

Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos

IVANILDO HESPANHOL

Introdução

A CONFERÊNCIA Mundial das Nações Unidas sobre Água e Meio Ambiente, realizada em Dublin, Escócia, em janeiro de 1992 (ICWE, 1992), formulou quatro princípios, dois dos quais estabeleceram os critérios básicos para a gestão de recursos hídricos no século XXI: “a água é um recurso finito e vulnerável, essencial para a manutenção da vida, do desenvolvimento e do meio ambiente” e “a água tem valor econômico para todos os seus usos e deve ser considerada como um bem econômico...”.

Esses dois princípios modelaram as tomadas de decisão subseqüentes em gestão de recursos hídricos, estimulando o uso parcimonioso da água e atribuindo a ela a conotação de “*commodity*”. No Brasil, a resposta veio pela promulgação de uma ampla legislação, entre as quais a Lei n.9.433 (janeiro de 1997), que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e definiu a estrutura jurídico-administrativa do Sistema Nacional de Recursos Hídricos, a Lei n.9.984 (julho de 2000) que criou a Agência Nacional de Águas, e a Resolução Conama n.16 (maio de 2001) que estabeleceu critérios gerais para a outorga de direito de uso de recursos hídricos.

A Lei n.9.433, estabelecendo que “serão cobrados os usos dos recursos hídricos sujeitos à outorga (art. 20, seção IV), modificou substancialmente as bases operacionais e econômicas do uso da água.

A cobrança pelo uso da água, embora criticada por alguns setores, inclusive formadores de opinião com atuação na área ambiental, se constitui em instrumento extremamente benéfico tanto em termos de conservação de recursos hídricos, uma vez que induz à gestão da demanda, como em termos de proteção ambiental, promovendo a redução da descarga de efluentes em corpos hídricos.

Essa medida de caráter legal e institucional não será, entretanto, suficiente para manter o equilíbrio entre demanda e oferta de água, especialmente em grandes conurbações, com perspectivas de crescimento populacional e industrial, onde a disponibilidade de recursos hídricos já é insuficiente mesmo nas condições atuais.

Os Índices de Criticidade de Recursos Hídricos (ICRH), associados à disponibilidade específica de recursos hídricos ($m^3/\text{habitante.ano}$) em uma determinada região ou bacia hidrográfica, mostrados na Tabela 1, refletem os problemas de gestão de recursos hídricos que podem ocorrer onde a demanda começa a ser maior do que a oferta (Falkenmark, 1992).

Nota-se que disponibilidades próximas a 10.000 m³/hab.ano (ICRH 1 e 2) não geram conflitos significativos em termos de quantidade de água. Entretanto, disponibilidades correspondentes aos índices 4 e 5 refletem situações insustentáveis de conflitos de uso e de escassez crônica de água. As experiências de gestão têm mostrado que valores de DEA superiores a 1.700, m³/hab.ano correspondem a situações de suficiência hídrica, valores menores do que 1.700 correspondem a situações de alerta de escassez hídrica, e que valores inferiores a 1.000 refletem condições de escassez crônica de água.

Em termos médios, o Brasil apresenta uma condição altamente favorável, pois dispõe de 33.944,73 m³/hab. ano (ANA, 2002). No Estado de São Paulo o valor médio relativo a 1996 era de 3.014,4, mas a previsão para 2010 é de 2.339,6 m³/hab.ano (IBGE, 2000). Diante da tendência de contínuo crescimento populacional e industrial, a disponibilidade hídrica tende a diminuir ao longo do tempo, enquanto os recursos hídricos disponíveis são mantidos aproximadamente constantes (em termos de vazão, mas não em termos de qualidade).

Uma visão mais detalhada desse cenário mostra condições extremamente críticas em termos de disponibilidade de água. Na bacia do Alto Tietê, por exemplo, onde se situa a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), a disponibilidade específica é, atualmente, de 216,7 m³/hab, e a previsão para 2010 é que ela seja de apenas 179,3 m³/hab.ano. A bacia dos rios Piracicaba/Capivari/Jundiaí, que fornece 33 m³/s para abastecimento da RMSP, apresenta disponibilidades hídricas de 497,46 m³/hab.ano e 347,2 m³/hab.ano nas mesmas datas (IBGE, 2000).

Tabela 1
Índice de Criticidade de Recursos Hídricos (ICRH). Disponibilidade Específica de Água (DEA) e problemas de gestão associados (Falkenmark, 1992)

ICRH	Disponibilidade Específica de Água (DEA) (m ³ /hab.ano)	Problemas de gestão de recursos hídricos
	DEA ≥ 10.000	Sem problemas ou problemas limitados
	10.000 > DEA ≥ 2.000	Problemas gerais de gerenciamento
	2.000 > DEA ≥ 1.000	Grande pressão sobre os recursos hídricos
	1.000 > DEA ≥ 500	Escassez crônica de água
	DEA < 500	Além do limite de disponibilidade

O velho paradigma

Atualmente, a disponibilidade hídrica da RMSP, somada a todos os recursos de água importados das bacias circunvizinhas e das longínquas, não é mais

suficiente para atender à demanda de uma população próxima a vinte milhões de habitantes e a um dos maiores parques industriais do mundo. Os tomadores de decisão, responsáveis pelo abastecimento público da metrópole, estudam as possibilidades de obter volumes adicionais de água para fazer frente ao crescimento do consumo. Todas as propostas analisadas, sem exceção, propõem reversão de bacias como solução; e as que foram, no início das discussões, consideradas as mais prováveis são as bacias do Rio Capivari-Monos, essa relativamente próxima, e a do Rio Ribeira de Iguape, distando aproximadamente cem quilômetros da RMSP. A do Capivari-Monos se mostrou com pequena probabilidade de ser viabilizada, ante os aspectos políticos, institucionais e ambientais que condicionam a sua reversão. Entretanto, a do Ribeira de Iguape foi considerada, na parte inicial de estudo de opções viáveis, com bastante probabilidade de se viabilizar.

O projeto previa uma reversão total de 105 m³/s, iniciando-se com uma vazão de 30 m³/s. Em razão do custo de capital de R\$ 1.373.255.000,00, e de R\$ 116.435.000 por ano apenas em energia elétrica, necessária para transporte e recalque, o projeto foi considerado inviável e abandonado (Sampaio, 2005). Entretanto, ante o crescimento contínuo da demanda de água na RMSP, é muito provável que essa opção volte a ser considerada dentro de alguns anos. Diversas outras opções foram consideradas, optando-se pela opção designada como D, que considerou viável o reforço do abastecimento da RMSP com uma vazão adicional de 19,4 m³/s, através de volumes adicionais a serem proporcionados por um seqüenciamento de obras delineadas no Sistema Guarapiranga (otimização Guarapiranga/Taquacetuba), Sistema Tietê (fechamento do Taiaçupeba e operação otimizada), Sistema Juquitiba (Juquiá/Juquitiba), Sistema Rio Grande (Braço do Rio Pequeno), Sistema Alto Tietê (Itapanhaú) e Sistema Itatinga (PDAA, 2006). Nenhuma consideração adicional foi feita pelos tomadores de decisão, do volume de esgotos que seria gerado em razão dessa nova adução de 19,4 m³/s, ou seja, de aproximadamente 15,5 m³/s, assumindo-se um coeficiente de retorno de 80% que, certamente, seria disposto, sem tratamento, nos já extremamente poluídos corpos hídricos da RMSP.

A política de importar água de bacias cada vez mais distantes para satisfazer o crescimento da demanda remonta a mais de dois mil anos. Os romanos, que praticavam uso intensivo de água para abastecimento domiciliar e de suas termas, procuravam, de início, captar água de mananciais disponíveis nas proximidades, e à medida que esses se tornavam poluídos pelos esgotos dispostos sem nenhum tratamento, ou ficavam incapazes de atender à demanda, passavam a aproveitar a segunda fonte mais próxima, e assim sucessivamente. Essa prática deu origem à construção dos grandes aquedutos romanos, dos quais existem, ainda, algumas ruínas, em diversas partes do Velho Mundo.

O Império Romano construiu onze aquedutos, totalizando 502 quilômetros de extensão e vazão de 1.127.220 m³/dia (13.046 L/s). O primeiro deles, o Aqua Appia, foi construído em 312 a.C. por Appius Claudius Caecus e C. Plautius. Tinha apenas dezesseis quilômetros de extensão e carrega uma vazão

de 73.000 m³/dia (845 L/s). O Aqua Claudia, cuja construção começou com Calígula no ano 38 e terminou com Claudius no ano 52, já tinha 69 quilômetros de extensão, veiculando 184.220 m³/dia (2.132 L/s). O maior de todos os aquedutos romanos foi o Aqua Márcia, com 91 quilômetros de extensão, conduzindo 187.600 m³/dia (2.171 L/s) (Swansea University, 2006; Bowdoin College, 2006).

A sistemática atual é, portanto, a mesma adotada há mais de dois mil anos, resolvendo, precariamente, o problema de abastecimento de água em uma região, em detrimento daquela que a fornece. Como os sistemas de coleta, transporte, tratamento e disposição final de esgotos não são expandidos em correspondência às novas vazões aduzidas, ocorre um aumento da poluição na região que a recebe. Há, portanto, necessidade de adotar um novo paradigma que substitua a versão romana de transportar, sistematicamente, grandes volumes de água de bacias cada vez mais longínquas e de dispor os esgotos, com pouco, ou nenhum tratamento, em corpos de água adjacentes, tornando-os cada vez mais poluídos. A Figura 1 mostra algumas características do primeiro aqueduto construído, e a Figura 2, os remanescentes do Aqua Claudia, o mais famoso dos aquedutos construídos pelos romanos.



Figura 1

Seção transversal do Aqua Appia, construído em 312 A.C, com apenas dezesseis quilômetros de extensão e vazão de 73.000 m³/dia (845 L/s).



Figura 2

O Aqua Claudia, construído entre os anos 38 e 52, com 69 quilômetros de extensão, veiculando 184.220 m³/dia (2.132 L/s).

O novo paradigma

Sem considerar as perdas nos sistemas de produção e adução, a demanda média total da RMSP em 2005 foi estimada em 68,1 m³/s, e a previsão para 2010 em 71,9 m³/s (PDAA, 2006). Assumindo-se, arbitrariamente, que a vazão atualmente distribuída na RMSP seja de 70 m³/s, poder-se-ia estimar, com base em um coeficiente de retorno de 80%, que seriam gerados, em correspondência, aproximadamente 56 m³/s de esgotos na RMSP.

A capacidade instalada das cinco estações do de tratamento de esgotos do Projeto Tietê, na RMSP (Barueri, ABC, Suzano, São Miguel e Parque Novo Mundo), é de 18 m³/s. Até 2007 a vazão efetivamente tratada era de apenas 10,7 m³/s, mas, atualmente, com a entrada de operação da estação elevatória de esgotos de Pomar, são tratados 13,5 m³/s, ou seja, aproximadamente 24% do esgoto gerado (Lorenzi, 2008). Essa capacidade ociosa de 4,5 m³/s ocorreu em razão da absoluta precariedade no planejamento da implantação do sistema sanitário da RMSP, permitindo que o cronograma de obras das estações de tratamento se desenvolvesse desvinculado do cronograma de construção de interceptores e coletores-tronco.

Esses números mostram a gravidade da situação do saneamento na RMSP. De 56 m³/s de esgotos produzidos, apenas 13,5 m³/s são tratados. Portanto, 42,5 m³/s são continuamente lançados, em estado bruto, nos corpos receptores da RMSP.

Apesar dos esforços desenvolvidos e significativa aplicação de recursos humanos e financeiros, a RMSP ainda não conseguiu solucionar o problema ambiental básico que as grandes capitais internacionais, *de mesmo nível econômico*, resolveram no início século XX – remover os esgotos da área urbana. Praticamente todo o sistema hídrico instalado na região metropolitana, entre os quais os rios Tietê, Pinheiros e Tamanduateí, recebe essa significativa vazão de esgoto bruto, apresentando, em muitos trechos, condições anaeróbias e estéticas incompatíveis com o cenário moderno do maior conglomerado urbano do país.

A transferência sistemática de grandes volumes de água de fontes distantes, gerando volumes adicionais de esgoto, não pode mais ser aceita, tanto do ponto de vista econômico como do ambiental. Com efeito, o custo de capital associado a novos sistemas tende a ser muito maior do que os custos relativos a sistemas já existentes, pelo fato de que mananciais próximos e menos poluídos já tenham sido previamente desenvolvidos. Um estudo feito pelo Banco Mundial, analisando os recursos investidos em projetos de abastecimento de água internacionais, mostrou que o custo por metro cúbico de água potável do “próximo” projeto pode ser equivalente a duas ou três vezes o custo do anterior, como mostrado na Figura 3.

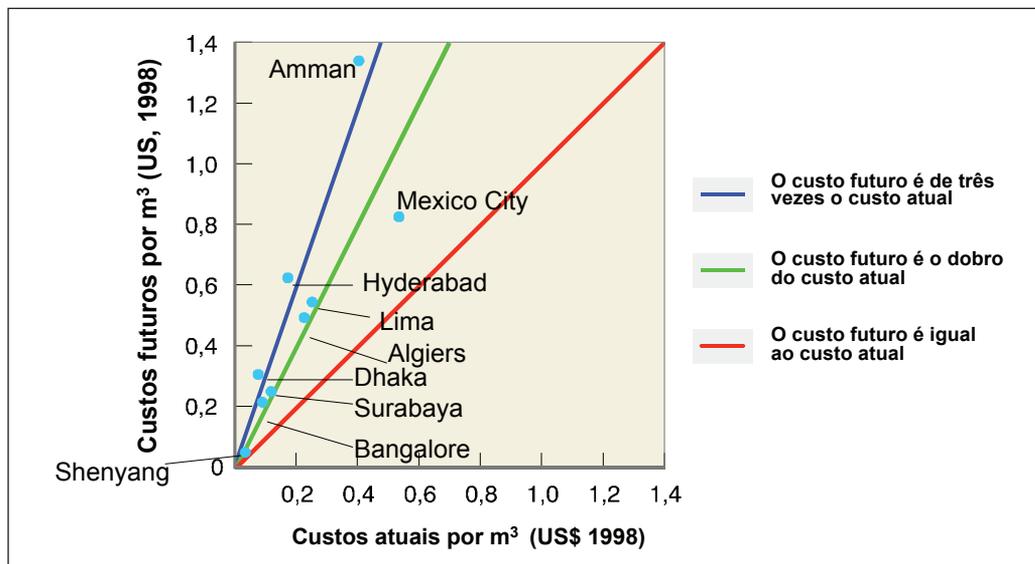


Figura 3

Custos de sistemas de abastecimento de água existentes e custos de novos projetos.

Essa sistemática, associada com os pequenos investimentos em sistemas de coleta e tratamento de esgotos, característicos de países em vias de desenvolvi-

mento, promove o aumento da poluição dos corpos hídricos, como mostrado na Figura 4, em termos da redução da concentração de oxigênio dissolvido em corpos de água (Banco Mundial, 1992).

Há que considerar, ainda, os problemas legais e político-institucionais associados a transposições interbacias. Essa prática tende a se tornar cada vez mais restritiva, ante a conscientização popular, a arregimentação de entidades de classe e o desenvolvimento institucional dos comitês de bacias afetadas pela perda de recursos hídricos valiosos.

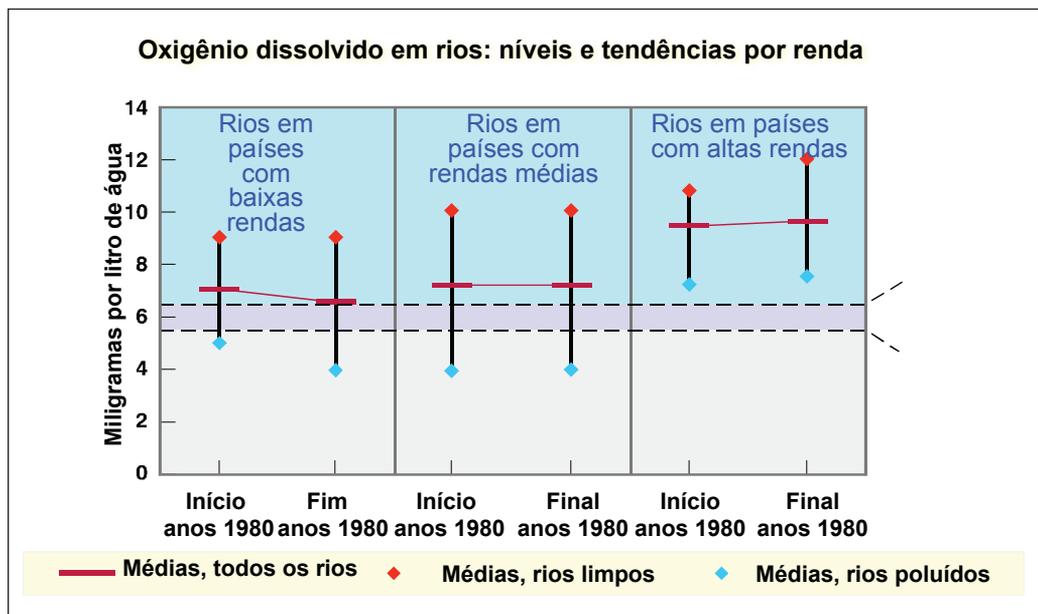


Figura 4

Tendência ao aumento da poluição (em termos de oxigênio dissolvido) em países em desenvolvimento, ante as relativamente pequenas taxas de investimento em saneamento e tendências de redução, em países industrializados.

É, portanto, fundamental, em termos de gestão de recursos hídricos, especialmente na área urbana, abandonar princípios ortodoxos ultrapassados. Um novo paradigma, baseado nas palavras-chave *conservação* e *reúso de água*, deve evoluir, para minimizar os custos e os impactos ambientais associados a novos projetos. A conservação deve ser promovida por meio de programas de gestão adequada da demanda e de educação ambiental, e o reúso direcionado à gestão da oferta, buscando fontes alternativas de suprimento, incluindo água recuperada, águas pluviais e água subterrânea, complementada mediante a recarga artificial de aquíferos.

No caso específico da RMSP, por exemplo, é possível admitir com grande segurança que, dos 70 m³/s aduzidos, não mais do que 30 m³/s sejam utilizados para fins potáveis. Os 40 m³/s restantes representam o potencial de reúso da RMSP, e poderiam ser substituídos por água de reúso para o atendi-

to de fins domiciliares não-potáveis (descarga sanitária, lavagem de pisos etc.), usos urbanos não-potáveis, tais como lavagem de veículos e ruas, irrigação de áreas verdes e quadras esportivas, na construção civil e na indústria e, ainda, para recarga gerenciada dos aquíferos subjacentes à metrópole que, dentro de pouco tempo, entrarão em colapso em razão da crescente demanda predatória exercida por indústria e edifícios comerciais e residenciais. Implementando essa prática em larga escala, não seria necessário transportar águas de quaisquer das bacias consideradas para aumentar a oferta de água na RMSP. Uma ação efetiva para o controle de perdas e programas de estímulo à conservação de água traria uma contribuição adicional para aumentar a disponibilidade existente e reduzir a crescente demanda de água na região.

Necessidade de reúso

A falta de recursos hídricos e o aumento dos conflitos pelo uso da água geraram a emergência da conservação e do tratamento e reúso, como componentes formais da gestão de recursos hídricos. Os benefícios inerentes à utilização de água recuperada para usos benéficos, ao contrário de disposição ou descarga, incluem preservação de fontes de qualidade elevada, proteção ambiental e benefícios econômicos e sociais (Asano et al., 2007).

Nas regiões áridas e semi-áridas, a água se tornou um fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola. Planejadores e entidades gestoras de recursos hídricos buscam novas fontes de recursos para atender às demandas crescentes, especialmente dos setores domésticos e industriais. No polígono das secas do nosso Nordeste, a dimensão do problema é ressaltada por um anseio, que já existe há quase oitenta anos, para a transposição do Rio São Francisco, visando ao atendimento da demanda dos Estados não-riparianos, da região semi-árida, situados ao norte e a leste de sua bacia de drenagem. Diversos países do Oriente Médio, onde a precipitação média oscila entre 100 e 200 mm por ano, dependem de alguns poucos rios perenes e pequenos reservatórios de água subterrânea, geralmente localizados em regiões montanhosas, de difícil acesso. Em muitos desses países, a água potável é proporcionada por meio de sistemas de dessalinização da água do mar, e, pela impossibilidade de manter uma agricultura irrigada, mais de 50% da demanda de alimentos é satisfeita mediante importação de produtos alimentícios básicos (Hespanhol, 1999).

A prática de reúso de água, entretanto, não é aplicável exclusivamente em regiões áridas e semi-áridas. Muitas regiões com recursos hídricos abundantes, mas insuficientes para atender a demandas excessivamente elevadas, também experimentam conflitos de usos e sofrem restrições de consumo, que afetam o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida. Como já considerado, a bacia do Alto Tietê dispõe, pela sua condição característica de manancial de cabeceira, vazões insuficientes para atender à demanda da RMSP, embora apresente uma precipitação média de aproximadamente 1.490 mm/ano (PMSP, 2001).

Antevendo, precocemente, a necessidade de modificar políticas ortodoxas de gestão de recursos hídricos, especialmente em áreas carentes, o Conselho Econômico e Social das Nações Unidas (United Nations, 1958) propôs, em 1958, que “a não ser que exista grande disponibilidade, nenhuma água de boa qualidade deve ser utilizada para usos que toleram águas de qualidade inferior”. As águas de qualidade inferior, tais como esgotos de origem doméstica, efluentes de sistemas de tratamento de água e efluentes industriais, águas de drenagem agrícola e águas salobras, devem, sempre que possível, ser consideradas fontes alternativas para usos menos restritivos. O uso de tecnologias apropriadas para o desenvolvimento dessas fontes se constitui hoje, em conjunção com a melhoria da eficiência do uso e a gestão da demanda, na estratégia básica para a solução do problema da falta universal de água

A Agenda 21, documento básico produzido pela Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992 (Unced, 1992) com o objetivo de enfrentar os desafios ambientais do século XXI, também dedicou importância especial ao reúso, recomendando aos países participantes a implementação de políticas de gestão dirigidas para o uso e reciclagem de efluentes, integrando proteção da saúde pública de grupos de risco com práticas ambientais adequadas.

No Capítulo 21 – “Gestão ambientalmente adequada de resíduos líquidos e sólidos”, Área Programática B – “Maximizando o reúso e a reciclagem ambientalmente adequadas”, estabeleceu, como objetivos básicos: “vitalizar e ampliar os sistemas nacionais de reúso e reciclagem de resíduos”, e “tornar disponível informações, tecnologia e instrumentos de gestão apropriados para encorajar e tornar operacional, sistemas de reciclagem e uso de águas residuárias”.

A prática de reúso é, também, direta e indiretamente, associada aos capítulos 12 – “Gestão de ecossistemas frágeis: combate à desertificação e à seca”; 14 – “Promovendo a agricultura sustentada e o desenvolvimento rural”; 18 – “Proteção da qualidade das fontes de águas de abastecimento – Aplicação de métodos adequados para o desenvolvimento, gestão e uso dos recursos hídricos”, visando à disponibilidade de água “para a produção sustentada de alimentos e desenvolvimento rural sustentado” e “para a proteção dos recursos hídricos, qualidade da água e dos ecossistemas aquáticos”, e ao Capítulo 30 – “Fortalecimento do Comércio e da Indústria”, propondo, dentro da área programática A – “aumentar a eficiência da utilização de recursos, inclusive com o aumento da reutilização e reciclagem de resíduos e reduzir a quantidade de despejos”.

No Brasil não se dispõe, ainda, de um arcabouço legal para regulamentar, orientar e promover a prática do reúso de água, o que talvez seja a deficiência mais significativa que restringe a universalização da prática em nosso país (Hespanhol, 2003a). Entretanto, no mesmo ano da realização da ECO-92, em dezembro, a Conferência Inter-Parlamentar sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente, realizada em Brasília, recomendou, sob o item Conservação e Gestão de

Recursos para o Desenvolvimento (Parágrafo 64/B), que se envidassem esforços, em nível nacional, para “institucionalizar a reciclagem e reúso sempre que possível e promover o tratamento e a disposição de esgotos, de maneira a não poluir o meio ambiente” (Inter-Parliamentary..., 1992). Após essa manifestação de vontade política, pouco se fez, tanto em termos legais como institucionais para promover a prática do reúso de água no Brasil.

A última ocorrência favorável ao setor se deu em 28 de novembro de 2005, quando foi promulgada, pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), a Resolução n.54, que “estabelece as modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática do reúso direto não potável de água”. Atualmente, encontram-se em fase de elaboração, pelo CNRH, portarias específicas para reúso (indústria, agricultura, aquíicultura, urbanos não-potáveis e recarga gerenciada de aquíferos), não havendo, ainda, previsão para a publicação oficial dessa legislação.

Formas de reúso

A quantidade total de água, disponível na terra, há mais de quinhentos milhões de anos, é de aproximadamente 1,4 bilhão de km³. Embora esse seja um volume finito, por meio do ciclo hidrológico a água se constitui em um recurso renovável e, portanto, permanentemente disponível. Quando reciclada mediante sistemas naturais, é um recurso limpo e seguro que é, pela atividade antrópica, deteriorada a níveis diferentes de poluição. Entretanto, uma vez poluída, a água pode ser recuperada e reusada para fins benéficos diversos. A qualidade da água utilizada e o objeto específico do reúso estabelecerão os níveis de tratamento recomendados, os critérios de segurança a serem adotados e os custos de capital e de operação e manutenção associados. As possibilidades e as formas potenciais de reúso dependem, evidentemente, de características, condições e fatores locais, tais como decisão política, esquemas institucionais, disponibilidade técnica e fatores econômicos, sociais e culturais. A Figura 5 apresenta, esquematicamente, os tipos básicos de usos potenciais de esgotos tratados que podem ser implementados, tanto em áreas urbanas como em áreas rurais (Hespanhol, 1999).

Qualquer que seja a forma de reúso empregada, é fundamental observar que os princípios básicos que devem orientar essa prática são: a preservação da saúde dos usuários, a preservação do meio ambiente, o atendimento consistente às exigências de qualidade, relacionadas ao uso pretendido e à proteção dos materiais e equipamentos utilizados nos sistemas de reúso (Hespanhol, 2002).

Usos urbanos

Em áreas urbanas, o potencial de reúso de efluentes é muito amplo e diversificado. Entretanto, usos que demandam água com qualidade elevada requerem sistemas de tratamento e de controle avançados, podendo levar a custos incompatíveis com os benefícios correspondentes. De uma maneira geral, esgotos tratados podem, no contexto urbano, ser utilizados para fins potáveis e não-potáveis.

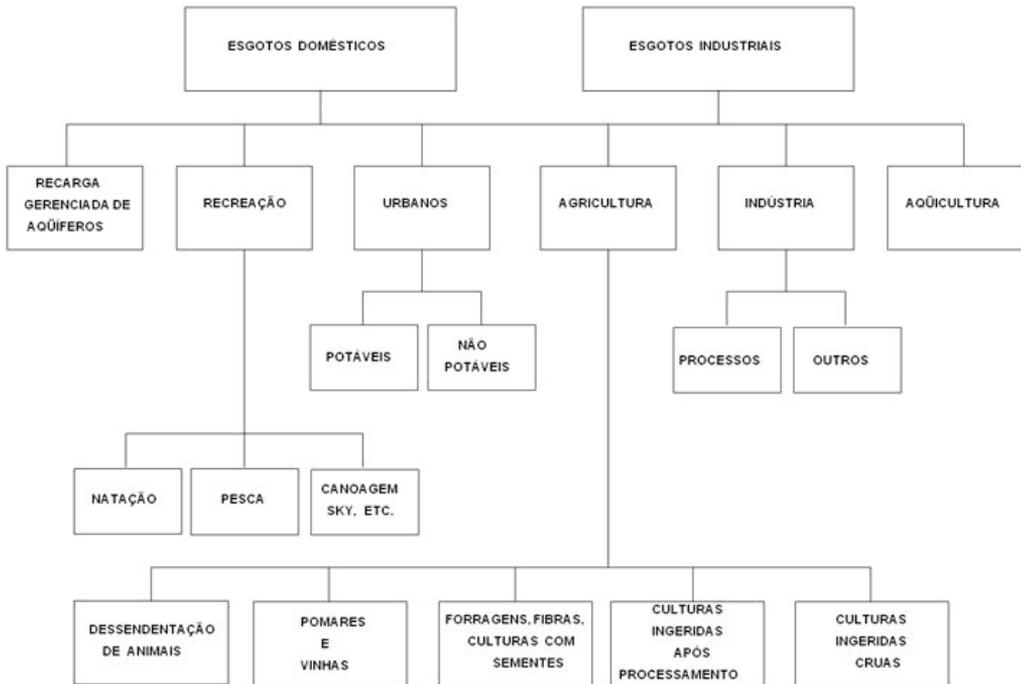


Figura 5 – Formas potenciais de reúso de água.

Usos urbanos para fins potáveis – A presença de organismos patogênicos e de compostos orgânicos sintéticos na grande maioria dos efluentes disponíveis para reúso, especialmente os oriundos de estações de tratamento de esgotos de grandes conurbações com pólos industriais expressivos, classifica o reúso potável como uma alternativa associada a riscos muito elevados, tornando-o praticamente inviável. Segundo Metcalf & Eddy (2003), três fatores de especial interesse podem limitar a oferta de água de reúso para fins potáveis: a presença de vírus entéricos, de constituintes orgânicos, incluindo produtos químicos industriais, resíduos residenciais, medicamentos e metais pesados. Os efeitos de vários desses constituintes relacionados à saúde não são bem conhecidos, e, por esse motivo, as agências ambientais de regulação em todo o mundo procedem com muito cuidado para permitir o reúso para fins potáveis. Esses problemas foram agravados recentemente com a descoberta, em mananciais utilizados para abastecimento público e mesmo em redes de distribuição de água potável, dos designados “poluentes emergentes” (disruptores ou interferentes endócrinos, produtos farmacêuticos quimicamente ativos, criptosporídeos, giárdias e muitos outros). As substâncias e compostos tradicionais e os emergentes, como os encontrados em efluentes industriais, não são removidos pelos sistemas convencionais de tratamento de água utilizados no Brasil (coagulação/floculação, sedimentação, filtração e desinfecção com cloro), podendo vir a causar problemas sérios de saúde pública aos usuários de sistemas públicos de abastecimento de água.

Além disso, os custos dos sistemas de tratamento avançados que seriam necessários levariam à inviabilidade econômico-financeira do abastecimento público, não havendo, ainda, ante as considerações anteriormente efetuadas, garantia de proteção adequada da saúde pública dos consumidores.

Usos urbanos para fins não potáveis – Atualmente, diversas companhias de saneamento se preparam para fornecer a chamada “água de reúso” ou “água de utilidades” para o atendimento de fins não-potáveis na área urbana. Essa prática, já bastante disseminada em diversas regiões metropolitanas brasileiras, especialmente na RMSP, consiste em complementar, geralmente por meio de sistemas de tratamento físico-químicos, o tratamento dos efluentes de sistemas biológicos e efetuar a distribuição em áreas restritas, para atender a usos diversos, especialmente de novos usuários. O reúso urbano não-potável é, portanto, efetuado tendo os esgotos domésticos como matéria-prima básica. Entretanto, considerações têm sido feitas ultimamente sobre a possibilidade de utilização de águas cinza-claras, como matéria-prima para reúso não-potável em áreas urbanas, especialmente em edificações e sistemas condominiais.

Reúso de efluentes domésticos

O reúso para fins urbanos não-potáveis é caracterizado pela utilização de efluentes domésticos tratados para suprir necessidades diversas que admitem qualidade inferior à potável. O reúso urbano não-potável é subdividido em duas categorias: as de áreas com acesso controlado e não-controlado. Assim, cuidados especiais devem ser tomados quando ocorre contato direto com o público (Usepa, 2004; Hespanhol, 1997). As principais aplicações nesse caso são:

- irrigação de parques e jardins públicos, residenciais e industriais, centros esportivos, campos de futebol e de golfe, jardins de escolas e universidades, gramados, árvores e arbustos decorativos ao longo de avenidas e rodovias;
- reserva de proteção contra incêndio;
- sistemas decorativos aquáticos, tais como fontes, chafarizes e espelhos d'água;
- lavagens de veículos, tais como automóveis, caminhões, ônibus e trens;
- lavagem de pisos e praças;
- descarga sanitária em banheiros públicos e em edifícios residenciais e comerciais, públicos e privados;
- limpeza de tubulações de esgotos e de galerias de águas pluviais;
- controle de poeira;
- construção civil, na lavagem de agregados, preparação e cura de concreto e controle de umidade para compactação do solo.

Reúso de águas cinza

Alem do reúso de esgotos domésticos, é possível utilizar, como matéria-prima para reúso, alguns componentes específicos de esgotos gerados em edificações, tais como as águas cinza-claras e as águas cinza-escuras.

Águas cinza-escuras são águas servidas residenciais das quais se excluem os efluentes de vasos sanitários. São, portanto, as águas originadas de lavatórios, chuveiros, banheiras, pias de cozinha e de máquinas ou tanques de lavar roupas (Jefferson et al., 1999; Eriksson et al. 2002; Ottoson & Stenstrom, 2003). As águas cinza-claras são também águas residenciais das quais se excluem, além dos efluentes de vasos sanitários, também os efluentes proveniente de cozinhas, que apresentam carga orgânica elevada, pelo fato de conterem compostos rapidamente degradáveis, tais como óleos e gorduras (Nolde, 1999; Christova-Boal et al., 1996).

No Brasil começa a se praticar o uso de águas cinza-claras tratadas, que, pelo fato de conter carga orgânica e de organismos patogênicos inferior aos esgotos domésticos, envolvem custos relativamente menores para tratamento.

Águas cinza, adequadamente tratadas, apresentam certo potencial de reúso para fins não-potáveis. Têm pequena variação de vazão durante todo o ano, podem ser facilmente coletadas e, em razão de sua menor concentração de carga orgânica e de organismos termotolerantes, exigem um nível de tratamento inferior ao necessário para tratamento de esgotos domésticos. Apresentam características de qualidade diferentes, dependendo de suas origens, ou seja, se são oriundas de lavatórios, de lavagem de roupas ou de chuveiros. De acordo com a caracterização de qualidade realizada no Brasil (May, 2004) e na Turquia (Santos & Zabracki, 2003), as águas cinza apresentam alto teor de matéria orgânica (o que pode gerar sabor e odor), formação de espumas, alto teor de fósforo (indicador da presença de material fecal), alto teor de nitrato (indicador de toxicidade) e turbidez elevada (presença de sólidos em suspensão) (May, 2004; May & Hespagnol, 2006).

As águas cinza podem, após tratamento adequado, ser utilizadas para as mesmas finalidades não-potáveis relacionadas para esgotos domésticos.

O uso das águas cinza está ligado, diretamente, a fatores como a qualidade do afluente, ao tratamento aplicado e, especialmente, ao uso final que será dado à água. Sistemas de reúso de águas cinza devem ser projetados e construídos de forma sustentável e ecoeficiente. Na maioria das vezes, esses fatores são verificados em análises socioeconômicas e ambientais para a implantação do sistema de reúso, de modo a proporcionar um projeto que atenda a esses requisitos com segurança.

O reúso de águas cinza fica, entretanto, condicionado às seguintes considerações de ordem prática e econômica:

- em sistemas de reúso em edificações, devem ser considerados os custos e problemas operacionais associados à duplicação de grande parte dos sistemas hidráulicos domiciliares (para coleta separada das águas cinza e para distribuição interna, por exemplo, para uso em descargas sanitárias). Mesmo em novas edificações, a necessidade de utilizar sistemas hidráulicos parcialmente duplicados implica aumento considerável de custos;

- no caso de coleta em rede pública ou privada (em condomínios, por exemplo), será necessário avaliar, além dos custos domiciliares aqui relacionados, os relativos à construção de uma rede adicional, para coleta dos efluentes de vasos sanitários e de pias de cozinha.

Reúso para irrigação

A agricultura irrigada vem se tornando, nos últimos anos, uma das atividades econômicas mais importantes no Brasil. A irrigação e a drenagem dos campos irrigados são atividades que permitem compensar os efeitos negativos da má distribuição, espacial e temporal, das águas de precipitação. Em 2002 (Christophidis, 2002), a área total cultivada no Brasil foi estimada em 54 milhões de hectares, dos quais apenas três milhões de hectares eram irrigados. Entretanto, essa pequena porcentagem era responsável por 14% de toda a produção agrícola nacional. Atualmente, o total cultivado no país é de 77 milhões de hectares, mas a área irrigada ainda se mantém próxima aos mesmos três milhões.

Por meio da irrigação, pode-se intensificar a produção agrícola, regularizando, ao longo do ano, as disponibilidades e os estoques de alimentos, uma vez que essa prática permite uma produção na contra-estação. A atividade de irrigação é a maior consumidora de água entre os diversos usos desse recurso natural. Dentro dela, os consumos específicos variam bastante, dependendo do método de irrigação empregado. A natureza do solo, o tipo de requerimentos das diferentes culturas e os índices de evaporação locais são elementos importantes para definir o consumo de água para irrigação.

A demanda de água para o setor agrícola brasileiro representa 70% do uso consumptivo total, com forte tendência para chegar a 80% até o final da década. As razões para o aumento do uso de esgotos para a irrigação nas duas últimas décadas foram (Hespanhol, 1990):

- a dificuldade para identificação de fontes alternativas de águas para a irrigação;
- os elevados custos dos fertilizantes;
- a segurança de que os riscos para a saúde pública e impactos sobre o solo são mínimos, se as precauções são efetivamente tomadas;
- os elevados custos dos sistemas de tratamento, necessários para a descarga de efluentes em corpos receptores;
- a aceitação sociocultural da prática de reúso agrícola;
- o reconhecimento, pelos órgãos gestores de recursos hídricos, do valor intrínseco da prática.

Efluentes de sistemas convencionais de tratamento, tais como lodos ativados, têm uma concentração típica de 15 mg/litro de N total e 3 mg/litro de P total, proporcionando, portanto, às taxas usuais de irrigação em zonas semi-áridas (aproximadamente dois metros por ano) uma aplicação de N e P de 300 e 60 kg/ha/ano, respectivamente. Essa aplicação de nutrientes reduz,

substancialmente, ou mesmo elimina a necessidade do emprego de fertilizantes comerciais. Além dos nutrientes (e dos micronutrientes, não disponíveis em fertilizantes sintéticos), a aplicação de esgotos proporciona a adição de matéria orgânica, que age como um condicionador do solo, aumentando a sua capacidade de reter água.

O aumento de produtividade não é, entretanto, o único benefício na aplicação de efluentes tratados na agricultura, uma vez que se torna possível ampliar a área irrigada e, quando as condições climáticas permitem, efetuar colheitas múltiplas, praticamente ao longo de todo o ano (Hespanhol, 1990).

Um exemplo notável de recuperação econômica, associada à disponibilidade de esgotos para irrigação, é o caso do Vale de Mesquital, no México, onde a renda agrícola aumentou de quase zero no início do século, quando os esgotos da cidade do México foram postos à disposição da região, até aproximadamente quatro milhões de dólares americanos por hectare, em 1990 (CNA, 1993)

Estudos efetuados em diversos países demonstraram que a produtividade agrícola aumenta significativamente em sistemas de irrigação com esgotos adequadamente administrados. A Tabela 2 mostra os resultados experimentais efetuados em Nagpur, Índia, pelo Instituto Nacional de Pesquisas de Engenharia Ambiental (Neeri), que investigou os efeitos da irrigação com esgotos, sobre as culturas produzidas (Shende, 1985).

Tabela 2
Aumento da produtividade agrícola (ton/ha/ano) possibilitada pela irrigação com esgotos domésticos

Irrigação efetuada com	Trigo 8 anos ^(A)	Feijão 5 anos ^(A)	Arroz 7 anos ^(A)	Batata 4 anos ^(A)	Algodão 3 anos ^(A)
Esgoto bruto	3,34	0,9	2,97	23,11	2,56
Efluente primário	3,45	0,87	2,94	20,78	2,3
Efluente de lagoa de estabilização	3,45	0,78	2,98	22,31	2,41
Água + NPK	2,7	0,72	2,03	17,16	1,7

(A) Número de anos utilizados para cálculo da produtividade média.

Sistemas de reúso adequadamente planejados e administrados trazem melhorias ambientais e de saúde pública, especialmente em áreas rurais de países em desenvolvimento. Alguns dos aspectos altamente positivos do reúso de esgotos na agricultura são os seguintes:

- Evita a descarga de esgotos em corpos de água;
- Preserva recursos subterrâneos, principalmente em áreas onde a utiliza-

ção excessiva de aquíferos provoca intrusão de cunha salina ou subsidência de terrenos;

- Permite a conservação do solo, através da acumulação de “húmus”, aumenta a resistência à erosão e a capacidade de solos em reter água;
- Contribui, especialmente em países em desenvolvimento, para o aumento da produção de alimentos, elevando, assim, os níveis de saúde, qualidade de vida e condições sociais de populações associadas a esquemas de reúso.

Podem ocorrer, entretanto, efeitos detrimenais em associação com o uso de esgotos para irrigação. Uma consequência potencialmente negativa é a poluição, por substâncias e produtos químicos, particularmente por nitratos e organismos patogênicos, de aquíferos subterrâneos, utilizados para abastecimento de água. Isso ocorre quando uma camada insaturada, altamente porosa, se situa sobre o aquífero, permitindo a percolação de nitratos. Quando a parte superior do aquífero é constituída por camada profunda e homogênea, com capacidade para reter e processar esses elementos, a possibilidade de contaminação é bastante pequena. A assimilação de nitrogênio pelas plantas cultivadas, por exemplo, reduz a possibilidade de contaminação por nitrato, mas isso depende das taxas de assimilação pelas plantas e das taxas de aplicação de esgotos no solo.

O acúmulo de contaminantes químicos no solo é outro efeito negativo que pode ocorrer. Dependendo das características dos esgotos, a prática da irrigação por longos períodos pode levar à acumulação de compostos tóxicos, orgânicos e inorgânicos, e ao aumento significativo de salinidade, em camadas insaturadas (Foster et al., 1994). Para evitar essa possibilidade, a irrigação deve ser efetuada com esgotos de origem predominantemente doméstica. A necessidade de um sistema adequado de drenagem deve ser também considerada, visando minimizar o processo de salinização de solos irrigados com esgotos. Da mesma maneira, a aplicação de esgotos por períodos muito longos pode levar à criação de habitats, propícios à proliferação de vetores transmissores de doenças, tais como mosquitos e algumas espécies de caramujos.

Reúso industrial

Atualmente, a indústria está submetida a dois grandes instrumentos de pressão. De um lado, as imposições globais, tanto ambientais como de saúde pública, resultantes das relações do comércio interno e internacional; de outro, as recentes condicionantes legais de gestão de recursos hídricos, particularmente as associadas à cobrança pelo uso da água (Pio, 2005).

Para se adaptar a esse novo cenário, a indústria vem aprimorando os processos industriais e desenvolvendo sistemas de gestão ambiental para atender às especificações do mercado interno e externo, e implementando sistemas e procedimentos direcionados para a gestão da demanda de água e a minimização da geração de efluentes (Mierzwa & Hespanhol, 2005).

Esses fatores, associados aos custos elevados da água, têm levado as indústrias a avaliarem as possibilidades internas de reúso e a considerarem ofertas da companhia de saneamento para a compra de efluentes tratados, a preços inferiores aos da água potável, disponível em sistemas públicos de abastecimento. A “água de utilidade” produzida mediante tratamento de efluentes secundários e distribuída por adutoras que servem um agrupamento significativo de indústrias se constitui, atualmente, em um grande atrativo para abastecimento industrial a custos razoáveis. Na Região Metropolitana de São Paulo, por exemplo, o custo da água posta à disposição da indústria é de R\$ 9,69 por metro cúbico, enquanto a água de utilidades apresenta um custo marginal por metro cúbico inferior a R\$ 2,00. Esse custo varia, de acordo com condições locais, tanto em termos dos níveis de tratamento adicionais necessários como naqueles relativos aos sistemas de distribuição. A existência de estações de tratamento de esgotos nas proximidades de zonas industriais contribui para a implantação de programas de reúso, uma vez que aumenta o potencial de viabilizar sistemas de distribuição de águas de reúso compatíveis com a demanda industrial.

Dentro do critério de estabelecer prioridades para usos que demandam vazões elevadas e que necessitam de níveis de tratamento relativamente menores, em relação aos necessários para processos industriais, é recomendável concentrar a fase inicial do programa de reúso industrial em torres de resfriamento.

Embora corresponda a apenas 17% da demanda de água não-potável pelas indústrias, o uso de efluentes secundários tratados, em sistemas de resfriamento, tem a vantagem de requerer qualidade independente do tipo de indústria, e a de atender, ainda, a outros usos menos restritivos, tais como lavagem de pisos e equipamentos, e como água de processo em indústrias mecânicas e metalúrgicas. Além disso, a qualidade de água adequada para resfriamento de sistemas semi-abertos é compatível com outros usos urbanos, não-potáveis, tais como irrigação de parques e jardins, lavagem de vias públicas, construção civil, formação de lagos para algumas modalidades de recreação e para efeitos paisagísticos. Outros usos, que podem ser considerados nas fases posteriores na implementação de um programa industrial de reúso, incluem água para produção de vapor, para lavagem de gases de chaminés e para processos industriais específicos, tais como metalúrgicos, produção primária de metal, curtumes, têxteis, químicas, petroquímicas, papel e celulose, material plástico e construção civil (Silva et al., 2003). Essas modalidades de reúso envolvem sistemas de tratamento avançados e demandam, conseqüentemente, níveis de investimento elevados.

A conservação de água, visualizada como gestão da demanda, deve, também, ser estimulada nas indústrias, pela utilização de processos industriais modernos e de sistemas de lavagem com baixo consumo de água, assim como em estações de tratamento de água para abastecimento público, mediante a recuperação adequada e reúso das águas de lavagem de filtros e de decantadores.

As aplicações de água de reúso na indústria são basicamente as seguintes: (Hespanhol & Gonçalves, 2005, adaptado):

- como fluido de resfriamento ou aquecimento; nesses casos, a água é utilizada como fluido de transporte de calor para remoção do calor de misturas reativas ou outros dispositivos que necessitam de resfriamento em razão da geração de calor, ou então pelas condições de operação estabelecidas, pois a elevação de temperatura pode comprometer o desempenho do sistema, bem como danificar algum equipamento;
- como matéria-prima em processos industriais;
- uso como fluido auxiliar, tais como preparação de suspensões e soluções químicas, compostos intermediários, reagentes químicos, veículos, ou ainda, para as operações de lavagem;
- uso para geração de energia: para esse tipo de aplicação, a água pode ser utilizada por meio da transformação da energia, potencial ou térmica, da água, em energia mecânica e posteriormente em energia elétrica;
- como descarga em vasos sanitários e mictórios;
- na construção civil, cabines de pintura, combate a incêndio, rega de áreas verdes ou incorporação em diversos subprodutos gerados nos processos industriais, seja na fase sólida, líquida ou gasosa.

A água para uso industrial requer características de qualidade em razão do tipo de uso considerado. Na maioria dos casos, o efluente requer um tratamento adicional após o tratamento secundário, alcançando assim a qualidade de água requerida para um determinado uso industrial.

Recarga gerenciada de aquíferos

A prática de recarga artificial, mais propriamente designada como recarga gerenciada de aquíferos, com efluentes domésticos tratados, vem encontrando aplicação em diversas partes do mundo, tanto em regiões áridas e semi-áridas como em áreas com disponibilidade hídrica elevadas. No Brasil, a prática, que é ainda pouco conhecida, vem suscitando reações de hidrogeólogos, biólogos, engenheiros ambientais e de conservacionistas em geral, que a consideram uma metodologia com grande potencial para contaminar as águas subterrâneas.

A recarga natural de aquíferos subterrâneos se realiza diretamente pela precipitação pluviométrica e *run-off*, ou por meio de rios, lagos e reservatórios. A recarga natural é, evidentemente, efetuada sem nenhum controle ou seleção, podendo vir, também, a poluir os aquíferos subjacentes. A condição mais crítica ocorre quando a recarga é influenciada pela atividade antrópica não-planejada ou inconsciente, submetendo os aquíferos a um processo de contaminação por infiltração e/ou lixiviação associada à aplicação, no solo, de efluentes ou biossólidos e de fertilizantes e biocidas. Ocorre, ainda, pela infiltração de micropoluentes orgânicos e inorgânicos presentes em áreas degradadas, ou de combustíveis e chorume, oriundo de aterros sanitários ou depósitos de lixo a céu aberto.

A engenharia de recursos hídricos desenvolveu, com a finalidade de aumentar a disponibilidade de água e de, eventualmente, resolver problemas localizados, a tecnologia de recarga gerenciada, utilizando efluentes adequadamente

tratados. Essa prática permite o aumento das reservas subterrâneas com velocidade muito maior do que as que ocorrem naturalmente, proporcionando, ainda, maior segurança, em termos de proteção dos aquíferos, uma vez que a qualidade da água de recarga é adequadamente monitorada.

A recarga artificial, vista como uma modalidade de reúso, pode atender a uma gama significativa de objetivos, entre os quais (Hespanhol, 2006):

- *Proporcionar tratamento adicional de efluentes*

A infiltração e percolação de efluentes tratados se beneficia da capacidade natural de biodegradação, sorção, hidrólise, precipitação, complexação, troca iônica, filtração etc. dos solos, proporcionando um tratamento *in situ* e permitindo, em razão do tipo de efluente utilizado, dos métodos de recarga, de condições hidrogeológicas e dos usos previstos, eliminar a necessidade de sistemas de tratamento avançados. O sistema de tratamento proporcionado pelo conjunto da camada insaturada e do aquífero propriamente dito é designado por Tratamento Solo-Aquífero ou TSA. O processo de recarga contribui, ainda, para a perda de identidade entre efluentes tratados e a água subterrânea, reduzindo o impacto psicológico do reúso para fins benéficos diversos.

- *Aumentar a disponibilidade de água em aquíferos potáveis ou não-potáveis*

Essa é uma das principais vantagens da recarga artificial, particularmente em áreas carentes de recursos hídricos. A transformação de esgotos em água com qualidade para o atendimento de usos benéficos, tais como a irrigação, se constitui, também, em benefício ambiental, evitando a descarga de efluentes em corpos d'água.

- *Proporcionar reservatórios de água em substituição a reservatórios superficiais*

Alguns usos de água, que apresentam demanda sazonal, requerem grandes reservatórios para armazenamento ou métodos alternativos de descarga nos períodos de baixa demanda. Esses reservatórios, quando construídos na superfície, demandam grandes áreas e estão sempre associados a custos elevados. Além dos impactos ambientais que causam, reservatórios superficiais são afetados por poluição, evaporação, desenvolvimento de gostos e odores em razão da proliferação de algas, produção excessiva de macrófitas e outros problemas que implicam custos de operação e manutenção.

- *Permitir que o aquífero possa servir como um eventual sistema de distribuição, eliminando canais ou linhas troncos*

Dependendo de condições locais, os poços de recuperação da água infiltrada podem ser localizados em diversos pontos críticos de demanda, permitindo redução de custos associados a sistemas de distribuição e de reservatórios de regularização.

- *Prevenir subsidência de solos*

A subsidência de solos, definida como “movimento para baixo ou afundamento do solo causado pela perda de suporte subjacente”, se constitui em problema relevante em áreas onde ocorre excessivo bombeamento de água de aquíferos não suficientemente recarregados naturalmente. A recarga de aquíferos afetados por subsidência elimina ou minimiza o fenômeno da subsidência.

- *Prevenir a intrusão de cunha salina, em aquíferos costeiros*

O bombeamento excessivo de água subterrânea de aquíferos adjacentes a áreas costeiras pode provocar a intrusão de água salina, tornando-os inadequados como fontes de água potável ou para outros usos que não toleram salinidade elevada. Baterias de poços de injeção, ou bacias de infiltração, podem ser construídas em áreas críticas, criando barreiras para evitar a intrusão salina. Efluentes tratados são injetados nos aquíferos confinados, estabelecendo um gradiente hidráulico no sentido do mar, que previne a penetração de água salgada no aquífero.

Os métodos mais utilizados para recarga gerenciada de aquíferos com água recuperada são a injeção direta nos aquíferos, por meio de poços especialmente construídos para essa finalidade ou de bacias de infiltração. Para recarga direta, é necessário tratar os efluentes no nível de água potável para proteger a integridade sanitária do aquífero (Foster et al., 1994). Considerando os custos do tratamento mais os custos dos poços, o processo exige grandes investimentos. A recarga efetuada por meio de bacias de infiltração é sempre mais econômica, uma vez que utiliza a capacidade de depuração do solo, evitando, portanto, a necessidade de tratamentos avançados e a construção de poços de injeção. Nesse caso, será necessário efetuar levantamentos hidrogeológicos para obter as características da camada insaturada e dos parâmetros hidráulicos do próprio aquífero, tais como composição, porosidade, capacidade de infiltração, entre outros.

Reúso na aquíicultura

A alimentação de lagoas para produção de peixes e plantas aquáticas com excreta ou esgotos é uma prática secular que até os dias atuais vem sendo exercida na Ásia, particularmente na China, na Índia, na Indonésia e no Vietnã. A prática é, também, exercida na Europa (Alemanha, desde o final do século XIX, e na Hungria), na África (Egito e África do Sul) (Edwards & Pullin, 1990), e na América do Sul, especialmente no Peru (Cavallini, 1996). O maior sistema ainda em operação teve início em 1930, em Calcutá, na Índia, possuindo atualmente uma área total de lagoas com aproximadamente três mil hectares, e produzindo entre quatro e nove toneladas de peixes por hectare.

No Brasil há uma grande produção de pescado mediante sistemas de cultivo. Em 2000 foram produzidas aproximadamente 150 mil toneladas de pescado por essa prática. Além da piscicultura, são desenvolvidos projetos comerciais associados a carcinocultura e malacocultura. Os peixes mais cultivados no Brasil

são a tilápia (*Oreochromis niloticus*) e o surubim ou catfish (*Pseudoplatystoma sp*) (Crepaldi et al., 2006). Apesar dessa grande produção, não existem, ainda, no Brasil, sistemas de lagoas produzindo produtos aquáticos de qualquer natureza, fertilizados por esgotos tratados.

Os peixes mais comuns produzidos fora do Brasil são os diversos tipos de tilápia (*Oreochromis niloticus*), carpa comum (*Cyprianus carpo*), diversos outros tipos de carpas (*Catla catlax*, *Cirrhina mrigala*, *Labeo rohita*, *Hypophthalmichthys lolitrix*, *Aristichthys nobilis*, *Ctenopharyngodon idella*, *Carassius auratus*, *Osteichilus hasseltii* etc.) e o camarão gigante da Malásia, também conhecido como camarão de água doce (*Macrobrachium rosenbergii*).

Diversas plantas aquáticas comestíveis também são produzidas em lagoas fertilizadas por efluentes domésticos e excreta, sendo as mais comuns as seguintes: espinafre aquático (*Ipomoea aquática*), mimosa aquática (*Neptunia oleacea*), mostarda aquática (*Rorippa nasturtium aquaticum*) e nozes aquáticas da China (*Eleocharis dulcis*). Algumas plantas aquáticas conhecidas como “*duckweeds*” (lemna, spirodela e wólfia) são cultivadas em algumas partes da Ásia, empregando-se lagoas rasas fertilizadas com esgotos ou excreta. Após colhidas e secas, essas plantas são utilizadas como alimento para galinhas, patos e alguns tipos de caracóis comestíveis. Na Indonésia vem sendo desenvolvida, nas últimas décadas, pela iniciativa privada, uma atividade empresarial extremamente lucrativa que consiste na produção de lemna em lagoas fertilizadas com efluentes domésticos brutos. A lemna, após secagem em sistemas simples, é empregada na fertilização de lagoas, para produção de peixes, especialmente tilápias. O processo é extremamente produtivo e livre de contaminação, uma vez que não ocorre lançamento de nenhuma forma de esgotos ou excreta nas lagoas produtoras de peixes, que são fertilizadas exclusivamente por lemna (Gijzen & Ikramullah, 1999).

As medidas necessárias para a proteção da saúde pública dos grupos de risco associadas à prática de aquíicultura fertilizada com esgotos ou excreta são similares àquelas adotadas para a agricultura, isto é, tratamento dos esgotos, métodos de fertilização e controle da exposição humana. A proteção dos operadores de lagoas é associada à qualidade da água das lagoas. A transmissão de organismos patogênicos pode ocorrer por meio do manuseio e/ou na preparação de alimentos com peixes e plantas aquáticas. Portanto, a educação sanitária envolvendo aspectos de higiene pessoal e práticas adequadas de manuseio é extremamente importante. O tratamento proporcionado às excretas, como aos efluentes domésticos, deve ser considerado adequadamente, pois implica, diretamente, a qualidade da água nas lagoas de peixes. Esses aspectos assumem importância maior em áreas em que os peixes são ingeridos sem nenhum cozimento (Hespanhol, 2003b).

Um número significativo de helmintos pode estar presente em efluentes e excreta utilizados na fertilização de lagoas, onde peixes e plantas aquáticas po-

dem atuar como hospedeiros intermediários. Alguns trematodos, entre os quais *Clonorchis*, *Opistorchis*, *Diphyllbothrium*, *Heterophys* e *Metagonimus*, são os de maior ocorrência. Entretanto, tem sido verificado que apenas a *Clonorchiasis* (ou *liver fluke*) e o *Opisthorchiasis* podem ser transmitidos por peixes criados em lagoas fertilizadas por excreta ou esgotos. O primeiro estágio de desenvolvimento desses organismos ocorre em alguns caramujos específicos, com alguns peixes atuando como hospedeiros intermediários secundários. Alguns outros helmintos, tais como a *Fasciola* e a *Fasciopolis*, possuem o mesmo padrão de ciclo de vida, mas em razão de plantas aquáticas, tendo a mostarda aquática (*Rorippa nasturtium aquaticum*) e nozes aquáticas da China (*Eleocharis dulcis*) e pepino aquático como hospedeiros intermediários.

Os caramujos aquáticos do gênero *Gomphalaria* servem como hospedeiros intermediários para o trematodo *Schistosoma*, que é o causador da esquistossomose, barriga d'água ou bilhardíasis. A transmissão ocorre quando as cercarias penetram nos operários das lagoas, pelo contato direto com a pele.

Os peixes e as plantas aquáticas produzidos em lagoas fertilizadas com esgotos ou excreta podem, também, ser contaminados com bactérias e vírus, servindo como fonte potencial de transmissão se ocorrer alimentação sem cozimento. Bactérias e vírus podem, ainda, ser carregados passivamente, pelas guelras, ou pelo líquido intraperitoneal, do trato digestivo ou pelos músculos comestíveis.

A Organização Mundial da Saúde (WHO, 2006) estabeleceu as seguintes diretrizes para a aquíicultura fertilizada com esgotos e excretas:

- média geométrica de *E. coli* por 100 mL ou por grama de sólidos inferior a 10^4 nas lagoas, para prevenir a invasão de bactérias na carne dos peixes e inferior a 10^3 para proteção de operários operando as lagoas e da comunidade local. O mesmo valor diretriz deve ser mantido em lagoas nas quais se produzem vegetais aquáticos comestíveis (macrófitas), uma vez que esses são, em alguns países, ingeridos sem cozimento. Essa concentração pode ser obtida, abastecendo as lagoas com esgotos tratados, com concentrações máximas de 10^4 e 10^5 de *E. coli* por 100 mL, assumindo-se que a diluição na própria lagoa seja de uma ordem de magnitude. Essa diretriz se refere apenas à invasão de organismos nos músculos dos peixes, não estando excluída, entretanto, a contaminação do trato digestivo e do líquido intraperitoneal dos peixes. Essa condição pode proporcionar uma contaminação cruzada e consumidores, durante a preparação dos peixes para cozimento. Nesse sentido, o emprego de padrões elevados de higiene durante a preparação dos peixes e cozimento adequado se constitui em barreiras redutoras dos riscos de transmissão de doenças;
- ausência total de ovos viáveis de trematódeos, para evitar infecção por helmintos tais como *Clonorchiasis*, *Fasciolopsis* e *Schistomiasis*. Essa condição pode ser obtida mediante tratamento em lagoas de estabilização em série, pois os ovos desses helmintos são facilmente removidos por

sedimentação. Note-se que a transmissão de infecções helmínticas associadas a *Clonorchasis* e *Fasciolopsis* ocorre apenas em certas áreas da Ásia, podendo ser evitada simplesmente se ovos de trematódeos adentrem as lagoas ou pela eliminação de caramujos que se comportam como hospedeiros intermediários. No Brasil, o controle deverá ser associado ao controle da esquistossomose, especialmente onde essa ocorre de maneira endêmica.

Os aspectos de descontaminação bacteriana devem ser analisados em condições particulares brasileiras. A prática de manter peixes produzidos em lagoas fertilizadas com excreta e esgoto estocados, posteriormente, em lagoas contendo água limpa não apresenta resultados satisfatórios com peixes altamente contaminados; e de uma maneira geral a depuração em lagoas limpas por períodos de uma ou duas semanas apenas não tem se mostrado efetiva no processo de descontaminação.

Quando ocorre a presença de efluentes industriais nos esgotos utilizados, deve-se considerar a eventualidade de bioacumulação, especialmente de metais pesados e micropoluentes orgânicos. As algas desenvolvidas em lagoas têm uma grande capacidade para acumular metais pesados, com exceção do mercúrio. Entretanto, os peixes criados nesses tipos de lagoas não apresentam características cumulativas, provavelmente porque o processo cumulativo demanda espaço de tempos muito maiores do que aqueles necessários para o desenvolvimento dos peixes. De uma maneira geral, os peixes têm uma determinada habilidade de controlar a assimilação de metais pesados em seus tecidos, com exceção do mercúrio, e tendem a acumular metais em diversas partes do corpo, com exceção dos músculos, que se constituem nas partes comestíveis.

Reúso para recreação

Atividades recreativas associadas a reúso de água incluem pesca, canoa-gem, esquiação aquática e outras atividades que envolvem contato mínimo com a água. Natação e vadeação são atividades permitidas apenas quando a qualidade da água atende aos requisitos legais relativos a contato corporal e ingestão incidental de água

Um exemplo marcante desse tipo de reúso é o Santee Lake Recreational Project, situado no município de Santee, Califórnia, Estados Unidos, ocupando uma área total de 77 hectares, incluindo 33 hectares de lagos. O parque recebe aproximadamente 550 mil visitantes por ano, e apesar de ser alimentado com efluentes tratados em nível avançado (sistema biológico de lodos ativados, nitrificação e desnitrificação, coagulação, floculação, sedimentação lamelar, filtração, cloração e remoção de cloro por meio de dióxido de enxofre), são permitidas apenas atividades que não envolvem contato corporal completo. Na fase inicial de operação, o sistema incluía uma piscina natural, onde era permitida natação e vadeagem, nas partes mais rasas. Essa atividade foi, posteriormente, proibida pelo fato de que o fundo de areia da piscina contribuía para aumento de tur-

bidez das águas, cujas partículas poderiam, ainda, abrigar algumas formas de bactérias patogênicas (Asano et al., 2007).

A prática de reúso para fins recreativos (de maneira consciente e controlada) é, ainda, totalmente inexistente no Brasil, mas poderá vir a ser, futuramente, uma forma benéfica de utilizar esgotos tratados, em razão da grande demanda reprimida de lazer existente, especialmente em grandes Regiões Metropolitanas.

Conclusões e recomendações

A preocupação com a falta crônica de água não se restringe ao nosso semi-árido, mas se estende a muitas das Regiões Metropolitanas brasileiras. Embora o Brasil disponha de uma significativa porcentagem dos recursos hídricos mundiais, muitas regiões convivem com recursos hídricos da ordem de duzentos metros cúbicos por habitante por ano, gerando condições críticas de abastecimento e conflitos no uso da água.

As grandes concentrações urbanas e industriais, como é o caso da RMSP, ainda utilizam práticas ortodoxas para atender à demanda para abastecimento público e industrial. Além de importar 33 m³/s da bacia do Rio Piracicaba, uma região altamente estressada em termos de recursos hídricos, os tomadores de decisão da RMSP planejam aduzir mais 19,4 m³/s de grandes distâncias, para cobrir o déficit de abastecimento local. Essa nova adução irá gerar aproximadamente 16 m³/s de esgotos, valor superior à capacidade instalada das cinco estações de tratamento de esgotos operando na RMSP. Ressalte-se, ainda, que mesmo dispondo de uma capacidade de tratamento de 18 m³/s, apenas 13,5 m³/s são efetivamente tratados, em razão de um lapso de planejamento na implantação do sistema de saneamento local. Como resultado, os 42,5 m³/s de esgotos lançados *in natura* nos rios que cruzam a metrópole serão acrescentados de mais 13,5 m³/s, passando a totalizar nada menos do que 58,5 m³/s.

Enquanto as regiões consideradas como passíveis de serem submetidas à prática da reversão não dispuserem de recursos hídricos compatíveis com suas necessidades e enquanto os volumes incrementais de esgotos gerados não forem adequadamente tratados e dispostos, não poderá ser aceita a prática indiscriminada de transposição interbacias, como feito atualmente, de acordo com o “velho paradigma”. Como essas condições não prevalecem, a única possibilidade é adotar o “novo paradigma”, que tem por base as palavras-chave *conservação* e *reúso de água*.

As indústrias, particularmente as do Estado de São Paulo, já vêm aplicando recursos financeiros significativos na implantação de programas de conservação e reúso de águas, obtendo redução de consumo da ordem de 40% a 80%. A agricultura, que é responsável por um consumo de água equivalente a 70% do total consumido no Brasil, já começa a avaliar os benefícios do reúso que, além da água, traz para os campos irrigados quantidade significativa de nutrientes, de micronutrientes e de matéria orgânica, que aumenta a capacidade de retenção

de água no solo. Os demais usos, tais como aquíicultura, recarga gerenciada de aquíferos e reúso associado com recreação ainda são praticamente inexistentes no Brasil.

Para universalizar a prática de reúso no Brasil e, efetivamente, implementar o “novo paradigma”, deve-se: (i) desenvolver um arcabouço legal para regulamentar, orientar e promover a prática do reúso de água, incluindo normas, padrões de qualidade de água, códigos de práticas e atribuições institucionais para as diferentes formas de reúso urbano, agrícola, na aquíicultura, na recarga gerenciada de aquíferos e na recreação; e (ii) estimular o reúso de água pela conscientização dos valores e benefícios da prática, pela criação de programas de pesquisas e desenvolvimento, pela implementação de programas e projetos de demonstração, pela introdução de linhas de créditos específicos e pelo estabelecimento de critérios para subsidiar projetos de reúso. A iniciativa por essas ações poderia partir da Agência Nacional de Águas (ANA), da Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio ambiente, das secretarias estaduais de recursos hídricos, dos comitês de bacias e das companhias municipais e estaduais de saneamento.

Referências bibliográficas

ANA – Agência Nacional de Águas. Regiões Hidrográficas do Brasil. Caracterização geral e aspectos prioritários. Brasília, 2002.

ASANO, T. et al. *Water reuse, issues, technologies, and applications*. New York: Metcalf & Eddy/AECOM, eds., McGraw Hill, 2007.

BANCO MUNDIAL. *World Bank Development Report*, Development and the Environment, World Bank Development Indicators. Washington, DC: Oxford University Press, 1992. 308p.

BOWDOIN COLLEGE. Brunswick, ME, 2006. Disponível em: <<http://www.academic.bowdoin.edu/classics/research/moyer/html/intro.shtml>>.

CAVALLINI, J. M. *Aquaculture using treated effluents from the San Juan Stabilization Ponds*. Lima: Pan American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences, 1996.

CHRISTOFIDIS, D. Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos. *Revista Irrigação & Tecnologia Moderna*, n.54, p.46-55, 2002.

CHRISTOVA-BOALL, D. et al. An investigation into greywater reuse for urban residential properties. *Desalination*, v.106, n.1-3, p.391-7, 1996.

CNA. Información General de los Districtos de Riego 03 e 100. Alfajayucan, Gerencia Estatal, Pajuca, Hidalgo, Mexico, Comisión Nacional de Aguas. Cidade do Mexico, 1993.

CREPALDI, D. V. et al. O Surubim na aquíicultura no Brasil. *Rev. Bras. de Reprodução Animal*, Belo Horizonte, v.30, n.3/4, p.150-8, jul./dez. 2006.

EDWARDS, P.; PULLIN, R. S. V. (Ed.) *Wastewater-fed Aquaculture*. Proceedings of the International Seminar on Reclamation and Reuse for Aquaculture, Calcutta, Bang-

- kok, Asian Institute of Technology, Environmental Sanitation Information Centre, 1990.
- ERIKSSON, E. et al. Characteristics of grey wastewater. *Urban Water*, v.4, n.1, p.58-104, 2002.
- FALKENMARK, M. *Water scarcity generates environmental stress and potential conflicts*. Lewis Publishers, Inc., 1992.
- FOSTER, S. S. et al. *Impacts of wastewater use and disposal on groundwater*. Technical Report WD/94/95, British Geological Survey, Keyworth, 1994.
- GIJZEN, H. J.; IKRAMULLAH, M. Pre-feasibility of Duck-weed based Wastewater Treatment and Resource Recovery. In: Bangladesh, Delft International Institute Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering and Bangladesh Project in Agriculture, Rural Industry, Science and Medicine (PRISM), Bangladesh, 1999.
- HESPANHOL, I. Guidelines and Integrated Measures for Public Health Protection in Agricultural Reuse Systems. *J. Water SRT-Agua*, England, v.39, n.4, p.237-49, 1990.
- _____. Wastewater as a resource. In: HELMER, R.; HESPANHOL, I. (Ed.) *Water pollution control – A guide to the use of water quality management practices*. London: WHO, Unep, WSSCC, E&FN Spon, 1997.
- _____. Água e saneamento básico – Uma visão realista. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Coord.) *Águas doces do Brasil, capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo: Escrituras, 1999. p.249-304.
- _____. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH*, Porto Alegre, ed. comemorativa, v.7, n.4, p.75-97, dez. 2002.
- _____. Termos de referência para a elaboração de proposta de resolução sobre reúso de água no Brasil. Grupo Técnico de Reúso – GT Reúso. Câmara Técnica de Ciência e Tecnologia, Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, não publicado (2003a).
- _____. Estabelecimento de diretrizes técnicas, econômicas e institucionais e de um Programa de ação para implementação da prática de reúso de água no Brasil. Grupo Técnico de Reúso – GT Reúso. Câmara Técnica de Ciência e Tecnologia, Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, não publicado (2003b).
- _____. Recarga artificial de aquíferos. *Revista da Fundação de Apoio à Tecnologia – FAT*, São Paulo, v.33, n.1, p.25-29, 2006.
- HESPANHOL, I.; GONÇALVES, O. Conservação e reúso de água. *Manual de Orientações para o Setor Industrial*. São Paulo: Fiesp, Ciesp, 2005. v.1.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Atlas de Saneamento, 2000. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento>.
- ICWE. The Dublin Statement and Report on the Conference and the International Conference on Water and the Environmental Development Issues for the Twenty-first Century. WMO. Genève, Switzerland, 1992.
- INTER-PARLIAMENTARY Conference on Environment and Development. Final Document. Brasília, DF: Brazilian National Congress, 23-27 nov. 1992.

- JEFFERSON, B. et al. Technologies for domestic wastewater recycling. *Urban Water*, v.1, p.285-92, 1999.
- LORENZI, J. L. S. Sistema principal de esgotos da RMSP – Capacidade instalada. In: Aquapolo ambiental. Uma parceria de sucesso. Unidade de Negócios de Tratamento de Esgotos da Metropolitana de São Paulo. Palestra apresentada na VIª Audiência de Sustentabilidade, São Paulo, Sabesp, 22 de abril 2008.
- MAY, S. *Estudo do aproveitamento de águas pluviais para consumo não-potável em edificações*. São Paulo, 2004. 159p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- MAY, S.; HESPANHOL, I. Caracterização e tratamento de águas cinzas para consumo não potável em edificações. *Anais do XXX Congreso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental*, Asociación Interamericana de Ingenieria Ambiental-AIDIS, Punta Del Este, Uruguay, 2006.
- METCALF & EDDY, Inc. *Wastewater engineering – Treatment and reuse*. 4.ed. New York: McGraw Hill, 2003.
- MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. “Água na indústria – Uso racional e reúso”. Oficina de Textos. São Paulo, 2005. 143p.
- NOLDE, E. Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings – Over ten years of experience in Berlin. *Urban Water*, v.1, n.4, p.275-84, 1999.
- OTTOSON, J.; STRENTSON, T. A. Faecal Contamination and Associated Microbial Risks. *Water Research*, v.37, n.3, p.645-55, 2003.
- PDAA. Plano diretor de abastecimento de água da Região Metropolitana de São Paulo. Consórcio Encibra S.A./Hidroconsult. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Energia, Recursos Hídricos e Meio Ambiente, São Paulo, Sabesp, 2006.
- PIO, A. A. B. *Reflexos da gestão de recursos hídricos para o setor industrial paulista*. São Paulo, 2005. 64p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- PMSP – Prefeitura Municipal de São Paulo. Precipitação em estações distritais no município de São Paulo – Médias mensais. São Paulo: Secretaria das Administrações Regionais, Comissão Municipal de Defesa Civil, Comdec, 2001.
- SAMPAIO, A. O. Gestão da água na RMSP. Seminário Internacional Água: Avanços tecnológicos para um reúso sustentável, Cirra/Escola Politécnica da USP, 5-6 de dezembro 2005.
- SANTOS, D. C; ZABRACKI, C.. Greywater characterization in residential buildings to assess it's potential use. In: PROCEEDINGS OF THE CIB-W62 SYMPOSIUM. Ankara, Turkey, 2003.
- SHENDE, G. B. Status of wastewater treatment and agricultural reuse with special reference to Indian experience on research and development needs. In: PESCOD, M. B.; ARAR, A. (Ed.) *Proceedings of the FAO Seminar on the Treatment and Use of Sewage Effluents for Irrigation*. Nicosia, Cyprus, 7-9 October, Butterworths, London, 1985.
- SILVA, A. C. P. et al. *Reúso de água e suas aplicações jurídicas*. São Paulo: Navegar, 2003. 111p.
- SWANSEA UNIVERSITY. Wales, UK, 2006. Disponível em: <<http://www.swan.ac.uk/classics/staff/ter/grst/What's%20what%20Things/aqueducts/htm>>.

UNCED. Agenda 21, United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, 14.6.1992.

UNITED NATIONS, Water for industrial use. Economic and Social Council. Report E/3058STECA/50, United Nations, New York, 1958.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. Guidelines for Water Reuse, (EPA/625/R-04/108). Washington. DC, 2004.

WHO. WHO Guidelines for the safe use of wastewater excreta and greywater. Wastewater and Excreta Use in Aquaculture, WHO, Unep, Genebra, Suíça, 2006. v.III.

RESUMO – A política de importar água de bacias cada vez mais distantes para satisfazer o crescimento da demanda teve início há mais de dois mil com os romanos, dando origem aos seus famosos aquedutos. Esse é o “velho paradigma” que persiste ainda hoje, resolvendo, precariamente, o problema de abastecimento de água de uma região, em detrimento daquela que a fornece. A transferência sistemática de grandes volumes de água de fontes distantes, gerando volumes adicionais de esgoto, não pode mais ser aceita, tanto do ponto de vista econômico como do ambiental. Um “novo paradigma”, baseado nos conceitos de *Conservação e Reúso de Água* deve evoluir, para minimizar os custos e os impactos ambientais associados a projetos de transposição de bacias. A tecnologia e os fundamentos ambientais, de saúde pública e gerenciais, hoje consagrados, permitem fazer uso dos recursos disponíveis localmente, mediante programas de gestão adequada da demanda, e da implementação da prática de reúso de água.

PALAVRAS CHAVE: Gestão de recursos hídricos, Conservação de água, Reúso de água.

ABSTRACT – Watershed transposition is a 2000 years policy developed by the Romans to satisfy their continuous growing water demand, leading to the build up of an extensive network of aqueducts. This is the so called “old paradigm” still prevailing nowadays, for the relief of local water supply constraints on detriment of other regions. The systematic transfer of expressive amount of water from foreign sources, generating extra volumes of wastewater can no longer be accepted, both under economical as well as under environmental aspects. A “new paradigm”, based on the concepts of *Water Conservation* and *Reuse* must evolve, to minimize costs and the environmental impacts associated with watershed transposition. The technology, as well as the basic environmental, public health and operational criteria now available, allow for a full harnessing of local water resources, through water reuse and adequate demand management.

KEYWORDS: Water resources management, Water conservation, Water reuse.

Ivanildo Hespanhol é professor titular da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, diretor do Centro Internacional de Referência em Reúso de Água – Cirra/IR-CWD, Universidade de São Paulo. @ – ivanhes@usp.br

Recebido em 16.6.2008 e aceito em 23.6.2008.