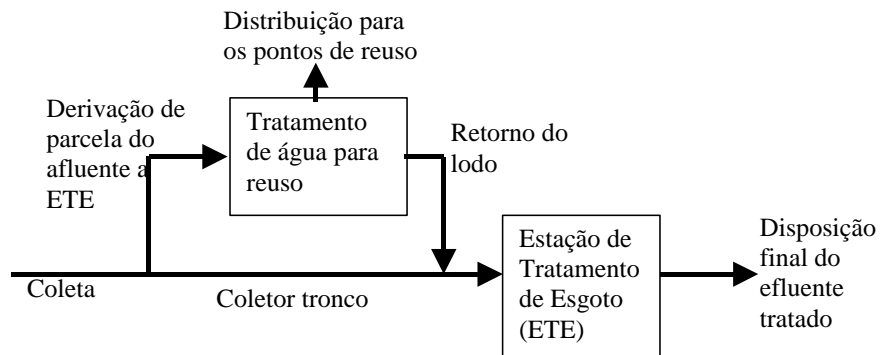
Entretanto, a definição segura não deve prescindir um rigoroso estudo em escala de laboratório e piloto.

Ademais, Mancuso e Santos (2003) acrescentam que o reúso de água subentende uma tecnologia desenvolvida em maior ou menor grau, dependendo dos fins a que se destina a água e de como ela tenha sido usada anteriormente. Assim, as tecnologias empregadas para tratamento de água visando reúso devem considerar a qualidade da água afluyente ao sistema de tratamento e os usos que serão considerados após o tratamento. Qualquer alteração nestas condições deve ser avaliada antes da adoção ou da continuidade das práticas de reúso.

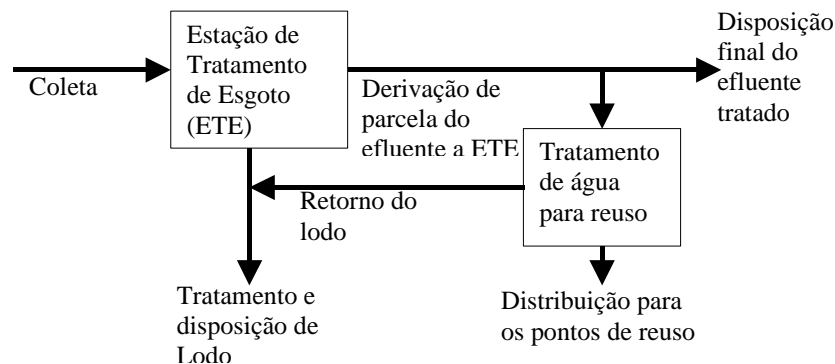
Fica claro, portanto, que a produção de água de reúso depende do nível de tratamento requerido, determinado por sua qualidade. Todavia, a quantidade demandada para cada finalidade também é fator determinante na concepção da estratégia de produção de água de reúso. Neste contexto, os sistemas de tratamento podem assumir diferentes configurações, conforme ilustrado na Figura 4.



a) Tratamento centralizado próximo aos pontos de reuso



b) Reaproveitamento por meio da derivação de parcela do esgoto bruto (afluente a Estação de Tratamento de Esgoto)



c) Reaproveitamento de parcela do esgoto tratado (efluente a Estação de Tratamento de Esgoto)

Figura 4: Possíveis configurações do sistema de tratamento de água de reúso.

Na Figura 4-a o tratamento é centralizado na unidade de tratamento de água de reúso e posteriormente distribuída aos pontos de utilização. Na Figura 4-b uma parcela do esgoto bruto é desviada para a unidade de tratamento de água de reúso antes de entrar na estação de tratamento de esgoto (ETE) e o lodo resultante do tratamento é conduzido à ETE. Na Figura 4-c uma parcela do efluente da ETE é derivada para a unidade de tratamento de reúso.

Evidentemente a adoção por uma ou outra estratégia pressupõe a análise de diferentes fatores, tais como: existência da ETE, nível de tratamento requerido,

existência de emissários, distância entre o ponto de produção e de distribuição e vazões requeridas para atendimento das demandas de água de reúso.

Certamente, a viabilidade técnica e econômica do reúso de efluentes sanitários ganha com o incremento do número de estações de tratamento de esgotos (ETE) no Brasil e com o grau de tratamento demandado para atender aos padrões de lançamento e emissão nos corpos de água. À medida que as ETEs aumentam em número e aprimoram seus processos, visando um refinamento do tratamento, o reúso dos efluentes pode ser viabilizado.

Todavia, para que esta viabilidade se concretize deve-se ter como premissa que, sob o ponto de vista energético, a demanda do sistema de reúso não deve superar aquela prevista em sistemas de tratamento e distribuição de água. Assim, os usos requeridos após a primeira utilização devem obedecer a padrões menos rigorosos sem, no entanto, colocar em risco a saúde dos operadores do sistema e da população.

Desafios

O reúso de efluentes sanitários pode ser considerado como um método combinado de reciclagem de água e nutrientes. Todavia, sua implementação deve levar em conta evidências científicas no que tange a presença de patógenos, substâncias químicas e outros fatores tais como mudanças nas práticas sanitárias e aperfeiçoamento dos métodos de avaliação de riscos (WHO, 2006).

O estabelecimento de padrões de qualidade de água de reúso para as diferentes finalidades constitui o principal desafio para difusão e aplicação segura de técnicas de reúso. Bastos et al. (2008) colocam que não existem dúvidas sobre a possibilidade de riscos a saúde em práticas de reúso e que muita controvérsia persiste na definição do padrão de qualidade e grau de tratamento que garantem a segurança sanitária.

Freqüentemente, a qualidade da água de reúso é baseada no princípio de não permitir riscos maiores que um valor tido como aceitável. A segurança sanitária da água de reúso é comumente atribuída à capacidade das estações de tratamento de produzir efluente com qualidade compatível aos usos pretendidos. Este enfoque limita ao projeto e a operação das unidades de tratamento o compromisso com a segurança sanitária. Neste contexto, o custo do sistema de tratamento e, por conseqüência, do sistema de reúso será tão maior quanto maior for o nível de tratamento requerido.

Embora aceita como uma das abordagens para o estabelecimento de critérios para a utilização de efluentes sanitários, a ausência de riscos potenciais, caracterizada pela ausência de organismos indicadores ou patógenos no efluente é criticada por sua fragilidade em termos de fundamentação epidemiológica (BLUMENTHAL et al., 2000 apud BASTOS et al., 2008). Ademais, a simples imposição de normas e procedimentos rígidos não garante a segurança dos usuários de águas de reúso principalmente se estas recomendações são inviáveis no contexto local. Nesta situação, os usuários simplesmente ignoram as normas e aplicam irrestritamente técnicas de reúso apesar dos riscos envolvidos.

Nessa linha, o estado norte americano da Califórnia por meio do *Califórnia Regional Water Quality Control Board* definiu algumas diretrizes no título 22 do Código de Regulamentos da Califórnia da Divisão 4 de Saúde Ambiental (CALIFORNIA, 2001) Neste, são definidos alguns requisitos de qualidade para cada uso pretendido em diferentes níveis de tratamento, a saber: água de reúso para agricultura e paisagismo; água de reúso para recarga de aquíferos; água de reúso industrial, e água de reúso para dessedentação de animais e criação de peixes. Essas normas, consideradas mais restritivas que as recomendações da Organização Mundial de Saúde (OMS), de 1989, são factíveis no contexto onde foram estabelecidas, todavia não se pode generalizar sua aplicação sob pena destas serem negligenciadas dada a impossibilidade de atendimento.

Assim, o desafio está em estabelecer procedimentos seguros e factíveis. Neste contexto, a última edição da OMS (WHO, 2006) estabelece procedimentos que vão além do estabelecimento de diretrizes para o tratamento de águas residuárias visando o reúso em atividades agrícolas e aqüicultura. São estabelecidos padrões menos rígidos para o tratamento somado a recomendações no manuseio da água de reúso. Estas recomendações são feitas com base em “metas de saúde” estabelecidas por meio da análise das rotas de contaminação (contato direto, consumo e presença de vetores) e, a partir da qual, são recomendadas medidas combinadas de proteção (proteção multi-barreiras). Adicionalmente, são estabelecidos parâmetros para a análise quantitativa e para medidas de riscos em diferentes rotas de exposição.

A Figura 5 apresenta algumas opções para redução de vírus, bactérias e protozoários patógenos por meio de diferentes combinações de medidas de proteção baseadas na meta de carga de doenças tolerável de até 10^{-6} DALYs pppa¹.

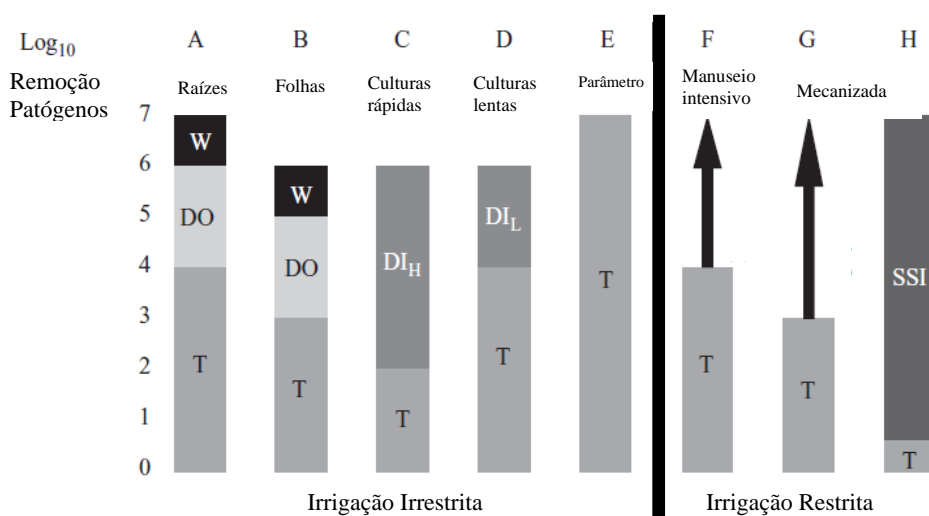


Figura 5: Combinação de mecanismos de redução de organismos patógenos propostas pela OMS (2006).

T: tratamento; **DO**: decaimento; **H**: medidas de higiene; **DIH**: irrigação por gotejamento de plantas com desenvolvimento distante do nível do solo; **DIL**: irrigação por gotejamento de plantas com desenvolvimento rentes ao nível do solo; **SSI**: irrigação subsuperficial.

¹ *Disability Adjusted Life Years* (DALYs): Refere-se a carga de doença em uma população medida por pessoa por ano (pppa). Depende do número de pessoas afetadas, da duração do efeito e do peso atribuído a gravidade do efeito. O valor de 10^{-6} é assumido pela OMS como carga tolerável de doença.

Por meio da análise da proposta pode-se verificar que a remoção de patógenos depende de ações relacionadas tanto na etapa de tratamento quanto daquelas relacionadas às medidas de higiene no manuseio e aplicação de técnicas de irrigação. A combinação desses mecanismos de remoção de patógenos (processos multi-barreiras) pode conduzir a remoção de até 7 unidades logarítmicas de organismos indicadores. Verificam-se também diferenças relacionadas ao tipo de irrigação: restrita e irrestrita. Para vegetais consumidos crus, culturas não processadas comercialmente, culturas irrigadas superficialmente ou por aspersão, a combinação de processos multi-barreiras deve conduzir a maiores graus de proteção.

Evidentemente, as práticas multi-barreiras podem ser consideradas um avanço na gestão de águas de reúso, principalmente em países em desenvolvimento onde a capacidade de investimento é limitada. Porém, vale mencionar que existe uma dificuldade adicional relacionada ao monitoramento destas práticas difusas nos pontos de utilização da água de reúso.

Além disso, em relação às novas diretrizes da OMS (WHO, 2006), Asano (2008) atenta para o risco da compreensão equivocada de que o tratamento não é importante. Nesse sentido, o autor reforça a importância do tratamento e coloca que as novas diretrizes devem servir de ponto de partida em países em desenvolvimento onde o saneamento é uma preocupação. Assim, espera-se que o avanço na cobertura de tratamento permita o incremento gradual das técnicas e grau de tratamento de modo que as práticas de reúso possam se tornar mais seguras.

Por fim, vale mencionar que qualquer critério sugerido para reúso deve ser pautado na análise de riscos e em evidências epidemiológicas. O entusiasmo na aplicação de tecnologias de reúso pode conduzir a uma abordagem simplista do problema e resultar na contaminação da população usuária.

Considerações Finais

A despeito das terminologias utilizadas para definir as diferentes modalidades, o reúso é importante instrumento na gestão de recursos hídricos e pode ser considerado em processos industriais, recarga de aquífero, fins recreacionais, ornamentais, domésticos, aquicultura e até mesmo para fins potáveis.

Neste artigo foram compiladas diversas experiências mundiais de reúso de águas. Notou-se que as vazões e as aplicações são as mais diversas e os tipos de tratamento empregados variam de país para país. As técnicas de conservação e reúso apresentadas sugerem que os benefícios ambientais podem ser substanciais, minimizando os impactos quantitativos e qualitativos nos recursos hídricos.

Entretanto, merece destaque o fato de que a extensão dos benefícios referentes à aplicação de reúso nos recursos hídricos depende da delimitação do volume de controle do balanço de massa e pode ser positivo, desde que novas demandas não sejam criadas. Ademais, devem ser considerados os aspectos regionais para avaliação das vazões captadas e lançadas, garantindo os usos múltiplos.

No que diz respeito ao tratamento, existem diversas tecnologias disponíveis para água de reúso que resultam em diferentes concepções de sistemas. Entretanto, a definição do grau de tratamento necessário é fundamental para a aplicação segura de tecnologias e, sob o ponto de vista sanitário, depende da definição dos riscos aceitáveis. Da mesma forma, devem ser analisados os aspectos econômicos relativos à implantação de tecnologias de reúso partindo da hipótese de que a demanda energética do sistema de reúso não deve superar aquela prevista no ciclo tradicional do saneamento.

Considerando o aumento do investimento na área de Saneamento Básico, decorrentes de programas Federais e suas conquistas recentes, verifica-se atualmente que o tratamento dos esgotos sanitários é realidade em algumas cidades brasileiras. Assim, pode-se em função da qualidade requerida, difundir a adoção de

técnicas de reúso como alternativa para usos não potáveis visando minimizar a pressão nas fontes naturais de melhor qualidade.

Todavia deve-se ressaltar os aspectos relativos à proteção à saúde, onde foi possível verificar que o estabelecimento de padrões de qualidade seguros e factíveis constituem o principal desafio para a difusão e aplicação de técnicas de reúso. Nesse sentido, vale mencionar que foram enfatizadas somente os aspectos referentes à segurança microbiológica da água de reúso e que aspectos relativos as características físicas e químicas também devem ser considerados.

Por fim, cabe ressaltar que a adoção de parâmetros muito restritivos, relacionados ao conceito de risco zero, pode inviabilizar a aplicação de técnicas de reúso ou, por outro lado, induzir a práticas inseguras. Assim, o principal desafio esta em estabelecer parâmetros adequados à realidade local baseado no conceito de risco tolerável.

Referências

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA). **Strategic management implications of water reclamation and reuse on water resources**. Prepared by the North Carolina of Water Resources. Reclaimed Water Conference. Ap.1996, Disponível em: <<http://www.ncwater.org/Reports and Publications/reuse/reuse.html>>. Acesso em: 05 nov. 2008.

ANDERSON, J. The environmental benefits of water recycling and reuse. **Water Science and Technology**: water supply, London, vol.3, no. 4, 2003, p.1-10.

ASANO, T. In: McCANN, B. WHO's drive to secure a shift in reuse safety. **Water 21**. International Water Association. Aug/ 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (ABES). Reúso da Água. **Revista DAE**, SABESP, São Paulo, n.167, set/out 1992, p. 24-32.

BASTOS, R.K.X.; KIPERSHOF, A.; CHERNICHARO, C.A.de L.; FLORENCIO, L.; MONTEGGIA, L.O.; SPERLING, M.V.; AISSE, M.M.; BEVILACQUA, P.D.; PIVELLI, R.P. Subsídios à regulamentação do reúso da água no Brasil – utilização de esgotos sanitários tratados para fins agrícolas, urbanos e piscicultura. **Revista DAE**. SABESP. São Paulo, Maio/2008, não paginado.

BLUMENTHAL, U.J.; PEASEY A.; RUIZ-PALACIOS G.; MARA D.D. **Guidelines for wastewater reuse in agriculture and aquaculture: recommended revisions based on new research evidence**. London: WELL, 2000.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução Nº54 de 28 de novembro de 2005**. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 09/03/2006. Disponível em: <http://www.cnrh-srh.gov.br/>. Acesso em: 16 de outubro de 2008.

CALIFORNIA. **California Code of Regulations, Title 22, Division 4, Chapter 3: water recycling criteria (Sections 60301–60357)**. Sacramento, CA, Office of Administrative Law, 2001.

CAMPOS, J. R. (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: PROSAB. ABES. 1999.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, São Paulo, Volume 7, nº4, out/dez 2002, p.75-95.

MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. dos S. (eds). **Reúso de Águas**. Barueri: Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Núcleo de Informação em Saúde Ambiental, 2003.

METCALF; EDDY. **Wastewater engineering treatment disposal reuse**. 4. ed. Revised by G. Tchobanoglous, F. Burton e D. Stensel. New York: McGraw Hill Book, 2003.

ORNELAS, P. **Reuso de água em edifícios públicos: o caso da Escola Politécnica da UFBA**. 2004. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2004.

WHO. **Reuse of effluents: methods of wastewater treatment and health safeguards**. Report of a WHO Meeting of Experts. Geneva, World Health Organization (Technical Report Series No. 517), 1973.

WHO - World Health Organization. **Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture**. Technical Report Series, No. 776, 1989.

WHO - World Health Organization. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**. Policy and regulatory aspects. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, v.1, 2006.

RESUMO

Este artigo tece algumas considerações sobre o reúso de águas na gestão dos recursos hídricos. Para tal finalidade, a análise foi dividida levando em consideração o impacto da adoção de práticas de reúso, as tecnologias consagradas e os novos desafios para difusão de práticas de reúso. Inicialmente, julgou-se conveniente à apresentação de alguns conceitos e definições bem como a compilação de algumas experiências mundiais. A partir desse exercício foi possível tecer algumas considerações finais a respeito da prática de reúso como um dos instrumentos da gestão dos recursos hídricos e seus principais desafios.

Palavras-chave: Reuso de Efluentes. Experiências de Reúso. Impactos do Reúso. Tecnologias de Tratamento. Risco à saúde. Gestão de Recursos Hídricos.

ABSTRACT

This paper presents a brief consideration about the water reuse and its role in water management. The analyses was divided taking into account the impact of reuse practices in water management context, the consolidated technologies and the new challenges needed to spread out reuse practices. Initially, however, it was presented some concepts and definitions as well the compilation of some experiences worldwide. From this exercise, it was possible to make some final remarks regarding the reuse as a water management instrument and its main challenges.

Key words: Effluent Reuse. Reuse Experiences. Reuse Impacts. Treatment Technologies. Health Risk. Water Management.

Informações sobre o autor:

[1]Rodrigo Braga Moruzzi - <http://lattes.cnpq.br/9408665052901005>

Professor Assistente Doutor do Departamento de Planejamento Territorial do Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Universidade Estadual Paulista (DEPLAN/UNESP-Rio Claro). Engenheiro Civil pela Universidade Federal de São Carlos (1997); mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (2000), e doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (2005). Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Tratamento de Água para Abastecimento, atuando principalmente nos seguintes temas: saneamento básico, aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis, tratamento de água e efluentes. Contato: rmoruzzi@rc.unesp.br