



# Reúso de água na agricultura

*Marcos Brandão Braga*  
*Carlos Eduardo Pacheco Lima*  
Editores Técnicos

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Hortaliças  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# **Reúso de água na agricultura**

*Marcos Brandão Braga  
Carlos Eduardo Pacheco Lima*  
Editores Técnicos

*Embrapa  
Brasília, DF  
2014*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na

**Embrapa Hortaliças**

BR 060, Km 9 trecho Brasília-Anápolis

Caixa Postal 218

70.351-970 Brasília, DF

Fone: +55 (61) 3385-9000

Fax: +55 (61) 3556-5744

www.embrapa.br

<https://www.embrapa.br/fale-conosco/sac/>

**Unidade responsável pelo conteúdo e edição**

Embrapa Hortaliças

Comitê de Publicações da Embrapa Hortaliças

Presidente

*Warley Marcos Nascimento*

Editor técnico

*Ricardo Borges Pereira*

Membros

*Mariane Carvalho Vidal*

*Jadir Borges Pinheiro*

*Fábio Akiyoshi Suinaga*

*Ítalo Morais Rocha Guedes*

*Carlos Eduardo Pacheco Lima*

Supervisor editorial

*George James*

Normalização bibliográfica

*Antonia Veras de Souza*

Capa, tratamento das ilustrações, projeto gráfico e editoração eletrônica

*André Luiz Garcia da Silva*

**1ª edição**

1ª impressão (2014): 2.000 exemplares

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Hortaliças

---

Reúso de água na agricultura / Marcos Brandão Braga, Carlos Eduardo Pacheco Lima, editores técnicos. – Brasília, DF : Embrapa, 2014.

200 p. : il. color. ; 17 cm x 24 cm.

ISBN 978-85-7035-402-0

1. Águas residuais. 2. Tratamento de água. 3. Irrigação. 4. Hortaliças. 5. Mudança climática.  
I. Braga, Marcos Brandão. II. Lima, Carlos Eduardo Pacheco. III. Embrapa Hortaliças.

CDD 635-0487

---

© Embrapa 2014

# **Autores**

## **Antônio Carlos Teixeira Pinto Filho**

Engenheiro-químico, mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, analista de sistemas de saneamento da Agência Nacional de Águas, Brasília, DF

## **Antonio Teixeira de Matos**

Engenheiro-químico, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, professor da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG

## **Carla Veiga Fernandes Lima**

Farmacêutica/Bioquímica, mestre em Química orgânica, especialista em Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas-ANA, Brasília, DF

## **Carlos Alexandre Batista dos Santos**

Técnico em Saneamento, técnico em Sistemas de Saneamento da Companhia de Saneamento Ambiental de Brasília, Brasília, DF

## **Carlos Eduardo Pacheco Lima**

Engenheiro-ambiental, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Hortaliças, Brasília, DF

## **Claudio Ritti Itaborahy**

Engenheiro-agrícola, doutor em Engenharia Agrícola, especialista em Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas, Brasília, DF

## **Demétrios Christofidis**

Engenheiro-civil, doutor em Gestão Ambiental e Recursos Hídricos, engenheiro do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, professor da Universidade de Brasília, Brasília, DF

## **Edson da Silva Soares**

Químico, técnico em Sistemas de Saneamento II, Companhia de Saneamento Ambiental de Brasília, Brasília, DF

**Henoque Ribeiro da Silva**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Engenharia de Irrigação, pesquisador da Embrapa SRI, Brasília, DF

**Marcos Brandão Braga**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia - Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Hortaliças, Brasília, DF

**Mariana Rodrigues Fontenelle**

Bióloga, doutora em Microbiologia Agrícola, pesquisadora em Microbiologia Agrícola, Embrapa Hortaliças, Brasília, DF

**Mauro Roberto Felizatto**

Engenheiro-químico, doutorando em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, engenheiro-químico da Companhia de Saneamento Ambiental de Brasília, Brasília, DF

**Rafael Kopschitz Xavier Bastos**

Engenheiro-civil, doutor em Engenharia de Saúde pública, professor da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG

**Rosvaldo Catino**

Engenheiro-sanitário, especialista em Ciências Ambientais, professor da Escola Senai Mário Amato, São Paulo, SP

**Vera Maria da Costa Nascimento**

Bióloga, doutora em Ecologia e Recursos Naturais, analista ambiental do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, cedida à Agência Nacional de Águas, Brasília, DF

**Waldir Aparecido Marouelli**

Engenheiro-agrícola, doutor em Engenharia Agrícola e de Biosistemas, pesquisador da Embrapa Hortaliças, Brasília, DF

# Apresentação

O uso e conservação dos recursos hídricos é tema chave para o desenvolvimento de um país, sendo essencial para a produção de bens de consumo com altos níveis de produtividade e competitividade do produto final. A disponibilidade de água de qualidade e em quantidade adequadas para produção seja de alimentos e ou de outros bens, é cada vez mais restrita, uma vez que os fatores que regulam esta situação estão diretamente correlacionados com a sustentabilidade ambiental da região onde se encontram os mananciais.

Em face disso, entre os diferentes recursos naturais utilizados na produção agropecuária, a água tem-se constituído num fator limitante ao sucesso de qualquer empreendimento, principalmente, em decorrência da sua escassez e ou qualidade, com reflexos limitantes ao desenvolvimento sócio econômico de determinadas regiões.

Com o crescimento dos grandes centros urbanos no Brasil e no mundo, atualmente com cerca de 80% da população mundial vivendo em cidades, faz-se necessário o abastecimento de água para usos doméstico, comercial e industrial. Neste contexto, tem-se evidenciado também a necessidade de adequar a qualidade das águas residuárias destes processos, as quais apresentam algum tipo de contaminante, seja orgânico, químico e ou biológico. Diversas tecnologias têm sido empregadas para o tratamento de vários tipos de água residual.

Na maioria das vezes, no cultivo irrigado de alimentos é utilizada água de baixa qualidade química e biológica. Este problema tem sido recorrente em regiões urbanas e periurbanas, onde se cultivam diferentes espécies de hortaliças, principalmente as do tipo folhosas, que em sua maioria são consumidas cruas. Este problema tem sido mais evidente, em regiões de baixo desenvolvimento sanitário, ou seja, com inexistência e ou inadequação de serviços de saneamento básico.

A Embrapa Hortaliças vem trabalhando com a agricultura irrigada há mais de 30 anos, e neste período, estabeleceu diversos processos e tecnologias para uso adequado da água no cultivo de hortaliças.

Recentemente, tem-se verificado uma maior demanda, por parte da sociedade, vinculada a melhoria da qualidade da água utilizada nos cultivos de hortaliças. Em face disso, em 2011 a Embrapa Hortaliças organizou e promoveu o primeiro *Simpósio de qualidade de água para uso na olericultura*, sendo que este livro, fruto das apresentações e discussões sobre o tema, apresenta para o leitor algumas alternativas para uso da água residual na produção agrícola, incluindo hortaliças.

O Procisur é um programa cooperativo para o desenvolvimento tecnológico agroalimentar e agroindustrial do Cone Sul, que compreende diversos órgãos de pesquisa agropecuária em seis países: o INTA na Argentina, o INIAF na Bolívia, a EMBRAPA no Brasil, o INIA no Chile, o IPTA no Paraguai e INIA no Uruguai. Dentre as suas premissas de trabalho, o uso sustentável dos recursos naturais é um dos objetivos, sendo que o uso racional dos recursos hídricos é parte componente das plataformas regionais de estudo e desenvolvimento do programa.

Esta publicação, resultado do esforço da parceria entre a Embrapa e o Procisur e demais colaboradores, sem dúvida, é uma marco neste importante tema relacionado aos recursos naturais.

*Valdir Stumpf Júnior*  
Presidente  
Comissão Diretiva do Procisur

*Jairo Vidal Vieira*  
Chefe-geral  
Embrapa Hortaliças

## Prefácio

Os conflitos pelos múltiplos usos da água, seja por limitações impostas pela quantidade de água disponível ou pela qualidade dela, são realidade mundial e também no território brasileiro. Por outro lado, vivemos em um mundo com população ainda crescente o que exige incrementos na produção de alimentos, preferencialmente acompanhados de aumento da qualidade nutricional dos mesmos. A agricultura é hoje a atividade que apresenta maior uso de água doce e, por isso, tem sido alvo de diversas críticas, muitas vezes infundadas, por parte de órgãos e pessoas que não entendem bem a dinâmica do ciclo hidrológico. Conviver com o aumento da necessidade de produção de alimentos mantendo a sustentabilidade da agricultura é indubitavelmente um desafio prioritário para o século XXI. Adicionalmente, o aumento da consciência da população brasileira sobre a importância da manutenção de hábitos alimentares saudáveis, assim como o aumento da renda média do trabalhador, tem levado a um significativo aumento na procura por produtos oriundos da cadeia produtiva das hortaliças. Entretanto, a baixa qualidade da água para irrigação e para tratamentos pós-colheita podem constituir uma ameaça à segurança alimentar, devendo ser discutida pelos diversos atores da sociedade que exercem influência sobre essa importante cadeia produtiva. O reuso indireto de água na olericultura é uma realidade que não pode ser negligenciada. Dados oficiais da Agência Nacional de Águas (ANA) dão conta que a maioria dos corpos d'água doce superficiais brasileiros apresenta qualidade inferior àquela permitida para o uso em irrigação de hortaliças consumidas in natura. Essa situação se agrava em áreas densamente povoadas como nas regiões metropolitanas, em áreas urbanas e periurbanas. Nestas, estão localizadas importantes áreas de produção de hortaliças, denominadas de cinturões verdes das grandes cidades, o que denota a relevância do tema. Faz-se necessário, portanto, a condução de pesquisas, ações de transferência de tecnologia e elaboração de políticas públicas que versem sobre o tema reuso de águas residuárias na olericultura, seja ele direto ou indireto, buscando a manutenção da sustentabilidade do cultivo de espécies oleráceas, bem como a segurança alimentar dos consumidores. É possível ainda que esse quadro se agrave se relevarmos os impactos projetados das mudanças climáticas. Por outro lado, a atividade agrícola também pode impactar a disponibilidade dos recursos hídricos e alterações nos sistemas produtivos que levem a um menor impacto ambiental devem ser buscadas. A condução dos sistemas agrícolas com

intenso revolvimento do solo e uso de insumos têm levado a um quadro de degradação ambiental preocupante que, inclusive, pode ser alvo de barreiras não tarifárias futuras para limitação da comercialização de produtos brasileiros no exterior. Além disso, o aumento da consciência ambiental do consumidor pode levar a restrições futuras de consumo daqueles produtos altamente impactantes. Melhoramento genético buscando maior eficiência do uso de água e nutrientes, melhor planejamento do uso e ocupação do solo, utilização de sistemas e práticas conservacionistas de produção e utilização de sistemas e manejos de irrigação mais eficientes no uso da água são exemplos de ações que podem mitigar os impactos das atividades agrícolas sobre os corpos d'água. Portanto, esse livro contém discussões de diversos temas relevantes ao conhecimento do uso de água residuária na produção de alimentos.

*Marcos Brandão Braga*  
*Carlos Eduardo Pacheco Lima*  
Editores Técnicos

# Sumário



Reúso de água como fator na produção de alimentos .....	13
Introdução.....	13
Potencial do uso de água residual na irrigação.....	15
Tratamento e caracterização de qualidade de água.....	17
Risco à saúde pública e ao meio ambiente.....	22
Considerações finais .....	24
Referências.....	25
Reúso de água residuária na Olericultura: necessidade, limitações e impactos sobre a qualidade de hortaliças e dos solos .....	27
Introdução.....	27
Disponibilidade hídrica no Brasil e no mundo.....	28
Qualidade da água para produção de hortaliças no Brasil.....	31
Mudanças climáticas esperadas para o Brasil e recursos hídricos.....	39
Impactos do uso de águas de baixa qualidade sobre a produção de hortaliças .....	41
Impactos do uso de águas residuárias sobre a qualidade do solo .....	45
Considerações finais .....	48
Referências.....	49

Reúso de água na agricultura no contexto da gestão de recursos hídricos no Brasil.....	59
Introdução.....	59
Agência Nacional de Águas e Gestão de Recursos Hídricos.....	60
Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil.....	61
Reúso Direto Não Potável de Água .....	63
Reúso de Água para Fins Agrícolas.....	66
Ações da Agência Nacional de Águas de Incentivo e Apoio ao Reúso de Água .....	79
Considerações Finais .....	89
Referências.....	90
A evolução da irrigação no Brasil e o reúso de água.....	97
Introdução.....	97
Potencial agrícola e de irrigação no Brasil.....	97
Reúso de água para irrigação e legislação.....	101
Referências.....	108
Reúso de água na agricultura: estado da arte e perspectivas .....	109
Bases conceituais da disposição controlada de águas residuárias no solo .....	109
Histórico do aproveitamento agrícola de águas residuárias.....	110
Fertirrigação com água residuária.....	110
Tratamento/aproveitamento agrícola em sistemas alagados construídos .....	123
Referências.....	129
Qualidade microbiológica da água para irrigação de hortaliças .....	131
Introdução.....	131
Avaliação da qualidade microbiológica da água para irrigação de hortaliças.....	132

Bases conceituais para a formulação de critérios de qualidade da água para irrigação de hortaliças.....	135
Avaliação quantitativa de risco microbiológico aplicada à irrigação de hortaliças.....	136
Normas e critérios de qualidade microbiológica da água para irrigação de hortaliças.....	141
Normas e critérios de qualidade microbiológica de hortaliças e associação com a qualidade da água de irrigação.....	149
Considerações finais.....	152
Referências.....	153
Remoção Biológica de Nutrientes precedido de Reator UASB:	
O Caso da ETE Gama (DF).....	159
Introdução.....	159
Material e métodos.....	161
Resultados e Discussão.....	167
Conclusões e recomendações.....	175
Referências.....	176
Segurança sanitária da água para irrigação.....	179
Introdução.....	179
Doenças transmissíveis pela água.....	180
Riscos de transmissão de doenças.....	182
Fontes de água e de contaminação.....	184
Amostragem de água para análise de qualidade.....	185
Análise de qualidade da água.....	187
Classificação e possibilidades de uso da água.....	190
Tratamento de água.....	192
Esquistossomose: transmissão e medidas saneadoras.....	195
Conclusões e recomendações.....	198
Referências.....	199



# Reúso de água como fator na produção de alimentos

Marcos Brandão Braga  
Waldir Aparecido Marouelli  
Carlos Eduardo Pacheco Lima

## Introdução

Da água total disponível no planeta Terra aproximadamente 97% são de água salgada, encontrada nos mares e oceanos, e apenas 3% são de água doce. Do total de água doce, em torno de 68,9% encontram-se congelada nas calotas polares e geleiras, 29,9% representam águas subterrâneas, 0,9% está na biomassa e na atmosfera sob a forma de vapor e apenas 0,3% representa águas superficiais (lagos, rios e reservatórios), o que representa menos de 0,01% do total de água doce e salgada existente no planeta. Da água doce total utilizada pelo homem, próximo de 85% é usada na agricultura, sobretudo na irrigação, 10% nos processos industriais e 5% no abastecimento doméstico (LIMA, 2001).

Uma análise simplista e direta do possível efeito do aquecimento global permite inferir que o simples acréscimo da temperatura médias na Terra acarretará, por exemplo, aumento na evaporação de águas superficiais e da demanda hídrica de espécies de plantas nativas e cultivadas. A maior demanda por água poderá agravar conflitos, atualmente observados em algumas regiões, entre os diferentes setores e atividades existentes, incluindo conflitos entre agricultores, municípios, estados e, até mesmo, países. Por outro lado, o contínuo crescimento demográfico no planeta, cuja população ultrapassou os oito bilhões de habitantes em 2010, aumenta as demandas por bens duráveis e por alimentos, pressionado a demanda por recursos naturais, como a água, cada vez mais escassos em muitas regiões.

Dentre as práticas da atividade agrícola, a da irrigação é destacadamente a que mais utiliza dos recursos hídricos. Isto ocorre não obstante os avanços tecnológicos verificados nas últimas décadas, incluindo o desenvolvimento de equipamentos e sistemas de irrigação mais eficientes e de tecnologias que possibilitam manejar a água de forma a maximizar seu uso pelas plantas, que apresentam grande potencial para minimizar o impacto do uso crescente de água para produção de alimentos. Um dos problemas é que muitas das tecnologias disponíveis não têm sido utilizadas de forma efetiva no campo, o que se deve ao alto custo e complexidade de algumas delas e/ou em razão de a água representar apenas uma pequena parcela no custo de produção da maioria das culturas, sobretudo das hortaliças e das fruteiras, mesmo incluindo o custo da energia para seu bombeamento.

Atualmente, surgem alternativas como o desenvolvimento, via técnicas de biologia molecular ou de transgenia, de plantas tolerantes ao déficit hídrico, com maior eficiência no uso da água e/ou maior resistência à altas temperaturas. Produtos gerados por tais tecnologias podem vir a ser utilizados tanto em agricultura irrigada, quanto de sequeiro.

Dentre as tecnologias que vêm sendo desenvolvidas para racionalizar o uso da água na agricultura irrigada, aquelas que preconizam o reúso de águas servidas são, possivelmente, as com maior potencial de impactar positivamente e mais rapidamente na redução do uso de água de boa qualidade para irrigação, além de contribuir para minimizar os gastos no tratamento de águas poluídas para fins de abastecimento público. Em muitos setores industriais já é realidade a reciclagem da água em seus processos produtivos. O uso de água residual na agricultura é uma prática ainda muito pouco utilizada no Brasil, seja por desconhecimento ou falta de regulamentação.

O reúso de água residual para fins de irrigação é uma prática viável e que pode ser utilizada em diferentes espécies de plantas. Em diversos países, como China, Índia, Israel, França e Estados Unidos, já existem grandes áreas irrigadas com águas residuais. Em Israel, por exemplo, se utiliza água residual de esgoto doméstico há mais de 15 anos para irrigação de frutíferas. No caso de água residual proveniente de esgotos urbanos, o tratamento prévio, muito mais simples e barato que o utilizado para águas de abastecimento público, é realizado geralmente pela própria companhia de tratamento de água e esgoto. Após tratada, a água é bombeada e distribuída aos usuários a preços muitas vezes subsidiados pelo poder público. O tratamento de

águas contaminadas por esgotos domésticos é um processo tecnicamente viável, mas geralmente muito dispendioso para ser realizado pelo próprio agricultor.

Em nível de propriedade agrícola, o reúso de águas residuais, oriundas, por exemplo, da criação de animais, também pode ocorrer, após esta ser devidamente tratada. Estudos nessa área têm sido realizados por muitas universidades brasileiras e internacionais, com destaque para seu uso na irrigação e fertilização de diversas espécies de plantas.

### **Potencial do uso de água residual na irrigação**

Levantamento realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) mostra que em torno de 23% dos municípios brasileiros sofrem com o racionamento de água, principalmente devido à falta de chuva. Em cerca de 10% dos municípios o problema de racionamento é constante. Dos 528 municípios com racionamento constante de água, 75% ficam na Região Nordeste (dados de 2011). Segundo o estudo, o volume diário de consumo de água per capita no país é em torno de 320 L, com maior valor na Região Sudeste (450 L). Indica ainda que as perdas de água, entre o ponto de captação e o usuário final, variam entre 20% e 50% em mais de 60% das cidades com mais de 100 mil habitantes (IBGE, 2011).

Uma ampla pesquisa nacional sobre a destinação final dos esgotos não tratados e seu uso a jusante do ponto de descarga nas fontes de água superficiais foi realizada pelo IBGE. Foi constatado que a principal destinação é para o abastecimento, seguido de recreação, irrigação e aquicultura. Em se tratando de abastecimento público, as águas captadas em fontes com algum grau de contaminação são tratadas de forma que atinjam os padrões mínimos de potabilidade. No caso específico da irrigação foi observado que as áreas irrigadas com essas águas contaminadas estão relativamente próximas aos centros urbanos, regiões sabidamente responsáveis pela produção de grande parte das hortaliças, com destaque para as folhosas, como alface, rúcula, agrião, cebolinha, dentre outras (IBGE, 2010). Assim, pode-se inferir que uma parte significativa das hortaliças consumidas tem sido irrigada com águas residuais contaminadas por esgotos sem que qualquer tipo de tratamento prévio seja realizado.

Tomando o exemplo de uma pequena cidade típica da Região Semiárida do Brasil, com cerca de 20 mil habitantes, e considerando um

consumo médio-baixo de água 100 L por dia por habitante ter-se-ia uma demanda de água de 2.000 m<sup>3</sup>/dia. Considerando que 80% desse volume retornassem à rede de coleta de esgoto teríamos um volume de água residual de 1.600 m<sup>3</sup>/dia, que poderia ser reutilizado para fins de irrigação após o devido tratamento. Considerando uma evapotranspiração média de 10 mm/dia e sistema de irrigação com eficiência de 80%, esse volume de água residual gerado seria suficiente, por exemplo, para irrigar diariamente uma área de 12,8 ha na Região Semiárida.

O exemplo acima, ainda que bastante simples, ilustra o grande potencial existente em muitas regiões do Brasil em termos do reúso de águas residuais, as quais são muitas vezes devolvidas para os mananciais (fontes de água superficiais) sem qualquer tipo de tratamento e a custo ambiental elevado.

É importante destacar que águas residuais destinadas para irrigação não requerem o mesmo tipo de tratamento daquelas destinadas para o abastecimento público. Dependendo da espécie vegetal a ser irrigada, apenas o tratamento primário poderia ser suficiente para que a água seja utilizada na irrigação de diversas culturas, o que reduz substancialmente os custos de tratamento. Assim, é muito mais racional e viável, do ponto de vista econômico e ambiental, que para fins de abastecimento público seja captada e tratada uma água de boa qualidade e que para irrigação se utilize águas de qualidade inferior (água residual tratada), do que se irrigar com água de boa qualidade, bombeada diretamente do mesmo manancial utilizado para o abastecimento público, e se tratar plenamente todo o esgoto antes de ser devolvido ao manancial.

A cidade de Bakersfield, localizada no estado da Califórnia, Estados Unidos da América, faz o uso de águas residuais para a irrigação de diversas culturas a mais de 65 anos. Embora a precipitação média anual na região seja de apenas 150 mm e ocorra apenas durante os meses de dezembro a fevereiro, o efluente minimamente tratado é usado para irrigar cerca de 2.250 ha durante todo o ano, incluindo culturas como alfafa, cevada, milho, sorgo e pastagens. O sistema de tratamento de efluentes consiste em tratamento primário seguido de lagoas aeradas profundas, o que equivale a um sistema de tratamento secundário. Outro exemplo, também na Califórnia, é a cidade de Santa Rosa, que opera sistema de tratamento efluente doméstico e fornece uma parte da água residual tratada para os agricultores credenciados. Em torno de vinte agricultores utilizam água

de reúso para irrigar 1.600 ha, principalmente por sistemas de aspersão. Nos dois exemplos, existem reservatórios de armazenamento de águas de residuais minimamente tratadas com capacidade de atender uma demanda de dois a três meses. Na Califórnia, o uso de águas residuais na agricultura teve início por volta de 1890, irrigando-se atualmente fruteiras, hortaliças e principalmente culturas graníferas e forrageiras, plantas ornamentais e parques públicos. Na Europa e em Israel existem outros importantes exemplos do reúso de águas residuais para a irrigação de várias culturas.

Nota-se que até recentemente o reúso de águas servidas para fins de irrigação era realizada principalmente em regiões com baixa disponibilidade de água, fato que justifica parte dos investimentos necessários. Nas últimas duas décadas, no entanto, com o agravamento da disponibilidade e da qualidade da água, experiências envolvendo o reúso de águas residuais têm se multiplicado mesmo em regiões com alta disponibilidade hídrica. Uma das principais razões é o menor custo do tratamento de águas residuais para atender os padrões de qualidade fins de irrigação, do que para o tratamento do efluente para descarga nas fontes de água superficiais.

### **Tratamento e caracterização de qualidade de água**

Em torno de 99% da constituição dos efluentes gerados por esgotos domésticos é água. As impurezas presentes, que podem ser de origem orgânica e inorgânica, estão em suspensão e em dissolução. Dentre as impurezas em suspensão de origem orgânica encontram-se bactérias, vírus, protozoários, dentre outros organismos patogênicos.

O tratamento de águas residuais é realizado visando seu reúso e principalmente seu lançamento no meio ambiente, geralmente nos cursos de rios e grande reservatórios. O tratamento tem por objetivo a remoção de todos os tipos de impurezas em suspensão, de areia, de óleos e de outros materiais e substâncias, a redução de matéria orgânica e de nutrientes em dissolução e a redução de microrganismos. O tipo e o grau do tratamento vão depender de como a água residual será utilizada ou de que forma ou onde será realizado seu lançamento.

Águas residuais originárias de esgotos domésticos tratados nem sempre satisfazem um padrão de qualidade mínima que permita que sejam utilizadas na irrigação de algumas espécies de plantas ou mesmo que sejam descartadas no meio receptor (solo ou água). Tanto para descarga sobre o

solo ou lançamento em mananciais de água, quanto para uso na irrigação, as principais preocupações estão relacionadas com as altas concentrações de sais solúveis, nutrientes e organismos patogênicos presentes.

A principal diferença entre águas residuais e águas normalmente utilizadas para irrigação é a concentração mais elevada de material orgânica, de dióxido de nitrogênio, de fósforo, e, em alguns casos, de sódio e os altos níveis de salinidade na água residual municipal, além da grande presença de microrganismos patogênicos. Gorduras, óleos, detergentes e de alguns metais pesados também podem estar presentes em águas residuais, mas geralmente em concentrações que não prejudicam o desenvolvimento e a produtividade da maioria das culturas e/ou a qualidade do solo, caso a aplicação via irrigação seja realizada à taxas compatíveis com a demanda de água pelas plantas. Outro aspecto importante é que, quando a água residual não tem qualidade satisfatória para irrigação, pode-se utilizar o artifício de misturá-la com uma água de boa qualidade e, assim, torna-la compatível com o fim desejado.

Como os padrões de qualidade para o lançamento de águas residuais em corpos d'água superficiais têm se tornado mais rígidos, os processos tradicionais de tratamento de efluentes de esgotos domésticos têm se tornado mais dispendiosos. Assim, estudos visando à redução de custos, incluindo a busca por alternativas para a utilização de águas residuais com padrões de qualidade inferiores àqueles exigidos para o lançamento de efluentes em corpos d'água superficiais, têm se intensificado nas últimas décadas. O reúso de águas residuais para a irrigação de espécies de plantas específicas é uma alternativa desejável para a destinação de parte dos efluentes produzidos em muitos municípios. No entanto, diferentes variáveis de qualidade, de riscos à saúde pública e econômica necessitam ser consideradas na avaliação da viabilidade do uso de tais águas na irrigação.

Normalmente, para análise da qualidade química da água de irrigação deve-se levar em consideração as seguintes variáveis: condutividade elétrica da água, razão de adsorção de sódio, concentração de boro e concentração de bicarbonato.

A condutividade elétrica da água (CE) é um indicador dos sólidos totais dissolvidos (sais) presentes na água. Irrigação com água salina, sobretudo em regiões semiáridas, aumenta a concentração de sais no solo. A maior concentração de sais no solo acarreta um aumento no potencial osmótico na solução do solo e, conseqüentemente, interfere negativamente na extração

de água pelas plantas. Além do problema causado pelo aumento do potencial osmótico, a irrigação com água salina pode provocar efeitos tóxicos às plantas, dependendo do tipo de sais em dissolução. Valores de referência de CE para fins de qualidade de água para irrigação são apresentados na Tabela 1.

A razão de adsorção de sódio (RAS) é um indicador do risco de sódio na água. O excesso de sódio, em relação a concentrações de cálcio e de magnésio, desagrega as partículas (estrutura) do solo e reduz sua permeabilidade à água e ao ar. Adicionalmente e dependendo da concentração, o sódio pode ser tóxico para algumas espécies de plantas.

O boro é um elemento químico muito tóxico para a maioria das espécies de plantas, mesmo quando presente em baixas concentrações na água e no solo. O bicarbonato ( $\text{HCO}_3$ ) é considerado crítico quando presente na água de irrigação em concentrações elevadas; pode, por exemplo, causar sérios problemas de entupimentos em sistemas de irrigação por gotejamento. Limites de concentração aceitáveis para boro e bicarbonato são apresentados na Tabela 1.

Os efluentes produzidos por esgotos domésticos em algumas regiões do Brasil podem conter diferentes elementos tóxicos, incluindo metais pesados. Isso pode ocorrer em razão do lançamento ilegal de efluentes contaminados nas redes de coleta de esgoto sem qualquer tipo de tratamento prévio. Alguns desses elementos podem ser removidos durante os processos de tratamento normalmente utilizado para esgotos domésticos, enquanto

**Tabela 1.** Indicadores e níveis de segurança da qualidade química da água para fins de irrigação, tendo como base na condutividade elétrica (CE a 25 °C) e na razão de absorção de sódio (RAS).

Indicador <sup>1</sup>	Seguro	Moderadamente seguro	Perigoso
CE (dS/m)	< 1,0	1,0 – 2,5	> 2,5
RAS	< 4	4 – 9	> 9
Boro (mg/L)	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0
Bicarbonato (meq/L)	< 1,5	1,5 a 8,5	> 8,5

<sup>1</sup> CE = condutividade elétrica (25 °C); RAS = razão de absorção de sódio.

Fonte: adaptado de Pescod (1992).

outros persistem e podem causar problemas de fitotoxicidade às plantas. Assim, alguns elementos devem ser monitorados quando se utiliza água de reúso para fins de irrigação. Na Tabela 2 são apresentados níveis máximos de concentração para tais elementos, que uma vez atendidos não causariam problemas de toxicidade para a grande maioria das espécies de plantas.

**Tabela 2.** Concentração máxima de elementos traços para produção das culturas em geral e considerações sobre problemas de toxicidade.

Elementos	Concentração (mg/L)	Recomendação
Alumínio (Al)	5,0	Pode causar a não produtividade em solos ácidos, mas em solos alcalinos (pH > 7,0) pode ser precipitado e eliminado sua toxicidade.
Arsênio (As)	0,1	Grande variação na dosagem de toxicidade para as plantas, como exemplo de 12 mg/L para capim Sudão e 0,05 mg/L para arroz.
Berílio (Be)	0,1	Grande variação na dosagem de toxicidade para as plantas, como exemplo de 5 mg/L para couve e 0,5 mg/L para feijão.
Cádmio (Cd)	0,01	Limite conservador é recomendado devido ao potencial de acumulação nas plantas e causar problemas ao homem.
Cobalto (Co)	0,05	Tóxico ao tomateiro a 0,1 mg/L em solução nutritiva. Tende ser inativado em solos com pH neutros e alcalino.
Cromo (Cr)	0,1	Limite conservador é recomendado devido à falta de conhecimento sobre a toxicidade causada as plantas.
Cobre (Cu)	0,2	Tóxico para várias espécies de plantas em concentrações de 0,10 mg/L a 1,0 mg/L cultivado em solução nutritiva.
Flúor (F)	1,0	Inativado em solos com pH neutro e alcalino.
Ferro (Fe)	5,0	Pode contribuir para acidificação do solo e diminuir a disponibilidade de fósforo e molibdênio. Pode provocar problemas de entupimento em sistemas de irrigação por gotejamento.
Lítio (Li)	2,5	Não apresenta toxicidade para a maioria das espécies de plantas até 5 mg/L, mas para citros é tóxico para concentrações inferiores a 0,075 mg/L.
Manganês (Mn)	0,2	Tóxico para algumas culturas com poucos décimos de algumas miligramas/litro, mas geralmente apenas em solos ácidos.

Continua...

**Tabela 2.** Continuação.

Elementos	Concentração (mg/L)	Recomendação
Molibdênio (Mo)	0,01	Não prejudica as plantas nos níveis existentes no solo e água, mas pode ser tóxico para os bovinos alimentados com forrageiras for produzida em solos com altas concentrações de Mo.
Níquel (Ni)	0,2	Tóxico para várias espécies de plantas na concentração entre 0,5 mg/L e 1,0 mg/L; toxicidade é reduzida em pH neutro ou alcalino.
Selênio (Se)	0,02	Tóxico para as plantas em concentrações baixas (0,025 mg/L) e tóxico para os bovinos alimentados com forrageiras produzidas em solos com níveis elevados de Se.
Chumbo (Pb)	5,0	Pode inibir o crescimento celular das plantas em altas concentrações.
Vanádio (V)	0,1	Tóxico para muitas espécies de plantas mesmo em baixas concentrações.
Zinco (Zn)	2,0	Tóxico em concentrações muito variáveis, tendo a toxidez reduzida em solos com pH acima de 6,0, solos de textura fina e orgânicos.

Obs.: a máxima concentração é para uma lâmina de água aplicada de até 1.000 mm/ano e irrigação manejada de forma correta. O valor de concentração deve ser reduzido, de forma inversamente proporcional, quando uma lâmina maior é aplicada.

Fonte: adaptado de Pescod (1992).

Recomendações da Organização Mundial da Saúde para a qualidade microbiológica de água destinada para a irrigação de diferentes espécies de plantas são apresentadas na Tabela 3. Na Tabela são apresentadas três categorias de água, com indicativo das condições de uso (tipos de culturas ou plantas) e indicadores de qualidade associados ao número de helmintos e de coliformes termotolerantes presentes na água. O uso de águas residuais com número de helmintos ou de coliformes acima daqueles indicados na Tabela 3 podem colocar seriamente em risco a saúde dos trabalhadores e dos consumidores finais dos alimentos produzidos em áreas irrigadas com tais tipos águas. Legislações específicas sobre a qualidade microbiológica para água para fins de irrigação existem em diversos países. No Brasil, a classificação e o uso predominante das águas são estabelecidos na Resolução nº 357/2005 do Conama.

**Tabela 3.** Recomendações da Organização Mundial da Saúde para a qualidade microbiológica de água destinada para a irrigação de diferentes espécies de plantas.

<b>Categoria</b>	<b>Condição de uso</b>	<b>Grupo exposto</b>	<b>Helmintos (nº de ovos/L)</b>	<b>Coliformes termotolerantes (nº por 100 mL)</b>
A	Irrigação de culturas em que os alimentos são consumidos crus, campos esportivos e parques públicos	Trabalhadores e consumidores	≤ 1	≤ 1.000 <sup>1</sup>
B	Irrigação de cereais, culturas industrial e forrageiras, pastagens e árvores <sup>2</sup>	Trabalhadores	≤ 1	Nenhum padrão recomendado
C	Irrigação localizada de culturas da categoria B quando não há exposição de trabalhadores e do público	Nenhum	Não aplicável	Não aplicável

<sup>1</sup> Deve-se adotar o critério de no máximo 200 coliformes termotolerantes por 100 mL no caso de gramados, parques e jardins onde há contato direto do público com as plantas durante ou logo após as irrigações.

<sup>2</sup> No caso de árvores frutíferas, a irrigação deve cessar duas semanas antes a colheita e os frutos não podem entrar em contato com o solo.

Fonte: Health... (1989).

A Resolução nº 357/2005 do Conama não estabelece, no entanto, critérios específicos para águas de reúso. Para águas residuais são indicados critérios de qualidade apenas para seu lançamento em corpos d'água superficiais, critérios esses alterados pela Resolução nº 430/2011 do Conama.

### **Risco à saúde pública e ao meio ambiente**

A proteção da saúde deve ser seriamente considerada quando do reúso de águas residuais na agricultura. Várias doenças causadas por

bactérias, fungos, helmintos, protozoários e vírus podem ser transmitidas direta ou indiretamente ao homem quando águas contaminadas por dejetos fecais são utilizadas na irrigação, sobretudo de hortaliças e fruteiras que são consumidas cruas (FORSTER, 2000).

Devem ser observados aspectos como o tipo de processo utilizado no tratamento do efluente, as restrições para o uso de águas residuais nas irrigações de determinadas espécies de plantas, o manejo da aplicação da água residual, o controle da exposição do homem à água e a promoção da higiene.

Com uso de água residuais na agricultura, diversos grupos de pessoas estão sujeitos a algum tipo de risco à saúde, tais como: trabalhadores que realizam a irrigação; trabalhadores agrícolas em geral e suas famílias; pessoas vizinhas às áreas irrigadas; trabalhadores que comercializam e manipulam a produção; e consumidores dos alimentos produzidos, assim como da carne, leite etc.

A segurança dos trabalhadores responsáveis pela realização das irrigações deve incluir, por exemplo, o uso de vestimenta adequada, o uso de sistemas de irrigação e de práticas de manejo que minimizem o contato com a água, a manutenção de altos padrões de higienização e a imunização contra doenças infecciosas. Cuidado especial, envolvendo informações permanentes e sinalização, deve ser tomado para evitar que os trabalhadores e pessoas vizinhas utilizem águas residuais para beber ou para uso doméstico.

Quanto aos residentes locais e vizinhos, os mesmos devem ser adequadamente informados e alertados sobre o fato de se estar utilizando água residual na agricultura, sobre os riscos potenciais à saúde e sobre a necessidade de não haver circulação de pessoas nas áreas em questão. No caso de irrigação por aspersão, por exemplo, os aspersores devem estar a uma distância de pelo menos 100 m de distância de residência e estradas, de modo a evitar problemas de contaminação devido à deriva da água pelo vento. Todos os reservatórios, canais e tubulações que armazenam e transportam esse tipo de água devem estar claramente sinalizados.

O risco para o consumidor pode ser reduzido por meio do uso de água de reúso com qualidade compatível com o tipo de cultura a ser irrigada, do aprimoramento das condições de cultivo e comercialização e da adequada sanitização dos alimentos. De um modo geral, pode-se dizer que o cozimento é o tratamento mais eficaz na sanitização de hortaliças e frutas. O uso de

soluções desinfetantes reduz consideravelmente a flora microbiana, mas não é totalmente seguro.

Além do potencial de transmissão de uma série de doenças ao homem, o uso de águas residuais para fins de irrigação também pode apresentar riscos ao meio ambiente, com destaque ao solo, águas subterrâneas e superficiais. Apesar de vários parâmetros e processos técnicos já terem sido estabelecidos, principalmente para regiões de clima temperado, vários fatores ainda necessitam ser melhor elucidados, sobretudo para condições tropicais.

Para o uso de águas residuais na irrigação deve-se considerar uma série de fatores relacionados ao meio ambiente e à atividade agrícola, tais como demanda de água pelas plantas, manejo da irrigação e drenagem do solo. A quantidade exata de água pelas plantas, que é fundamental para não se aplicar água em excesso, pode ser determinada a partir das condições climáticas locais e das características da cultura. O manejo visando que as irrigações sejam realizadas no momento correto e na quantidade adequada é fundamental para minimizar problemas de lixiviação de contaminantes e perdas de água por evaporação. Solos com boa drenagem interna facilitam a lixiviação dos sais para além da zona radicular das plantas, mas são mais suscetíveis à lixiviação de contaminantes para o lençol freático.

## **Considerações finais**

No Brasil há um grande potencial para uso de efluentes domésticos em processos produtivos agrícolas, sobretudo na irrigação. Normalmente, o tema é desprezado ou tratado apenas superficialmente nos programas oficiais de saneamento básico e em planos de recursos hídricos.

Num país como o Brasil, com sérios problemas de poluição de suas fontes superficiais de água, principalmente aquelas próximas aos centros urbanos, com a distribuição espacial e temporal irregular da água no território e com uma região semiárida com quase um milhão de quilômetros quadrados, o reúso de águas residuais na agricultura poderia ser vantajoso sob pelo menos três aspectos. Primeiro, para suprir água para a irrigação, principalmente em regiões com restrições de disponibilidade hídrica. Segundo, em função dos custos do tratamento de efluentes domésticos para reúso na irrigação, dependendo da espécie vegetal a ser irrigada, serem muitas vezes menores do que o tratamento mínimo exigido para o

lançamento em corpos de água superficiais. Terceiro, a redução do volume de efluentes, mesmo que minimamente tratados, lançado nas fontes superficiais de água melhoraria a qualidade das mesmas.

Em países onde o reúso de águas residuais pela indústria ou irrigação é uma prática comum, o tratamento primário dos efluentes é realizado pelas companhias de tratamento de água e esgoto. O custo real da água residual é muito menor que o da água potável. Quando destinada para fins de irrigação, o custo da água residual é muitas vezes subsidiado pelo poder público. Para que o Brasil avance nesta área é necessário, dentre outros aspectos, um debate, em nível federal, estadual e municipal, a respeito da importância do reúso da água, do estabelecimento de estratégias de ação e de normativas para o uso de qualidade de águas residuais.

No que se refere às práticas de irrigação, estratégias como o uso de sistemas de irrigação que não molham a parte aérea das plantas, como se observa no gotejamento, podem reduzir os riscos de contaminação da produção por microrganismos patogênicos. Por outro lado, problemas, como a contaminação dos produtos colhidos por meio do contato com o solo e o maior risco de entupimento dos emissores de água, devem ser convenientemente considerados e estudados. No caso específico da contaminação pelo contato com o solo, a adoção da irrigação por gotejamento subsuperficial (enterrado) e/ou o uso de cobertura do solo com mantas plásticas podem praticamente eliminar tal risco.

## Referências

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Resolução nº 357, de 17 mar. 2005. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Seção 1, p. 58-63.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Resolução nº 430, de 13 maio 2011. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 16 maio 2011. Seção 1, p. 89-91.

FORSTER, J. E. Municipal Program Development Branch Environmental Sciences Division Environmental Alberta Service. (Alberta, CA) **Guidelines for municipal wastewater irrigation**. Alberta, 2000. 24 p.

HEALTH guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. Geneva: World Health Organization, 1989. 74 p. (WHO. Technical Report, 778).

IBGE. Atlas de Saneamento. 2011. CD-ROM.

IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. 219 p.

LIMA, J. E. F. W. **Recursos hídricos no Brasil e no mundo**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 46 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 33).

PESCOD, M. B. **Wastewater treatment and use in agriculture**. Rome: FAO, 1992. 125 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 47).

WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater: wastewater use in agriculture. Geneva: World Health Organization, 2006. v. 2, 196 p.

WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater: excreta and greywater use in agriculture. Geneva: World Health Organization, 2006, v. 4, 182 p.

# **Reúso de água residuária na Olericultura: necessidade, limitações e impactos sobre a qualidade de hortaliças e dos solos**

Carlos Eduardo Pacheco Lima  
Mariana Rodrigues Fontenelle  
Marcos Brandão Braga

## **Introdução**

A dinâmica das alterações ambientais no planeta Terra foi intensa ao longo do tempo geológico. Entretanto, os últimos 10.000 anos foram marcados por um período de grande estabilidade, chamado Holoceno. Tal estabilidade, porém, parece estar sob ameaça desde a Revolução Industrial sob influência, principalmente, das ações humanas (ROCKSTRÖM et al., 2009). A influência humana é tamanha que a essa nova era tem sido proposto chama-la de Antropoceno (CRUTZEN, 2002). Tal instabilidade pode levar a uma intensa degradação dos compartimentos ambientais, ameaçando inclusive a sobrevivência humana.

O uso global de água doce é citado por Rockström et al. (2009) como um dos “limites planetários” que, caso superados, podem ter catastróficas consequências no desenvolvimento futuro da espécie humana. Eles ainda propõem, como limite mundial de consumo de água doce, uma quantidade em torno de  $4.000 \text{ km}^3/\text{ano}^{-1}$  e relatam que o consumo atual é de algo em torno de  $2.600 \text{ km}^3/\text{ano}^{-1}$  ante os  $415 \text{ km}^3/\text{ano}^{-1}$  do período pré-industrial. Avaliando esses números, os autores comentam que é possível que, em breve, o limite de consumo de água doce seja alcançado. É ainda possível que os processos de degradação dos recursos hídricos sejam potencializados por outros fenômenos, tais como as mudanças climáticas. Outros processos identificados pelos autores, cuja superação de seus limites, pode causar inaceitáveis mudanças ambientais, são a razão de perda de biodiversidade, a interferência humana nos ciclos de nitrogênio e fósforo, a depleção do

ozônio estratosférico, a acidificação dos oceanos, as mudanças no uso da terra, a poluição química e a poluição atmosférica por aerossóis.

Faz-se necessário, portanto, a avaliação de alternativas sustentáveis de mecanismos de gestão de recursos hídricos nas diferentes atividades humanas, dentre elas os cultivos agrícolas. O reúso de água é, sem dúvida, uma alternativa interessante. Na prática, o reúso indireto de água na olericultura brasileira já vem sendo praticado em algumas regiões, especialmente em áreas periurbanas das grandes cidades do país, por meio do uso de águas de baixa qualidade para a irrigação de culturas oleráceas. O uso de água de boa qualidade para irrigação e para processos pós-colheita, além de ser previsto na legislação, constitui uma boa prática agrícola (BPA) para produção de hortaliças (MATTOS et al., 2009) e é de suma importância para a manutenção da segurança alimentar. Vale aqui ressaltar que tais culturas têm importantes campos de produção em regiões periurbanas, onde fortes impactos do crescimento das cidades, bem como de sua população, são observados sobre a qualidade dos corpos d'água. Em acréscimo, possíveis impactos das mudanças climáticas em curso podem alterar significativamente o ciclo hidrológico em importantes regiões produtoras de hortaliças, reduzindo a disponibilidade e qualidade da água em determinadas épocas do ano. Por fim, faz-se necessário avaliar os impactos do uso dessas águas sobre a qualidade das hortaliças produzidas bem como dos solos utilizados para tal fim. Apresentar uma revisão bibliográfica que aborde tais temas é a proposta do capítulo que segue.

## **Disponibilidade hídrica no Brasil e no mundo**

Estima-se que a disponibilidade hídrica do planeta Terra gire em torno de 1.386.000.000 km<sup>3</sup>, sendo a maior parte (97,5%) constituída de águas salinas. As águas doces correspondem, portanto, a apenas 2,5% do total mundial. Destes, estima-se que 68,9% estejam nas calotas polares e em coberturas de neve permanentes, 29,9% na forma de corpos d'água subterrâneos e apenas 0,3% estão na forma de corpos d'água superficiais, tais como rios e lagos. Vale aqui ressaltar que estas são as formas em que a água mais se aproxima de um recurso renovável, sendo, portanto, de suma importância para o uso sustentável dos recursos hídricos. Além disso, constituem a forma mais acessível ao ser humano, sendo de mais fácil captação e de menor custo de exploração. Em relação ao total de recursos hídricos mundial, a fração correspondente aos corpos d'água doce

superficiais é de apenas 0,007%, denotando a importância de que uma boa gestão desse recurso seja realizada. O restante 0,9% está na forma de umidade do solo, solos gelados (permafrost), água acumulada em pântanos, entre outras (SHIKLOMANOV, 1998).

Estima-se ainda que o balanço global anual entre precipitação e evaporação produza drenagem equivalente a  $46.870 \text{ km}^3/\text{ano}^{-1}$ , mostrando que, em escala mundial, não há problema quantitativo de escassez de água (TUNDISI, 2003). Paz et al. (2000) relatam que destes, apenas cerca de  $14.000 \text{ km}^3/\text{ano}^{-1}$  têm aproveitamento potencial viável. Lima (2001) ainda chama a atenção para o fato de que uma análise superficial de tais dados pode levar a uma falsa impressão de que os problemas relacionados com a escassez de água apresentam pouca importância quando, porém, existem outros fatores envolvidos que levam a uma má distribuição geográfica dos recursos hídricos, restrições de usos de determinados corpos d'água e/ou excessiva demanda por eles, sendo estes últimos responsáveis por diversos conflitos pelos múltiplos usos desses recursos.

A distribuição continental de água doce, por exemplo, evidencia uma grande desigualdade da disponibilidade desse recurso natural. Enquanto a Ásia e a América do Sul apresentam um excedente hídrico anual de, respectivamente,  $14.100 \text{ km}^3/\text{ano}^{-1}$  e  $12.200 \text{ km}^3/\text{ano}^{-1}$ , outros continentes como a Europa, Oceania e Antártica apresentam números muito inferiores, de  $2.970 \text{ km}^3/\text{ano}^{-1}$ ,  $2.510 \text{ km}^3/\text{ano}^{-1}$  e  $2.310 \text{ km}^3/\text{ano}^{-1}$  (TUNDISI, 2003). Em pelo menos 26 países, tais como Kuwait, Israel, Jordânia, Arábia Saudita, Líbia, Iraque, Bélgica, Argélia, Cabo Verde, Etiópia, Iraque, Hungria, México, Estados Unidos, França e Espanha, a seca é crônica (PAZ et al., 2000). Estima-se que o Brasil possua 8% das reservas mundiais de água e 18% do potencial de água de superfície do planeta (PAZ et al., 2000). O balanço hídrico brasileiro mostra uma média de precipitação de  $696.020 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  e de evapotranspiração de  $445.020 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , resultando numa média de descarga de  $251.000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (TUNDISI, 2003). Quantitativamente é, sem dúvida, uma situação privilegiada em relação à maioria dos países. Entretanto, uma análise mais profunda da situação hídrica brasileira revela uma má distribuição geográfica e demográfica das águas doces superficiais. Esse quadro ganha contornos de crise quando se observa que, com apenas 7% da população brasileira, a região amazônica armazena 80% das águas superficiais do país, restando às outras regiões, os restantes 20%, para o abastecimento de 93% da população. Problemas relacionados à escassez de água são comuns no semiárido

nordestino, bem como nas regiões sul e sudeste brasileiras. Nestas últimas, eles estão principalmente ligados aos conflitos pelos usos múltiplos desse recurso. Como se vê, embora privilegiado, o Brasil também é afetado pela desigual distribuição dos recursos hídricos.

Com relação à demanda pelos recursos hídricos, as atividades humanas consomem cerca de  $6.000 \text{ km}^3/\text{ano}^{-1}$ , número esse que tende a aumentar (TUNDISI, 2003). Rockström et al. (2009), por sua vez, estimam o consumo mundial de água doce em  $2.600 \text{ km}^3/\text{ano}^{-1}$ . Verifica-se que o consumo mundial de água dobra a cada 20 anos. Frente a isto, PAZ et al., (2000) acreditam que, em 2025, 2,8 bilhões de pessoas viverão em regiões com extrema falta de água. Exemplos brasileiros já denotam o quadro de conflito pelo uso da água. O balanço hídrico quantitativo mostra que a região brasileira onde é verificado o maior estresse hídrico é o semiárido nordestino, em razão da baixa disponibilidade hídrica. Por sua vez, em virtude da alta demanda, são verificados elevados níveis de estresse hídrico em regiões do sul e sudeste brasileiro, a exemplo do que acontece na Bacia do Rio Tietê, nas sub-bacias das regiões hidrográficas Uruguai e Atlântico Sul e em outras regiões metropolitanas localizadas em bacias litorâneas e/ou em regiões de cabeceira (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2012). Na região metropolitana de São Paulo e na cidade de Piracicaba, no estado de São Paulo, por exemplo, as disponibilidades hídricas são de  $200 \text{ m}^3.\text{habitante}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  e  $400 \text{ m}^3.\text{habitante}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  (BERTOCINI, 2008). Estes valores estão muito abaixo dos  $1.700 \text{ m}^3.\text{habitante}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  considerados como disponibilidade hídrica ótima e dentro do nível de escassez hídrica absoluta (abaixo de  $500 \text{ m}^3.\text{habitante}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ), índices estes relatados por Beekman (1999).

Quanto à demanda de água no Brasil, Agência Nacional de Águas (2012) informa que, no país, a vazão retirada no ano de 2010 foi de  $2.373 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ , 51% maior que o valor estimado em 2000 e 29% maior que o estimado em 2006. As bacias do Paraná e do São Francisco foram as principais responsáveis pelo aumento. O total consumido, por sua vez, foi de  $1.212 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ , correspondente a 51% da vazão retirada e 38% maior que o valor estimado para o ano 2000. Ressalta-se, porém, a importância de se destacar que os números colocados não são apenas devidos ao aumento do uso da água no período, correspondendo, pelo menos uma parte, também ao aprimoramento metodológico na determinação das vazões e no levantamento de dados. Detalhamento desses dados de 2010 mostra que a maior parte vazão retirada foi para fins de irrigação, correspondendo a 54% do total, seguido daquela para fins de abastecimento urbano (22%)

industrial (17%) dessedentação de animais (6%) e para abastecimento no meio rural (1%). Considerando-se agora a vazão efetivamente consumida, aquela utilizada para irrigação corresponde a 72% do total, seguida da dessedentação de animais (11%), abastecimento urbano (9%), uso industrial (7%) e abastecimento no meio rural (1%). Esse quadro sugere uma maior eficiência na captação e uso de água no meio rural em contraponto a uma baixa eficiência no meio urbano.

Todo o panorama traçado leva a um prognóstico preocupante quanto à disponibilidade hídrica para os múltiplos usos no Brasil, especialmente para as regiões nordeste, sudeste e sul do país. É necessário melhorar a eficiência de uso da água, bem como buscar alternativas para o reúso de água em diversos setores da economia, não sendo diferente o panorama para a produção de hortaliças. O quadro se torna ainda mais preocupante quando se considera a questão da qualidade da água e os possíveis impactos das esperadas mudanças climáticas sobre os recursos hídricos do país, como mostrado a seguir.

### **Qualidade da água para produção de hortaliças no Brasil**

A qualidade da água é definida por uma série de parâmetros físicos, químicos e físico-químicos necessários para viabilizar determinado uso. No caso específico da qualidade da água para irrigação de hortaliças, a Resolução nº 357 de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), estabelece que podem ser utilizados, para tal fim, corpos d'água enquadrados nas classes 1 e 2. Destaca-se ainda que a referida resolução apresenta cinco classes de enquadramento para as águas doces, quais sejam: especial, um (1), dois (2), três (3) e quatro (4); cuja qualidade decresce com a classe. No que tange respeito às hortaliças que são consumidas cruas, apenas os corpos d'água classificados como classe 1 apresentam-se aptos para a irrigação, de acordo com a resolução em questão.

Chama a atenção, quando se observa a distribuição geográfica das áreas de produção de hortaliças, a existência de importantes locais nos arredores de cidades brasileiras de médio e grande porte, os chamados "cinturões verdes". A água utilizada para irrigação, nesses casos, comumente é captada de pequenos córregos e rios que sofrem perda da qualidade de suas águas ao atravessarem, principalmente, as regiões metropolitanas, que aportam aos corpos d'água efluentes domésticos e industriais, muitas vezes

sem o tratamento adequado (ARAÚJO et al., 1999). Essas considerações levam a questionamentos sobre a qualidade das águas superficiais utilizadas para a irrigação de hortaliças em tais regiões. Apesar de, nos últimos anos, ter-se observado uma melhora na qualidade das águas de importantes corpos d'água que cortam essas regiões, a maioria das águas doces superficiais brasileiras ainda estão enquadradas na classe 2, situação que tende a piorar naqueles que recebem aporte de efluentes das regiões metropolitanas. Esta questão fica menos evidente se a análise é feita em maior escala. A evolução temporal (2001-2010) de 658 pontos amostrais de sete unidades da federação, por exemplo, mostra que a qualidade da água tem se mantido estável para a maioria deles e o número de pontos com piora da qualidade ainda é superior àqueles com melhora da mesma (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2012).

O Brasil conta hoje com uma rede de monitoramento composta por equipamentos da Agência Nacional de Águas (ANA) e de, pelo menos, 17 Unidades da Federação: Distrito Federal, Ceará, São Paulo, Pernambuco, Rio Grande do Sul, Paraná, Espírito Santo, Minas Gerais, Rio Grande do Norte, Alagoas, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro, Bahia, Tocantins, Mato Grosso, Goiás e Paraíba. Os resultados do monitoramento por essa rede têm permitido elucidar a geografia da degradação das águas no país e, conseqüentemente, auxiliado no planejamento da recuperação da qualidade dos recursos hídricos. O monitoramento é realizado no âmbito do Programa Nacional da Qualidade das Águas e segue as considerações da Resolução nº 724, de 3 de outubro de 2011, da Agência Nacional de Águas, que estabelece procedimentos padronizados para a coleta e preservação de amostras de águas superficiais para fins de monitoramento da qualidade dos recursos hídricos.

Um dos índices utilizados para determinar a qualidade das águas no referido programa é o Índice de Qualidade da Água (IQA), que é especialmente sensível à contaminação pelo lançamento de esgotos domésticos. Os resultados revelam que, do total de amostras analisadas, 6% apresentam índice classificado como ótimo, 75% regular, 12% ruim e 6% péssimo. Os valores de IQA médios ainda mostram que os pontos de monitoramento classificados como ruins ou péssimos eram correspondentes, em sua maioria, a corpos d'água que atravessam áreas urbanas densamente povoadas, como regiões metropolitanas (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2012). Este fato tem especial importância para irrigação de hortaliças uma vez que, como já citado anteriormente, existem importantes áreas de produção em regiões periurbanas. A proximidade das cidades é estratégica, pois, especialmente

no caso de hortaliças mais sensíveis aos estresses pós-colheita, permite a entrega contínua e com boa qualidade. Exemplos de bacias hidrográficas, onde importantes áreas de produção de hortaliças são encontradas, e que se apresentaram nesta situação são a Bacia do Alto Tietê, em São Paulo, e do rio Paraopeba, em Minas Gerais. Adicionalmente, algo em torno de 53% das amostras de água utilizadas para monitoramento da qualidade apresentaram concentração de coliformes termotolerantes superior ao limite ( $1000 \text{ NMP.mL}^{-1}$ ) para classificação do corpo hídrico na classe 2, a classe de pior qualidade apta a ser utilizada para o cultivo de hortaliças. Outros 40% das amostras analisadas para o mesmo ano mostram desconformidade com os limites de fósforo total para tal classe (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2012). É importante salientar que esses dois parâmetros estão relacionados ao derrame de efluentes domésticos no corpo d'água, sendo assim fator preocupante quando se pensa na utilização de suas águas para irrigação de hortaliças, principalmente daquelas consumidas cruas.

Estima-se que, em 2008, o percentual de esgoto tratado no Brasil era de apenas 30,5% daquele produzido, sendo as regiões hidrográficas do Paraná e do São Francisco aquelas que apresentaram os melhores índices de tratamento, de 44% e 34,5%, respectivamente (IBGE, 2008; AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2012b). Outros indicadores que apresentaram valores desconformes aos da classe 2 foram: oxigênio dissolvido, em 29% das amostras; demanda bioquímica de oxigênio (DBO), em 21% das amostras; turbidez, em 8% das amostras; e pH, em 7% das amostras (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2012). Esses resultados, além de mostrarem que, em cerca de dois terços do país ainda não existe tratamento do esgoto gerado, chama a atenção para a urgente necessidade de instalação de uma estrutura para fazê-lo, levando a uma melhoria da qualidade de vida da população e do ambiente.

Outro índice que reforça a tese de existência de alto índice de contaminação de corpos d'água doce superficiais no Brasil, especialmente para aqueles que sofrem influência de grandes cidades, mas não somente pelos esgotos sanitários provenientes dessas aglomerações, é o Índice de Estado Trófico (IET). Resultados dispostos em Agência Nacional de Águas (2012) mostram que os valores mais elevados (eutróficos e hipereutróficos) encontram-se em importantes regiões metropolitanas, como aquelas de São Paulo, Rio de Janeiro, Curitiba e Salvador, corroborando com os resultados do monitoramento do IQA. Muitos pontos no nordeste brasileiro também apresentaram elevados valores, provavelmente associados não somente à grande descarga de efluente, mas também à baixa capacidade de depuração

dos corpos d'água. Os resultados do IET, bem como os elevados valores de fósforo total relatados por Agência Nacional de Águas (2012), refletem a baixa porcentagem de esgoto tratado no Brasil e, além disso, do baixo nível de tratamento, uma vez que, do total de esgoto tratado no Brasil, apenas 10% passa por tratamento terciário, responsável pela retirada de nutrientes do efluente (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2012).

Barcellos et al. (2006) avaliaram a qualidade das águas superficiais, sub-superficiais (nascentes) e subterrâneas de duas sub-bacias do município de Lavras – MG, utilizadas para diversos fins, dentre os quais para o cultivo de hortaliças. Esses autores encontraram resultados que mostram a baixa qualidade da água utilizada para os usos múltiplos daquelas regiões. Para a sub-bacia de Santa Cruz, 93% das amostras apresentaram número de coliformes fecais acima dos valores que enquadraram as águas doces como de classe 2. Também ficaram fora do padrão 87% das amostras para parâmetro oxigênio dissolvido, 70% para a turbidez, 60% para ferro total, 57% para cor, 47% para pH e 3% para sólidos totais. Já para a sub-bacia Água Limpa, todas as amostras apresentaram-se desconformes com a classe 2 quando da análise do parâmetro coliformes fecais, 86% para demanda bioquímica de oxigênio (DBO), 68% para turbidez, 49% para manganês, 37% para ferro total, 8% para sólidos totais e 2% para manganês.

A avaliação da qualidade das águas da microbacia do Ribeirão dos Marins, no município de Piracicaba – SP, utilizadas para irrigação de hortaliças, foi realizada por Lucas et al. (2010). Os autores verificaram, ao analisar uma gama de variáveis físicas e químicas – quais sejam: sedimentos em suspensão, pH, condutividade elétrica, alcalinidade, turbidez, potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês, zinco, sódio, fósforo, fosfato, cloreto, nitrogênio amoniacal e nitrato –, que o referido corpo d'água não se enquadra na classe 2 e, conseqüentemente, apresenta água imprópria para uso na olericultura.

Lima e Medeiros (2008) avaliaram a qualidade da água do rio Jaguari-Mirim, no município de São João de Boa Vista – SP, importante produtor de cenouras do estado de São Paulo. Esse rio é um afluente do rio Mogi-Guaçu, na bacia hidrográfica de mesmo nome, uma das mais importantes do estado de São Paulo. Cabe ressaltar que a bacia do rio Mogi-Guaçu é uma das que apresentou piora nos valores de IQA monitorados durante a série histórica 2001-2010 (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2012). Os resultados encontrados por esses autores para a avaliação dos parâmetros

oxigênio dissolvido, DBO, pH, condutividade elétrica, turbidez, fósforo total, nitrogênio amoniacal, nitrato, coliformes totais, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* sugerem uma degradação do corpo d'água tendo como causa principal o derrame de efluentes sanitários. Os parâmetros não conformes com a classe 2 foram registrados para coliformes termotolerantes e fósforo total, indicando contaminação pelo aporte dos efluentes anteriormente mencionados, restringindo o uso para irrigação de hortaliças, atividade presente quando da análise do uso e ocupação do solo daquele município.

Paula et al. (2005) avaliaram a qualidade da água de poços utilizados para irrigação, principalmente de hortaliças, na agricultura urbana de Recife-PE. Esses autores também encontraram não conformidade dessas fontes de água com a classe 2, da Resolução nº 357/2005 do Conama. A razão para tal, mais uma vez, foi a concentração de coliformes termotolerantes acima dos valores permitidos pela resolução. Esses autores ainda concluíram que os resultados mostram que há um reúso indireto de águas residuárias pelo uso dos mananciais em questão.

Micropoluentes, sejam eles orgânicos ou inorgânicos, vêm tendo sua importância potencializada ao longo dos últimos anos. Eles apresentam cada vez mais ocorrência relativamente comum e importância acentuada, principalmente devido à sua toxicidade; porém, ainda assim, não são monitorados com a mesma eficiência que aqueles anteriormente citados. Também existem dúvidas acerca dos atuais métodos comumente utilizados para o tratamento de efluentes, essencialmente biológicos, em remover tais substâncias. Boa parte dessas “falhas” na gestão dos efluentes líquidos se deve ao alto custo associado, tanto no monitoramento, quanto no tratamento de tais compostos. Dados com abrangência nacional sobre a ocorrência de micropoluentes em efluentes são praticamente inexistentes. A seguir são dados alguns exemplos pontuais que, entretanto, podem não representar a realidade dos recursos hídricos do Brasil como um todo.

Almeida et al. (2007) elaboraram uma vasta revisão de literatura sobre a ocorrência no Brasil de Substâncias Tóxicas Persistentes (STP), em diferentes matrizes ambientais, dentre as quais as águas estavam presentes. Esses autores ressaltam que as STP compreendem o seguinte grupo de compostos: as bifenilas policloradas - PCB, os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos-PAH, o hexaclorobenzeno-HCB, o aldrin, o dieldrin, o endrin, o p,p,-DDT, o p,p,-DDE, p,p,-DDD, os hexaclorocicloexanos ( $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH e  $\delta$ -HCH), o endossulfan, o heptacloro e o pentaclorofenol, além de compostos

orgânicos de metais e metais pesados. As principais características deste grupo, pelos autores relatadas, são a alta hidrofobicidade, baixa reatividade no ambiente e a capacidade de bioacumulação em tecidos de organismos vivos. Parte destas substâncias está tendo seu uso, produção, importação e exportação banido ou restrito em diversas partes do mundo, tais como aquelas que o foram pela Convenção de Estocolmo (2001), conhecidas como as doze sujas, quais sejam: aldrin, endrin, dieldrin, clordano, DDT, toxafeno, mirex, heptacloro, hexaclorobenzeno, PCB, dioxinas e furanos. O panorama tecido pela revisão, sobre a situação desses compostos em águas brasileiras, é de que, apesar de muito estudados, na maior parte dos casos os valores se encontram abaixo dos limites de detecção dos métodos analíticos. Os autores citam ainda que, mesmo para o estado de São Paulo, principal polo industrial do país, o monitoramento dessas substâncias em água tem se encaixado nesta realidade. Entretanto, o monitoramento de STP em águas brasileiras ainda carece de um programa mais eficiente, em abrangência nacional, dada a sua importância ambiental.

Outro importante grupo de micropoluentes, atualmente muito discutidos mundialmente, são os chamados BTX. A sigla BTX faz referência às substâncias Benzeno, Tolueno e Xileno, presentes em quantidades expressivas em compostos derivados do petróleo. Estes hidrocarbonetos aromáticos apresentam alta toxicidade, sendo frequentemente associados à ocorrência de cânceres, sendo a leucemia o tipo mais comum. São hidrocarbonetos aromáticos que apresentam solubilidade em água três a cinco vezes menor que os hidrocarbonetos alifáticos, mas que, entretanto, têm seu potencial de solubilização em meio aquoso (menor coeficiente de partição octanol-água) aumentado quando da adição de etanol na mistura com outros combustíveis, como a gasolina, incrementando o risco de contaminação de águas subterrâneas em caso de vazamentos de tanques de combustíveis, por exemplo (TIBURTIUS et al., 2004).

Tiburtius et al. (2004) elaboraram uma revisão bibliográfica sobre o tema BTX, destacando a ocorrência mundial e brasileira dessas substâncias. Eles relatam que, nos Estados Unidos, por exemplo, a Agência de Proteção Ambiental (EPA) apresentava, à época, estimativa de que, naquele país, existiam 1,5 milhões de tanques subterrâneos de combustíveis. Esse número expressivo, por si só, já chama a atenção para a necessidade do monitoramento dos BTX em águas, especialmente as subterrâneas. Essa necessidade é ressaltada pelo grande número de vazamentos identificados até aquela época – cerca de 250.000 –, e pela estimativa, até então, de registro de pelo

menos 1.000 novos vazamentos semanais. No Brasil, os autores estimavam, à época, cerca de 27.000 postos de combustíveis e chamavam a atenção de que, apesar de não haverem estatísticas sobre a magnitude do problema de contaminação por BTX, muitos dos tanques de combustíveis tinham idade superior a 25 anos, aumentando assim a possibilidade vazamentos devido ao aparecimento, com a idade, de rachaduras ou corrosão. Outra estimativa por eles apresentada dá conta que entre 20% e 30% dos postos brasileiros de combustíveis apresentavam algum problema que poderia levar à ocorrência de vazamentos e que, na maioria das vezes, estes só são percebidos depois da descoberta dos efeitos ambientais. Os autores ainda chamavam atenção para um dado preocupante, de que o vazamento de 10 mL por dia dessas substâncias é suficiente para comprometer cerca de 3 milhões de litros de água, dando dimensão da gravidade do problema.

Por fim, um tradicional grupo de contaminantes frequentemente encontrados em solos e sedimentos, bem como em águas superficiais e subterrâneas, de importância reconhecida mundialmente, são os metais pesados. Classificam-se como metais pesados os elementos químicos com densidade superior a  $6 \text{ g.cm}^{-3}$  ou raio atômico superior a 20 (ALLOWAY, 1990). Essa definição abrange também alguns ametais ou semi-metais, tais como arsênio (As) e selênio (Se), que também possuem características de toxicidade e bioacumulação como os metais enquadrados nela. Por isso, existem propostas de novos termos para designar tal grupo de elementos, tais como elementos traço e metais tóxicos.

Diversos trabalhos têm sido conduzidos com o intuito de verificar a ocorrência de metais pesados em solos, sedimentos e água em regiões de produção de hortaliças. Dentre eles, Ramalho et al. (2000) e Núñez et al. (2006) avaliaram os efeitos de diferentes sistemas de preparo do solo para produção de pepino na disponibilidade de metais pesados em solos, sedimentos e águas superficiais na microbacia de Caetés, município de Paty do Alferes – RJ.

Núñez et al. (2006) relatam a possibilidade de entrada de metais pesados em solos via aplicação de agroquímicos, como impureza em fertilizantes ou mesmo como princípio ativo em agrotóxicos. Avaliando a dinâmica de zinco (Zn), cádmio (Cd), chumbo (Pb), manganês (Mn) e níquel (Ni) naquele ecossistema agrícola, cujo solo pode ser atualmente classificado como um Argissolo Vermelho-Amarelo latossólico, quando da adoção de diferentes sistemas de manejo, eles concluíram que aqueles sistemas com

intenso revolvimento do solo e sem cobertura favorecem a perda por erosão de metais pesados adsorvidos em partículas de solo e que, pelo escoamento superficial, estes poluentes alcançam as águas superficiais. Quando em água, os óxidos de ferro e manganês presentes em solos, e conseqüentemente nos sedimentos, que constituem um dos mais importantes grupos minerais que atuam na adsorção de metais pesados em regiões tropicais úmidas, podem ser reduzidos em termos químicos. Como consequência dessa redução, é esperado que ocorra a liberação de, pelo menos, parte dos metais outrora retidos. Maiores teores de metais pesados também foram encontrados nos corpos d'água e sedimentos em posições próximas àquelas áreas onde os sistemas intensivos estavam presentes, reforçando a ideia de que estes disponibilizam mais metais para as águas superficiais. Os teores de Cd, Mn e Pb apresentaram concentrações, em alguns casos, acima dos padrões máximos para fins de potabilidade da água. Em que pese os efeitos deletérios da presença de metais pesados em solos acima de limites específicos, os autores sugerem que manejos que movimentem menos os solos, como o cultivo mínimo, são alternativas para reduzir a carga de metais pesados aportada pela agricultura aos corpos d'água superficiais.

Os resultados encontrados por Ramalho et al. (2000) foram concordantes com aqueles encontrados por Núñez et al. (2006). Os primeiros autores verificaram, que o uso intensivo de agroquímicos levou a um incremento nos teores de metais pesados em solos, sem, contudo, extrapolar os níveis críticos para esses contaminantes. Assim como os solos, os sedimentos apresentaram-se enriquecidos com metais pesados em decorrência dos cultivos. Os metais encontrados em solos e sedimentos estavam predominantemente em frações pouco biodisponíveis, corroborando com os baixos teores desses elementos encontrados nas plantas analisadas. As águas superficiais também apresentaram teores de Cd, Mn e Pb acima dos valores máximos recomendados pelo ministério da saúde para a água potável. Assim como Núñez et al. (2006), os autores concluíram que, em ambientes mais planos, os metais pesados tendem a se acumular em solos. Os resultados ainda sugerem que, em ambientes com maior declividade, os metais tendem a ser perdidos por erosão adsorvidos em sedimentos e serem liberados ao chegarem aos corpos d'água, aumentando assim os teores desses elementos em posições específicas dos recursos hídricos locais.

Fernandes et al. (2007) também avaliaram a presença de metais pesados em áreas com produção de hortaliças, neste caso no estado de

Minas Gerais. Foram coletadas amostras de solo e água correspondentes a estas áreas, mais especificamente nos municípios de Mário Campos, Viçosa, Juiz de Fora, Bom Repouso, Borda da Mata, Araxá, Lagoa Dourada, São João del Rei, São Gotardo, Carandaí, Barbacena e Coimbra. Os autores, avaliando a presença e as formas presentes de Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn, concluíram que a maioria dos solos apresentavam-se sem contaminação significativa de metais pesados. Entretanto, os metais Cr e Cd apresentaram, em algumas amostras, teores totais preocupantes, sendo necessárias análises posteriores. Não obstante, mesmo aqueles metais que apresentaram teores mais elevados estavam essencialmente em formas pouco biodisponíveis. No que diz respeito à água, os autores verificaram que apenas para algumas amostras os teores eram preocupantes. Entretanto, a maioria das amostras não apresentou contaminação por metais pesados.

Todo o quadro descrito mostra um cenário preocupante no que versa sobre a qualidade da água para fins de irrigação de hortaliças. Não se pode deixar de colocar também que, apesar de ser uma atividade que tem seu desempenho prejudicado pela baixa qualidade da água, muitas vezes causadas por outras atividades econômicas, fica claro que a olericultura também pode contribuir para aumentar a degradação, seja ela quantitativa ou qualitativa, dos recursos hídricos, tornando-se essencial também um eficiente manejo do uso do solo e água, bem como de agroquímicos.

### **Mudanças climáticas esperadas para o Brasil e recursos hídricos**

As mudanças climáticas, que apresentam uma forte relação com o aumento da concentração de gases de efeito estufa de origem antropogênica na atmosfera (IPCC, 2007), constituem um dos temas emergentes no que se refere à gestão de recursos hídricos (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2012). São esperadas alterações em variáveis climáticas como temperatura do ar, precipitação pluviométrica, regime de ventos, umidade relativa, entre outras, que podem ter efeito significativo sobre a quantidade e qualidade de água disponível, com variações sazonais e regionais.

Para o território brasileiro, Hamada et al. (2011), por meio de simulações em 15 modelos climáticos aceitos pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), considerando o cenário mais pessimista, A2 (IPCC, 2007), o universo temporal de 2071-2100, e comparando os resultados com as médias para o período de referência de 1961-1990, observaram que são esperados aquecimentos da temperatura média do ar em todos os meses

e as regiões do país num cenário de mudanças climáticas. Esses autores ainda ponderam que tais incrementos da temperatura média apresentam comportamento sazonal, com maior temperatura média do ar projetada para o mês de fevereiro (28,5 °C) e a menor para os meses de junho e julho (24,9 °C). Os dados projetados mostram ainda que os extremos de temperatura média do ar futuros devem ser de: 31,5 °C no mês de outubro e 29,7 °C nos meses de março, maio e junho, para a região norte; 30,3 °C no mês de novembro e 27,5 °C no mês de julho, para a região nordeste; 30,9 °C no mês de outubro e 26,9 °C no mês de julho, para a região centro-oeste; 27,7 °C no mês de fevereiro e 22,5 °C no mês de julho, para a região sudeste; e 26,5 °C nos meses de janeiro e fevereiro e 17,4 °C no mês de julho, para a região sul. Dessa forma, ainda segundo os autores, os extremos de aquecimento devem ser de 2,9 °C entre novembro e fevereiro na região sul e 4,8 °C em setembro no centro-oeste, sendo que a variação média no Brasil deve estar entre 3,3 °C nos meses de janeiro e fevereiro e 4,1 °C no mês de outubro. É possível que essa elevação de temperatura, associada à alteração de outras variáveis climáticas, possa ocasionar efeitos sobre a demanda evaporativa, causando assim alterações no balanço hídrico de importantes bacias hidrográficas brasileiras.

Hamada et al. (2011) também avaliaram as modificações na precipitação pluviométrica, outra variável climática que pode ter efeito significativo sobre a disponibilidade hídrica dos corpos d'água brasileiros, para o período de 2071-2100 e as compararam com o período de referência (normais climatológicas de 1961-1990). Os resultados apresentaram grande variação, a depender do modelo utilizado, da região avaliada e da estação do ano, porém, de modo geral, estima-se que serão observados aumentos da precipitação projetada entre os meses de novembro a março e redução entre os meses de abril e outubro. A maior precipitação média diária deverá ocorrer em fevereiro (7,1 mm/dia) e a menor em agosto (1,8 mm/dia), sendo a maior anomalia positiva observada no mês de fevereiro (0,27 mm/dia) e a maior negativa no mês de setembro (-0,12 mm/dia). Regionalmente, a maior precipitação pluviométrica deverá ser observada em março, na região norte (9,6 mm/dia), seguida das regiões centro-oeste (9,1 mm/dia), em janeiro, sudeste (7,8 mm/dia), em dezembro, da região nordeste (6,0 mm/dia), em março e da região sul (5,6 mm/dia), em fevereiro. Já as menores precipitações deverão ser observadas na região centro-oeste (0,5 mm/dia), em julho; seguido das regiões nordeste e sudeste (0,7 mm/dia) nos meses de agosto e julho, respectivamente; da região norte (2,7 mm/dia) no mês de agosto; e da região sul (3,7 mm/dia) no mês de julho.

Marengo (2007) ressalta, porém, que as projeções de mudança nos regimes e distribuição de chuva dos modelos globais do IPCC, sobretudo para climas mais quentes, não são conclusivas. O autor discute, porém, que a média de todos os modelos indica com razoável confiança reduções nos índices pluviométricos das regiões nordeste e norte do país, mesmo nos meses em que normalmente o período chuvoso é mais intenso. Ele ainda relata que as projeções apontam, para o clima futuro do nordeste, déficit hídrico em praticamente todo o ano, levando a uma tendência de aridização da região semiárida atual. Para as outras regiões do país as projeções dos diferentes modelos apontam para direções opostas e com baixo nível de confiança, o que as torna inconclusivas.

Dentre os impactos das mudanças climáticas sobre a qualidade dos corpos d'água estão a redução da concentração de oxigênio dissolvido em razão do aumento da temperatura, a redução da capacidade de autodepuração quando da redução da precipitação pluviométrica e o aumento do carreamento de poluentes e de partículas de solo quando do aumento da mesma, entre outros (IPCC, 2007). Cabe ainda salientar que um cenário futuro bastante provável é o de ocorrência de secas mais prolongadas e intensas em parte do ano e chuvas mais intensas e concentradas no período mais úmido, o que aumenta a preocupação com os efeitos sobre a qualidade dos corpos d'água.

Em suma, as mudanças climáticas tendem a aumentar a pressão sobre a disponibilidade de água de qualidade para atendimento aos múltiplos usos desse recurso, reforçando a necessidade de busca de alternativas viáveis para a gestão dos recursos hídricos. Na olericultura, garantir a disponibilidade de água com qualidade é fundamental para a produção de hortaliças com qualidade microbiológica que não comprometa a saúde da população que as consome. Nesse sentido, o reúso de água residuária tratada é uma importante e desejável alternativa que possivelmente garanta melhor qualidade das hortaliças quando comparadas com aquelas produzidas com o uso de água de irrigação com baixa qualidade.

## **Impactos do uso de águas de baixa qualidade sobre a produção de hortaliças**

Águas residuárias na irrigação têm sido usadas há anos em todo mundo. No Brasil essa prática é bastante difundida para irrigação de

hortaliças e culturas forrageiras. No entanto, não é um procedimento institucionalizado e é realizado sem planejamento ou controle (ROSEN et al., 2000). Considerando que as hortaliças são consumidas principalmente cruas, as boas práticas de higiene devem ser seguidas desde o plantio até a colheita de forma a garantir que o alimento será de boa qualidade e não cause problemas sérios à saúde (ALZAMORA, 2000; SILVA e VITTI, 2007). O principal foco de contaminação de hortaliças é a água de irrigação de hortas contaminada com dejetos fecais (MESQUITA et al., 1999; TAKAYANAGUI et al., 2000). A ingestão de água e alimentos contaminados transmite ao homem grande número de patógenos acarretando, em países em desenvolvimento, cerca de 80% das doenças. Algumas dessas doenças são: hepatite, cólera, parasitoses intestinais, diarreia, sendo a última, uma das principais causas de mortalidade entre crianças com menos de cinco anos (GALAL-GORCHEV, 1996; BALBANI e BUTUGAN, 2001; CASTANIA, 2009).

Estudos realizados com culturas irrigadas com águas residuárias tratadas reportaram alta contaminação das plantas e do solo com coliformes totais e coliformes fecais. Exemplos desse tipo foram reportados no semiárido da África Ocidental na irrigação de tomate e berinjela (AKPONIKPE et al., 2011), em Israel, onde foi detectada alta contagem de *Escherichia coli*, coliformes fecais e coliformes totais na casca do melão (SACKS e BERNSTEIN, 2011) e no Zimbábue em plantações de couve, soja e milho (MUTENGU et al., 2007). No Brasil, um estudo realizado em Limeira-SP evidenciou que 88% das alfaces servidas em restaurante estavam com elevado nível de coliformes fecais (ALMEIDA, 2006). No México, onde a irrigação com esgotos não tratados é frequente, 99% das amostras de saladas prontas para consumo, servidas em restaurante estavam contaminadas com coliformes fecais (CASTRO-ROSAS et al., 2012). Na Costa Rica, por sua vez, 89% de contaminação de saladas prontas foi identificada em uma avaliação (RODRIGUEZ-CAVALLINI et al., 2010). Já em países como os Emirados Árabes Unidos, Espanha e Reino Unido, avaliações têm mostrado índices bem menores, de 20% (ALMUALLA et al., 2010), 16,7% (ABADIAS et al., 2008) e 1,3% (SAGOO et al., 2003), respectivamente. Outros patógenos, como *Salmonella*, *Streptococci*, *Clostridium*, *Shigella* e *Vibrio* spp. foram detectados contaminando a cultura de alface e o solo na Espanha (MAÑAS et al., 2009) e outras quatorze culturas na África do Sul (SAMIE et al., 2009).

Os indicadores microbiológicos (coliformes totais e coliformes termotolerantes), considerados como referência mundial para água e

alimentos, ainda são usados como medida da eficiência dos processos de tratamento de água. Entretanto, a presença de *Escherichia coli*, por exemplo, antes ou após a cloração, não está correlacionada com a presença de parasitas e vírus, sendo inadequados como indicadores desses grupos de organismos (HAYES et al., 1989, ROSE, 1990, FORD e COLWELL, 1996). Os tratamentos de água convencionais não eliminam com segurança alguns agentes patogênicos que apresentam alto nível de resistência, como *Cryptosporidium* spp., *Giardia* spp., *Cyclospora* spp. e micobactérias (FORD, 1993; SOAVE e JOHNSON, 1995; FORD e COLWELL, 1996) e, por isso, faz-se necessário um constante monitoramento desses organismos.

Vários tipos de vírus são frequentemente encontrados em efluentes domésticos, como os pertencentes ao gênero Enterovirus, os Rotavírus (MEHNERT e STEWIEN, 1993), os Adenovírus (PINA et al., 1998; SANTOS, 2003), os vírus da Hepatite A (GARRAFA, 2001; SASSAROLI, 2002) e os Norovírus (SCHVOERER, et al., 2000). No Brasil, Christovão et al. (1967) foram um dos pioneiros a detectar vírus entéricos em águas utilizadas na irrigação de hortaliças no Estado de São Paulo. O grupo A de Rotavírus, o maior causador de gastroenterites virais agudas em crianças e jovens, foi detectado em 11,8% das amostras de água parcialmente tratadas e em 14% das amostras de água de irrigação, contaminando 1,7% dos vegetais irrigados com elas na África do Sul (ZYL et al., 2006).

As infecções por helmintos e protozoários, outros importantes grupos de organismos frequentemente associados à contaminação da água, são as mais agravantes do mundo, devido à grande prevalência, diversidade de manifestações clínicas e grande resistência no ambiente (ROWE e ABDEL, 1995; TONANI, 2008). Os ovos de helmintos têm grande capacidade de aderência e, por isso, uma vez contaminadas as hortaliças, não são facilmente removidos nas lavagens (SILVA e MASSARA, 2005).

Em um estudo com hortaliças coletadas de feiras livres em Ribeirão Preto-SP foi observada alta frequência de larvas de nematóides (RAGAZZI, 2011). Em Lages-SC, valores altos de contaminação nas hortaliças também foram observados, com 88,5% das amostras apresentando estruturas parasitárias (QUADROS et al., 2008). Em São Carlos e Araraquara-SP, um número semelhante foi encontrado em alfaces coletadas em distribuidores de hortaliças (SARAIVA et al., 2005). Oliveira e Germano (1992), em estudos na região metropolitana de São Paulo, identificaram níveis de contaminação

por protozoários de 18% em alface lisa e 60% em amostras de agrião com predominância na ocorrência de cistos de protozoário de *Entamoeba* sp. e de *Giardia* sp. Thurston-Enriquez et al. (2002) avaliaram a água de irrigação de vegetais nos Estados Unidos e de grande parte da América Central e encontraram 60% das amostras contaminadas com cistos de *Giardia* sp. e 36% com oocistos de *Cryptosporidium* spp. Os cistos também foram encontrados em coentro, cenouras, menta, rabanete e batatas irrigadas com águas contaminadas por efluentes sanitários. Também foram relatados surtos de frutas e hortaliças contaminadas. Para minimizar os problemas relacionados à contaminação, os efluentes devem ser tratados adequadamente, inclusive fazendo uso da cloração ou outro processo de desinfecção, quando necessário. É possível, entretanto, que organismos persistentes como *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp. permaneçam viáveis devido à sua resistência à cloração (RAGAZZI, 2011).

Os problemas de uso de águas residuárias na irrigação vão além da contaminação e disseminação de doenças. Gatica e Cytryn, (2013) revisaram o impacto causado pelo uso de águas residuárias na irrigação na resistência a antibióticos pela microbiota do solo. Compostos farmacêuticos, entre eles os antibióticos, não são completamente degradados nos processos de tratamento de águas residuárias e, uma vez liberados no ambiente por irrigação, podem levar à seleção de bactérias resistentes a antibióticos (KUMMERER e HENNINGER, 2003). Antibióticos como eritromicina, tetraciclina e sulfametoxazol foram detectados em águas residuárias usadas na irrigação e em águas subterrâneas de terras irrigadas com esses efluentes (KINNEY et al., 2006; SIEMENS et al., 2008; AVISAR et al., 2009; CHEN et al., 2011). Um estudo em um município da Polônia identificou isolados de enterobactérias com multirresistência a pelo menos três antibióticos em águas residuárias utilizadas na irrigação (MOKRACKA et al., 2012). Estudos recentes em Minnesota e no Colorado, nos Estados Unidos, detectaram altos níveis de genes que codificam resistência à tetraciclina e genes da classe 1 de integron, demonstrando a capacidade de transferência de resistência a antibióticos em bactérias presentes em águas residuárias usadas na irrigação (LAPARA et al., 2011; PRUDEN et al., 2006). Czekalski et al. (2012) encontraram bactérias resistentes e genes de resistência a antibióticos em efluentes de águas de reúso que foram disseminados no lago de Genebra, Suíça, resultando um aumento dos níveis de resistência a antibióticos tanto na coluna de água, quanto em sedimentos próximos ao ponto de infiltração de efluentes.

## **Impactos do uso de águas residuárias sobre a qualidade do solo**

Os principais efeitos do uso de água residuária, utilizados para irrigação sobre a qualidade dos solos dependem do tempo de aplicação, das condições edafoclimáticas, da cultura utilizada e da qualidade do efluente utilizado. Em que pese a possibilidade de presença de microrganismos potencialmente contaminantes, a presença de íons ou moléculas tóxicas e o relativamente alto potencial de salinização, diversos autores têm encontrado benefícios aos solos e aos recursos hídricos em razão do uso de efluentes tratados na agricultura. Em regiões onde existe baixa disponibilidade de água para irrigação, seja em quantidade ou qualidade, o reúso de águas se torna uma vital opção para convivência com o déficit hídrico e tem se tornado uma prática cada vez mais comum. Abaixo seguem resultados de alguns trabalhos que avaliaram os impactos dessa prática sobre a qualidade de solos brasileiros.

Os efeitos do reúso indireto de águas residuárias sobre a qualidade dos solos foram avaliados por Araújo et al. (1999). Os autores irrigaram colunas de solos, cultivadas com alface, com água poluída, essencialmente por efluentes domésticos, e compararam a alteração com outras colunas irrigadas com água para abastecimento. Eles verificaram que os solos utilizados foram eficientes em remover parte da carga orgânica da água poluída, reforçando a ideia de que esse componente pode ser utilizado, desde que bem controlado e, por vezes, associado a outros métodos, para o tratamento de efluentes domésticos. A passagem pelos solos também proporcionou um razoável aumento da qualidade microbiológica das águas de percolação. Eles verificaram ainda que o uso da água poluída não acarretou em aumento da salinidade dos solos e foi eficiente em fertilizar os solos e a cultura, sem, contudo, elevar sobremaneira os níveis de nutrientes na água de percolação o que, por sua vez, poderia acarretar em risco de eutrofização das águas subterrâneas. Entretanto, o reúso indireto proporcionou uma piora na qualidade microbiológica dos solos e da alface, podendo este constituir-se em fator restritivo ao seu uso. Faz-se importante lembrar que águas com essas características já vêm sendo utilizadas para os cultivos agrícolas, especialmente nos arredores das regiões metropolitanas, reforçando assim a necessidade de condução e viabilização de trabalhos que levem ao reúso de águas residuárias previamente tratadas.

Os impactos do uso de água residuária bruta usada para irrigação de cafeeiro sobre características químicas de um Cambissolo Háplico Tb

Distrófico latossólico foram avaliados por Medeiros et al. (2005). Os autores compararam os resultados com aqueles obtidos para a condução da cultura utilizando-se do manejo convencional com irrigação. Eles avaliaram o pH do solo e os teores de N (total), fósforo, potássio e sódio. Incrementos nos valores foram verificados para pH e para os teores de sódio e fósforo, sendo que, para estes dois últimos, os aumentos foram detectados apenas nas camadas mais superficiais. Por outro lado, reduções nos teores de potássio foram detectadas em função do uso da água residuária bruta, enquanto nenhuma alteração foi verificada para o N-total do solo. Os resultados, de modo geral, puderam ser explicados pela composição da água residuária e pelo comportamento em solos das variáveis analisadas, sobretudo das formas químicas de mais comum ocorrência nesse compartimento ambiental dos elementos químicos em questão. O incremento de íons sódio é preocupante uma vez que promove o aumento da condutividade elétrica e, principalmente, é um efetivo dispersante que pode atuar na desestruturação dos solos, aumentando a incidência de processos degradantes como a redução da porosidade. Esta, por sua vez, pode ocasionar, por exemplo, a redução da capacidade de infiltração de água no solo e o aumento do escoamento superficial e, conseqüentemente, dos processos erosivos. Não foi detectado potencial de lixiviação dos cátions e ânions avaliados e, portanto, concluiu-se pelo trabalho que o risco de contaminação das águas subterrâneas por eles devido ao uso de irrigação com água residuária bruta, para o solo em questão, é mínimo.

Os impactos da irrigação com água residuária previamente tratada sobre as características químicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico foram avaliados por Varallo et al. (2010). Os autores utilizaram, para tal, colunas de solos irrigadas com água destilada e água de reúso, de acordo com a necessidade de consumo para o cultivo de dois ciclos da cultura da alface. A água de irrigação utilizada foi classificada como de média salinidade e apresentava boa qualidade, atendendo aos limites impostos pela legislação para o seu reúso. Foram observados, após aplicação, maiores teores de ferro, manganês e zinco no solo. Entretanto, os teores encontrados, com exceção para o manganês, estiveram dentro dos recomendados internacionalmente. Embora tenham encontrado também incrementos nos valores de condutividade elétrica e dos teores de sódio em decorrência do uso da água residuária, os autores ressaltam que estes parâmetros sempre estiveram em níveis abaixo daqueles considerados prejudiciais às culturas. À época, não foram observadas alterações nos

teores de cálcio, magnésio e nos valores de pH e houve redução nos teores de nitrato, potássio e nos valores de condutividade hidráulica saturada. Tais resultados denotam a importância do monitoramento, quando do reúso de água para irrigação, dos teores de cátions metálicos e de sódio, bem como dos valores de condutividade elétrica, a fim de que sejam evitados impactos negativos sobre a qualidade dos solos. Faz-se importante lembrar que é possível que esses impactos sejam potencializados ao longo de aplicações constantes de águas de reúso, sendo este mais um argumento a favor do uso cauteloso dessa técnica.

Duarte et al. (2008), avaliando os efeitos da aplicação de águas residuárias tratadas sobre algumas características químicas e físico-químicas de um Latossolo Vermelho Amarelo cultivado com Pimentão, encontraram alterações nos teores de matéria orgânica e de pH, sem, contudo, observar alterações significativas nos teores de fósforo e de potássio. Para fins de avaliação, os autores utilizaram, para a irrigação da cultura, água potável, água residuária tratada por filtro de areia e discos, água residuária com injeção de dióxido de carbônico (CO<sub>2</sub>) e água residuária tratada com radiação ultravioleta (UV). Os teores médios de matéria orgânica foram maiores nos solos tratados com água potável do que nos solos irrigados com água residuária. Os autores atribuíram este resultado ao enriquecimento do solo com efluente que, embora normalmente possua maiores teores de carbono e nitrogênio quando comparado à água potável, apresenta baixa relação carbono/nitrogênio (C/N), o que favorece a ativação e o desenvolvimento da microbiota do solo e, conseqüentemente, a degradação da matéria orgânica. Este processo pode ser entendido como um “efeito priming” positivo. Buso e Kliemann (2003) definem efeito priming como a rápida mudança nos teores de carbono orgânico e/ou nitrogênio total dos solos que pode ser positiva, no caso de mineralização de C e N, ou negativa, quando da imobilização destes elementos. Quando positivo é resultado da adição de materiais de baixa relação C/N e/ou de fertilizantes minerais. Já, quando negativo, é devido à adição de material com alta relação C/N. Efluentes tratados secundariamente geralmente têm relação C/N que variam em torno de cinco (FEIGIN et al., 1991; BUSO e KLIEMANN, 2003), sendo este, portanto, um material facilmente decomponível quando adicionado ao solo. Este fato é importante quando se pensa na liberação de nutrientes, porém, a matéria orgânica é um importante agente de manutenção, imediata e em longo prazo, da qualidade física e química dos solos, sendo, portanto, a redução de seus teores fator de preocupação.

Águas residuárias de processos agropecuários, como da criação intensiva de suínos também geram um grande passivo ambiental, caso um destino nobre não seja a elas fornecido. Nesse sentido, Caovilla et al. (2010) avaliaram o efeito da aplicação de diferentes concentrações (0, 25, 50 e 75%) de água residuária de suninocultura (ARS), aplicadas por fertirrigação em gotejamento, sob características químicas e físico-químicas de um Latossolo Vermelho Distroférrico cultivado com soja, em diferentes profundidades. Os autores quantificaram, para diferentes profundidades, os teores de fósforo, matéria orgânica, potássio, cálcio, magnésio e alumínio. Também foram quantificadas a capacidade de troca catiônica total, a soma e a saturação por bases, além do pH. Eles não verificaram diferença significativa para a maioria das variáveis e das profundidades analisadas devido à aplicação da ARS, exceto fósforo, potássio e profundidade de troca catiônica, que apresentaram maiores valores em superfície.

### **Considerações finais**

O estado da arte aqui traçado reforça a ideia de que, na prática, o reúso de águas residuárias para produção de hortaliças já vem sendo realizado, embora muitas vezes de forma não planejada e sem o tratamento prévio necessário à irrigação e, por consequência, com água com qualidade inferior àquela imposta pela resolução do Conama número 357 de 2005.. Faz-se necessário, portanto, que técnicas de tratamento de baixo custo, principalmente para remoção de microrganismos patogênicos, sejam urgentemente desenvolvidas. Caso isso não aconteça, desenha-se um grave quadro de escassez qualitativa de água para irrigação dessas culturas, frente à legislação atualmente em vigor, constituindo assim uma forte ameaça à segurança alimentar dos habitantes residentes, principalmente, nos grandes centros urbanos brasileiros.

Soma-se à escassez qualitativa aquela quantitativa, já perceptível em algumas regiões do país e que, para o norte e nordeste, tende a ser agravada em função das mudanças climáticas, conforme projeções diversas. Dessa forma, é necessário gerir adequadamente os recursos hídricos, visando a manutenção da qualidade ou a quantidade de água disponível para seus usos múltiplos.

## Referências

ABADIAS, M.; USALL, J.; ANGUERA, M.; SOLSONA, C.; VIÑAS, I. Microbiological quality of fresh, minimally-processed fruit and vegetables, and sprouts from retail establishments. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 123, p. 121–129, 2008.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: informe 2012. Ed. Especial. Brasília, DF, 2012. 215 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (Brasil). Estabelece procedimentos padronizados para a coleta e preservação de amostras de águas superficiais para fins de monitoramento da qualidade dos recursos hídricos, no âmbito do Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas (PNQA) Resolução Nº 724/2011. 225p. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2011/724-2011.pdf>.

ALLOWAY, B.J. Heavy metals in soils. New York. John Wiley & Sons, 1990. 339p.

AKPONIKPÈ, P. B. I.; WIMA, K.; YACOUBA, H.; MERMOUD, A. Reuse of domestic wastewater treated in macrophyte ponds to irrigate tomato and eggplant in semi-arid West-Africa, Benefits and risks. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 98, p. 834–840, 2011.

ALMEIDA, F. V.; CENTENO, A. J.; BISINOTI, M. C.; JARDIM, W. F. Substâncias tóxicas persistentes (STP) no Brasil. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 8, p. 1976-1985, 2007.

ALMEIDA, M. T. T. **Avaliação microbiológica de alfaces (*Lactuca sativa*) em restaurantes self-service no município de Limeira – SP**. 2006. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

ALMUALLA, N. A.; LALEYE, L. C.; ABUSHELAIBI, A. A.; AL-QASSEMI, R. A.; WASESA, A. A.; BABOUCARR, J. Aspects of the microbiological quality and safety of ready-to-eat foods in Sharjah supermarkets in the United Arab Emirates. **Journal of Food Protection**, Iowa, v. 73, p. 1328–1331, 2010.

ALZAMORA, S. M.; LÓPEZ-MALO, A.; TAPIA, M. S. Overview. In: ALZAMORA, S. M.; LÓPEZ-MALO, A.; TAPIA, M. S (Ed.). **Minimally processed fruits and vegetables, fundamental aspects and applications**. Gaithersburg: Aspen Publishers, 2000. p. 1-9.

ARAÚJO, A. L. de.; KÖNIG, A.; MILANÊZ, J. G.; CEBALLOS, B. S. O.de. Reúso indireto de esgotos na irrigação de colunas experimentais de solo cultivadas com alface (*Lactuca sativa*, L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITARIA E

AMBIENTAL, 20., 1999, Rio de Janeiro, RJ. [ **Anais**]... Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999. p. 596-604.

AVISAR, D.; LESTER, Y.; RONEN, D. Sulfamethoxazole contamination of a deep phreatic aquifer. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 407, 4278–282, 2009.

BALBANI, A. P. S.; BUTUGAN, O. Contaminação biológica de alimentos. **Pediatria**, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 320-328, 2001.

BARCELLOS, C. M.; ROCHA, M.; RODRIGUES, L. S.; COSTA, C. C.; OLIVEIRA, P. R.; SILVA, I. J.; JESUS, E. F. M.; ROLIM, R. G. Avaliação da qualidade da água e percepção higiênico-sanitária na área rural de Lavras, Minas Gerais, Brasil, 1999-2000. *Caderno de. Saúde Pública*, v.22, n.9, p.1967-1978, 2006.

BEEKMAN, G. B. **Gerenciamento integrado dos recursos hídricos**. Brasília, DF: IICA, 1999. 64 p.

BERTONCINI, E. I. Tratamento de efluentes e reúso da água no meio agrícola. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, São Paulo, p. 152-169, 2008.

BUSO, W. H. D.; KLIEMANN, H. J. Relações de carbono orgânico e de nitrogênio total e potencialmente mineralizável com o nitrogênio absorvido pelo milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 33, p. 97-105, 2003.

CAOVILLA, F. A.; SAMPAIO, S. C.; SMANHOTTO, A.; NÓBREGA, L. H. P.; QUEIROZ, M. M. F. de.; GOMES, B. M. Características químicas de solo cultivado com soja e irrigado com água residuária da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 7, p. 692–697, Jul. 2010.

CASTANIA, J. **Qualidade da água utilizada para consumo em escolas públicas municipais de ensino infantil de Ribeirão Preto – SP**. 2009. 146 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo.

CASTRO-ROSAS, J.; CERNA-CORTÉS, J. F.; MÉNDEZ-REYS, E. LOPEZ-HERNANDEZ, D.; GÓMEZ-ALDAPA, C. A.; ESTRADA-GARCIA, T. Presence of faecal coliforms, *Escherichia coli* and diarrheagenic *E. coli* pathotypes in ready-to-eat salads, from an area where crops are irrigated with untreated sewage water. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 156, n. 2, p. 176–180, May 2012.

CHEN, F.; YING, G. G.; KONG, L. X.; WANG, L.; ZHAO, J. L.; ZHOU, L. J.; ZHANG, L. J. Distribution and accumulation of endocrine-disrupting chemicals and pharmaceuticals in wastewater irrigated soils in Hebei, China. **Environmental Pollution**, Barking, v. 159, n. 6, p. 1490–1498, Jun. 2011.

CHRISTOVÃO, D. de A.; CANDEIAS, J. A. N.; IARIA, S. T. Condições sanitárias das águas de irrigação de hortas do município de S. Paulo. II. Isolamento de vírus entéricos. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 17-12, jun. 1967.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil) - CONAMA. Resolução no 357, de 17 de mar. de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 18 mar. 2005, nº 053, seção 1 p.63-58.

CRUTZEN, P. J. Geology of mankind. **Nature**, v. 415, n. 6867, p 23, Jan. 2002.

CZEKALSKI, N.; BERTHOLD, T.; CAUCCI, S.; EGLI, A.; BÜRGMANN, H. Increased levels of multiresistant bacteria and resistance genes after wastewater treatment and their dissemination into Lake Geneva, Switzerland. **Frontiers in Microbiology**, v. 3, p. 1–18, 2012. Article 106.

DUARTE, A. S; AIROLDI, R. P. S.; FOLEGATTI, M. V.; BOTREL, T. A.; SOARES, T. M. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.302-310, 2008.

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. **Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection**. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 233 p.

FERNANDES, R. B. A.; LUZ, W. V.; FONTES, M. P. F.; FONTES, L. E. F. Avaliação da concentração de metais pesados em áreas olerícolas no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 81–93, 2007.

FORD, T. E. The microbial ecology of water distribution and outfall systems. In: FORD, T. E. (Ed.). **Aquatic microbiology: an ecological approach**. Boston: Blackwell Scientific, 1993. p. 455-482.

FORD, T. E.; COLWELL, R. R. **A global decline in microbiological safety of water: a call for action**. Washington, DC: American Academy of Microbiology, 1996. 80 p.

GALAL-GORCHEV, H. Desinfección del agua potable y subproductos de interés para la salud. In: CRAUN, G. F.; CASTRO, R. (Ed). **La calidad del agua potable em America Latina, Ponderación de los riesgos microbiológicos contra los riesgos de los subproductos de La desinfección química**. Washington, DC: ILSI Press, 1996. pp. 89-100.

GARRAFA, P. **Pesquisa do Vírus da Hepatite A em Águas de Córrego e Esgoto Utilizando Métodos de RT-PCR e RFLP**. 2001. 51 f. Monografia (Bacharelado) – Faculdade de Ciências Biológicas, Exatas e Experimentais, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo.

GATICA, J.; CYTRYN, E. Impact of treated wastewater irrigation on antibiotic resistance in the soil microbiome. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 20, p. 3529–3538, 2013.

HAMADA, E.; MARENGO, J. A.; THOMAZ, M. C. Projeções de mudanças climáticas para o Brasil no final do século XXI. In: GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. (Ed.). **Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011. p. 41-74. Publicação eletrônica. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/67241/1/ImpactoMudancasClimaticas.pdf>> Acesso em: 06 jul. 2014.

HAYES, E. B.; MATTE, T. D.; O'BRIEN, T. R.; MCKINLEY, T. W.; LOGSDON, G. S.; ROSE, J. B.; UNGAR, B. L. P.; WORD, D. M.; WILSON, M. A.; LONG, E. G.; HURWITZ, E. S.; JURANEK, D. D. Large community outbreak of cryptosporidiosis due to contamination of filtered public water supply. **New England Journal of Medicine**, Waltham, v. 320, p. 1372–1376, May 1989.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate change 2007: the physical science basis**. New York: Cambridge University Press, 2007. 1009 p.

KINNEY, C. A.; FURLONG, E. T.; WERNER, S. L.; CAHILL, J. D. Presence and distribution of wastewater-derived pharmaceuticals in soil irrigated with reclaimed water. **Environmental Toxicology and Chemistry**, New York, v. 25, n. 2, p. 317–326, Feb. 2006.

KUMMERER, K.; HENNINGER, A. Promoting resistance by the emission of antibiotics from hospitals and households into effluent. **Clinical Microbiology and Infection**, Paris, v. 9, n. 12, p. 1203–1214, Dec. 2003.

LACERDA, L. D.; MARINS, R. V. Geoquímica de sedimentos e o monitoramento de metais na plataforma continental nordeste oriental do Brasil. **Geochemica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 20, p. 120-132, 2006.

LAPARA, T. M.; BURCH, T. R.; McNAMARA, P. J.; TAN, D. T.; YAN, MI.; EICHMILLER, J. J. Tertiary-treated municipal wastewater is significant point source of antibiotic resistance genes into Duluth-Superior Harbor. **Environmental Science Technology**, Easton, v. 45, n. 22, p. 9543–9549, Octo. 2011.

- LIMA, C. A. V.; MEDEIROS, G. A. Diagnóstico da qualidade da água do Rio Jaguari-Mirim no município de São João da Boa Vista – SP, **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 5, n. 2, p. 125-138, 2008.
- LIMA, J. E. F. W. **Recursos hídricos no Brasil e no Mundo**. Planaltina: Embrapa Cerrados. 2001. 46 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 33).
- LUCAS, A. A. T.; FOLEGATTI, M. V.; DUARTE, S. N. Qualidade da água em uma microbacia hidrográfica do Rio Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 9, p. 937-943, set. 2010.
- MAÑAS, P.; CASTRO, E.; HERAS, J. de las. Irrigation with treated waste water, effects on soil, lettuce (*Lactuca sativa*) crop and dynamics of microorganisms. **Journal of Environmental Science and Health**, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering, Philadelphia, v. 44, n. 12, p. 1261-1273, Sept. 2009.
- MARENCO, J. A. **Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XX**: sumário técnico. Brasília: MMA, SBF, DCBio, 2007. 50 p.
- MATTOS, L. M.; MORETTI, C. L.; MOURA, M. A. de; MALDONADE, I. R.; SILVA, E. Y. Y. da. Produção segura e rastreabilidade de hortaliças. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 27, n. 4, p. 408-413, out./dez. 2009.
- MEDEIROS, S. de S.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A.; SOUZA, J. A. A. de; SOUZA, J. A. de; MATOS, A. T. de. Comportamento dos atributos químicos do solo em resposta à aplicação de água residuária de origem doméstica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p. 268-273, 2005. Suplemento.
- MEHNERT, D. U.; STEWIEN, K.E. Detection and distribution of rotavirus in raw sewage and creeks in São Paulo, Brazil. **Applied Environmental Microbiology**, Washington DC, v. 59, n. 1, p. 140-143, Jan.1993.
- MESQUITA, V. C. L.; SERRA, C. M. B.; BASTOS, O. M. P.; UCHÔA, C. M. A. Contaminação por enteroparasitas em hortaliças comercializadas nas cidades de Niterói e Rio de Janeiro, Brasil. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 32, n. 4, p. 363-366, jul./ago. 1999.
- MOKRACKA, J.; KOCZURA, R.; KAZNOWSKI, A. Multiresistant Enterobacteriaceae with class 1 and class 2 integrons in a municipal wastewater treatment plant. **Water Research**, New York, v. 46, n. 10, p. 3353-3363, Jun. 2012.
- MUTENGU, S.; HOKO, Z.; MAKONI, F. An assessment of the public health hazard potential of wastewater reuse for crop production. A case of Bulawayo City,

Zimbabwe. **Physics and Chemistry of the Earth**, Oxford, v. 32, n. 15/18, p. 1195–1203, 2007.

NÚÑEZ, J. E. V.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; MAZUR, N. Consequências de diferentes sistemas de preparo do solo sobre a contaminação do solo, sedimentos e água por metais pesados. *Edafología*, Granada 13, 73-85, 2006.

OLIVEIRA, C. A. F.; GERMANO, P. M. L. Estudo da ocorrência de enteroparasitas em hortaliças comercializadas na região metropolitana de São Paulo, SP, Brasil. II-Pesquisa de Protozoários Intestinais. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 26, n. 5, p. 332-335, 1992.

PAULA, V. de; Kato, M. T., Florêncio, L. Qualidade de água usada na agricultura urbana na cidade do Recife. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p. 123-127, 2005. Suplemento.

PAZ, V. P. S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 465-473, 2000.

PINA, S.; PUIG, M.; LUCENA, F.; JOFRE, J.; GIRONES, R. Viral pollution in the environment and in shellfish: human adenovirus detection by PCR as an index of human viruses. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington DC, v. 64, n. 9, p. 3376-3382, 1998.

PRUDEN, A.; RUOTING, P.; STORTEBOOM, H. CARLSON, K. H. Antibiotic resistance genes as emerging contaminants, studies in northern Colorado. **Environmental Science Technology**, Easton, v. 40, n. 23, p. 7445–7450, 2006.

QUADROS, R. M. de; MARQUES, S. M. T.; FAVARO, D. A.; PESSOA, V. B.; ARRUDA, A. A. R.; SANTINI, J. Parasitos em alfaces (*Lectuca sativa*) de mercados e feiras livres de Lages–Santa Catarina. **Revista Ciência & Saúde**, Porto Alegre, v. 1, n. 2, p. 78-84, 2008.

RAGAZZI, M. F. **Estudo comparativo da qualidade parasitológica e toxicológica entre hortaliças cultivadas com água de reúso e hortaliças comercializadas em Ribeirão Preto – SP**. 2011. 116 f. Dissertação (Mestrado em Enfermagem em Saúde Pública) - Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, SP.

RAMALHO, J. F. G. P.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. do, VELLOSO, A. C. X. Contaminação da microbacia de Caetés com metais pesados pelo uso de agroquímicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 7, p. 1289-1303, jul. 2000.

ROCKSTROM, J.; STEFFEN, W.; NOONE, K.; PERSSON, A.; CHAPIN, F. S.; LAMBIN, E. F. [et al...]. A safe operating space for humanity. **Nature**, v. 461, n. 7262, p. 472-475, Sept. 2009.

RODRIGUEZ-CAVALLINI, E.; GAMBOA, M. del M.; ARIAS, M. L. Microbiological evaluation of ready-to-eat foods manufactured by small Costa Rican industries. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Caracas, v. 60, n. 2, p. 179–183, jun. 2010.

ROSE, J. B. Occurrence and control of Cryptosporidium in drinking water. In: BROCK, T. D. (Ed.). **Drinking Water Microbiology**: New York: Springer-Verlag, 1990. p. 294-321.

ROSEN, B. H. **Waterborne pathogens in agricultural watersheds**. Washington, DC: Watershed Science Institute-United States Department of Agriculture, 2000. 62 p. (Technical note, 2).

ROWE, D.; ABDEL-MAGID, I. M. **Handbook of wastewater reclamation and reuse**. Washington, DC: Lewis Publishers, 1995. 576 p.

SACKS, M., BERNSTEIN, N. Utilization of reclaimed wastewater for irrigation of field-grown melons by surface and subsurface drip irrigation. **Israel Journal of Plant Sciences**, Jerusalem, v. 59, p.159–169, 2011.

SAGOO, S. K.; LITTLE, C. L.; WARD, L.; GILLESPIE, I. A.; MITCHELL, R. T. Microbiological study of ready-to-eat salad vegetables from retail establishments uncovers a national outbreak of salmonellosis. **Journal of Food Protection**, Iowa, v. 66, n. 3, p. 403–409, Mar. 2003.

SAMIE, A.; OBI, C.; IGUMBOR, J.; MOMBA, M. Focus on 14 sewage treatment plants in the Mpumalanga Province, South Africa in order to gauge the efficiency of wastewater treatment. **African Journal of Biotechnology**, v. 8, n. 14, p. 3276-3285, 2009.

SANTOS, F. M. **Detecção e caracterização genotípica de adenovírus humanos presentes em amostras de água de esgoto e córrego da cidade de São Paulo, utilizando PCR-RFLP**. 2003. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Ciências Biomédicas- Universidade de São Paulo.

SARAIVA, N.; BALLESTERO, L. G.; POVÊA, A. M.; ANIBAL, F. de F. Incidência da contaminação parasitária em alfaces nos municípios de Araraquara (SP) e São Carlos (SP). **Revista Uniara**, Araraquara, n. 16, 213-218, 2005.

SASSAROLI, A. **Vírus da Hepatite A: A presença e identificação dos genótipos circulantes nas águas de esgoto e de superfície da cidade de São Paulo, Brasil.** 2002. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Ciências Biomédicas - Universidade de São Paulo.

SCHVOERER, E.; BONNET, F.; DUBOIS, V.; CAZAUX, G.; SERCEAU, R.; FLEURY, H. J. A.; LAFON, M. E. PCR detection of human enteric viruses in bathing areas, wastewaters and human stools in southwestern France. **Research in Microbiology**, Paris, v. 151, n. 8, p. 693-701, Oct. 2000.

SHIKLOMANOV, I. A. **World water resources: a new appraisal and assessment for the 21th century.** Paris: UNESCO's International Hydrological Programme, 1998. 32 p.

SIEMENS, J.; HUSCHEK, G.; SIEBE, C.; KAUPENJOHANN, M. Concentrations and mobility of human pharmaceuticals in the world's largest wastewater irrigation system, Mexico City-Mezquitlan valley. **Water Research**, New York, v. 42, n. 8/9, p. 2124-2134, Apr. 2008.

SILVA, A. V. M.; MASSARA, C. L. *Ascaris lumbricoides*. In: NEVES, D. P.; MELO, A. L.; LINARDI, P. M.; VITOR, R. W. A. **Parasitologia humana**. 11. ed. São Paulo: Atheneu, 2005. cap 29, p. 253-260.

SILVA, M. L. S., VITTI, G. C., Trevizan, A. R. Concentração de metais pesados em grãos de plantas cultivadas em solo com diferentes níveis de contaminação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 4, p. 527-535, abr. 2007.

SOAVE, R.; JOHNSON, W. D. Cyclospora, conquest of an emerging pathogen. **The Lancet**, Londres, v. 345, n. 8951, p. 667-668, 1995.

TAKAYANAGUI, O. M.; FEBRÔNIO, L. H. P.; BERGAMINI, A. M.; OKINO, M. H. T.; SILVA, A. A. M. C. e; SANTIAGO, R.; CAPUANO, D. M.; OLIVEIRA, M. A.; TAKAYANAGUI, A. M. M. Fiscalização de hortas produtoras de verduras do município de Ribeirão Preto, SP. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, Uberaba, v. 33, n. 2, p. 69-174, mar./abr. 2000.

THURSTON-ENRIQUEZ, J. A.; WATT, P.; DOWD, S. E.; ERIQUEZ, R.; PEPPER, I. L.; GERBA, C. P. Detection of Protozoan and Microsporidia in Irrigation Waters Used for Crop Production. **Journal of Food Protection**, Iowa, v. 65, n. 2, p. 378-382, Feb. 2002.

TIBURTIUS, E. L. R.; PERALTA-ZAMORA, P.; LEAL, E. S. Contaminação de águas por BTXS e processos utilizados na remediação de sítios contaminados. **Química Nova**, São Paulo, v. 27, p. 441-446, maio/jun. 2004.

TONANI, K. A. A. **Identificação e quantificação de metais pesados, parasitas e bactérias em esgoto bruto e tratado da Estação de Tratamento de Esgotos de Ribeirão Preto – SP.** 2008. 179 f. Dissertação (Mestrado em Enfermagem em Saúde Pública), Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2008.

TUNDISI, J. G. Recursos Hídricos. **MultiCiência**, Campinas, v. 1, p. 1-14, 2003. Disponível em: < <http://www.multiciencia.unicamp.br/art03.htm>>. Acesso em: 14 jul. 2014.

VARALLO, A. C. T. Alterações nos atributos de um Latossolo Vermelho-amarelo irrigado com água de reúso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, p. 372–377, 2010.

ZYL, W. B. van; PAGE, N. A.; GRABOW, W. O. K.; STEELE, A. D.; TAYLOR, M. B.; Molecular Epidemiology of Group A Rotaviruses in Water Sources and Selected Raw Vegetables in Southern Africa. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington DC, v. 72, n. 7, p. 4554–4560, July 2006.



# **Reúso de água na agricultura no contexto da gestão de recursos hídricos no Brasil**

Claudio Ritti Itaborahy  
Carla Veiga Fernandes Lima  
Vera Maria da Costa Nascimento  
Marcos Brandão Braga

## **Introdução**

O Brasil é um dos países de maior disponibilidade hídrica mundial, porém, devido às dimensões geográficas e condições climáticas diferenciadas, algumas das regiões do País sofrem problemas graves de escassez de água, como é o caso do Semiárido. Nesta região, a baixa disponibilidade de água é causada principalmente pela reduzida precipitação, grande irregularidade intra e interanual da chuva e alta taxa de evaporação; além disso, muitas vezes a pouca água disponível tem limitação de uso em decorrência de má qualidade.

De forma geral, a principal causa da degradação da qualidade dos corpos d'água é o lançamento de esgotos sem tratamento ou com tratamento inadequado. Porém, quando a disponibilidade hídrica é baixa, mesmo esgotos domésticos previamente tratados e em conformidade com padrões legais de lançamento da legislação vigente e devidamente outorgados podem acarretar problemas quando o corpo d'água apresentar baixa capacidade de autodepuração. Uma alternativa é fazer a disposição de esgotos no solo para aproveitar a capacidade de depuração desse meio. Uma vez que esgotos são ricos em água e nutrientes, uma opção que se mostra muito atraente é dispor o esgoto em solos com culturas com valor comercial, na modalidade que se

denomina reúso de água na agricultura (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2007).

Soluções deste tipo podem ser importantes para as regiões brasileiras com baixas disponibilidades hídricas, como é o caso do Semiárido Nordeste, em que a escassez de água de boa qualidade dificulta a sobrevivência das pessoas nas cidades e no campo. Nesta região, além de possibilitar a produção de alimentos, ampliando a segurança alimentar e a geração de emprego e renda, o reúso de água poderia contribuir com a produção de biomassa para agroenergia.

Entende-se, diante disso, que é fundamental que o Poder Público induza e apoie a adoção do reúso de água na agricultura, buscando incentivar o desenvolvimento de pesquisas e de projetos demonstrativos sobre o tema e a implantação de projetos em escala plena.

Este Capítulo pretende trazer uma contribuição sobre o assunto ao discorrer sobre o reúso agrícola de água no contexto da gestão de recursos hídricos no Brasil, mostrando as vantagens da adoção da prática em nosso País, sem deixar de alertar para os cuidados e responsabilidades necessários à adoção da prática.

### **Agência Nacional de Águas e Gestão de Recursos Hídricos**

A Agência Nacional de Águas (ANA) é uma autarquia especial, vinculada ao Ministério do Meio Ambiente (MMA), criada pela Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000 (BRASIL, 2000).

Cabe à Agência Nacional de Águas implementar e coordenar a gestão compartilhada e integrada dos recursos hídricos e regular o acesso a água, promovendo o seu uso sustentável no Brasil em benefício da atual e das futuras gerações.

A atuação da Agência Nacional de Águas, perante a tendência de aumento da adoção do reúso agrícola no Brasil, é fundamental pela explícita interface da destinação de efluentes em corpos hídricos com a qualidade das águas superficiais.

Dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, definidos pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997), dois podem ser destacados: a outorga e a cobrança. Por intermédio da outorga de direito de uso de recursos hídricos é possível assegurar o controle quantitativo e

qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso a este recurso. A cobrança, por sua vez, faz com que haja o reconhecimento da água como bem econômico, dando ao usuário uma indicação de seu real valor e incentivando a racionalização de seu uso.

A aplicação efetiva da outorga e cobrança depende de instrumentos referentes ao planejamento de recursos hídricos: os planos de recursos hídricos e o enquadramento dos corpos hídricos em classes. Os primeiros funcionam como planos diretores de longo prazo; o enquadramento, por sua vez, estabelece o nível de qualidade (classe) a ser alcançado ou mantido num trecho de corpo hídrico ao longo do tempo, de forma a assegurar às águas qualidade compatível com os usos a que se destinam.

## **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**

### **Disponibilidade de água**

Recursos hídricos correspondem à parcela da água doce que se renova a cada ano e que permite um estável suprimento de água, acessível à humanidade no estágio tecnológico atual, a custos compatíveis com os diversos usos.

Mesmo países que têm aparente abundância de água normalmente apresentam regiões com escassez ou sem infraestrutura para possibilitar o acesso aos recursos hídricos disponíveis (WINPENNY et al. 2010).

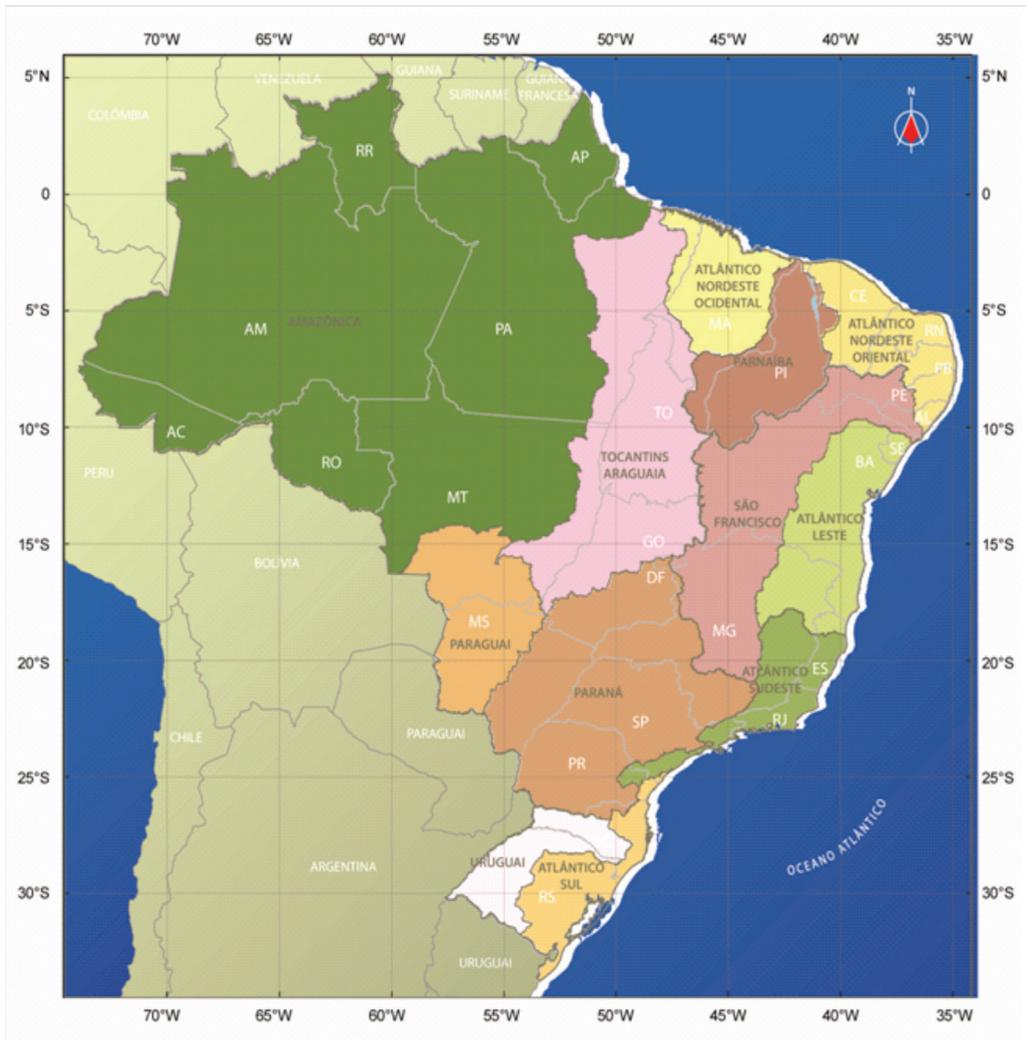
De acordo com o Atlas Brasil - Panorama Nacional (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2011), a situação do Brasil não é diferente. O País é um dos mais ricos em recursos hídricos superficiais do planeta, mas a grande variabilidade climática que o caracteriza se reflete em uma distribuição bastante desigual dos recursos hídricos em seu território.

Enquanto a região que abrange os estados do Amazonas, Amapá, Acre, Rondônia e Roraima, e grande parcela do Pará e do Mato Grosso, concentra 81% da disponibilidade de recursos hídricos brasileiros em 45% da extensão territorial do País, o restante é responsável por menos de 20% de todos os recursos hídricos superficiais disponíveis.

De modo geral, a quase totalidade dos principais aglomerados urbanos do País necessita de investimentos para a ampliação da oferta de água, incluindo o aproveitamento de novos mananciais ou a adequação dos sistemas produtores.

## Demanda de recursos hídricos no Brasil

A Agência Nacional de Águas, por atribuição estabelecida na Resolução nº 58, de 30 de janeiro de 2006, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH, passou a elaborar a “Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil” (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2012a). As informações são apresentadas considerando as 12 regiões hidrográficas do Brasil: Amazônica; Tocantins-Araguaia; Atlântico Nordeste Ocidental; Parnaíba; Atlântico Nordeste Oriental; São Francisco; Atlântico Leste; Atlântico Sudeste; Paraná; Paraguai; Uruguai; e Atlântico Sul (Figura 1).



**Figura 1.** Regiões hidrográficas do Brasil.

Fonte: Agência Nacional de Águas (2012a).

Em 2010, as vazões de retirada e de consumo no Brasil foram, respectivamente, 2.373 m<sup>3</sup>/s e 1.212 m<sup>3</sup>/s. A maior vazão de retirada foi para fins de irrigação, 1.270 m<sup>3</sup>/s (54% do total), seguido do uso para fins de abastecimento humano urbano, cuja vazão de retirada foi de 522 m<sup>3</sup>/s. Com relação à vazão efetivamente consumida, a da irrigação foi 873 m<sup>3</sup>/s (72% do total), seguida de longe pelos outros usos.

Como se vê, a agricultura irrigada, em termos absolutos, apresenta consumo de água bem superior aos demais usos e, por isso, é constantemente taxada de perdulária. No entanto, não se deve deixar de considerar os benefícios que a atividade traz por aumentar a oferta de alimentos a preços competitivos, devido ao substancial crescimento de produtividade, e reduzir a necessidade de desmatamento para disponibilização de novas áreas para cultivo. Especialmente nas regiões onde o déficit hídrico é significativo, a irrigação constitui-se em fator essencial para a produção agrícola.

### **Poluição de corpos hídricos por esgotos**

Grande parte dos municípios de pequeno porte do País, onde a população residente é muito baixa, apresenta reduzidos índices de tratamento de esgoto. Cidades localizadas nas regiões metropolitanas apresentam melhores condições de tratamento do efluente doméstico, embora mesmo o esgoto tratado possa ser preocupante em regiões com corpos d'água com baixa capacidade de autodepuração.

De acordo com Ministério das Cidades (BRASIL, 2014), o atendimento em redes coleta de esgotos em nosso País chega a 56,1%. Já a média do País para o tratamento dos esgotos gerados chega a 38,6% e dos esgotos a 69,4%.

Uma forma de reduzir a poluição causada pelo descarte de esgotos tratados em corpos d'água é promover o reúso de água em suas diferentes modalidades, conforme tratado a seguir.

## **Reúso Direto Não Potável de Água**

### **Diretrizes e regulamentos**

De acordo com Machado (2011), alguns países que detêm experiência com o reúso de água, ao longo do tempo em que este foi praticado, estabeleceram diretrizes e/ou regulamentos, considerando, sempre que possível, as especificidades locais. Organismos internacionais também têm se dedicado à recomendação de critérios de saúde para a utilização de

esgotos sanitários, tais como a Organização Mundial da Saúde - OMS, que no ano de 2006 editou novas diretrizes sanitárias voltadas para o reúso de águas residuárias: “Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater” (WHO, 2006).

Nos Estados Unidos não há regulamentação federal sobre o reúso, que é de responsabilidade dos estados. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA, 2012) publicou, em 1992 e 2004, diretrizes a fim de propiciar um direcionamento adequado aos estados americanos que não possuíam regulamentação. Estas diretrizes para o reúso de a água nos Estados Unidos da América (EUA) foram atualizadas em 2012 (United States Environmental Protection Agency, 2012).

As diretrizes adotadas pela US EPA e as recomendadas pela OMS têm servido de referência para elaboração de normas que regulam o reúso da água em diversos países.

A Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro de 2005 (CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS, 2005), é regulamento geral para a prática de reúso direto não potável de água no Brasil. Prevê que sejam editadas outras resoluções para regulamentar as diferentes modalidades de reúso; no entanto, passados mais de 7 anos, apenas o reúso de água na modalidade agrícola e florestal foi regulamentado, por intermédio da Resolução CNRH nº 121, de 16 de dezembro de 2010 (CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS, 2010).

### **Efluentes e o reúso de água**

Os esgotos sanitários *in natura* são a principal fonte poluidora de grande parte dos rios, notadamente aqueles próximos aos centros urbanos. Esgotos domésticos submetidos a tratamento inadequado têm também causado poluição em níveis importantes pelo mundo, principalmente na proximidade dos pontos de lançamento em cursos d’água.

Para diminuir a pressão sobre os mananciais, independentemente do uso da água que se queira fazer, de maneira geral, deve-se procurar captar a menor quantidade possível de água dos mananciais, sejam eles superficiais ou subterrâneos, e gerar o menor volume possível de efluentes. Se for inevitável a geração destes últimos, deve-se procurar fazer seu tratamento e proceder ao reúso de água.

Deve-se destacar que, ao se fazer o reúso, é necessário ter cuidados redobrados, pois os efluentes do reúso tendem a ser mais concentrados;

além disso, a prática pode provocar efeitos indesejáveis na saúde humana e animal.

### Água de reúso como fonte alternativa

Em termos gerais, o reúso de água não promove por si só a redução de consumo de água em um processo ou quando se usa um determinado equipamento, isoladamente. Essa redução, em termos específicos, é decorrente da adoção de processo e/ou de equipamento mais eficiente. No entanto, como normalmente numa atividade se utiliza um maior número de processos, pode-se aproveitar o efluente de um processo como fonte de água de outro, chegando-se a uma economia de água quando se considera todo o sistema.

O reúso deve ser visto mais como prática de “substituição de fontes”, uma alternativa para satisfazer demandas menos restritivas quanto à qualidade da água, reduzindo a pressão sobre os mananciais.

### **Reúso de água e gestão ambiental e de recursos hídricos**

O Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) é instrumento de gestão aprovado em 2006, pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos, para fundamentar e orientar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos – SINGREH.

A Resolução CNRH nº 58 de 2006 (CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS, 2006), que aprova o PNRH, estabelece que a cada 4 anos seja feita a sua revisão, com o objetivo de orientar os Planos Plurianuais Federal, Estaduais e Distrital e seus respectivos orçamentos anuais. Em 2010 teve início a primeira revisão do PNRH, que contou com um processo de consulta aos integrantes do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos – SINGREH nas 12 regiões hidrográficas brasileiras, resultando na atualização e foco do Volume IV do PNRH – Programas Nacionais e Metas.

Assim, foram definidas 54 linhas prioritárias que definiram as 22 prioridades do Plano Nacional para os próximos 4 anos. A “Ampliação da oferta, da gestão da oferta, da racionalização e do reúso de água prioritariamente na região do Semiárido e demais áreas com escassez hídrica” ficou como linha prioritária 23 (CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS, 2011).

A Política Nacional de Meio Ambiente (Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981) estabelece mecanismos de preservação, melhoria e recuperação

da qualidade do meio ambiente visando assegurar o desenvolvimento socioeconômico e o respeito à dignidade humana (BRASIL, 1981). E o licenciamento é um desses mecanismos.

### **Alguns exemplos de reúso de água**

No Brasil, estão entrando em operação, em grandes cidades, sistemas de produção de água a partir de esgotos para atendimento de conglomerados industriais. Este é o caso do Projeto Aquapolo, que produz água industrial a partir do esgoto tratado da Estação de Tratamento de Esgotos do ABC Paulista para 10 clientes do Polo Petroquímico de Capuava, São Paulo (AQUAPOLO AMBIENTAL, 2012). O Projeto Aquapolo produz 650 L/s de água de reúso industrial, com capacidade de expansão para 1000 L/s. A água industrial é aplicada em torres de resfriamento e reposição de água de caldeira para geração de energia.

No mesmo sentido, o Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro - Comperj utilizará, no seu processo industrial, 1.500 L de água de reúso por segundo. O projeto consiste no tratamento de água de esgoto da Estação de Tratamento de Efluentes Alegria, localizada no bairro do Caju, no município do Rio de Janeiro, pela Companhia Estadual de Águas e Esgotos - CEDAE. Lá, o efluente será tratado e enviado para o Comperj para sua utilização na geração de vapor e resfriamento de máquinas. Além de não impactar o fornecimento de água da população do entorno, a reutilização de água proveniente do tratamento do esgoto reduzirá a quantidade de efluentes hoje lançados na Baía de Guanabara (PROJETO, 2011).

## **Reúso de Água para Fins Agrícolas**

### **Aspectos gerais**

#### **Necessidade de aumentar a produção agrícola**

De acordo com FAO (2006), no ano de 2030, metade dos alimentos produzidos e dois terços dos cereais colhidos no mundo virão da agricultura irrigada. FAO (2013), por sua vez, alerta que a água disponível para a agricultura diminuirá sensivelmente, chegando esta queda a 40% em 2050.

Infere-se disso que a produção de alimentos não poderá ocorrer nos níveis necessários sem o desenvolvimento de novas fontes de suprimento e a gestão adequada dos recursos hídricos convencionais. Esta condição crítica é fundamentada no fato de que o aumento da produção, não pode mais ser efetuado através da mera expansão de terra cultivada.

Segundo Ayers e Westcot (1999), a agricultura utiliza maior quantidade de água e pode tolerar águas de qualidade mais baixa do que a indústria e o uso doméstico. É, portanto, inevitável que exista crescente tendência para se encontrar na agricultura a solução dos problemas relacionados com a eliminação de efluentes.

### **Aplicação de águas residuárias no solo**

De acordo com Sammis et al. (2013), aplicar água residuária no solo é prática recomendada pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, como um método de reciclagem de nutrientes e matéria orgânica e de conservação de recursos hídricos.

Sistemas de aplicação que utilizam o solo como unidade de tratamento e não como uma área de disposição vêm ganhando aceitação na maioria das regiões áridas. Pequenas comunidades estão escolhendo tratamento primário e aplicação no solo como o sistema com maior custo-efetividade no tratamento de esgotos municipais.

A irrigação pode ser executada mais modernamente por meio de dois sistemas distintos de aplicação: por aspersão e localizado.

Macmanus et al. (2008) informam que, no método da irrigação por aspersão, o efluente normalmente é distribuído sobre o terreno, o que ocasiona maiores perdas por evaporação. Comparado com a irrigação localizada, a aspersão tem a vantagem de utilizar toda a capacidade de absorção do perfil do solo, uma vez que a percolação ocorre a partir da superfície. Existe a possibilidade de patógenos carregados pelo vento causarem doenças. Antes da irrigação, a água residuária deve receber tratamento, mas mesmo assim deve-se assegurar que pessoas e animais não entrem na área.

Os mesmos autores informam que os sistemas de irrigação localizada, por gotejamento, preferencialmente, distribuem a água residuária na zona de raízes, de forma lenta e constante, não ocorrendo perdas por evaporação na intensidade observada na aspersão. Como o efluente não é exposto ao ar, reduz-se a probabilidade de ocorrência de doenças e, por isso, não é necessário priorizar tratamento aeróbico e desinfecção. Irrigação por gotejamento também tende a causar menos odor. Trooien et al. (2002) apresentam outras vantagens da irrigação por gotejamento sobre a aspersão, das quais destacam-se: requerimentos de pressão são reduzidos; terrenos mais acidentados e de formatos irregulares podem ser utilizados; corrosão do sistema é menor, uma vez que a maioria dos componentes é de plástico; e a uniformidade de aplicação tende a ser maior.

Para operar com águas residuárias, os equipamentos de irrigação de devem ser resistentes ao impacto e à corrosão, abrasão e degradação por radiação ultravioleta comuns nos ambientes de aplicação. Além disso, emissores devem facilitar passagem de partículas não retidas nos processos anteriores do tratamento.

### **Diferenciação de reúso agrícola e aplicação de águas residuárias no solo**

Muitas vezes, é difícil diferenciar o reúso de água na agricultura e o tratamento e disposição de águas residuárias por aplicação no solo. Na verdade, a diferença primária está fundamentada na ênfase dada para a aplicação: tratamento da água residuária ou produção de culturas.

Essa ênfase pode ser variável e ajustada às necessidades locais, pois é uma vantagem do reúso agrícola de água poder fazer a complementação do tratamento do esgoto em apoio a sistemas que operam com deficiência e, ao mesmo tempo, gerar emprego e renda nas comunidades. Em outras palavras, o reúso de água para fins agrícolas traz benefícios para o setor urbano e o setor rural: o setor urbano se beneficia da redução de custos de tratamento dos esgotos e o setor rural obtém água e nutrientes a um custo relativamente baixo.

Essa vantagem torna a prática atrativa para parte representativa dos municípios brasileiros de menor porte, onde a coleta, o tratamento e a destinação das águas residuárias, por falta de interesse político ou por não se configurarem atrativos como negócio são largamente negligenciados pelo poder público ou pela concessionária dos serviços. Além disso, o setor, atuando em municípios de pequeno e até médio porte, tem apresentado inúmeras dificuldades no seu financiamento, devido aos altos custos das plantas de tratamento e à baixa capacidade de endividamento, situação essa agravada pelos limites impostos pela Lei de Responsabilidade Fiscal.

Não menos importante seria a prática como alternativa comercial para empresas de saneamento que dispõe de Estações de Tratamento de Esgotos que geram grandes volumes de efluentes tratados, próximas a áreas de produção agrícola. Neste caso, as empresas poderiam auferir receita ao comercializar a água “produzida”, com potencial de ganho maior em decorrência do valor, para os agricultores, dos nutrientes que se encontram nesta água.

Além disso, direcionar a água produzida para a agricultura justifica-se plenamente, pois embora a atividade seja grande consumidora de água, permite que se obtenha muito mais em termos de volume produzido e de valor de produção por unidade de área, se comparada com a produção de sequeiro.

### **Qualidade da água de reúso agrícola**

As águas residuárias tratadas, quando destinadas ao reúso na agricultura, devem ser avaliadas sob os aspectos de sodicidade, salinidade, excesso de nutrientes e, sobretudo, sob os aspectos sanitários: bactérias, cistos de protozoários, ovos de helmintos e vírus que criam graves problemas de saúde pública. O esgoto doméstico, em particular, quando utilizado sem tratamento adequado pode contaminar o ambiente, os trabalhadores das áreas cultivadas e os consumidores das culturas irrigadas (SOUSA et al., 2005).

Sistemas de drenagem são fundamentais em apoio a sistemas de irrigação operando com águas residuárias para evitar acúmulo de nutrientes e sais no perfil do solo. O problema de salinização e/ou alcalinização em solos é mais frequente em regiões tropicais de clima quente e seco, caracterizado por elevadas taxas de evapotranspiração e baixos índices pluviométricos, a exemplo do semiárido da Região Nordeste do Brasil (MELO, 2001).

Para o reúso de água para fins agrícolas, principalmente se for realizado com esgoto doméstico, deve ocorrer pelo menos um tratamento intermediário, que retire os patógenos, mas que preserve os teores de fósforo e ferro, para tornar o efluente mais atrativo em termos agronômicos. Não obstante essa vantagem para o produtor agrícola, a característica dessa água de reúso normalmente torna mais complexo o manejo de um sistema de reúso agrícola quando comparado a um sistema de irrigação comum.

Por essa complexidade e pelos riscos envolvidos, é fundamental que órgãos de meio ambiente e de saúde pública participem efetivamente do processo de desenvolvimento do reúso agrícola. Esta participação deve ter conotação construtiva, propiciando que o meio rural disponha de uma fonte complementar importante de água e nutrientes para as lavouras e que ocorra a melhoria das condições sanitárias e ambientais do meio em que vivemos. Essencial será a padronização nos procedimentos de licenciamento do reúso de água para fins agrícolas pelos estados, por exemplo, que exigirá a participação dessas instituições.

## **Efluentes de Estações de Tratamento de Esgotos como água de irrigação e fertilizante**

Em tese, qualquer lavoura pode ser irrigada com efluentes domésticos, embora o ideal seja priorizar alimentos que não são consumidos *in natura*, mas processados industrialmente. Dessa forma, as altas temperaturas empregadas no processamento reduziriam o risco de contaminação por organismos patogênicos (IRRIGAÇÃO, 2009).

Muitas vezes é mais viável técnica e financeiramente à concessionária adquirir áreas na proximidade das Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) para reutilizar os efluentes que não atendem totalmente às exigências ambientais que investir em novos equipamentos, como lagoas de estabilização, dentro das estações propriamente ditas. Como as estações normalmente se situam no perímetro das cidades, o aproveitamento de efluentes em áreas rurais ou periurbanas fica facilitado.

Além disso, como colocado anteriormente, ETEs com produção de grandes volumes de esgotos tratados são potenciais produtoras de água de reúso para a agricultura, mas isso exigiria o estabelecimento de um esquema comercial relativamente complexo, uma vez que é necessário que ocorram vantagens sustentáveis para o produtor de água e o agricultor.

Fazendo considerações operacionais sobre o reúso de água na agricultura, United States Environmental Protection Agency (2012) informa que, para ter-se sucesso em um sistema com este fim, os operadores de ETEs necessitam entender que a demanda de água da irrigação varia ao longo do ano em função das chuvas e das operações sazonais convencionais. A experiência tem mostrado que fixar o volume fornecido a cada agricultor raramente sobrevive à primeira estação chuvosa.

Os aspectos mais importantes para formulação de esquema para fornecimento de água e para o reúso de agrícola propriamente dito são listados a seguir: processos necessários no tratamento; sistema de distribuição; aceitação da comunidade; proteção ao solo e aos recursos hídricos; conveniência econômica; estabelecimento de direitos e responsabilidades; regime de fornecimento do esgoto; composição do esgoto; custo de construção; custo de manutenção; custo de operação; custo e preço da água de reúso; custo da produção agrícola; monitoramento; capacitação de mão de obra; e estrutura administrativa.

Especificamente quanto ao aspecto comercial, são possíveis variações no esquema delineado anteriormente, e a seguir são dados alguns exemplos: o setor urbano paga tudo e vende a água ao setor rural; o setor urbano paga o tratamento básico e o setor rural paga o polimento e a armazenagem; o setor rural paga tudo e cobra ao setor urbano pelo serviço; uma empresa privada faz tudo, cobra ao setor urbano pelo serviço e vende a água ao setor rural.

A aplicação dos nutrientes contidos nos esgotos ou efluentes tratados pode reduzir, ou mesmo eliminar, a necessidade de fertilizantes comerciais. Além disso, a matéria orgânica contida nos esgotos aumenta a capacidade do solo em reter água.

Na literatura, encontra-se uma indicação da composição média do esgoto sanitário bruto municipal: nitrogênio, 50 mg/L; fósforo, 10 mg/L; e potássio, 30 mg/L (CORCORAN, 2010). Por sua vez, quando tratados, os esgotos domésticos têm composição média variando, em comparação com o esgoto bruto, principalmente em decorrência o tratamento utilizado.

Juanicó (2008) informa que, se os agricultores não têm interesse nos nutrientes incluídos nas águas residuárias a serem reutilizadas, a remoção dos nutrientes nas estações de tratamento de esgoto se faz necessária. Se houver interesse, o tratamento deve ser adequado a isso. Para ele, projetos com águas residuárias de baixa qualidade, com possibilidade de irrigação muito limitada de cultivos, podem resultar em situações inviáveis.

### **Integração de reúso agrícola e sistemas *wetlands***

Em regiões em que existam épocas com precipitações expressivas e que se queira fazer reúso agrícola durante todo o ano, é recomendável contar-se com um sistema alternativo quando ocorrerem as chuvas. Uma opção que pode ser interessante é o sistema *wetland* (área alagada artificial). De acordo com Pitaluga (2011), nesse sistema simulam-se fenômenos que ocorrem espontaneamente na natureza, como aqueles verificados nos brejos, em que espécies vegetais purificam as águas e podem também receber o nome de zona de raízes, alagados construídos, leitos cultivados, dentre outros.

*Wetlands* construídos, utilizando esgotos tratados, podem igualmente ser utilizados para produzir culturas agrícolas.

Na Figura 2 é apresentado um projeto piloto de integração entre sistemas de irrigação com esgotos tratados e *wetlands* construídos.



**Figura 2.** Reúso de efluentes de Estação de Tratamento de Esgotos em sistemas integrados de irrigação e *wetland* construído – Nova Hanover, Carolina do Norte - EUA.

Fonte: Pilot (2013).

## **Reúso de água para fins agrícolas no Brasil**

Como colocado anteriormente, grande parte dos alimentos produzidos no futuro virão da agricultura irrigada, e o reúso de água poderá contribuir muito neste cenário em nosso País, uma vez que os agricultores brasileiros aceitam bem a prática.

Em pesquisa com agricultores de Lins, São Paulo, sobre a percepção que eles têm desse novo método, a maioria respondeu que não teria problemas em adotar o sistema, desde que ele tivesse sido validado por uma instituição de pesquisa, como a Universidade de São Paulo - USP, por exemplo. A única ressalva apontada pelos entrevistados foi quanto ao possível custo de implantação e operação do sistema (IRRIGAÇÃO, 2009).

No meio rural brasileiro, é mais comum se fazer o reúso da água contida em efluentes de criatórios de animais. No entanto, raramente a prática é

feita de maneira controlada, tendo por objetivo principal o aproveitamento de nutrientes, em episódios esporádicos, o que dificulta o estabelecimento de estatísticas.

O consumo de alimentos por uma pessoa adulta é de cerca de 1.200 gramas/dia. Em média são necessários, mundialmente, 850 L de água para produzir 1.000 gramas de produtos agrícolas. Portanto, são necessários aproximadamente 1.000 L de água diários por habitante somente para viabilização de uma dieta adequada, a serem supridas pela água de chuva e/ou irrigação e, se for o caso, complementadas por fontes alternativas, como a água de reúso.

A possibilidade de produção de arroz com água de reúso é, por exemplo, destacada em Agência Nacional de Águas (2009a), que informa que a lavoura de arroz irrigado, quando bem manejada, atua como uma grande bioacumuladora de nutrientes, filtrando e melhorando a qualidade do recurso hídrico que passa por ela e os quadros de inundação são ambientes propícios à decantação de sedimentos.

### **Regulamentação do reúso agrícola de água no Brasil**

O reúso de água na modalidade agrícola e florestal foi regulamentado, em nosso País, por intermédio da Resolução CNRH nº 121, de 16 de dezembro de 2010 (BRASIL, 2010b). No entanto, esta resolução ainda não propiciou maior desenvolvimento ao reúso agrícola em nossas terras.

Essa Resolução procura assegurar que, no reúso de água para fins agrícolas e florestais, a aplicação da água não apresente riscos ou causar danos ao meio ambiente e à saúde pública. Para isso, estabelece, em seu artigo 2º, que “as características físicas, químicas e biológicas para a água em todos os tipos de reúso para fins agrícolas e florestais deverão atender os limites definidos na legislação pertinente”. Além disso, em seu artigo 3º estabelece que “a caracterização e o monitoramento periódico da água de reúso serão realizados de acordo com critérios definidos pelo órgão ou entidade competente [...]” e “o produtor da água de reúso é responsável pelas informações constantes de sua caracterização e monitoramento”.

Quanto à responsabilidade referida ao produtor da água de reúso, pelas potencialidades existentes em decorrência dos relativamente altos volumes produzidos e pela representativa demanda de água por unidade de área cultivada com irrigação, entende-se que a aplicação mais importante

dessa determinação será observada nos casos de fornecimento de efluentes tratados, para irrigação, por Estações de Tratamento de Esgotos.

### **Reúso como fonte alternativa de água para irrigação no Brasil**

Agência Nacional de Águas (2012a) estima que 5,4 milhões/ha são irrigados no País. Essa área é 23% maior que a aferida em 2006 (4,45 milhões/ha) por IBGE (2009). Desse total, 2,6 milhões/ha são usados na produção de grãos, principalmente arroz (1,13 milhão), soja (624 mil), milho (559 mil), feijão (315 mil) e trigo (58 mil). O Brasil tem um excelente potencial de crescimento da área irrigada, uma vez que dispõe de quase 30 milhões/ha irrigáveis.

Dividindo a vazão de retirada do setor ( $1.270 \text{ m}^3/\text{s}$ ), conforme apresentada no Item 3 deste Capítulo, por 5,4 milhões/ha, e multiplicando o resultado por mil, obtém-se que cada milhar/ha irrigados no Brasil promove uma retirada média contínua ao longo do ano de  $0,235 \text{ m}^3/\text{s}$  dos mananciais. Dividindo agora a vazão de consumo ( $848,4 \text{ m}^3/\text{s}$ ) pela área, chega-se a um consumo médio de  $0,157 \text{ m}^3/\text{s}$  para cada milhar/ha.

A quantidade de esgoto por pessoa, mesmo em valores médios, varia muito de uma comunidade para outra, em função de vários fatores. Porém, independentemente dessa variação, é um volume de água considerável nas cidades em que se realiza coleta de esgotos, e que, em locais onde ocorre escassez de água, será dos últimos recursos a faltar, pois resulta de água do abastecimento doméstico, que é imprescindível (ANDRADE NETO, 1997). Esta disponibilidade de água durante todo o ano facilita sobremaneira o planejamento da exploração agrícola.

Calculando a diferença entre a retirada média de água pelo setor urbano ( $522 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e o consumo médio ( $109,1 \text{ m}^3/\text{s}$ ), ambos apresentados no Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil no Item 3 deste Capítulo, verifica-se que o Brasil dispunha, em 2010, de  $412,9 \text{ m}^3/\text{s}$  de esgotos domésticos. Acredita-se que, a partir do momento em que ocorrer a utilização de esgotos domésticos tratados na irrigação agrícola em escala significativa, será mais fácil obter dados mais confiáveis. Um trabalho com este potencial é o “Atlas Brasil de Despoluição de Bacias Hidrográficas: Tratamento de Esgotos Urbanos”, a ser publicado pela Agência Nacional de Águas, que é apresentado com mais detalhes ao final deste Capítulo.

Considerando o cálculo feito anteriormente, de que cada milhar/ha no Brasil faz, ao longo do ano, uma retirada média de água dos mananciais de 0,235 m<sup>3</sup>/s, se todo o esgoto doméstico do Brasil fosse coletado, dispor-se-ia de água para irrigar 1,76 milhão/ha. No nível de coleta de esgotos no Brasil no ano de 2010 (46,2% da população total), a área irrigável com esgoto tratado ultrapassaria 813 mil ha.

Um cálculo interessante a ser feito é considerando a potencialidade de aproveitamento dos esgotos domésticos gerados em cidades de pequeno porte. Conforme colocado anteriormente, grande parte dos municípios de pequeno porte do País apresenta reduzidos índices de tratamento de esgoto ou, quando faz tratamento, o realiza com deficiência.

De acordo com IBGE (2013), em 2010 cerca de 46,6 milhões de pessoas viviam em aglomerações urbanas de até 50 mil habitantes. Fazendo uma relação com a população total do País, infere-se que se o esgoto gerado nessas cidades, se totalmente coletado e tratado, seria suficiente para irrigar cerca de 430 mil ha. Porém, este potencial se reduz significativamente se forem consideradas cidades entre 25 mil e 50 mil habitantes, que de acordo com a mesma fonte apresentavam cerca de 14,4 milhões de habitantes. Neste caso, a água contida nos esgotos seria suficiente para irrigar aproximadamente 133 mil ha.

### **Reúso como fonte alternativa de nutrientes para as plantas no Brasil**

Além de fonte alternativa de água, o esgoto é fonte importante de nutrientes. Um metro cúbico de esgoto sanitário bruto municipal apresenta quantidades médias de nitrogênio de 50 g, de fósforo de 10 g e de 30 g de potássio.

Assumindo uma taxa de aplicação média de 5.000 m<sup>3</sup>/ha/ano, a contribuição do esgoto doméstico, tomando por base sua forma bruta, seria de 250 kg/ha/ano de nitrogênio, 50 kg/ha/ano de fósforo e 150 kg/ha/ano de potássio. Esses autores informam que, desta forma, o esgoto pode suprir toda necessidade de NPK para a produção agrícola. Além disso, que a matéria orgânica e outros micronutrientes valorosos nele contidos podem também trazer benefícios (CORCORAN, 2010).

Tomando por base a mesma composição média do esgoto, utilizada nos cálculos anteriores, os 412,9 m<sup>3</sup>/s de esgotos domésticos que o

Brasil dispunha, em 2010, poderiam acrescentar aos solos brasileiros, naquele ano, 651,1 milhões de quilogramas de nitrogênio, 130,2 milhões de quilogramas de fósforo e 390,6 milhões de quilogramas de potássio, se fossem empregados em fertirrigação.

Como o critério de teor de nutrientes na água é normalmente mais limitante que o da necessidade hídrica da cultura, infere-se que o esgoto disponível no Brasil, considerando a fertirrigação, poderia atender a uma área maior que 1,76 milhão/ha, calculados com base na retirada média de água pelo setor, sendo, muitas vezes, necessária a suplementação da irrigação com água limpa. Caso seja necessária essa suplementação, deve haver uma perfeita combinação dos aspectos “planejamento agrícola”, “métodos de irrigação” e “práticas de manejo”, pois, ao contrário pode haver pressão indesejada sobre os mananciais para obtenção de água suplementar. Problemas podem ocorrer, por exemplo, em bacias com baixa disponibilidade de água onde o reúso exija a incorporação de novas áreas ao processo produtivo e/ou presente o cultivo de espécies que exijam irrigação durante todo o ano.

O reúso de água para fins agrícolas tem grande potencial na produção de biomassa. Assim, a agricultura irrigada, que já beneficia o meio ambiente, reduzindo a necessidade de abertura de novas áreas agrícolas, ao aumentar a produtividade, poderá contribuir ainda mais, produzindo a biomassa tão necessária para consolidação de programas de biocombustíveis no Brasil.

A produção de biomassa poderia igualmente ser realizada em *wetlands* operando de maneira integrada com sistemas de irrigação que utilizem esgoto tratado.

### **Projeto de reúso de água para fins agrícolas**

De acordo com Hespanhol (2002), embora possa ser desenvolvida uma legislação relativa ao reúso, é pouco provável que, no Brasil, se estabeleça um modelo único de projeto de reúso agrícola, devido às nossas dimensões geográficas e características regionais distintas.

Para correta elaboração de projeto de reúso agrícola em terras paulistas, por exemplo, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB disponibilizou aos interessados a “Orientação para apresentação de projeto visando à aplicação de água de reúso proveniente de estação de tratamento de esgoto doméstico na agricultura”, como subsídio para a obtenção de licenciamento ambiental pelos empreendimentos (CETESB, 2007).

Esse documento fornece uma lista de restrições que devem ser observadas, quanto: (i) à condição da área a ser utilizada (não estar contida em Área de Preservação Permanente – APP, por exemplo); (ii) ao uso; (iii) ao sistema de tratamento; (iv) aos efluentes; e (v) à operação. Fornece também o conteúdo mínimo que deve fazer parte de um “Plano de aplicação de efluentes de estações de tratamento de esgoto doméstico em culturas”. Destaca-se a parte que aborda as informações que um projeto desse tipo deve trazer, principalmente, quanto à maneira que deve ser calculada a taxa de aplicação, que prevê três cálculos: taxa em função do nitrogênio disponível, taxa em função da necessidade hídrica da espécie vegetal e taxa em função da necessidade de fósforo e de potássio. Comparados os valores, a taxa de aplicação adotada deve ser a de menor valor.

Não obstante as orientações por parte da CETESB, projetos de reúso agrícola com esgoto tratado em escala plena no Estado de São Paulo têm tido dificuldades em obter o licenciamento ambiental.

### **Poder público brasileiro e estímulo e disciplinamento do reúso de água na agricultura**

Coraucii Filho et al. (2001) defendem que o uso de esgotos tratados deve ser controlado, nos seus vários aspectos, mas é necessária muita prudência no rigor excessivo da legislação sobre restrições ao uso de esgoto tratado, sob pena de se inviabilizar esta prática vantajosa.

A dificuldade de projetos de reúso de esgoto tratado em conseguir o licenciamento resultou num encaminhamento do 1º. Simpósio Internacional de Reúso de Água, ocorrido em Curitiba, Paraná, no período de 17 a 19 de outubro de 2012, para que o Conselho Nacional do Meio Ambiente - Conama elabore uma regulamentação das práticas de reúso no Brasil, suplementando as resoluções do CNRH. Nessa mesma linha, há uma “Proposta de disciplinamento do reúso direto não potável de água proveniente de estações de tratamento de esgoto sanitário para fins urbanos”, das Secretarias de Estado da Saúde, do Meio Ambiente e de Saneamento e Recursos Hídricos do Governo do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2013).

A questão do reúso agrícola de água não está contemplada explicitamente pela Política Nacional de Irrigação. No entanto, o art. 3º da Lei nº 12.787, de 11 de janeiro de 2013, que trata dessa política, traz entre os princípios que “a integração com as políticas setoriais de recursos hídricos,

de meio ambiente, de energia, de saneamento ambiental, de crédito e seguro rural e seus respectivos planos, com prioridade para projetos cujas obras possibilitem o uso múltiplo dos recursos hídricos” (BRASIL, 2013).

Hespanhol (2002) informa que, embora ocorram manifestações de reúso agrícola não planejado ou inconsciente em diversas regiões brasileiras, inclusive em algumas regiões metropolitanas, a prática do reúso de água em decorrência de ações do setor público ainda é extremamente incipiente no Brasil. Em alguns estados do nordeste, particularmente Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, alguns projetos foram implantados visando a irrigação de capim elefante com efluentes domésticos, sem nenhum tratamento e sem nenhuma forma de proteção à saúde pública dos grupos de risco envolvidos.

O Brasil carece de políticas para maior estímulo à adoção do reúso, principalmente quanto a linhas de financiamento. Uma novidade no nível federal poderia advir de uma iniciativa do Senado Federal, o PLS 154/2009, transformado no Projeto de Lei nº 7.418, de 2010, que “Autoriza o Poder Executivo a criar o Fundo Nacional de Reutilização de Água (FUNREÁGUA)” (BRASIL, 2010a).

O FUNREÁGUA teria por objetivo apoiar financeiramente projetos de reutilização de água, principalmente as seguintes ações: desenvolvimento de tecnologias apropriadas para a reutilização de água; aquisição, instalação, conservação, ampliação e recuperação de sistemas de reutilização de água em edificações residenciais, comerciais, industriais e de serviços, públicos e privados; produção e instalação de equipamentos comunitários, urbanos e rurais, destinados à reutilização de água; dar suporte financeiro aos centros de excelência engajados em promover e desenvolver tecnologias para a prática de reutilização de água [...].

Não obstante seu mérito, o Projeto de Lei nº 7.418/10 está enfrentando obstáculos na Câmara dos Deputados, especificamente na Comissão de Finanças e Tributação (CFT), onde, em junho de 2013, recebeu pareceres contrários no tocante à compatibilidade e adequação orçamentária e financeira.

### **Pesquisas sobre o reúso de água na agricultura no Brasil**

Várias pesquisas são executadas, em nosso País, sobre o reúso agrícola. A seguir, discorre-se sobre algumas delas.

Desde fevereiro de 2001, a Sabesp mantém, em Lins, São Paulo, um centro experimental multidisciplinar e especializado em pesquisas com a utilização da água de reúso para a irrigação de diferentes culturas: café, milho, cana-de-açúcar, girassol e capim Tifton 85.

Por sua vez, numa parceria da Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA com a Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes), foi desenvolvido um projeto experimental em área localizada ao lado da Estação de Tratamento de Esgoto de Janaúba, no semiárido de Minas Gerais. Na irrigação da banana, por exemplo, a aplicação de esgoto foi limitada a 150 quilogramas de sódio por hectare. Ainda assim, possibilitou economia de 16% de água de boa qualidade, e 50% e 40% das doses de nitrogênio e potássio, respectivamente (COPASA, 2013).

Num outro exemplo, a estação de tratamento de esgotos da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) de Cachoeirinha, Rio Grande do Sul, forneceu efluentes para um projeto-piloto de reutilização de água para a agricultura na Estação Experimental do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA). Após diferentes testes, houve um parecer favorável e partiu-se para a utilização 30 mil m<sup>3</sup> de água produzidos diariamente na estação da CORSAN de Cachoeirinha, suficientes para irrigar 270 ha de arroz, possibilitando a conservação de volume de água similar nos mananciais. Caso as expectativas sejam correspondidas, a partir de 2013 o projeto poderá ser implementado em plantações próximas dos locais abastecidos por estações da CORSAN, como Gravataí e Osório (PROJETO, 2013).

Experiências de uso de água residuárias em cana-de-açúcar são realizadas, por exemplo, no Centro de Pesquisa sobre Tratamento e Reúso de Águas Residuárias, localizado no município de Aquiraz, na Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará, de responsabilidade da Companhia de Águas e Esgotos do Ceará - CAGECE.

## **Ações da ANA de Incentivo e Apoio ao Reúso de Água**

### **Iniciativas gerais**

A Resolução ANA nº 567, de 17 de agosto de 2009, Anexo I, Art.40, estabelece que à Gerência de Uso Sustentável de Água e Solo – GEUSA, da Superintendência de Implementação de Programas e Projetos – SIP, compete: [...] “propor e apoiar a realização de programas de estímulo à conservação e à racionalização do uso de águas, inclusive mediante reúso” (BRASIL, 2009).

A GEUSA elaborou uma Agenda de “Uso Sustentável da Água e do Solo”, no âmbito da Agência Nacional de Águas, com a proposição de ações para ampliação da oferta de água para atender demandas atuais e futuras. A Agenda apresenta-se dividida em 3 componentes: Conservação de Água e Solo; Uso Racional e Eficiente da Água; e Fontes Alternativas.

Entre as atividades do componente C, as atividades C2 - Estudo de viabilidade técnico-econômica do uso de água de qualidade inferior para a irrigação e C6 - Estímulo à utilização de esgotos tratados no meio rural são diretamente relacionadas ao tema deste Capítulo.

A Agência Nacional de Águas publicou material técnico, elaborado por essa Agência, em parceria com outras instituições, que trata sobre o reúso de águas:

- Manual de Conservação e Reúso de Água na Agroindústria Sucroenergética, em parceria com a Federação das Indústrias do Estado de São Paulo – FIESP, a União da Indústria da Cana-de-Açúcar – UNICA e o Centro de Tecnologia Canavieira – CTC (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2009b);

- Conservação de Água e Preservação Ambiental nas Lavouras de Arroz do Rio Grande do Sul, em parceria com o Instituto Rio Grandense do Arroz – IRGA (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2009a);

- Conservação e Reúso da Água em Edificações, em parceria com a Federação das Indústrias do Estado de São Paulo – FIESP e o Sindicato da Indústria da Construção do Estado de São Paulo - SindusCon-SP (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2006); e

- Conservação e Reúso de Água – Manual de Orientações para o Setor Industrial, em parceria com Federação das Indústrias do Estado de São Paulo – FIESP/Centro das Indústrias do Estado de São Paulo – CIESP (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2004).

### **Unidade de Reúso de Água em Campina Grande, Paraíba**

A Agência Nacional de Águas celebrou um Acordo de Cooperação Técnica com a Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba - AESA, a Companhia de Água e Esgoto da Paraíba - CAGEPA e a Prefeitura Municipal de Campina Grande – PMCG para implantação de um Centro de Desenvolvimento Tecnológico em Reúso de Água em Campina Grande, Paraíba (Figura 3).



Foto: Adilson David de Barros

**Figura 3.** Vistas da “Unidade de Reúso de Água”, em Campina Grande, Paraíba, na fase de implantação: a) bateria de reatores e b) lagoas de polimento.

Ocupando uma área de 4,3 ha no Bairro da Catingueira e situada às margens do rio Bodocongó, a Unidade de Reúso de Água foi planejada para ser local de realização de pesquisas sobre o aproveitamento, na indústria e na agricultura, de esgoto doméstico tratado. O esgoto bruto a ser utilizado será captado diretamente do emissário oeste do Município, que passa paralelo ao rio, conduzindo aproximadamente metade do esgoto da cidade, que totaliza 436 L/s (BRASIL, 2014).

Prevê-se que a água produzida será aproveitada por indústrias próximas e para irrigação de várias culturas em escala experimental. A água disponível é suficiente para irrigar os experimentos a serem implantados na área.

### **Edital de Chamada Pública nº 002/2012**

Segundo já citada informação do IBGE (2013), com base em dados de 2010, as aglomerações urbanas com até 50 mil habitantes reúnem 24,5% da população total (46,6 milhões de pessoas).

É de conhecimento geral que, nessas cidades, a coleta, o tratamento e a destinação das águas residuárias, por não se configurarem atrativos como negócio às empresas de saneamento públicas ou privadas, pela baixa rentabilidade e alto risco de operação, são largamente negligenciados pelo poder público ou pela concessionária dos serviços.

Em face disso, em 2012, a Agência Nacional de Águas lançou chamada pública com o objetivo de estimular e apoiar, por meio de contratos de repasse, municípios brasileiros de pequeno porte na implantação de sistemas de reúso

de água integrados a estações de tratamento de esgotos. Foi dada preferência a municípios com carência de recursos técnicos e financeiros.

Os sistemas deveriam ser de fácil aplicabilidade, baixo custo de implantação, operação, manutenção e monitoramento, sendo capazes de produzir culturas agrícolas para alimentação animal ou de produção de bioenergia ou artesanato, procedendo, ao mesmo tempo, a melhoria dos efluentes.

As ações passíveis de financiamento pela Agência Nacional de Águas nesse Edital foram: (i) implantação de Sistema de Reúso de Água, integrando-o a Sistema de Tratamento de Esgoto que opera com eficiência considerada satisfatória; (ii) implantação de Sistema de Reúso de Água, integrando-o a Sistema de Tratamento de Esgoto que opera com deficiência; (iii) implantação de Sistema de Reúso de Água em município que não dispõe de Sistema de Tratamento de Esgoto.

As ações previstas deverão ser executadas em até 36 meses após a assinatura dos Contratos de Repasse.

Ficou estabelecido que seriam avaliadas solicitações provenientes de todo território nacional, respeitados, dentre outros, os seguintes critérios de elegibilidade: a) município com até 50.000 habitantes ou consórcios públicos intermunicipais formados por municípios com esse limite de população; b) município contar com serviço regular de abastecimento de água; e c) município contar com coleta de esgoto.

Estabeleceu-se, como referência, o repasse de R\$ 1 milhão para cada projeto, sendo aceitável uma variação desse valor de acordo com as especificidades do projeto, com previsão de contratação de pelo menos cinco projetos. Exigiu-se como contrapartida financeira 2% do valor do projeto, em conformidade com os percentuais dispostos na Lei de Diretrizes Orçamentárias – LDO 2012. Os recursos repassados pela Agência Nacional de Águas destinam-se a despesas de custeio e investimento.

A avaliação das propostas considerou duas situações: (i) municípios que tratam mais que 50% dos esgotos gerados; e (ii) municípios que tratam 50% ou menos dos esgotos gerados. Pretendeu-se, com esta distinção, permitir o apoio tanto a iniciativas em que o reúso fosse mais voltado ao aproveitamento econômico dos esgotos tratados (situação I), quanto a iniciativas de complementação do tratamento do esgoto, em apoio a sistemas com operação deficiente (situação II).

As pontuações foram conferidas com base nos seguintes fatores (Tabela 1):

**Tabela 1.** Critérios de avaliação e níveis de pontuação referentes ao Chamamento Público Agência Nacional de Águas 001/2012

Critério	Pontuação	
	Situação I	Situação II
	Vol. Trat/Vol. Gerado > 50%	Vol. Trat/Vol. Gerado ≤ 50%
<b>Porcentagem de reúso de água prevista na proposta apresentada</b>		
80 a 100%	30	30
60 a 80%	25	25
40 a 60%	20	20
Inferior a 40%	10	10
<b>Porcentagem atual de tratamento do esgoto gerado</b>		
90 a 100%	30	-
80 a 90%	25	-
70 a 80%	20	-
50 a 70%	10	-
<b>Porcentagem atual de tratamento do esgoto coletado</b>		
0 a 20%	-	30
20 a 40%	-	25
40 a 60%	-	20
60 a 100%	-	10
<b>Situação do município diagnosticada para 2015 no Atlas Brasil - Abastecimento Urbano de Água*</b>		
Requer novo manancial	15	15
Requer ampliação do sistema	10	10
Abastecimento satisfatório	5	5
Município sem informação	0	0

Continua...

**Tabela 1.** Continuação.

Critério	Pontuação	
	Situação I Vol. Trat/Vol. Gerado > 50%	Situação II Vol. Trat/Vol. Gerado ≤ 50%
<b>Necessidade de racionamento, por deficiência de disponibilidade de água nos mananciais do município, no período 2007-2011</b>		
Todos os anos do período apresentaram racionamento de água	25	25
Quatro anos do período apresentaram racionamento de água	20	20
Três anos do período apresentaram racionamento de água	15	15
Dois anos do período apresentaram racionamento de água	10	10
Um ano do período apresentou racionamento de água	5	5
Sem racionamento de água no período	0	0
<b>Máxima pontuação possível</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

\* Acesso à informação pelo link <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/Resultados.aspx>, selecionando no mapa primeiramente o estado e após o município, clicando no item “Situação da Oferta de Água”, e depois em “Avaliação Oferta/Demanda”.

- Fator 1: Porcentagem prevista de reúso de água (relação entre o volume de esgoto reusado e o volume de esgoto coletado);
- Fator 2: Porcentagem atual de tratamento do esgoto gerado (relação entre o volume de esgoto reusado e o volume de esgoto gerado);
- Fator 3: Porcentagem atual de tratamento do esgoto coletado (relação entre o volume de esgoto tratado e o volume de esgoto coletado);
- Fator 4: Situação do município quanto a oferta/demanda de recursos hídricos, diagnosticada para 2015 no Atlas Brasil – Abastecimento Urbano de Água, da Agência Nacional de Águas; e
- Fator 5: Ocorrência de racionamento, por deficiência de disponibilidade de água nos mananciais do município, no período 2007-2011.

As listas de propostas selecionadas foram publicadas pela ANA em sua página na Internet, tendo sido habilitadas as propostas dos seguintes municípios: Catarina, Nova Jaguaribara e Iracema, localizados no Estado do Ceará, e Gramado e Tapejara, no Rio Grande do Sul. Os Planos de Trabalho relativos às propostas selecionadas pela ANA estão em análise pela Caixa Econômica Federal – CAIXA. Essa instituição, na condição de mandatária da União, ficou responsável pela celebração e operacionalização, em nome da ANA, dos instrumentos jurídicos de transferência de recursos aos convenientes selecionados no Edital nº 002/2012 e pela aferição da execução do objeto. A celebração das parcerias dos municípios citados com a CAIXA está na dependência de análises documentais, e somente ocorrerá se houver o atendimento às exigências de ordem técnica e administrativa.

### **Atlas Brasil de Despoluição de Bacias Hidrográficas: Tratamento de Esgotos Urbanos**

Como informado no início deste Capítulo, é fundamental que se realize um planejamento articulado dos recursos hídricos e de sistemas de esgotamento sanitário (coleta, tratamento de esgotos e destinação final) dos municípios. Nesta articulação devem ser considerados aspectos como os padrões legais vigentes de condição de lançamento final de efluentes em corpos d'água, o enquadramento em classes de usos dos corpos receptores e os usos desejados da água nos corpos d'água que ainda não possuem metas de enquadramento. Tal planejamento deve contemplar a estruturação de planos de ações integrados para o longo prazo, com previsão de investimentos que propiciem a efetiva gestão em ambos os setores.

Uma vez que é atribuição da ANA apoiar a elaboração do planejamento em bacias e regiões hidrográficas e propor medidas, ações, projetos e programas que possam assegurar o atendimento da demanda por água em quantidade e qualidade para usos desejados, a Agência decidiu publicar o Atlas Brasil de Despoluição de Bacias Hidrográficas: Tratamento de Esgotos Urbanos.

As informações seguintes têm como base o Projeto Básico de elaboração do referido Atlas.

#### **Descrição do problema**

De forma geral, o problema da geração de esgotos sanitários nas sedes municipais brasileiras com relação aos recursos hídricos, pode ser agrupado em dois aspectos principais: (i) a infraestrutura geral dos sistemas

de esgotamento sanitário urbano e (ii) a disponibilidade hídrica para uso sustentável de diluição de efluentes sanitários urbanos.

Sobre a infraestrutura geral dos sistemas de esgotamento sanitário urbano, ressalta-se que sua falta acarreta lançamento nos corpos d'água de esgotos domésticos em estado bruto ou sem adequado tratamento. Tal fato resulta em comprometimento da qualidade de água do corpo receptor e pode inviabilizar o atendimento da demanda por água para usos pretendidos a jusante do lançamento.

O déficit de estrutura de esgotamento sanitário e os baixos índices de tratamento causam os impactos mais significativos aos recursos hídricos e à saúde pública, que precisam ser mitigados por meio de investimentos significativos. Este fato torna necessária uma avaliação técnico-econômica de solução alternativa, como: reúso potencial dos efluentes sanitários; lançamento em outro corpo receptor, com maior capacidade de diluição ou autodepuração; implantação ou redimensionamento de emissários e difusores; ou ainda, investimentos em potencialização do tratamento instalado ou mudança da tecnologia.

A identificação dos fatores citados, todavia, não torna trivial o desenho das soluções. A múltipla e complexa combinação desses fatores, diante de outras variáveis peculiares a cada espaço geográfico, bem como de questões institucionais, socioculturais e econômicas, exige esforços analíticos e metodológicos importantes para o enfrentamento do problema de esgotamento sanitário com foco na proteção dos recursos hídricos.

Mesmo considerando os esforços orientados para o aumento da capacidade de esgotamento e tratamento necessários para acompanhar o ritmo do crescimento populacional e a geração de esgotos das sedes municipais, observa-se que, em geral, os prestadores de serviços seguem a lógica do atendimento às demandas emergentes, e não há possibilidade de se estruturar um plano de ações integrado para o longo prazo.

Além disso, observa-se que, mesmo quando existente, na maioria das vezes o planejamento dos sistemas de esgotamento sanitário (expansão de redes coletoras e tratamento de esgotos sanitários) tem sido realizado sem adequada integração com o planejamento dos recursos hídricos, desvinculando-se o uso do manancial com as necessidades apropriadas que este requer de condições de tratamento e destinação final de efluentes e medidas preventivas de controle da poluição na bacia em que se insere a sede municipal.

Assim, cabe equacionar o planejamento do esgotamento sanitário nas sedes municipais, recomendando-se a concepção de uma estratégia abrangente e unificada.

### **Objetivos**

Os objetivos do Atlas são: (i) promover o diagnóstico das condições atuais de atendimento por coleta e tratamento de esgoto urbano das sedes municipais de todo o País e dos potenciais impactos nos corpos d'água receptores; e (ii) identificar alternativas técnicas para redução da carga proveniente dos esgotos urbanos, visando à compatibilização da qualidade da água dos corpos receptores com o abastecimento urbano e a reservação para usos múltiplos, assim como com as classes de enquadramento definidas, tendo como requisito mínimo o atendimento dos padrões de lançamento de efluentes de sistemas de tratamento de esgotos definidos pelo Conama.

### **Delimitação da área de abrangência**

A região objeto de interesse abrange todas as 5.565 sedes municipais do Brasil, abrangendo a totalidade da população urbana dessas sedes. Não serão contempladas áreas rurais e distritos não contidos nas áreas urbanas das sedes municipais.

### **Reúso de água e escopo dos trabalhos**

Do escopo dos trabalhos, por fazerem referência ao reúso de água, destacam-se os seguintes itens: (i) elaboração do diagnóstico; (ii) avaliação da situação dos sistemas de esgotamento sanitário; (iii) estudo de alternativas e avaliação de planejamento preexistente; e (iv) estratégias de implementação das propostas e atualização dos dados.

No tocante ao item “elaboração do diagnóstico”, a coleta, análise e integração de dados secundários sobre os sistemas de coleta e tratamento de esgotos, deverão contemplar, dentre outros temas:

- Características e capacidade instalada das unidades dos sistemas de esgotamento sanitário (rede coletora, elevatórias, coletores tronco, estações de tratamento de esgoto, emissários, destinação final do esgoto sanitário), tais como: tipo de rede, material da rede, número de ligações, número de economias ativas, volume de esgoto coletado, volume de esgoto tratado, extensão de rede coletora/coletores/emissários por diâmetro da tubulação, índice de coleta de esgoto, índice de tratamento de esgoto,

processos de tratamento adotados, reúso ou lançamento final em corpo receptor dos esgotos, idade do sistema, problemas operacionais e de infiltração na rede, etc;

- Levantamento de informações sobre práticas e projetos, implantados ou em implantação, de reúso da água pelo aproveitamento do esgoto sanitário proveniente dos Sistemas de Esgotamento Sanitários gerenciados pelo prestador de serviço de saneamento na sede do município; e

- Levantamento de informações sobre as estações de tratamento de esgotos existentes: vazões médias de lançamento dos efluentes finais (tratados ou não) em corpos receptores, eficiência de tratamento, qualidade do efluente final tratado, dificuldades e restrições para o tratamento dos esgotos e outros problemas operacionais.

No mesmo item, está contemplada a elaboração de metodologia para estimação das cargas de esgoto e o cálculo decorrente das cargas de esgoto por município.

Já o item “avaliação da situação dos sistemas de esgotamento sanitário” contemplará a situação atual e cenários para o horizonte de planejamento, utilizando ferramenta de modelagem de qualidade de água e já contemplando a apreciação do planejamento previsto pelos prestadores de serviços de esgotamento sanitário.

Por sua vez, no item “estudo de alternativas e avaliação de planejamento preexistente”, em apreciação do planejamento preexistente (Federal, Estadual e Municipal), serão abordados, dentre outros temas, a abrangência e principais características, adoção de soluções individuais e práticas de reúso do esgoto sanitário, indicação de bacias em expansão do sistema, inclusive pontos de lançamento dos esgotos tratados, estações de tratamento e elevatórias a construir dos Estudos, Projetos e Planos Diretores de Esgoto existentes. Prevê-se também a elaboração e avaliação de alternativas técnicas, dentre elas as referentes à qualidade de água do corpo receptor, buscando identificar potenciais restrições aos lançamentos de sistemas de esgotamento sanitário com base na capacidade de assimilação do corpo receptor baseando-se em parâmetros acordados com a Agência Nacional de Águas. A avaliação desse aspecto pode resultar na necessidade de proposição de medidas para redução de lançamentos de efluentes sanitários com a busca de alternativas de destinação final, por exemplo, reúso de efluentes tratados ou lançamento em outro corpo receptor.

Finalmente, para o item “estratégias de implementação das propostas e atualização dos dados”, para todas as sedes municipais em que forem constatados déficits de coleta e tratamento de esgotos nos horizontes de planejamento, deverão ser efetuadas propostas para a superação desses déficits. Vislumbra-se que esta superação poderá advir da implantação, ampliação ou otimização tecnológica de sistemas, ou ainda através da identificação de novas alternativas de destinação final dos efluentes (reúso ou corpo receptor alternativo), identificando as obras de sistemas de esgotamento sanitário necessárias, levando em conta a avaliação dos custos iniciais de implantação da infraestrutura frente aos custos de operação do sistema.

## **Considerações Finais**

Como apresentado neste Capítulo, a adoção do reúso agrícola de água é uma alternativa muito interessante de complementar o tratamento de águas residuárias, por meio de aplicação delas no solo, ou de evitar que esgotos, mesmo que adequadamente tratados, sejam lançados em corpos d’água com baixa capacidade de autodepuração.

Mostrou-se que a água residuária pode servir de fonte alternativa de água e nutrientes, conservando água de boa qualidade para usos mais nobres e possibilitando ao agricultor redução de gastos com a adubação da lavoura. Além disso, que o reúso agrícola propicia geração de emprego e renda e possibilita o aumento na segurança no fornecimento de alimentos e de energia em nosso País.

Foi também mostrado neste Capítulo que a adoção da prática exige planejamento, uma vez que, se mal conduzida, pode trazer prejuízos ao meio ambiente e à saúde pública. Além disso, a incorporação de novas áreas ao processo produtivo pode exercer pressão indesejada sobre os recursos hídricos de bacias com baixa disponibilidade hídrica caso seja necessária irrigação suplementar com água limpa. E mais, que o reúso de efluentes tratados constitui uma possibilidade importante para o gerenciamento sustentável dos recursos hídricos, entretanto, é fundamental que, antes de adotá-lo, haja a preocupação com a conservação dos mananciais, a redução de perdas e a adoção de equipamentos e processos mais eficientes;

Neste cenário, apresenta-se a seguir uma relação dos principais fatores que foram apresentados ao longo do texto no tocante à consolidação do reúso de água no meio rural brasileiro:

- Órgãos com competência legal devem propiciar a formação de arranjo institucional efetivo;
- Atividades de reúso de água na agricultura deverão ser consideradas no delineamento dos sistemas de gerenciamento ambiental e de recursos hídricos;
- Normas/procedimentos para o reúso de água na agricultura, adequados à realidade nacional, deverão ser desenvolvidos;
- Mecanismos financeiros de estímulo ao reúso agrícola de água deverão ser implementados;
- Formação de expertise nessa área de conhecimento deverá ser promovida; e
- Responsabilidades dos diferentes atores na elaboração, implantação e operação de projetos de reúso de água para fins agrícolas, bem como dos usuários dessa água, deverão ser claramente definidas.

## Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Conservação e Reúso da Água. Manual de Orientações para o Setor Industrial. Agência Nacional de Águas, Federação das Indústrias do Estado de São Paulo, Centro das Indústrias do Estado de São Paulo. Brasília, 2004. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2004/ConservacaoEReusoDeAguaSetorIndustrial.pdf>>. Acesso em: 14 jun. 2013.

\_\_\_\_\_. **Atlas Brasil**: abastecimento urbano de água – panorama nacional. Brasília, DF, 2011. Disponível em: <<http://atlas.ana.gov.br/Atlas/downloads/atlas/Resumo%20Executivo/Atlas%20Brasil%20-%20Volume%201%20-%20Panorama%20Nacional.pdf>>. Acesso em: 8 jun. 2013.

\_\_\_\_\_. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: informe 2012. Brasília, 2012a. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/arquivos/Conjuntura2012.pdf>>. Acesso em: 17 jun. 2013.

\_\_\_\_\_. **Editais de chamada pública** – ANA nº 002/2012. Seleção de projetos para desenvolvimento de ações de reúso da água em municípios de pequeno porte. Brasília, 2012. Disponível em: <[http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/noticias/20120809\\_EDITAL%20CHAMADA%20PUBLICA%20-%20ANA%20N%C2%BA%20002-2012%20Re%C3%BAso%20Munic%C3%ADpios%20Pequeno%20Porte.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/noticias/20120809_EDITAL%20CHAMADA%20PUBLICA%20-%20ANA%20N%C2%BA%20002-2012%20Re%C3%BAso%20Munic%C3%ADpios%20Pequeno%20Porte.pdf)>. Acesso em: 3 jun. 2013.

\_\_\_\_\_. Resolução nº 567, de 17 de agosto de 2009. Aprova o Regimento Interno e o Quadro Demonstrativo de Cargos em Comissão da Agência Nacional de Águas - ANA. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2009/567-2009.pdf>>. Acesso em: 11 jun. 2013.

\_\_\_\_\_. Conservação de Água e Preservação Ambiental nas Lavouras de Arroz do Rio Grande do Sul. Agência Nacional de Águas, Instituto Rio Grandense do Arroz. Brasília, 2009a. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2009/ConservacaoDeAguaEPreservacaoAmbientalNasLavourasDeArrozDoRS.pdf>>. Acesso em 16 jun. 2013.

\_\_\_\_\_. Manual de conservação e reúso de água na agroindústria sucroenergética. Agência Nacional de Águas; Federação das Indústrias do Estado de São Paulo; União da Indústria da Cana-de-Açúcar; Centro de Tecnologia Canavieira, Brasília, 2009b. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2009/ManualConservacaoReusoAguaAgroindustriaSucro.pdf>>. Acesso em: 3 jun. 2013.

ANDRADE NETO, C. O. **O uso de esgotos tratados em irrigação**. 1997. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABV0wAA/uso-esgotos-tratados-irrigacao#>>. Acesso em: 24 jun. 2013.

AQUAPOLO AMBIENTAL. **Foz, Sabesp e Braskem inauguram projeto de água de reúso**. 2012. Disponível em: <<http://www.aquapolo.com.br/2012/11/29/foz-do-brasil-e-sabesp-inauguram-o-maior-projeto-de-agua-de-reuso-do-brasil/>>. Acesso em: 16 jun. 2013.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29). Original em inglês. Tradução de H. R. Gheyi, J. F. de Medeiros e F. A. V. Damasceno.

BERTONCINI, E. I. Tratamento de efluentes e reúso da água no meio agrícola. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, São Paulo, v. 1, p. 152-169, jun. 2008. Disponível em: <[http://www.dge.apta.sp.gov.br/publicacoes/t%26ia/T&IAv1n1/Revista\\_Apta\\_Artigo\\_118.pdf](http://www.dge.apta.sp.gov.br/publicacoes/t%26ia/T&IAv1n1/Revista_Apta_Artigo_118.pdf)>. Acesso em: 11 jun 2013.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2012. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2014. 164p

\_\_\_\_\_. Câmara dos Deputados. Projeto de Lei nº 7.418 de 2010. Autoriza o Poder Executivo a criar o Fundo Nacional de Reutilização de Água (Funreágua). Disponível em: <[http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/prop\\_mostrarintegra;jsessionid=D435F25581F5F1D71E2E1E0DFC566520.node1?codteor=774660&filename=PL+7418/2010](http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra;jsessionid=D435F25581F5F1D71E2E1E0DFC566520.node1?codteor=774660&filename=PL+7418/2010)>. Acesso em: 15 jun. 2013.

\_\_\_\_\_. Congresso. Lei nº 12.787, de 11 de janeiro de 2013. Dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação; altera o art. 25 da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002; revoga as Leis nºs 6.662, de 25 de junho de 1979, 8.657, de 21 de maio de 1993, e os Decretos-Lei nºs 2.032, de 9 de junho de 1983, e 2.369, de 11 de novembro de 1987; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 14 jan. 2013. Disponível em: <<http://www.in.gov.br/visualiza/index.jsp?data=14/01/2013&jornal=1&pagina=4&totalArquivos=128>>. Acesso em: 29 jun. 2013.

\_\_\_\_\_. Congresso. Lei nº 6.983, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2 set. 1981. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm)>. Acesso em: 20 jun. 2013.

\_\_\_\_\_. Congresso. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Disponível em: <<http://www.in.gov.br/visualiza/index.jsp?data=09/01/1997&jornal=1&pagina=4&totalArquivos=64>>. Acesso em: 31 mai. 2013.

\_\_\_\_\_. Congresso. Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 jul. 2000. Disponível em: <<http://www.in.gov.br/visualiza/index.jsp?data=18/07/2000&jornal=1&pagina=29&totalArquivos=56>>. Acesso em: 31 mai. 2013.

\_\_\_\_\_. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Sistema nacional de informações sobre saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos - 2010**. Brasília, DF, 2012. Disponível em: <[http://www.snis.gov.br/arquivos\\_snis/5\\_DIAGNOSTICOS/5.1\\_Agua&Esgotos/5.1.16\\_Diagnostico2010/Tabela/Diagnostico\\_AE2010.zip](http://www.snis.gov.br/arquivos_snis/5_DIAGNOSTICOS/5.1_Agua&Esgotos/5.1.16_Diagnostico2010/Tabela/Diagnostico_AE2010.zip)>. Acesso em: 17 jun. 2013.

CÂMARA AMBIENTAL DO SETOR DE SANEAMENTO. **Proposta de disciplinamento do reuso direto não potável de água proveniente de estações de tratamento de esgoto sanitário para fins urbanos: resolução conjunta SES/SMA/SSRH**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/tecnologia-ambiental/camaras/consulta-04-2013-procedimentos.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2013.

CENTRO INTERNACIONAL DE REFERENCIA EM REÚSO DE ÁGUA. **Conservação e reúso da água**: manual de orientações para o setor industrial. São Paulo: Federação das Indústrias do Estado de São Paulo; Brasília, DF: Agência Nacional de Águas, 2004. Disponível em: < <http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/conservacao-e-reuso-da-agua-2004/>>. Acesso em: 14 jun. 2013.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Orientação para apresentação de projeto visando a aplicação de água de reúso proveniente de estação de tratamento de esgoto doméstico na agricultura. São Paulo, 2007, 11 p.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (Brasil). Resolução nº 58, de 30 de janeiro de 2006. Aprova o Plano Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: <[http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=33](http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=33)>. Acesso em: 19 jul. 2013.

\_\_\_\_\_. Resolução nº 121, de 16 de dezembro de 2010. Estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução CNRH nº 54 de 28 de novembro de 2005. Disponível em: < [http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=1414](http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=1414)>. Acesso em: 2 jul. 2013.

\_\_\_\_\_. Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=37](http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=37)>. Acesso em: 2 jul. 2013.

CONSERVAÇÃO de água e preservação ambiental nas lavouras de arroz do Rio Grande do Sul: produção mais limpa. Brasília, DF: Agência Nacional de Águas; Porto Alegre: Instituto Rio Grandense do Arroz, 2009. Disponível em: < <http://arrozeirosdealegrete.com.br/arroz/docs/conservacao.pdf> >. Acesso em: 16 jun. 2013.

CONSERVAÇÃO e reúso da água em edificações. São Paulo: Federação das Indústrias do Estado de São Paulo; Sindicato da Indústria da Construção do Estado de São Paulo; Brasília, DF: Agência Nacional de Águas, 2006. Disponível em: < <http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/conservacao-e-reuso-de-aguas-em-edificacoes-2005/> >. Acesso em: 15 jun. 2013.

COPASA transforma esgoto em fertilizante para a agricultura. Projeto pioneiro, em parceria com a Unimontes, prevê o aproveitamento dos nutrientes provenientes de efluentes tratados em benefício da sociedade e do meio ambiente. **Agência Minas**. Belo Horizonte, 22 mai. 2013. Disponível em: <<http://ruralcentro.uol.com.br/noticias/copasa-transforma-esgoto-em-fertilizante-para-a-agricultura-69514>>. Acesso em 3 jun. 2013.

CORAUCCI FILHO, B. ANDRADE NETO, C. O.; MELO, H. N. de S.; SOUSA, J. T. de; NOUR, E. A. A.; FIGUEIREDO, R. F. de. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por sistemas de aplicação no solo. In: CHERNICHARO, C. A. L. (Coord.). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios – 2001**. Belo Horizonte: PROSAB, 2001. 577 p. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/prosab/livros/ProsabCarlos/Cap-2.pdf>>. Acesso em: 27 jun. 2013.

CORCORAN, E. (Ed.); NELLEMAN, C.; BAKER, E.; BOS, R.; OSBORN, D. **Sick water?** The central role of wastewater management in sustainable development. Ottawa: GRID-Arendal, 2010, 88 p. Disponível em: <[http://www.grida.no/\\_cms/OpenFile.aspx?s=1&id=1447](http://www.grida.no/_cms/OpenFile.aspx?s=1&id=1447)>. Acesso em: 5 jun. 2013.

CORSAN. **Projeto de reutilização de água na agricultura apresenta resultados positivos**. 2012. Disponível em: <<http://www.corsan.com.br/node/726>>. Acesso em: 2 jun. 2013.

FAO destaca vínculo inseparável entre alimentação e água. **Envolverde, Jornalismo & Sustentabilidade**. São Paulo, 21 jun. 2013. Disponível em: <<http://envolverde.com.br/ips/inter-press-service-reportagens/fao-destaca-vinculo-inseparavel-entre-alimentacao-e-agua/>>. Acesso em: 24 jun. 2013.

FAO. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**. Volume 2: Wastewater use in agriculture. Geneva, 2006. Disponível em: <[http://whqlibdoc.who.int/publications/2006/9241546832\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/2006/9241546832_eng.pdf)>. Acesso em: 24 jun. 2013.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 7, n. 4, p. 75-95, out/dez 2002. Disponível em: <[http://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/2371239d0aaf41e014681d6d437c79e7\\_f553b090dfd516bcc00c055844c42f21.pdf](http://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/2371239d0aaf41e014681d6d437c79e7_f553b090dfd516bcc00c055844c42f21.pdf)> Acesso em: 22 mai. 2013.

IBGE. **Atlas do censo demográfico 2010**. Brasília, DF, 2013. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/apps/atlas/>>. Acesso em: 14 jun. 2013.

\_\_\_\_\_. **Censo agropecuário 2006**: Brasil, grandes regiões e unidades da federação. Brasília, DF, 2009. Disponível em: <[http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/51/agro\\_2006.pdf](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/51/agro_2006.pdf)>. Acesso em: 20 jun. 2013.

IRRIGAÇÃO alternativa. Grupo da USP obtém produtividade maior da cana-de-açúcar ao irrigar a lavoura com esgoto doméstico tratado. Por: Yuri Vasconcelos. Pesquisa FAPESP, São Paulo, n. 166, p. 72-75, dez. 2009. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2009/12/072-075-166.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2013.

JUANICÓ, M. Israel as a case study. In: JIMÉNEZ, B.; ASANO, T. (Ed.). **Water reuse: an international survey of current practice, issues and needs**. London: IWA Publishing, 2008. p. 483-502. (Scientific and Technical Report, 20). Disponível em: <[http://www.juanico.co.il/Main%20frame%20-%20Spanish/Publications/Wastewater%20storage%20and%20reuse/Israel\\_as\\_a\\_case\\_study.html](http://www.juanico.co.il/Main%20frame%20-%20Spanish/Publications/Wastewater%20storage%20and%20reuse/Israel_as_a_case_study.html)>. Acesso em 3 jun. 2013.

MACHADO, M. F. de S.; FIGUEIREDO, R. F. de. Utilização agrícola de esgotos sanitários tratados: legislação e estudos de casos. In: SEMINÁRIO DE ACOMPANHAMENTO DE PESQUISA EM SANEAMENTO E AMBIENTE, 3, 2011, Vitória. **Anais eletrônicos...** Campinas: Unicamp, 2011. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~sapsa05/3sapsa/IIISAPSAMariaFernanda.doc>>. Acesso em 23 jun. 2013.

MCMANUS, J.; PANGMAN, J.; LAMONT, H. **Alternatives for municipal wastewater management systems for small, rural communities in New York State**. New York: Lamont Engineers, 2008. 73 p. Disponível em: <<http://www.lamontengineers.com/documents/AlternativesManual.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2013.

MELO, H. N. de S.; MIRANDA, R. J. A.; ANDRADE NETO, C. O. de; LUCAS FILHO, M. Salinização no pós-tratamento de esgotos por disposição controlada no solo. In: CHERNICHARO, C. A. de L. (Coord.). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: [s. n.], 2001. Projeto PROSAB. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/prosab/livros/coletanea2/ART5.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2013.

PILOT Constructed Wetlands Project. **New Hanover County** - nhcgov.com, New Hanover. Disponível em: <<http://www.nhcgov.com/Environmental/Pages/Wetlands.aspx>>. Acesso em: 3 jul. 2013.

PITALUGA, D. P. da S. **Avaliação de diferentes substratos no tratamento de esgoto sanitário por zona de raízes**. 2011. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011. Disponível em: <[https://docs.google.com/file/d/0BxnldBIYZStJMDIwNTE5NTQtMTgyNy00NWUxLWFiZTQtODc2ODRiNGFkMzhl/edit?hl=en\\_US&pli=1](https://docs.google.com/file/d/0BxnldBIYZStJMDIwNTE5NTQtMTgyNy00NWUxLWFiZTQtODc2ODRiNGFkMzhl/edit?hl=en_US&pli=1)>. Acesso em: 19 jun. 2013.

**PLANO nacional de recursos hídricos: prioridades 2012-2015**. Brasília, DF: Conselho Nacional de Recursos Hídricos; Câmara Técnica do Plano Nacional de Recursos Hídricos, 2011. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/161/\\_publicacao/161\\_publicacao16032012065259.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/161/_publicacao/161_publicacao16032012065259.pdf)>. Acesso em: 13 jun. 2013.

PROJETO de reuso de esgoto poupará água da região. **Comperj Informa**, Rio de Janeiro, Ano 2, n. 20, p. 1, jun. 2011. Disponível em: <[http://www.comperj.com.br/Util/pdf/informativo\\_comperj\\_20.pdf](http://www.comperj.com.br/Util/pdf/informativo_comperj_20.pdf)>. Acesso em: 2 jul. 2013.

SAMMIS, T. W.; PICCHIONI, M. G.; SAUCEDO, D. **Management model for land application of wastewater**. Disponível em: <<http://www.irrigationtoolbox.com/ReferenceDocuments/TechnicalPapers/IA/2004/IA04-1031.pdf>>. Acesso em: 23 mai. 2013.

SÃO PAULO (Estado). Minuta de Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH, de março de 2013. Proposta de disciplinamento do reuso direto não potável de água proveniente de estações de tratamento de esgoto sanitário para fins urbanos. Secretaria de Estado da Saúde, Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Secretaria de Estado de Saneamento e Recursos Hídricos Governo do Estado de São Paulo. São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/tecnologia-ambiental/camaras/consulta-04-2013-procedimentos.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2013.

SOUSA, J. T. de; HASNDEL, A. C. van.; CAVALCANTI, P. F. F.; FIGUEIREDO, A. M. F. de. Tratamento de esgoto para uso na agricultura do Semi-Árido Nordeste. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 3, jul./set. 2005, p. 260-265. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v10n3/a11v10n3.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2013.

TROOEN, T. P.; HILLS, D. J.; LAMM, F. R. **Drip irrigation with biological effluent**. Disponível em: <<http://www.ksre.k-state.edu/sdi/Reports/2002/DIBioEff.pdf>>. Acesso em: 17 jun. 2013.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Water and wastewater reuse: an environmentally sound approach for sustainable urban water management**. Osaka, 2007. Disponível em: <[http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/Water\\_Sanitation/wastewater\\_reuse/Booklet-Wastewater\\_Reuse.pdf](http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/Water_Sanitation/wastewater_reuse/Booklet-Wastewater_Reuse.pdf)>. Acesso em: 06 jul. 2013.

WINPENNY, J.; HEINZ, I.; KOO-OSHIMA, S. **The wealth of waste: the economics of wastewater use in agriculture**. Roma: FAO, 2010. (FAO. Water Reports, 35). Disponível em: <<http://www.worldwewant2015.org/pt-br/file/303909/download/329871>>. Acesso em: 05 jul. 2013.

WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater: wastewater use in agriculture. Geneva: World Health Organization, 2006. v. 2, 196 p.

# **A evolução da irrigação no Brasil e o reúso de água**

Demétrios Christofidis

## **Introdução**

A área plantada no Brasil expandiu desde o ano de 1980 de 52,9 milhões/ha, para alcançar, no ano 2000, uma área superfície de 65,2 milhões/ha. Uma elevação de 12,3 milhões/ha em 20 anos. Os méritos do aumento da produção brasileira são decorrentes de incremento de produtividade na maioria dos cultivos decorrente de incorporações de investimentos em modernização, equipamentos apropriados, adoção de técnicas de irrigação, sementes melhoradas, racionalização do plantio e aplicação de alta tecnologia (CHRISTOFIDIS, 2003).

Com os resultados dos dois últimos censos agropecuários realizados pelo IBGE (em 1996 e 2006), foi possível observar o crescimento da área irrigada no país de 2,66 (1996) para 4,45 milhões/ha (2006). Um acréscimo, que corresponde a cerca de 1,8 milhões/ha em dez anos. Destaque especial para o crescimento da percentagem da área irrigada pelos métodos “pressurizados” de irrigação.

Os maiores desafios envolvem a necessidade de melhorar nossa capacidade de planejamento para incorporar novos projetos, modernização dos sistemas existentes para ampliar as capacidades produtivas e de gerenciamento do agronegócio, de maneira que seja adequado sob os pontos de vista tecnológicos, sociais e ambientais.

## **Potencial agrícola e de irrigação no Brasil**

A área apta para o desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada no Brasil foi estimada em 29.564.000 ha (CHRISTOFIDIS, 2009).

Tais possibilidades foram obtidas dos estudos desenvolvidos pelo MMA – Ministério do Meio Ambiente / Secretaria de Recursos Hídricos/ Departamento de Desenvolvimento Hidroagrícola, em 1999, que consideraram:

- a) a existência de solos aptos à prática da irrigação (classes 1 a 4);
- b) a disponibilidade de recursos hídricos sem risco de conflitos com outros usos prioritários da água;
- c) a existência de suporte elétrico quando a irrigação preconizada era pressurizada;
- d) o atendimento das condições da legislação ambiental; e
- e) o atendimento das condições do Código Florestal.

**Tabela 1.** Potencial para o desenvolvimento sustentável da irrigação no Brasil (ha)

<b>REGIÕES / Estados</b>	<b>Área Potencial</b>	<b>REGIÕES / Estados</b>	<b>Área Potencial</b>
<b>NORTE</b>	<b>14.598.000</b>	<b>SUDESTE</b>	<b>4.229.000</b>
Rondônia	995.000	Minas Gerais	2.344.900
Acre	615.000	Espírito Santo	165.000
Amazonas	2.852.000	Rio de Janeiro	207.000
Roraima	2.110.000	São Paulo	1.512.100
Pará	2.453.000	<b>SUL</b>	<b>4.507.000</b>
Amapá	1.136.000	Paraná	1.348.200
Tocantins	4.437.000	Santa Catarina	993.800
<b>NORDESTE</b>	<b>1.304.000</b>	Rio Grande do Sul	2.165.000
Maranhão	243.500	<b>CENTRO-OESTE</b>	<b>4.926.000</b>
Piauí	125.600	Mato Grosso do Sul	1.221.500
Ceará	136.300	Mato Grosso	2.390.000
Rio Grande do Norte	38.500	Goiás	1.297.000
Paraíba	36.400	Distrito Federal	17.500
Pernambuco	235.200		
Alagoas	20.100	<b>TOTAL BRASIL</b>	<b>29.564.000</b>
Sergipe	28.200		
Bahia	440.200		

Fonte: Adaptado por Chistofidis (2002).

Segundo o Censo Agropecuário do IBGE, referente ao ano de 2006 e publicado em final de setembro de 2009, as 10 culturas com maiores áreas irrigadas e correspondentes áreas colhidas sem irrigação estão presentes na Tabela 2.

**Tabela 2.** As dez culturas com maiores áreas irrigadas no Brasil (IBGE, 2009).

Culturas	Área Colhida (ha)	
	Irigado	Não Irrigado
Cana-de-açúcar	1.705.200	3.872.432
Arroz em casca	1.128.860	1.280.705
Soja	624.196	15.022.783
Milho em grão	559.025	11.165.336
Feijão de cor	195.166	1.229.675
Laranja	157.520	439.398
Café canephora (robusta, conilon)	137.392	258.165
Café arábica em grão verde	124.764	1.167.529
Feijão-fradino, caupi, de corda ou macáçar	120.739	2.017.662
Cebola	85.727	50.236
Melancia	66.088	100.888
Algodão	59.894	727.078
Trigo	58.785	1.241.214

Fonte: IBGE (2009).

Os levantamentos das áreas irrigadas pelos diversos métodos e por estado, no Brasil (Censo Agropecuário do IBGE - 2006), indicaram que havia 4,454 milhões/ha irrigados no País no ano de 2006, como mostra a Tabela 3.

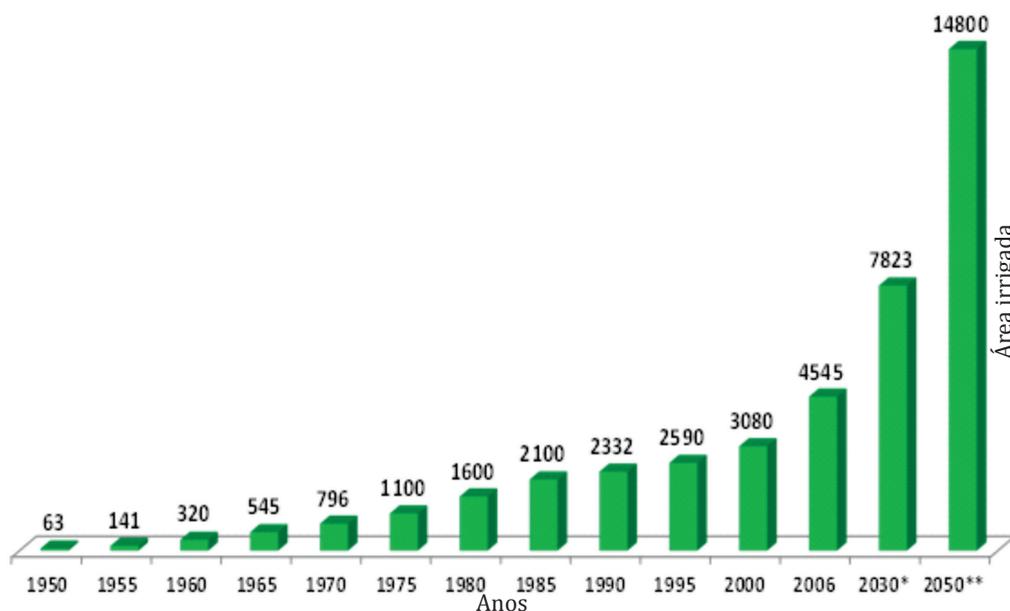
O Censo Agropecuário do IBGE, realizado no ano de 2006, mostra que as áreas irrigadas pelo método de irrigação por superfície (inundação e sulcos), correspondiam a 1,341 milhão/ha, ou seja, 30,1% da área total irrigada do país. Os métodos de irrigação por aspersão e irrigação localizada, comumente conhecidos no meio técnico como “pressurizados”, foram os que mais evoluíram, representando, em 2006, cerca de 70%, mais que 3,1 milhões/ha dedicados à agricultura irrigada. A incorporação de áreas dominadas pelo método de irrigação localizada (gotejamento, micro-aspersão), elevou-se para aproximadamente 328 mil ha.

**Tabela 3.** Áreas irrigadas, métodos, estados, regiões: Brasil (2006), em ha.

Referências	Total irrigado	Inundação	Sulco	Pivô Central	Aspersão	Localizado	Outros métodos
<b>BRASIL</b>	<b>4.453.925,11</b>	<b>1.084.736,46</b>	<b>256.668,27</b>	<b>840.048,09</b>	<b>1.572.960,21</b>	<b>327.866,52</b>	<b>371.647,08</b>
<b>Norte</b>	<b>107.789,21</b>	<b>34.309,82</b>	<b>3.906,57</b>	<b>8.777,65</b>	<b>30.277,21</b>	<b>5.017,65</b>	<b>25.500,35</b>
Rondônia	14.129,81	951,64	893,64	718,40	8.871,51	843,74	1.850,91
Acre	1.453,61	x	27,63	-	68,21	40,00	1.313,77
Amazonas	6.132,97	977,84	39,61	x	400,04	473,18	4.175,94
Roraima	12.995,68	11.447,30	148,40	x	293,79	26,75	959,44
Pará	29.332,80	3.375,55	1.733,85	2.087,55	7.917,33	2.283,55	11.934,98
Amapá	2.404,21	146,01	16,07	-	375,11	54,65	1.812,37
Tocantins	41.340,13	17.407,48	1.047,37	5.785,34	12.351,22	1.295,78	3.452,94
<b>Nordeste</b>	<b>985.347,63</b>	<b>69.619,24</b>	<b>109.713,27</b>	<b>201.281,62</b>	<b>407.769,80</b>	<b>102.969,96</b>	<b>93.994,80</b>
Maranhão	63.929,96	4.461,16	4.600,28	8.773,62	29.223,68	1.994,31	14.876,90
Piauí	22.272,01	7.330,09	3.302,47	1.271,00	2.769,22	2.830,08	4.769,06
Ceará	117.059,32	21.363,76	11.812,81	4.998,91	34.609,72	18.357,39	25.916,96
Rio Grande do Norte	54.715,68	3.457,21	3.256,98	7.926,25	27.231,17	9.748,62	3.095,42
Paraíba	58.683,27	3.789,25	4.613,64	9.834,00	33.525,43	3.789,01	3.131,96
Pernambuco	152.917,07	6.324,81	21.035,72	20.887,27	73.264,14	17.828,41	13.576,79
Alagoas	195.764,03	2.057,74	3.065,96	73.040,85	110.048,75	3.866,39	3.684,39
Sergipe	20.520,82	3.774,59	1.842,15	5.509,63	5.524,03	3.023,68	846,81
Bahia	299.485,47	17.060,63	56.183,26	69.040,09	91.573,66	41.532,07	24.096,51
<b>Sudeste</b>	<b>1.586.744,28</b>	<b>27.744,15</b>	<b>28.319,57</b>	<b>395.586,69</b>	<b>736.589,45</b>	<b>192.814,12</b>	<b>205.690,56</b>
Minas Gerais	525.250,31	11.586,95	11.663,85	166.690,79	168.059,49	66.330,13	100.919,19
Espírito Santo	209.801,09	3.071,96	2.253,64	23.318,94	115.535,24	51.534,16	14.087,23
Rio de Janeiro	81.682,12	2.822,89	5.525,20	11.339,16	43.974,67	3.532,09	14.488,09
São Paulo	770.010,76	10.262,35	8.876,88	194.237,80	409.020,05	71.417,74	76.196,05
<b>Sul</b>	<b>1.224.578,11</b>	<b>923.825,92</b>	<b>82.547,73</b>	<b>61.348,91</b>	<b>108.426,62</b>	<b>17.653,54</b>	<b>30.775,48</b>
Paraná	104.244,36	12.100,03	2.452,79	15.542,29	56.035,01	6.321,62	11.792,70
Santa Catarina	136.248,57	98.532,46	10.947,86	1.019,60	19.159,85	2.430,40	4.158,41
Rio Grande do Sul	984.085,18	813.193,43	69.147,08	44.787,02	33.231,76	8.901,52	14.824,37
<b>Centro-Oeste</b>	<b>549.465,88</b>	<b>29.237,33</b>	<b>32.181,13</b>	<b>173.053,22</b>	<b>289.897,13</b>	<b>9.411,25</b>	<b>15.685,89</b>
Mato Grosso Sul	116.611,71	20.067,64	17.840,31	26.026,43	49.201,66	864,33	2.611,35
Mato Grosso	148.424,55	963,00	1.397,27	30.909,04	106.505,70	2.459,85	6.189,71
Goiás	269.921,26	8.180,72	12.738,97	108.509,69	129.387,38	4.597,92	6.506,60
Distrito Federal	14.508,36	25,97	204,58	7.608,06	4.802,39	1.489,15	378,23

Fonte: IBGE (2009).

A Figura 1 mostra a evolução da área irrigada no Brasil e suas perspectivas para o futuro (CHRISTOFIDIS, 2011), onde mostra que em 44 anos (2006 a 2050) há uma expectativa de incremento de cerca de 10 milhões/ha irrigada. Os dados demonstra o potencial que tem país em desenvolver a agricultura irrigada. Não obstante este valores poderiam ser bem maiores se adotarmos o reúso da água como mais uma estratégia para o uso racional dos recursos hídricos.



Fonte: (\*) Estimativa: FAO Agricultural Outlook 2010-2019. (\*\*) Estimativa: CHRISTOFIDIS, Demetrios (2011)

**Figura 1.** Evolução da área irrigada no Brasil em milhões/ha (Período 1950-2050)

## Reúso de água para irrigação e legislação

A escassez de água e as dificuldades ao garantir o fornecimento e a disponibilidade de recursos hídricos têm elevado às atenções para o reúso das águas residuais.

Por condições de precaução as opções de reúso direto não potável de resíduos líquidos destacam-se em prioridade para os fins de cultivos não alimentares e propostas florestais.

As sinalizações da Constituição Federal brasileira de 1988 para ser criado um Sistema Nacional de Gerenciamento de RH e as definições da lei

nº 9.433 de 1997, com os instrumentos da Política Nacional de Irrigação, em especial, com a necessidade de outorga pelo uso dos recursos hídricos e de possibilidade cobrança pelo uso dos recursos hídricos que forem outorgados, constituíram-se em razões adicionais para que as indústrias (empreendedores) e os responsáveis pelos usos agrícolas passassem a considerar o reúso de águas servidas como opção para suas atividades.

Um primeiro avanço neste campo foi obtido junto ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos CNRH com a Resolução nº 54, em 28 de novembro de 2005, que “*decidiu estabelecer modalidades, diretrizes gerais que regulamentem e estimulem a prática de reúso direto não potável de água em todo o território nacional*”

A Resolução nº 54/2005 teve o propósito de ser a primeira de uma série de resoluções posteriores que tratariam das especificidades inerentes a diversas modalidades de reúso de água.

*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 aquicultura: utilização de água de reúso para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos.*

O § 1º explica que *as modalidades de reúso não são mutuamente excludentes, podendo mais de uma delas ser empregada simultaneamente em uma mesma área*, e o § 2º define que *as diretrizes, critérios e parâmetros*

*específicos para as modalidades de reúso definidas nos incisos deste artigo serão estabelecidos pelos órgãos competentes.*

Nos períodos do biênio 2006/2007 foi constituído, no âmbito da Câmara Técnica de Ciência e Tecnologia – CTCT, um Grupo de Trabalho, composto de representantes das diversas instituições com maior interesse nas vantagens do reúso de águas. O “GT Reúso” teve condições de apresentar, após oito reuniões, uma versão de proposta de resolução para a modalidade de reúso para fins agrícolas e florestais: aplicação de água de reúso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas.

O trâmite da proposta foi prolongado e os debates foram intensos, levando a que, em 16 de dezembro de 2010, os conselheiros do CNRH aprovassem os termos da Resolução nº 121 que ***“estabelece diretrizes e critérios para a prática do reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal”***, conforme texto a seguir:

*RESOLUÇÃO Nº 121, DE 16 DE DEZEMBRO DE 2010 (publicada no D.O.U em 16/03/2011) “Estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro de 2005.”*

*O CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS – CNRH, no uso das competências que lhe são conferidas pelas leis nºs 9.433, de 8 de janeiro de 1997 e 9.984, de 17 de julho de 2000, e pelo Decreto nº 4.613, de 11 de março de 2003, e tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, anexo à Portaria nº 377, de setembro de 2003 e o que consta do processo nº 02000.000455-2008-16, e*

*Considerando a Década Brasileira da Água, instituída por decreto de 22 de março de 2005, cujos objetivos são promover e intensificar a formulação e implementação de políticas, programas e projetos relativos ao gerenciamento e uso sustentável da água, em todos os níveis, assim como assegurar a ampla participação e cooperação das comunidades voltadas*

*ao alcance dos objetivos contemplados na Política Nacional de Recursos Hídricos ou estabelecidos em convenções, acordos e resoluções a que o Brasil tenha aderido;*

*Considerando a resolução CNRH n° 54, de 28 de novembro de 2005, que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água;*

*Considerando a diretriz adotada pelo Conselho Econômico e Social da Organização das Nações Unidas – ONU, segundo a qual, a não ser que haja grande disponibilidade, nenhuma água de boa qualidade deverá ser utilizada em atividades que tolerem águas de qualidade inferior;*

*Considerando que o reúso de água reduz a descarga de determinados poluentes em corpos receptores, conservando os recursos hídricos para o abastecimento público e outros usos mais exigentes quanto à qualidade; e*

*Considerando que uma das diretrizes gerais de ação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGREH é a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental, conforme inciso III do art. 3° da Lei n° 9.433, de 1997, resolve:*

*Art. 1° Estabelecer diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução n° 54, de 28 de novembro de 2005, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos.*

*Art. 2° As características físicas, químicas e biológicas para a água em todos os tipos de reúso para fins agrícolas e florestais deverão atender os limites definidos na legislação pertinente.*

*Art. 3º A caracterização e o monitoramento periódico da água de reúso serão realizados de acordo com critérios definidos pelo órgão ou entidade competente, recomendando-se observar:*

*I – a natureza da água de reúso;*

*II – a tipologia do processo de tratamento;*

*III – o porte das instalações e vazão tratada;*

*IV – a variabilidade dos insumos;*

*V – as variações nos fluxos envolvidos; e*

*VI – o tipo de cultura.*

*Parágrafo único. O produtor da água de reúso é responsável pelas informações constantes de sua caracterização e monitoramento.*

*Art. 4º A aplicação de água de reúso poderá ser condicionada, pelo órgão ou entidade competente, à elaboração de projeto que atenda os critérios e procedimentos por estes estabelecimentos.*

*Art. 5º A aplicação de água de reúso para fins agrícolas e florestais não pode apresentar riscos ou causar danos ambientais e à saúde pública.*

*Art. 6º As concentrações recomendadas de elementos e substâncias químicas no solo, para todos os tipos de reúso para fins agrícolas e florestais, são os valores de prevenção que constam da legislação pertinente.*

*Art. 7º A Caracterização e o monitoramento periódico do solo que recebe a água de reúso serão realizados de acordo com critérios definidos pelo órgão ou entidade competente.*

*Art. 8º Qualquer acidente ou impacto ambiental, decorrente da aplicação da água de reúso que possa comprometer os demais usos da água no entorno da área afetada, deverá ser informado imediatamente ao órgão ou entidade competente e ao respectivo Comitê de Bacia Hidrográfica pelo produtor, distribuidor e usuário da água de reúso.*

*Art. 9º Os métodos de análise para determinação dos parâmetros de qualidade da água e do solo devem atender às especificações normativas pertinentes.*

*Art. 10 Esta resolução entra em vigor na data de sua publicação.*

Brega Filho e Mancuso (2003), “comentam que “*de uma maneira geral, o reúso da água pode ocorrer de forma direta ou indireta, através de ações planejadas ou não planejadas.*” Citam que “*de acordo com a Organização Mundial da Saúde (1973), tem-se:*”

• **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;

• **Reúso direto:** é o uso planejado e deliberado de efluentes tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável;

Lavrador Filho (1987) sugere uma terminologia para efeito de uniformização de linguagem:

• **Reúso planejado de água:** que ocorre quando o reúso é resultado de uma ação humana consciente, adiante do ponto de descarga do efluente a ser usado de forma direta ou indireta. O reúso planejado das águas pressupõe a existência de um sistema de tratamento de efluentes que atenda aos padrões de qualidade requeridos pelo novo uso que se deseja fazer da água. O reúso planejado também pode ser denominado Reúso Intencional da Água.

• **Reúso indireto planejado de água:** ocorre quando os efluentes, depois de convenientemente tratados, são descarregados de forma planejada nos corpos d’água superficiais ou subterrâneos, para serem utilizados a jusante em sua forma diluída e de maneira controlada, no intuito de algum uso benéfico.

O reúso indireto planejado da água pressupõe que, além do controle feito a montante, na descarga, e a jusante, na captação, exista também um controle das eventuais novas descargas de efluentes nesse percurso, para garantir que, além das ações naturais do ciclo hidrológico, o efluente tratado esteja sujeito apenas a eventuais misturas com outros efluentes lançados no corpo de água os quais também atendam aos requisitos de qualidade do reúso objetivado.

Neste caso, a descarga do efluente tratado no meio ambiente pode ocorrer para melhoria de sua qualidade, para armazenamento, para uma modulação de vazões ou até mesmo por motivos psicológicos do usuário localizado a jusante.

• **Reúso direto planejado de água:** ocorre quando os efluentes, após convenientemente tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reúso; sofrendo em seu percurso os tratamentos adicionais e armazenamentos necessários, mas não sendo, em nenhum momento, descarregados no meio ambiente.

A definição de **reúso não potável** também é citada por Brega Filho e Mancuso (2003), assim:

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

A maioria dos autores consultados classifica o **reúso não potável para fins agrícolas** de acordo com o tipo de cultura que o utiliza, sendo que Westerhoff (1985), o apresenta em dois grupos:

**Primeiro grupo:** Plantas não comestíveis: silvicultura, pastagens, fibras e sementes.

**Segundo grupo:** Plantas consumidas cozidas e as plantas consumidas cruas.

Existe também o reúso não potável para fins recreacionais, que é uma classificação reservada ao reúso direto de água para abastecimento de corpos de água superficiais como lagos, reservatórios e rios usados para fins recreacionais. Nessa modalidade há usos em paisagismo como **irrigação** de jardins e parques públicos, lagos ornamentais e também usos na **irrigação** de campos esportivos.

**O tema de qualidade da água na agricultura brasileira está associado diretamente a três políticas:**

- a) Política Nacional de Meio Ambiente aprovada pela Lei nº 6.938/1981, pelas resoluções Conama nº 357/2005 e Conama nº 430 de 13 de maio de 2011.

- b) Política Nacional de Recursos Hídricos, criada pela lei nº 9.433/1997 e pelo disposto nas resoluções CNRH nº 54/2005 e 121/2010;
- c) Política Nacional de Irrigação, lei nº 6. 662/79 e pelo PL 6.381/2005 em trâmite no Congresso Nacional e em fase de apreciação no Plenário da Câmara dos Deputados.

## Referências

- BREGA FILHO, D.; MANCUSO, P. C. S. Conceito de reúso de água. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. dos (Ed.). **Reúso de Água**. São Paulo: Manole, 2003. 550 p.(Coleção Ambiental).
- CHRISTOFIDIS, D. Brazil. In: FAO. **Irrigation in Latin America and the Caribbean in Figures**. Roma, 2000. p. 113-126. (Water Reports, 20).
- \_\_\_\_\_. Irrigação: A fronteira hídrica na produção de alimentos, **Item**, Brasília, DF, n. 54, p. 46-55, abr. 2002.
- \_\_\_\_\_. Recursos hídricos, irrigação e segurança alimentar. In: FREITAS, M. A. V. (org.). **Estado das águas no Brasil, 2001-2002**. Brasília, DF: Agencia Nacional de Agua, 2003. p.111-134.
- \_\_\_\_\_. Os 10 + da irrigação. **Item**, Brasília, DF, n. 83/84, 3º e 4º Trim. p. 50-54, 2009.
- CHRISTOFIDIS, D. Dynamics and water use in sustainable agricultural systems in the brasilian cerrado. In: CHRISTOFIDIS, D.; GORETTI, G. S. (Org.). Sustainable Water Management in the tropics and subtropics. Jaguarão/RS: , 2011, v. 1, p. 1272-1310.
- IBGE. **Censo Agropecuário 2006**. Rio de Janeiro, 2009.
- LAVRADOR FILHO, J. Contribuição para o entendimento do Reúso planejado das águas e algumas considerações sobre suas possibilidades no Brasil. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica de São Paulo-USP, São Paulo, 1987.
- WESTERHOFF, G.P. Un update of research needs for water reuse. In: WATER REUSE SYMPOSIUM, 3.,1984, San Diego. **Future of water reuse**: proceedings of water reuse symposium III. Denver: AWWA Research Foundation, c1985. p. 1731-1742.

# Reúso de água na agricultura: estado da arte e perspectivas

Antonio Teixeira de Matos

## **Bases conceituais da disposição controlada de águas residuárias no solo**

### **Introdução**

A disposição de águas residuárias, tratadas ou não, no solo (Figura 1) é de interesse crescente por ser adequada, em termos técnicos, econômicos e ambientais, como alternativa às formas de tratamento convencional.

A técnica tem sido considerada especialmente adequada para emprego em pequenas comunidades urbanas; zona rural; bairros isolados de cidades de grande porte; agroindústrias etc.

### **Vantagens da disposição controlada no solo.**

Dentre as vantagens da utilização do solo como forma de tratamento/disposição final das águas residuárias estão as seguintes:

- o solo é um meio filtrante que possibilita remoção de sólidos em suspensão e dissolvidos, além de patógenos, presentes na água residuária;
- não lançamento em corpo hídrico receptor superficial;
- possibilidade de aproveitamento da água e, principalmente, dos nutrientes e material orgânico contido na água residuária:
  - em recarga de aquíferos, concorrendo para aumento na disponibilidade de água no sistema;
  - em fertirrigação, o que possibilita aumento na produtividade agrícola das culturas.

- baixo investimento na implantação do sistema de tratamento/disposição final, quando comparado aos sistemas convencionais;
- baixo custo de operação e consumo de energia → custo final de 30 a 50% do tratamento convencional;
- pequena exigência e capacitação de mão-de-obra.

Em vista do exposto, o tratamento/disposição de águas residuárias no solo deve ser vista como excelente opção para países de clima tropical, com grande extensão territorial e áreas disponíveis para sua implantação.

### **Histórico do aproveitamento agrícola de águas residuárias**

O tratamento/disposição final de águas residuárias no solo não é novo, tendo sido utilizado há muito tempo. Essa técnica tem sido aplicada desde os tempos da Grécia e Roma antigas.

No período de 1840-1890, houve grande desenvolvimento da técnica e sua aplicação passou a ser aplicada intensivamente na Inglaterra e EUA, como alternativa à falta de saneamento nas grandes cidades que se formavam. Com o advento do uso do cloro como eficiente agente de desinfecção de águas residuárias, o que ocorreu por volta de 1910, as pesquisas e o emprego da técnica diminuiu. Em 1950, voltou, no entanto, a ser valorizada, tendo em vista que percebeu-se que era a única alternativa de baixo custo para minimizar a eutrofização de corpos hídricos receptores. Em 1977, passou a ser considerada como técnica de alta eficiência no controle de agentes patogênicos e de outros poluentes presentes em esgoto sanitário.

Hoje, o tratamento/disposição final de águas residuárias tem sido empregado para esgoto sanitário, na forma bruta ou tratada, na Inglaterra, China, Áustria, México, França, África do Sul, Argentina, Israel, Índia, Hungria, Bélgica, EUA, Austrália, Espanha, Portugal etc.

### **Fertirrigação com água residuária**

#### **Introdução**

A fertirrigação de culturas agrícolas com águas residuárias é prática crescente em todo o planeta. Na Austrália, esgoto tratado tem sido utilizado

na fertirrigação de 240 km<sup>2</sup> de área de cultivo de hortaliças (82% do total das águas reutilizadas); no México, desde 1890, águas residuárias tratada ou minimamente tratadas da Cidade do México são utilizadas na fertirrigação de 90.000 ha de terras agrícolas de cultivo de milho e até hortaliças; na Grécia, o esgoto tratado utilizado na fertirrigação de vinhas, beterraba açucareira, tomate e flores. Neste mesmo país, o cultivo hidropônico utilizando esgoto doméstico está em estudo. Na Argentina, o efluente de lagoas de estabilização tem sido utilizado na fertirrigação de vinhas, florestas, oliveiras, alfafa, fruteiras, área de 3.640 ha.

Em todo mundo, o maior aumento na área de fertirrigação com águas residuárias tem ocorrido em regiões de clima árido em Israel, Jordânia, Kuwait, Tunísia, Emirados Árabes Unidos, Portugal, Espanha, sul da França e Grécia.

Para que se possa entender, de forma adequada o conceito da fertirrigação, que visa adubação do solo com águas residuárias, torna-se necessário, primeiro, diferenciá-la da irrigação. Com a irrigação, objetiva-se fornecer água às plantas de forma a atender suas necessidades hídricas. A fertirrigação é uma forma de adubação, em que a água residuária é a fonte de nutrientes, por essa razão, as doses de água residuária a serem aplicadas no solo nada têm a haver com atendimento às necessidades hídricas e sim necessidades nutricionais da cultura. Com isso torna-se possível o entendimento da técnica.

Como se trata de adubação, a adição de nutrientes deve ser feita em quantidades levemente superiores às necessidades da cultura, por essa razão, deve estar baseada no nutriente cuja quantidade seja satisfeita com a menor dose de água residuária.

### **Aspectos a serem considerados na fertirrigação com águas residuárias.**

#### **a) Aspectos sanitários**

Na Tabela 1, apresentado abaixo, estão apresentados os tempos de sobrevivência de diferentes microrganismos no solo e culturas agrícolas.

Considerando-se que as aplicações possam ser interrompidas por tempos até maiores que 2 meses, antes de efetuadas as colheitas, verifica-se que, dos microrganismos citados, os ovos de helmintos (vermes) devem ser a principal preocupação quando da aplicação de águas residuárias de

**Tabela 1.** Tempo de sobrevivência de microrganismos no solo e culturas agrícolas.

Patógeno	Tempo de sobrevivência (dias)	
	Solo	Culturas agrícolas
Vírus		
Enterovírus*	< 20	< 15
Bactéria		
Coliformes fecais	< 20	< 15
<i>Salmonella</i> spp.	< 20	< 15
<i>Shigella</i> spp.	---	< 5
<i>Vibrio cholerae</i>	< 10	< 2
Protozoários		
Cistos de <i>Entamoeba histolytica</i>	< 10	<15
Helmintos		
Ovos de <i>Ascaris lumbricoides</i>	Muitos meses	Muitos meses

\*inclui pólio, echo e coxsackie viroses

Fonte: Shuval et al., 1990.

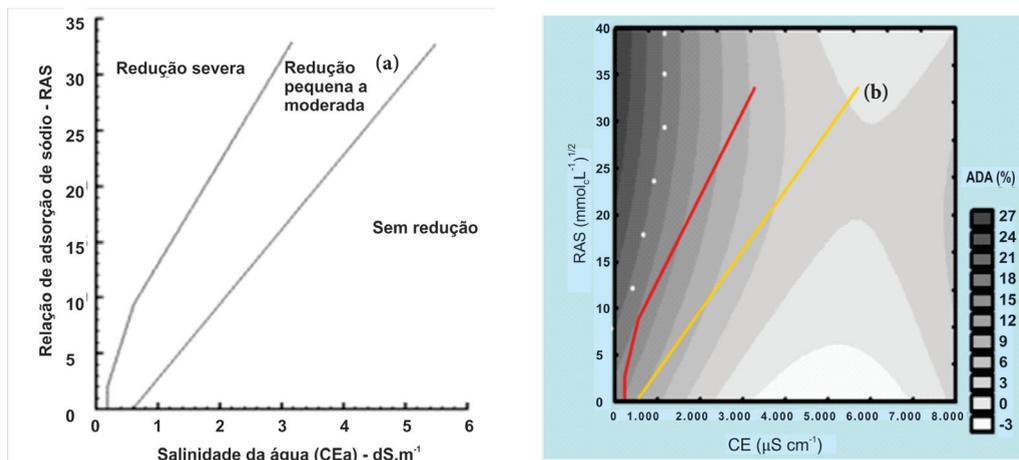
origem doméstica ou animal em culturas agrícolas. Entretanto, sabe-se que a remoção desses ovos pode ser facilmente conseguida quando se utilizam sedimentadores com tempo de detenção hidráulica superior a 2 h.

#### b) Aspectos ambientais

Em termos de aspectos ambientais, os principais riscos da disposição de águas residuárias no solo são:

- risco de poluição do solo com metais pesados e outras substâncias tóxicas
- risco de dispersão da argila do solo;

Na Figura 1 estão apresentados os diagramas de risco de dispersão de argila de solos de regiões de clima temperado (a) e tropicais (b), que causariam sua perda de permeabilidade, em função da condutividade elétrica (CE) e da razão de adsorção de sódio (RAS) da água.



**Figura 1.** Risco de diminuição da permeabilidade do solo (AYERS e WESTCOT, 1991): a) literatura internacional (adaptado de ALMEIRA NETO et al., 2009).

### c) Solos tropicais

- Salinização do solo e, ou, contaminação de águas subterrâneas

Caso a água residuária seja aplicada em dose que supere o que está recomendado para atendimento das necessidades nutricionais, das duas uma. Ou haverá acúmulo de sais no solo, como ocorre em regiões de baixos índices pluviométricos, ou haverá contaminação de águas subterrâneas, como é o caso de regiões de altos índices pluviométricos.

Exemplo de situação: “Fertirrigação do capim-mombaça com diferentes lâminas de efluente primário de esgoto doméstico, estabelecidas com base na dose aplicada de sódio” Silva (2010). Nesse trabalho, foi feita a aplicação de efluente primário de esgoto sanitário nas taxas de 0 a 300 kg ha<sup>-1</sup> de Na (utilizado como elemento químico referência), via esgoto sanitário (aplicação de 6000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ou 600 mm), conforme apresentado na Figura 2.

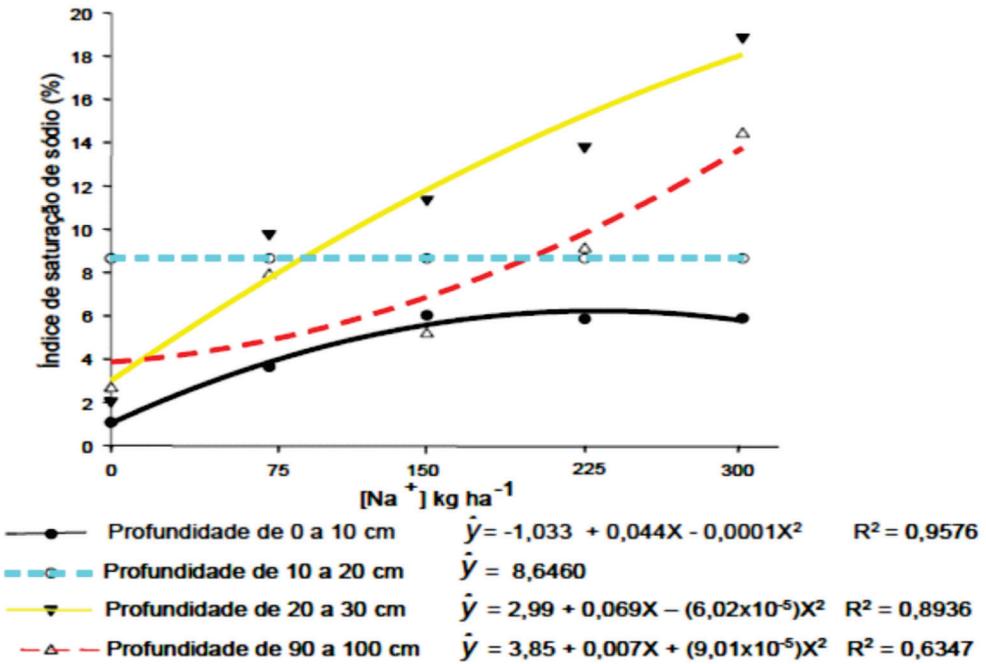
Na Figura 3 está apresentado o índice de saturação (percentual ocupado da capacidade catiônica) do solo com sódio.

### d) Aspectos agrônômicos.

Os principais aspectos agrônômicos a serem considerados quando do tratamento/disposição final de águas residuárias no solo são:



**Figura 2.** Aspecto geral do capim mombaça fertirrigado com diferentes doses de sódio, aplicado via esgoto sanitário. Fonte: Silva (2010).



**Figura 3.** Índice de saturação de sódio em cada profundidade do solo receptor de esgoto sanitário. Fonte: Silva (2010).

- a água residuária pode ser aplicada em áreas de cultivo de culturas anuais ou perenes, preferencialmente aquelas de grande capacidade de extração de nutrientes durante todo o ano;
- aspectos de fitotoxicidade devem ser considerados na definição da cultura a ser explorada no local.

#### d.1) Doses de aplicação.

A dose de água residuária a ser aplicada no solo deverá ser considerada a mínima que seja capaz de atender:

- as necessidades básicas nutricionais das plantas, o que, geralmente, se obtém por meio da avaliação das necessidades de N, P e K;
- os referenciais ambientais de qualidade do solo, para os quais é avaliada a contaminação do solo com elementos químicos indesejáveis como Na, B, metais pesados etc.

Assim, a estimativa preliminar da dose recomendada, considerando-se os elementos químicos de interesse agrícola e/ou preocupação ambiental, expressa nas unidades de massa ou volume por unidade de área de solo e tempo ( $D_{Ref}$ ), pode ser obtida pela relação:

$$D_{Ref} = (Q_{Req})/C_{Disp-resíduo}$$

Em que:

$Q_{Req}$  – quantidade requerida de nutrientes ou aceitável de poluentes (massa por unidade de área);

$C_{Disp-resíduo}$  – concentração do elemento químico disponibilizável no resíduo (massa por unidade de volume ou massa e tempo)

No caso específico de nutrientes como N, P e S que, na sua quase totalidade, estão associados ao material orgânico do resíduo, a concentração do elemento químico disponibilizável no resíduo pode ser obtida por:

$$C_{Disp-resíduo} = C_{Total} \times T_{m2}$$

Em que,  $C_{\text{Total}}$  é a concentração total do elemento químico (massa por unidade de massa) e  $T_{m2}$  – taxa de mineralização do material orgânico do resíduo (massa por unidade de massa e tempo).

O valor obtido utilizando-se a equação citada acima só tem utilidade na definição do elemento químico referencial, não devendo ser tomado como dose a ser aplicada no solo porque, nessa sua determinação, há de se considerar o percentual do nutriente que está na forma orgânica, o tempo de cultivo e a proporção de recuperação do nutriente aplicado.

No caso de elementos químicos como K, Na e B, considerados prontamente disponíveis (não associados ao material orgânico do resíduo) ou aqueles para os quais, existam limites de carga a ser aplicada no solo (ex. metais pesados),  $T_{m2} = 1$  e a concentração disponibilizável do resíduo deve ser considerada igual ao da concentração total no resíduo:

$$C_{\text{Disp-resíduo}} = C_{\text{Total}}$$

#### e) Águas residuárias agroindustriais

Elemento químico referencia deve ser aquele que, pela sua concentração na água residuária, será o que satisfará as necessidades da cultura com a aplicação da menor dose de água residuária. Nesse caso, torna-se importante conhecer as necessidades de adubação da cultura a ser cultivada no local. Abaixo, estão apresentados, a título de exemplo, concentrações de nutrientes e não nutrientes em algumas águas residuárias agroindustriais e a indicação de qual seria o elemento químico referência:

- curtume: 200 a 1.400 mg L<sup>-1</sup> de N; 2 mg L<sup>-1</sup> de P; 50 mg L<sup>-1</sup> de K e 3 a 107 mg L<sup>-1</sup> de Cr. O Cr está em maior concentração relativa, deve ser o elemento químico referência.
- vinhaça: 500 a 700 mg L<sup>-1</sup> de N; 10 a 200 mg L<sup>-1</sup> de P, 3.300 a 4.600 mg L<sup>-1</sup> de K. O K está em maior concentração relativa, deve ser o elemento químico referência.
- laticínios: 60 a 1.300 mg L<sup>-1</sup> de N; 10 mg L<sup>-1</sup> de P, 10 a 600 mg L<sup>-1</sup> de K, 30 a 200 mg L<sup>-1</sup> de Na. O Na está em maior concentração relativa, deve ser o elemento químico referência.

#### f) Águas residuárias de criatórios de animais

A concentração de nutrientes e não nutrientes em algumas águas residuárias de criatórios de animais e a indicação de qual seria o elemento químico referência:

- suinocultura: 900 a 86.000 mg L<sup>-1</sup> de N, 30 a 2.500 mg L<sup>-1</sup> de P, 50 a 1.600 mg L<sup>-1</sup> de K, 1 a 780 mg L<sup>-1</sup> de Cu. O P está em maior concentração relativa, deve ser o elemento químico referência.
- bovinocultura: 1.700 a 3.000 mg L<sup>-1</sup> de N, 300 a 1.000 mg L<sup>-1</sup> de P, 2.600 a 3.000 mg L<sup>-1</sup> de K, 1.200 mg L<sup>-1</sup> de Na. O Na está em maior concentração relativa, deve ser o elemento químico referência.

#### g) Águas residuárias urbanas

A concentração de nutrientes e não nutrientes em águas residuárias domésticas: 20 a 90 mg L<sup>-1</sup> de N, 4 a 12 mg L<sup>-1</sup> de P, 10 a 60 mg L<sup>-1</sup> de K, 20 a 60 mg L<sup>-1</sup> de Na. O Na está em maior concentração relativa, deve ser o elemento químico referência.

Na Tabela 2 apresenta as características físicas, químicas e bioquímicas de águas residuárias domésticas submetidas a diferentes graus de tratamento. Procura-se chamar a atenção para o fato de que, conforme indicado nos dados apresentados, há piora, em termos nutricionais, na qualidade do efluente, quanto mais avançado for o seu grau de tratamento.

Na Tabela 3 estão apresentados valores de variáveis físicas e químicas de esgoto doméstico, de acordo com o grau de tratamento imposto, evidenciando, também, a piora na qualidade nutricional do efluente. Na Tabela 4 estão apresentados resultados de produtividade de pimentão e alface quando cultivados com alguns efluentes apresentados na Tabela 3.

Na Figura 4 estão apresentados resultados de produtividade de matéria seca do campim mombaça quando fertirrigado com diferentes doses de sódio, aplicado via esgoto sanitário.

**Tabela 2.** Características físicas e químicas do efluente, conforme o grau de tratamento a que foi submetida à água residual.

	Concentração Bruta		Efluente primário		Efluente Secundário		Efluente Terciário		Tratamento Avançado		% Global de remoção	
	Conc	%R	Conc	%R	Conc	%R	Conc	%R	Conc	%R	Conc	%R
<b>Convencional</b>												
CBOD	185	19	149	13	74	4,3	5	NA				98
TSS	219	40	131	55	74	4,3	5	NA				99
TOC	91	21	72	14	64	7,1	8	0,6	7			99
TS	1452	9	1322	1183	10	1090	6	43	72			97
Turb. (NTU)	100	12	88	14	74	0,5	14	0,27	0			99
Amonia-N	22	5	21	9,5	52	9,3	1	0,8	39			96
Nitrato-N	0,1	0	0,1	1,4	0	1,7	0	0,7	0			0
TKN	31,5	3	30,6	13,9	23	14,2	0	0,9	41			97
Fosfato - P	6,1	16	5,1	3,4	28	0,1	54	0,10	0			98
<b>Não convencional</b>												
Arsênio	0,0032	3	0,0031	0,0025	19	0,0015	30	0,00030	40			92
Boro	0,35	0	0,38	0,42	0	0,31	13	0,29	3			17
Cádmio	0,0006	17	0,0005	0,0012	0	0,0001	67	0,0001	0			83
Cálcio	74,4	3	72,2	66,7	7	70,1	0	1,0	88			99
Cloreto	240	3	232	238	0	284	0	15	90			94
Cromo	0,003	0	0,004	0,002	32	0,001	24	0,001	28			83
Cobre	0,063	0	0,070	0,043	33	0,009	52	0,011	0			83
Ferro	0,60	11	0,53	0,18	59	0,05	22	0,04	2			94
Chumbo	0,008	0	0,008	0,008	0	0,01	93	0,001	0			91
Magnésio	38,5	1	38,1	39,3	0	6,4	82	15	13			96
Mangânês	0,065	4	0,062	0,039	37	0,002	57	0,002	0			97
Mercurio	0,0003	33	0,0002	0,0001	33	0,0001	0	0,0001	0			67
Níquel	0,007	0	0,010	0,004	33	0,004	11	0,001	45			89
Selênio	0,003	0	0,003	0,002	16	0,002	0	0,001	64			80
Prata	0,002	0	0,003	0,001	75	0,001	0	0,001	0			75
Sódio	198	3	192	198	0	211	0	11,9	91			94
Sulfato	312	9	283	309	0	368	0	0,10	91			99
Zinco	0,081	6	0,076	0,024	64	0,002	27	0,002	0			97

Adaptado de Consortiumium ocidental para public Saúde (1992). O tratamento primário consistiu de uma tela de tambor rotativo, seguido por telas de disco, o tratamento secundário foi com jacintos de água, o tratamento terciário consistiram de precipitação e filtração de profundidade de cal, e AWT composto de osmose inversa, o ar de extração e adsorção de carbono. AWT = avançado de tratamento de esgoto; % R = percentagem removida; Primas e primário resultados efluentes são DBO não CBO OD. Todas as unidades são mg/l, a menos que indicado em contrário, concentração bruta.

BOD – é a quantidade de oxigênio dissolvido (OD) usado por microorganismos, na oxidação bioquímica da matéria orgânica e inorgânica em águas residuais.

CBOD – quantidade de oxigênio dissolvido usado por microorganismos, na oxidação bioquímica da matéria orgânica.

TS – TOTAL DE SÓLIDOS; TSS- TOTALS DE SÓLIDOS SUSPENSOS; TOC - Carbono orgânico total; TKN – Nitrogênio total

**Tabela 3.** Valores médios das variáveis de qualidade dos efluentes (esgoto doméstico tratado).

Variável	UASB <sup>1</sup>	SACNV <sup>2</sup>	SACV <sup>3</sup>	LP <sup>4</sup>
Condutividade Elétrica (dS.m <sup>-1</sup> )	1,9 ± 0,3	1,63± 0,37	1,56±0,09	1,0±0,2
NTK (mg L <sup>-1</sup> )	49,9 ± 11	34,9 ± 6,0	28,0± 9,0	15,5±4,1
Fósforo total (mg L <sup>-1</sup> de P)	6,9 ± 1,2	4,99 ± 1,5	3,0± 1,2	4,7±1,3
Potássio (mg L <sup>-1</sup> de K)	22 ± 3,1	22 ± 0,3	25,0± 3,4	26±2,0
Ferro (mg L <sup>-1</sup> )	1,6	1,6	--	0,13
Manganês (mg L <sup>-1</sup> )	0,06	0,06	--	0,04
Sódio (mg L <sup>-1</sup> )	125	127	--	130
Boro (mg L <sup>-1</sup> )	0,12	0,13	--	0,17
Coliformes termotolerantes	9,8x10 <sup>6</sup>	9,8x10 <sup>3</sup>	7,9x10 <sup>3</sup>	9,2x10 <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Reator Anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo;

<sup>2</sup> Sistema Alagado Construído-não vegetado;

<sup>3</sup> Sistema Alagado Construído-vegetado

<sup>4</sup> Lagoa de polimento.

Fonte: Lima (2004).

**Tabela 4.** Produtividade do pimentão e alface fertirrigadas com efluentes do reator UASB e Lagoa de polimento no sítio de Lagoa Seca –PB (período de fevereiro a abril de 2002).

Tratamento	Cultura pimentão (t/ha)	Cultura da alface	
		Produtividade (t/ha <sup>-1</sup> )	<i>E. Coli</i> (NMP.g <sup>-1</sup> )
T1	15,27 b	17,04 b	3,6 x 10 <sup>0</sup>
T2	35,84 a b	23,86 ab	2,7 x 10 <sup>1</sup>
T3	12,09 b	23,56 ab	3,6 x 10 <sup>0</sup>
T4	26,89 a b	31,20 a	9,3 x 10 <sup>2</sup>

Em que

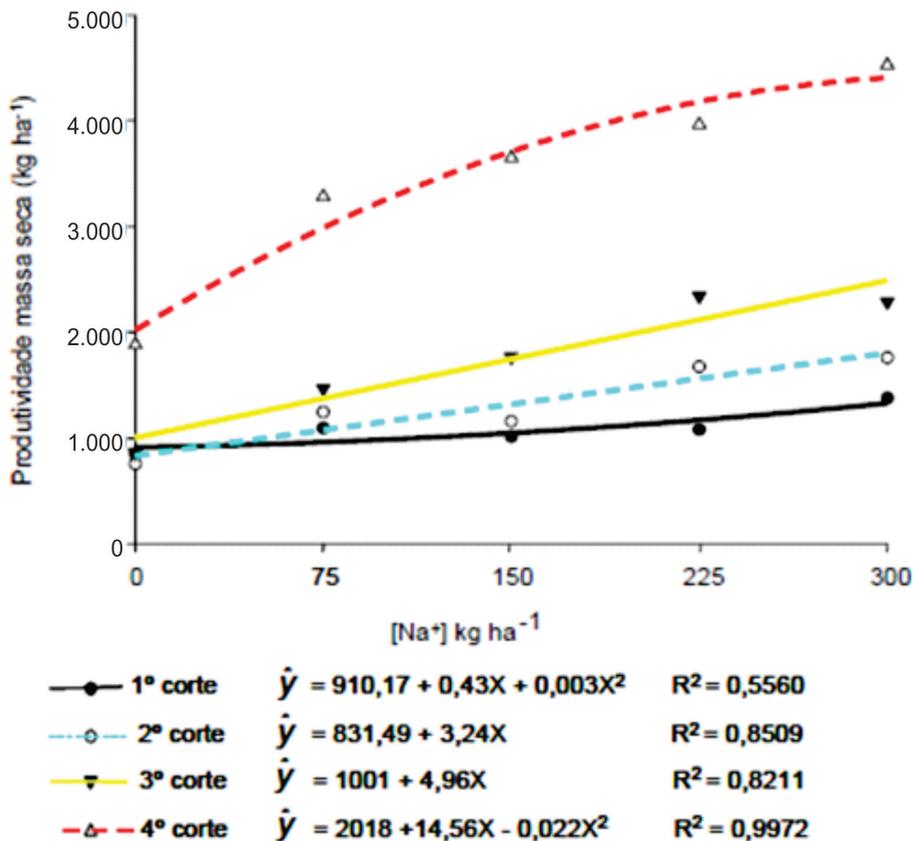
T1 - irrigação com água de poço artesiano;

T2 - irrigação com água de poço e solo adubado com fertilizantes minerais

T3 - fertirrigação com efluente de lagoas de estabilização

T4 - fertirrigação com efluente de reator UASB

Fonte: Lima (2004) e Henrique (2005)



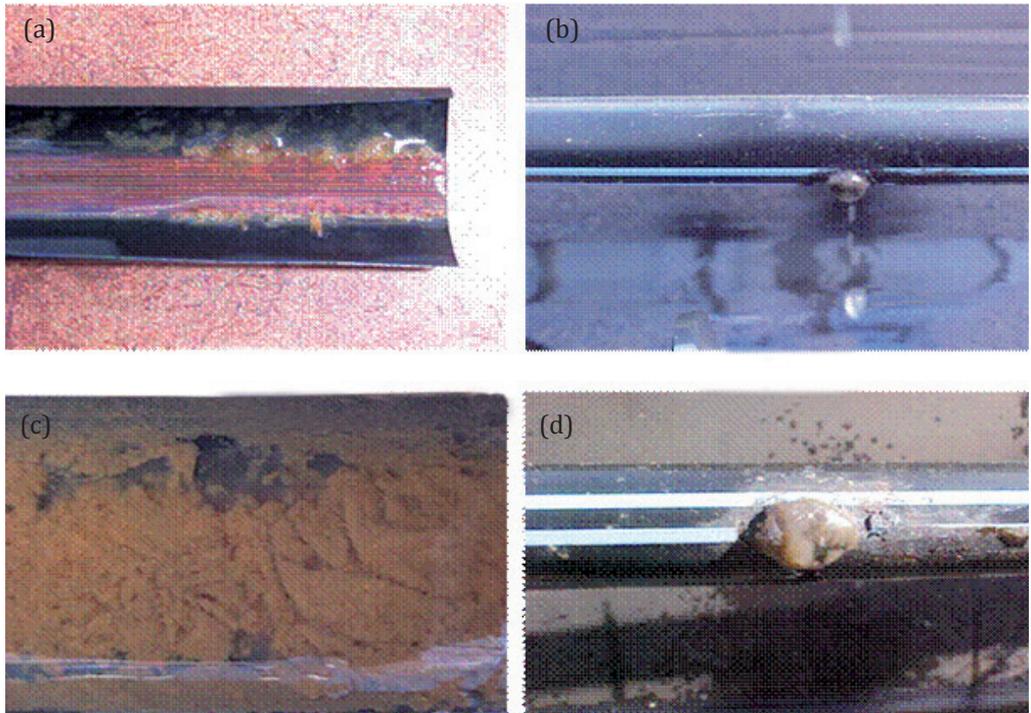
**Figura 4.** Produtividade de massa seca do capim mombaça nas diferentes doses aplicadas de soído, via esgoto sanitário (SILVA, 2010).

### Formas de aplicação da água residuária

A água residuária pode ser aplicada por sulcos, faixas, inundação, aspersão ou gotejamento. Recomenda-se, no entanto, em razão do risco de entupimento dos emissores, que águas residuárias brutas sejam aplicadas por aspersão de média/alta pressão. Quando a água residuária for previamente submetida a processos de remoção de sólidos em suspensão, a microaspersão e o gotejamento podem ser utilizados.

A escolha do método de aplicação deverá levar em consideração: economia, eficiência, manutenção e operação do sistema.

Na Figura 5, apresentam-se detalhamento da deposição de material sólido e do entupimento de emissores, quando da aplicação de uma água residuária.

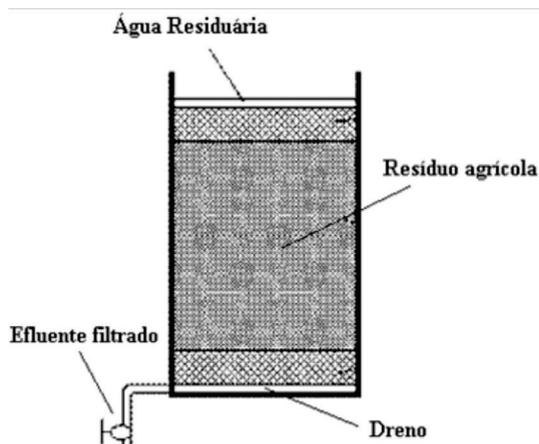


Fotos: Antonio Teixeira de Matos

**Figura 5.** Detalhe do acúmulo de material e formação de biofilme dentro e fora de gotejadores parcial (a, b) e totalmente (c, d) entupidos, com a aplicação da água residuária do descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro.

Com o intuito de possibilitar a aplicação de água residuária de forma localizada (microaspersão e gotejamento), pesquisas foram realizadas no Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal de Viçosa, visando minimizarem-se os entupimentos nos emissores. A técnica desenvolvida, denominada “filtros orgânicos” visa a remoção de sólidos de maiores dimensões e de mucilagem das águas residuárias de forma a possibilitar sua aplicação sem maiores problemas operacionais do sistema.

Os filtros orgânicos (Figura 6) são constituídos por resíduos sólidos orgânicos (cascas, sabugos, bagaços, raspas etc.), que, quando triturados e acondicionados em sistemas fechados nas laterais, possam funcionar como filtros da água residuária. O efluente dos filtros apresenta características que os tornam passíveis de aplicação de forma localizada. O material orgânico utilizado como filtro, deve ser substituído periodicamente, podendo ser submetido ao processo de compostagem e, com isso, se tornando em insumo de valor comercial ou como fertilizante para culturas agrícolas.



**Figura 6.** Filtros orgânicos pesquisados no DEA/UFV.

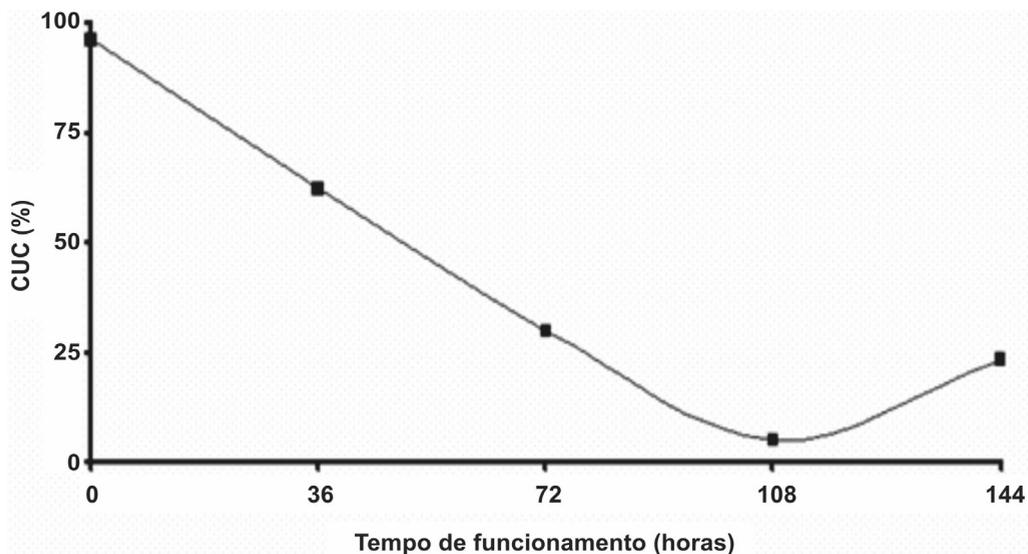
Na Tabela 5 e Figura 7 estão apresentados resultados de avaliação do desempenho de gotejadores quando em funcionamento de aplicação de águas residuárias do descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro bruta e filtrada (utilização de filtros orgânicos de pergaminho de grãos de café).

Apesar dos resultados possam, a primeira vista, indicar mau desempenho do sistema, na aplicação de ambas as águas residuárias, em virtude do rápido entupimento dos emissores, evidenciado pelos baixos valores de Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), há de se ressaltar que o tempo de aplicação da referida água é pequeno, tendo em vista que com cerca de 4-6 h seriam necessárias para a aplicação da dose recomendada para todo o ano. Assim, a água residuária filtrada (ARCF) estaria proporcionando condições de operação do sistema bastante satisfatórias, diferentemente da bruta (ARCB).

**Tabela 5.** Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) ao longo do tempo de aplicação da água residuária bruta (ARCB) e água residuária filtrada do descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro (ARCF).

Tipo de água residuária	Horas de funcionamento				
	0	36	72	108	144
ARCB	92,4	0,0	0,0	0,0	0,0
ARCF	93,6	29,9	6,4	0,3	0,0

Fonte: Fia et al. (2010).



**Figura 7.** Coeficiente de Uniformidade de Christiansen da água residuária do descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro filtrada (ARCF), ao longo do tempo de funcionamento do sistema. Fonte: Fia et al. (2010)..

Com base nos resultados obtidos, verificou-se que o tratamento da água residuária do descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro em filtros orgânicos diminuiu a rapidez do entupimento e viabilizou a aplicação da dose de água residuária recomendada.

## **Tratamento/aproveitamento agrícola em sistemas alagados construídos**

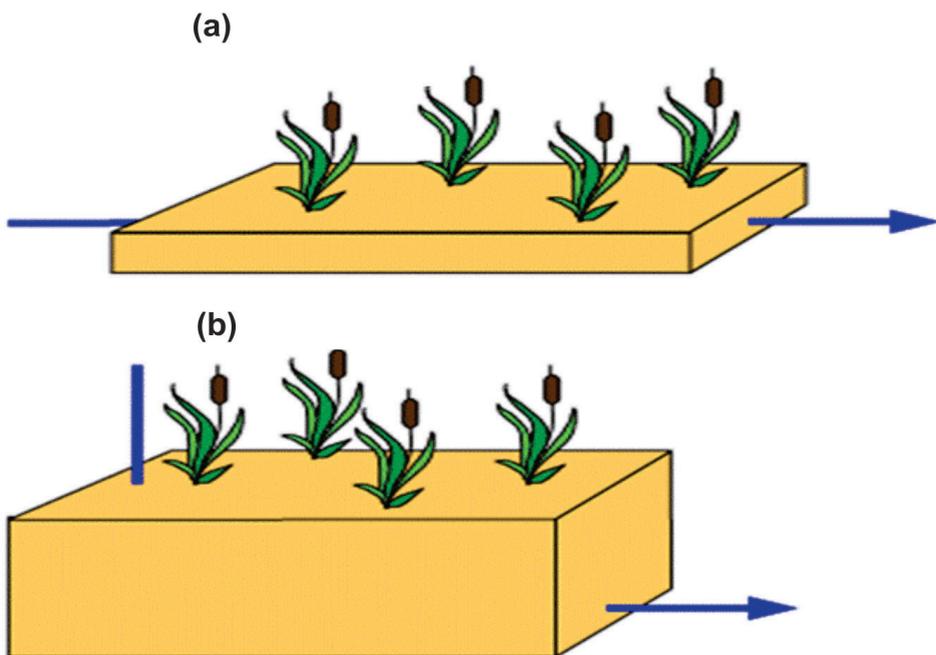
### **Definição**

Sistemas Alagados Construídos são aqueles em que o tratamento da água residuária se dá quando em meio poroso, constituído por substrato inerte ou não, se cultiva uma espécie vegetal. Assemelha-se, dessa forma, ao cultivo hidropônico, sendo a água residuária, pré-tratada ou não, a solução nutriente para as plantas.

### **Tipos de sistemas de tratamento em sistemas alagados**

#### **Sistemas de escoamento subsuperficial**

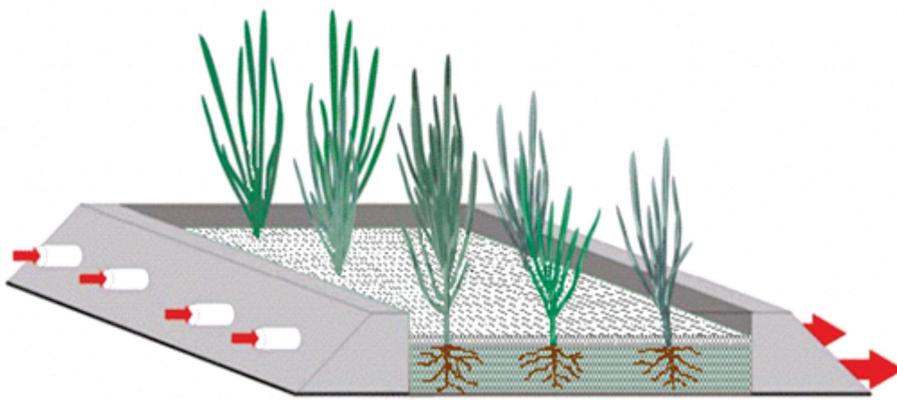
Na Figura 8 estão apresentadas as configurações básicas dos Sistemas Alagados Construídos (SACs).



**Figura 8.** Sistemas Alagados Construídos com escoamento subsuperficial horizontal (a) e escoamento vertical (b). Autor: Antônio Texeira de Matos

### Sistemas de escoamento subsuperficial horizontal

As vantagens dos SACs com escoamento subsuperficial horizontal (Figura 9) são a menor geração de odores e risco de surgimento de mosquitos e ratos e o fácil acesso à área cultivada para efetuar colheita/corte das plantas.



**Figura 9.** Sistema Alagado Construído com escoamento horizontal subsuperficial.

### a) Montagem do sistema de tratamento alagado construído

Na Figura 10 estão apresentados aspectos relativos à montagem de SACs, em escala experimental, no Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal de Viçosa.



Fotos: Antonio Teixeira de Matos

**Figura 10.** Detalhes construtivos de SACs experimental com escoamento subsuperficial horizontal.

### b) Espécies vegetais passíveis de cultivo em SACs.

Dentre as espécies vegetais (Figura 11) passíveis de cultivo em SACs estão diversos capins, entre eles cost-cross, elefante (Figura 12a), tifton 85 (Figura 12b),



Fotos: Antonio Teixeira de Matos

**Figura 11.** Sistema Alagado Construído e qualidade final do efluente no tratamento de água residuária da suinocultura.



**Figura 12.** Sistemas Alagados Construídos, em escala experimental, cultivados com capim elefante (a) e Tifton 85 (b), utilizados no tratamento de água residuária de laticínios.

Espécies vegetais de interesse comercial ou paisagístico, tal como flores, também podem ser cultivadas em SACs. No trabalho de Chagas (2009), “Utilização de lírio amarelo (*Heremacallis flava*) em sistemas alagados construídos para tratamento de esgoto doméstico”, aplicaram-se taxas de 44 a 395 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> de DBO, de esgoto em SACs com escoamento subsuperficial horizontal, no cultivo de lírio amarelo (Figura 13). Foram obtidas remoções de 63,7 a 72,2% na DQO; de 81,1 a 90,8% na DBO; e de 27,9 a 41,0% na concentração de fósforo (P).



**Figura 13.** Tratamento de esgoto sanitário em SACs com escoamento subsuperficial horizontal, no cultivo de lírio amarelo.

Outras espécies vegetais de interesse paisagístico e que poderão ser utilizadas em SACs são o agapanto, papiro, *Canna generalis* (biri).

Atualmente, tem sido investigada a possibilidade do cultivo de espécies produtoras de grãos e, até mesmo, hortaliças. Na Figura 14, estão apresentados SACs cultivados com milho.



**Figura 14.** SACs cultivados com milho.

Experiências sem sucesso de utilização de SACs no tratamento de algumas águas residuárias podem ocorrer, muito em função das características da água residuária a ser tratada.

Isso ocorreu quando se tentou, por exemplo, o tratamento de água residuária bruta do descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro. Essa água residuária é ácida, pobre em N e P e muito rica em K. Quando aplicada em SAC cultivada com taboa (*Thypha*) proporcionou queima e morte das plantas (Figura 15). Nesse caso, pesquisas foram conduzidas no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, no intuito de se avaliar quais as modificações químicas deveriam ser realizadas na água residuária e efetuar escolha de uma espécie vegetal mais adequada no cultivo de SACs utilizados no tratamento dessas águas residuárias. Depois de implementadas as necessárias alterações na qualidade química da água residuária (elevação do pH com adição de cal hidratada e enriquecimento com fósforo), houve melhor desempenho das espécies vegetais cultivadas nos SACs (Figura 16).

Foto: Antonio Teixeira de Matos



**Figura 15.** Comportamento da taboa quando cultivada em SAC de tratamento da água residuária bruta da lavagem e descascamento/despolpa de frutos do cafeeiro (ARC).

Foto: Antonio Teixeira de Matos



**Figura 16.** Aspectos visuais da alternanthera e taboa cultivadas com ARC tendo  $\text{pH} = 7,0$ ;  $\text{DBO/N/P} = 100/5/1$  e TRH de 4,5 d.

## Referências

- ALMEIDA NETO, O. B. de; MATOS, A. T. de, ABRAHÃO, W.A.P.; COSTA, L. M. da; DUARTE, A. Influência da qualidade da água de irrigação na dispersão da argila de latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 1571-1581, 2009.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande, UFPB, 1991. 218p. il. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29). Original em inglês. Tradução de H. R. Gheyi, J. F. de Medeiros e F. A. V. Damasceno.
- CHAGAS, R. **Utilização de lírio amarelo (*Hemerocallis flava*) em sistemas alagados construídos para tratamento de esgoto doméstico**. 2009. 86 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- FIA, R.; MATOS, A. T.; FERREIRA, P. A.; TEODORO, P. E. P.; SCHUERY, F. C.; LUIZ, F. A. R. Desempenho agrônômico da *thypha* sp. e *alternanthera philoxeroides* mart utilizadas no tratamento de águas residuárias da lavagem e descascamento/ despulpa dos frutos do cafeeiro em sistema alagado construído. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 16, p. 436-448, 2008.
- HENRIQUE, I.N.; SOUSA, J.T. de; LEITE, V.D.; FIDELES FILHO, J.; DANTAS, J.P.; Utilização de esgotos tratados no desenvolvimento da cultura do pimentão (*Capsicum annum* L.) In: 23o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande-MS. Anais... Campo Grande-MS, Brasil, p.1-8, 2005.
- LIMA, S.M.S. Tratamento e utilização de esgotos domésticos na horticultura familiar. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba/Universidade Estadual da Paraíba – PRODEMA, 2004. 131p. Dissertação Mestrado.
- SHUVAL, H.I.; ADIN, A. FATTAL, B. RAWITZ, E; YEKUTIEL, P. Integrated resource recovery wastewater irrigation in developing countries. World Bank Technical Paper number 51, 1990. 324p. (UNDP Project Management report number 6).
- SILVA, J.G.D. Fertirrigação do capim-mombaça com diferentes lâminas de efluente de tratamento primário de esgoto sanitário estabelecidas com base na dose aplicada de sódio Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2010, 65p. Tese de Doutorado.



# Qualidade microbiológica da água para irrigação de hortaliças

Rafael Kopschitz Xavier Bastos

## Introdução

Em seu estágio atual de desenvolvimento e do ponto de vista de padrão saúde-doença, o Brasil ainda é marcado pelo que se entende por transição epidemiológica – substituição gradativa das doenças infecciosas e parasitárias (DIP) pelas doenças crônico-degenerativas e outros efeitos adversos da modernização, tais como alcoolismo, tabagismo, suicídios, acidentes de transporte, violências – ou conforme Araújo (2012), polarização epidemiológica, em que se combinam elevadas taxas de morbidade e mortalidade desses dois grandes grupos de doenças, com prolongada persistência de níveis diferenciados de transição entre grupos sociais distintos (DUARTE e BARRETO, 2012). Não obstante o fato da morbimortalidade por DIP vir declinando há algum tempo no Brasil (incluindo a mortalidade e hospitalização por doenças diarreicas agudas (DDA) em crianças), persistem estatísticas relativamente expressivas de incidência de DDA e de doenças transmitidas por alimentos (DTA), que incluem doenças de veiculação hídrica e alimentar (DUARTE e BARRETO, 2012; BRASIL, 2011, 2012)), as quais podem ter associação com a contaminação de águas de irrigação e de hortaliças irrigadas.

Embora as estatísticas oficiais recentes de surtos de DTA envolvendo hortaliças revelem números baixos (BRASIL, 2011), o quadro sanitário do país sugere que a realidade pode ser diferente. Afinal, os dados de tratamento de esgotos no Brasil são muito precários – segundo dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), em 2008, apenas 28,5% dos municípios brasileiros contavam com tratamento de esgoto e, mesmo na Região Sudeste, onde 95,1% dos municípios possuíam coleta de esgoto,

menos da metade desses (48,4%) possuíam tratamento; no país como um todo, o volume de esgotos tratados representava, em 2008, 68,8% do que era coletado (IBGE, 2010a). Isso, claro, impacta negativamente a qualidade de nossos recursos hídricos e, de fato, não faltam relatos na literatura sobre contaminação microbiológica de águas utilizadas para irrigação de hortaliças e de hortaliças irrigadas ou comercializadas em várias partes do Brasil: Oliveira e Germano (1992), na região metropolitana de São Paulo – SP; Barros, et al. (1999); na Paraíba; Guimarães et al. (2003) em Lavras – MG; Santana et al. (2006) em Salvador - BA, Takayanagui et al. (2007) em Ribeirão Preto-SP; Santos et al. (2010) em Botucatu – SP.

O Brasil é um grande produtor de hortaliças, que são cultivadas predominantemente por pequenos produtores nas regiões vizinhas aos grandes centros urbanos, sobretudo nas regiões Sudeste e Sul (CORTEZ et al., 2002). Ainda que o consumo de hortaliças venha caindo nos lares brasileiros (SILVEIRA et al., 2011), esse grupo de alimentos ainda se dentre aqueles adquiridos para consumo no domicílio: segundo dados de IBGE de 2008-2009, com médias de aquisição alimentar domiciliar *per capita* anual semelhantes às de frutas e carnes (em torno de 25-30 kg) e abaixo apenas às de bebidas e infusões, laticínios, cereais e leguminosas (IBGE, 2010b). A preservação da qualidade microbiológica de hortaliças é, portanto, questão de segurança alimentar e de saúde pública, sendo que na abordagem mais atual de gestão preventiva de risco (por exemplo, por meio do sistema APPCC – Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle) medidas de controle devem compreender todo o ciclo de produção no campo, a colheita, o processamento e a distribuição dos produtos (BASTOS e ALVES, 2007).

Nesse capítulo são discutidos aspectos relativos à qualidade microbiológica da água para irrigação de hortaliças, tendo em conta que este é um importante fator pré-colheita a ser considerado na segurança da qualidade desse grupo de alimentos.

## **Avaliação da qualidade microbiológica da água para irrigação de hortaliças**

Esgotos sanitários e dejetos de animais são comprovadamente veículos de grande variedade e quantidade de organismos patogênicos aos seres humanos, tais como: bactérias (ex.: *Campylobacter* spp., *E. coli* O157:H7, *Salmonella* spp., *Shigella* spp., *Yersinia enterocolitica*), vírus (adenovírus, enterovírus, norovírus, e rotavírus), protozoários (ex.: *Cryptosporidium*

spp., *Cyclospora cayetanensis*, *Giardia* spp., *Entamoeba histolytica*) e helmintos (ex.: *Ascaris lumbricoides*) (Tabela 1). Por conseguinte, a utilização de águas impactadas por esses efluentes para irrigação pode resultar em contaminação das culturas irrigadas e impor riscos à saúde de consumidores desses produtos, além de riscos ocupacionais (por exemplo, risco ao trabalhador rural).

**Tabela 1.** Ocorrência típica de microrganismos patogênicos e microrganismos indicadores em esgoto sanitário sem tratamento.

<b>Microrganismo</b>	<b>Concentração</b>
<i>Escherichia coli</i>	10 <sup>6</sup> -10 <sup>8</sup> / 100 mL (9)
<i>Salmonella</i> spp.	10 <sup>2</sup> -10 <sup>3</sup> / 100 mL
<i>Campylobacter</i> spp.	10 <sup>1</sup> -10 <sup>3</sup> / 100 mL
Enterovirus	10 <sup>2</sup> -10 <sup>5</sup> / L
Rotavirus	10 <sup>1</sup> -10 <sup>4</sup> / L
<i>Cryptosporidium</i> spp.	10 <sup>1</sup> -10 <sup>3</sup> / L
<i>Giardia</i> spp.	10 <sup>2</sup> -10 <sup>4</sup> / L
<i>Ascaris lumbricoides</i>	10 <sup>1</sup> -10 <sup>3</sup> / L

Fonte: Bastos et al. (2003); United States Environmental Protection Agency - USEPA (2012).

Entretanto, em função de dificuldades de isolamento de organismos patogênicos em amostras ambientais (por questões de custo, complexidade, morosidade e, ou limitações - sensibilidade e especificidade - dos métodos analíticos), o monitoramento rotineiro para verificação de contaminação da água *in natura* é tradicionalmente realizado por meio de organismos indicadores. Nesse contexto, a interpretação é que a presença desses organismos na água atesta poluição de origem fecal, humana ou animal e, portanto, a possibilidade de contaminação, ou seja, da presença de patógenos. Assim, um organismo deve atender aos seguintes requisitos para que cumpra da melhor forma possível o papel de *indicador de contaminação*:

(i) ser de origem exclusivamente fecal, ou seja, deve ser habitante exclusivo do trato intestinal de seres humanos e, ou animais homeotérmicos.

(ii) apresentar maior resistência que os organismos patogênicos aos efeitos adversos do meio ambiente, isto é sobrevivência mais prolongada no ambiente.

(iii) não se reproduzir no meio ambiente.

(iv) estar presente no ambiente em maior número que os organismos patogênicos

(v) ser de fácil identificação e quantificação

Entende-se ainda que a concentração dos organismos indicadores informe sobre o grau de contaminação da água e isso pressupõe que exista uma relação proporcional, aproximada que seja, entre as concentrações do indicador e dos patógenos.

Os organismos indicadores encontram ainda aplicação na avaliação da eficiência de remoção de patógenos por meio de processos de tratamento de águas residuárias. Nesse caso, o entendimento é de que a ausência, ou a população remanescente, do organismo indicador no efluente indicaria também a ausência de patógenos (pela remoção de ambos através dos processos de tratamento), ou sua presença em populações reduzidas a números correspondentes a níveis de risco toleráveis (ver item 3). Assim, para que um organismo cumpra o papel de *indicador da eficiência do tratamento*, torna-se necessário que (i) o mecanismo de remoção de ambos seja similar, e que (ii) o indicador seja mais resistente aos processos de tratamento que os patógenos, isto é que a taxa de remoção do indicador seja menos acentuada que a do patógeno .

As bactérias do grupo coliforme são os organismos tradicionalmente mais utilizados como indicadores da qualidade de água. Entretanto, o grupo amplo e diverso denominado coliformes totais (CT), ao incluir gêneros e espécies de bactérias que podem ocorrer naturalmente no solo, na água e em plantas, carece de significado sanitário na avaliação da qualidade da água *in natura*. Isso também ocorre com o grupo dos coliformes termotolerantes (CTer), mas em proporção bem menor que no caso dos CT e, talvez por isso, embora sem a devida precisão, este subgrupo dos coliformes ainda seja utilizado como indicador de contaminação. A tendência mais atual de normas e critérios de qualidade da água é, entretanto, de utilizar a *Escherichia coli*, esta sim, dentre os coliformes, considerada de origem exclusivamente fecal, humana ou animal.

Porém, embora a *E.coli* cumpra bem o papel de indicador de contaminação de origem fecal, isto é, da presença potencial de organismos patogênicos, pouco ou nada informa especificamente sobre a presença, e

menos ainda sobre a concentração, de determinado patógeno, e isso se aplica também a vários outros organismos investigados como possíveis alternativas ao emprego da *E.coli*, como, por exemplo: enterococos, *Clostridium perfringens*, e bacteriófagos (PACHEPSKY et al., 2011). Isso porque (i) não há relações numéricas mais precisas possíveis de serem estabelecidas entre um indicador específico e a ampla variedade de organismos patogênicos possíveis de estarem presentes no esgoto bruto, (ii) os diversos organismos patogênicos apresentam comportamento distinto em termos de remoção pelos diferentes processos de tratamento, e (iii) após o lançamento de efluentes em corpos receptores, diferentes organismos, indicadores e patogênicos, apresentam comportamento distinto no ambiente aquático em termos de mecanismos de transporte e decaimento.

Em resumo, como não há de fato um único organismo que cumpra idealmente o papel de indicador, critérios de qualidade da água dever-se-iam valer do(s) indicador(es) que apresente(m) a melhor associação com riscos à saúde relacionados à determinado uso da água. Não obstante, como se verá no item 5, as poucas normas e critérios existentes de qualidade microbiológica da água para irrigação se valem quase exclusivamente dos coliformes termotolerantes ou da *E. coli*.

### **Bases conceituais para a formulação de critérios de qualidade da água para irrigação de hortaliças**

De acordo com Blumenthal et al. (2000), existem, basicamente, três abordagens para o estabelecimento de critérios de qualidade para irrigação com águas residuárias, o que pode muito bem ser generalizado para irrigação como um todo, ou mesmo para qualidade da água para fins diversos: (i) ausência de patógenos e, ou de organismos indicadores na água de irrigação; (ii) estimativa do risco atribuível à utilização de água para irrigação com determinada qualidade a partir de evidências epidemiológicas; (iii) estimativa do risco atribuível à utilização de água para irrigação com determinada qualidade mediante o emprego de modelos probabilísticos.

A primeira objetiva a ausência de perigos e tem sido criticada por rigor excessivo e fragilidade em termos de fundamentação epidemiológica, bem como por constituir meta inalcançável de “risco nulo” (BLUMENTHAL et al., 2000), uma vez que isso não é demonstrável na prática em função das já discutidas limitações de detecção de patógenos e do emprego de organismos indicadores em amostras ambientais.

Na segunda, buscam-se evidências epidemiológicas de associação entre um fator de risco (no caso, irrigação de hortaliças) e a ocorrência de doença dentre a população exposta. Essa abordagem permitiria, assim, o estabelecimento da qualidade microbiológica da água correspondente à ausência de risco atribuível ou a um determinado nível de risco tido como “tolerável”. Entretanto, esse enfoque também apresenta dificuldades práticas, por depender de um serviço de vigilância epidemiológica eficaz e, ou de complexos estudos epidemiológicos que sejam capazes de isolar o fator de risco em questão, mas que em geral não apresentam sensibilidade para captar níveis baixos de risco (BLUMENTHAL et al., 2000).

Alternativamente, e também tomando como referência o nível de “risco tolerável”, a qualidade microbiológica da água de irrigação pode ser estabelecida a partir de modelos de Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM), os quais, conforme descrito a seguir, permitem a estimativa de risco em base probabilística, maiores informações sobre AQRM e suas aplicações à irrigação podem ser encontradas em Haas et al., 1999; World Health Organization, 2006; Pachepsky et al., 2011.

As duas últimas abordagens requerem, portanto, que se defina, ou ao menos se tenha como referência, o valor do nível de risco tolerável, o que sem dúvidas é algo cercado de elementos, ou mesmo controvérsias, políticos e socioculturais (HUNTER e FEWTRELL, 2001). A título de exemplo, a norma de potabilidade da água dos Estados Unidos (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2012) se encontra assente em um nível de risco tolerável anual de infecção de  $10^{-4}$ , isto é, admite-se um caso por ano de infecção via abastecimento de água para consumo humano por cada 10.000 consumidores (independentemente do agente patogênico em questão), ou visto de outra forma, risco anual de infecção de  $10^{-4}$  pppa (por pessoa por ano). De forma similar, as diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS) para irrigação com águas residuárias e para qualidade da água para consumo humano (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006, 2011) têm como referência níveis de risco toleráveis entre  $10^{-3}$  e  $10^{-4}$  pppa para infecção por bactérias, vírus e protozoários.

## **Avaliação quantitativa de risco microbiológico aplicada à irrigação de hortaliças**

Resumidamente, AQRM permite estimar riscos à saúde com base em modelos de exposição e modelos dose-resposta. Modelos de exposição são elaborados de forma a expressar determinado “cenário de exposição”, no

contexto do qual se estima a dose ingerida de determinado agente patogênico a cada evento de exposição (no caso, ingestão de hortaliças). Com base na dose estimada e com o emprego de modelos dose-reposta (disponíveis na literatura para diferentes microrganismos patogênicos), se estima então a respectiva probabilidade de infecção. De modo inverso, a partir de um nível de risco pré-fixado (por exemplo, o tido como tolerável) se pode determinar a dose correspondente e, na sequência, a quantidade máxima de patógenos admissível na água de irrigação.

Modelos de exposição para estimativa de riscos associados ao consumo de hortaliças irrigadas com água de dada qualidade microbiológica podem ser expressos como na Equação 1.

$$d = N_c \times 10^{-D} \times c \quad (1)$$

Sendo  $d$ : dose ingerida de patógenos por evento de exposição (número de organismos);  $N_c$ : concentração do patógeno na superfície das culturas (hortaliças) irrigadas ( $\text{org g}^{-1}$ );  $10^{-D}$ : redução de patógenos entre a última irrigação, ou a colheita, e o consumo, por decaimento natural no campo ou entre a colheita e o consumo, ou por medidas de higiene alimentar pós-colheita (ex.:  $10^{-2} = 0,01$ , ou seja, redução de duas unidades logarítmicas ou 99%);  $c$ : consumo *per capita* diário de hortaliças irrigadas ( $\text{g d}^{-1}$ ).

Em um modelo mais completo, para estimar a dose ingerida de patógenos é preciso, além do conhecimento das variáveis expressas na Equação 1, associar a contaminação das culturas irrigadas à qualidade da água de irrigação. Na maioria dos modelos de AQRM disponíveis na literatura aplicados à irrigação com águas residuárias, isso é feito a partir da estimativa do volume de água que permanece aderido à superfície da cultura irrigada, expresso por unidade de massa da cultura ( $\text{mL g}^{-1}$ ) (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006; HAMILTON et al., 2006a); ou seja, conhecida a qualidade da água de irrigação ( $\text{org. mL}^{-1}$ ) se estima a contaminação da hortaliça irrigada ( $\text{org g}^{-1}$ ). Isso faz mais sentido no caso de folhosas, mas para culturas que crescem abaixo do nível do solo (ex.: tubérculos e raízes) a estimativa pode ser feita a partir da massa de partículas de solo que fica aderida à superfície da cultura irrigada, expressa por unidade de massa da cultura ( $\text{g g}^{-1}$ ); mas para isso seria preciso antes estimar a contaminação do solo ( $\text{org g}^{-1}$ ) em função da qualidade da água de irrigação ( $\text{org mL}^{-1}$ ). Assim, o modelo de exposição expresso pela Equação 1 poderia ser ampliado como nas Equações 2 e 3.

$$d = Na \times V \times 10^{-D} \times c \quad (2)$$

Sendo  $N_a$  : concentração de microrganismos na água de irrigação (org mL<sup>-1</sup>);  $V$ : volume de água que permanece aderido à superfície da cultura irrigada, expresso por unidade de massa da cultura (mL g<sup>-1</sup>)

$$d = N_s \times G \times 10^{-D} \times c \quad (3)$$

Sendo  $N_s$  = concentração de microrganismos no solo irrigado (org g<sup>-1</sup>);  $G$  = massa de partículas de solo que fica aderida à superfície da cultura irrigada, expressa por unidade de massa da cultura (g g<sup>-1</sup>).

Nessa abordagem fica, porém, implícito que todos os microrganismos presentes no volume de água de irrigação que permanece na superfície das plantas acabam a esta aderidos, o que pode resultar em superestimativas de contaminação das culturas irrigadas. Assim, mais realistas seriam estimativas provenientes diretamente de modelos preditivos da qualidade das culturas irrigadas em função da qualidade da água de irrigação. As equações 3 e 4 constituem um dos poucos exemplos de modelos desse tipo disponíveis na literatura, desenvolvidos por Bastos et al. (2008) a partir de experimentos com irrigação com esgotos tratados em unidades piloto de lagoas de estabilização

$$\log_{10} N_{cr} = 0,83 \log_{10} N_a - 0,73 \quad (3)$$

$$\log_{10} N_{cd} = 0,45 \log_{10} N_a - 0,67 \quad (4)$$

Sendo  $N_{cr}$ : concentração de *E.coli* na superfície das culturas (hortaliças) irrigadas que se desenvolvem rente ao solo (org g<sup>-1</sup>);  $N_{cd}$ : concentração de *E.coli* na superfície das culturas (hortaliças) irrigadas que se desenvolvem distantes do solo (org g<sup>-1</sup>);  $N_a$  : concentração de *E. coli* na água de irrigação (org. por 100 mL).

Por fim, é preciso notar que se a estimativa da dose depende do conhecimento da concentração de patógenos na água de irrigação e, ou nas hortaliças irrigadas, por outro lado, essas informações são relativamente escassas na literatura. Por isso, a grande maioria dos estudos de AQRM aplicados à irrigação de hortaliças se vale de estimativas de concentração de patógenos em águas residuárias admitindo a existência de relações proporcionais entre a concentração de *E. coli* e as de diferentes patógenos. Esse é o pressuposto assumido no modelo de exposição adotado nas

Diretrizes da OMS para irrigação com águas residuárias (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006), onde a concentração de patógenos na água de irrigação (a variável  $N_a$  na Equação 2 em  $\text{org mL}^{-1}$ ) e, por conseguinte, a concentração de patógenos na superfície das hortaliças irrigadas (a variável  $N_c$  na Equação 1 em  $\text{org g}^{-1}$ , ou  $N_{cr}$  e  $N_{cd}$  nas equações 3 e 4), são expressas como número de patógenos por  $10^5$  *E. coli*: 0.1 - 1 para rotavírus e *Campylobacter* e 0.01 - 0.1 para *Cryptosporidium* (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006; MARA et al., 2007). Vale, entretanto, lembrar os questionamentos cabíveis a essa abordagem levantados no item 2.

Em relação aos modelos dose-resposta, a literatura indica o emprego dos modelos beta-Poisson (Equação 5) e exponencial (Equação 6) para expressar a probabilidade de infecção por, respectivamente, bactérias e vírus, e protozoários (HAAS et al., 1999). Ambos estimam o risco de infecção associado a uma única exposição, a partir do qual se pode estimar probabilidades de infecção para períodos maiores de tempo (por exemplo, risco anual), ou seja, para múltiplas exposições (Equação 7).

$$P_{i(d)} = 1 - \left(1 + \frac{d}{\beta}\right)^{-\alpha} \quad (5)$$

$$P_{i(d)} = 1 - e^{-rd} \quad (6)$$

$$P_{i(m)} = 1 - (1 - P_{i(d)})^n \quad (7)$$

Sendo  $P_{i(d)}$ : probabilidade de infecção associada a uma única exposição à dose  $d$ ;  $r$   $\alpha$  e  $\beta$ : parâmetros característicos da interação agente-hospedeiro;  $P_{i(m)}$ : probabilidade total de infecção decorrente de  $n$  exposições à dose  $d$  durante um período de tempo  $m$  (no caso de risco anual e exposição diária,  $n = 365$ ).

Em modelos mais simples, chamados determinísticos, as variáveis de entrada são descritas por valores únicos, por exemplo, uma única medida, medidas de tendência central de determinado banco de dados (média, mediana, moda etc.), ou percentis dentre determinada distribuição de frequência de dados. Por conseguinte, a variável de saída (resposta, no caso a estimativa de risco) é expressa também por valor único. Tais modelos não levam, portanto, em consideração aspectos de variabilidade e incerteza em torno das variáveis de entrada e a variável de saída não proporciona flexibilidade em termos de tomada de decisão face à resposta obtida.

Incertezas propriamente ditas são associadas à falta de conhecimento sobre determinado fenômeno, devida à, por exemplo, falhas em medições ou insuficiência de dados sobre variáveis que caracterizam um sistema. Variabilidade é definida como efeito aleatório inerente à determinada variável ou ao sistema avaliado. Assim, a incerteza pode ser minimizada através do aprimoramento das técnicas de mensuração ou da descrição mais completa da variável em questão. Quanto à variabilidade, mesmo que se invista em estudos adicionais, não se pode eliminá-la ou reduzi-la, no máximo melhor descrevê-la; se pode também reduzir a variabilidade por meio de melhor controle de processos (MORGAN e HENRION, 2007, VOSE, 2008). Incerteza e variabilidade expressam, portanto, conceitos e fontes de variação distintos, mas como nem sempre é fácil distingui-las a maioria dos modelos as tomam em conjunto, como “incerteza total” ou simplesmente “incertezas” (VOSE, 2008).

Por sua vez, modelos estocásticos são aqueles em que as variáveis de entrada são assumidas em faixas de valores e de acordo com determinada distribuição de frequência ou de probabilidades, incorporando, portanto, incertezas em torno de seus valores (MORGAN e HENRION, 2007). Adicionalmente, como forma de propagação das incertezas, o modelo pode ser tratado por meio de amostragens sucessivas e aleatórias de cada uma das variáveis, por exemplo, por meio de técnicas de simulação de Monte Carlo (VOSE, 2008). Dessa forma, os resultados são também expressos em termos de distribuição de probabilidades, o que proporciona flexibilidade na tomada de decisões, ou seja que valor de risco associado a determinada probabilidade de ocorrência se quer assumir como referência. Portanto, uma etapa fundamental na modelagem estocástica é a melhor caracterização possível das variáveis de entrada e principalmente das incertezas embutidas.

Vários autores têm, já há algum tempo, recorrido à AQRM para a estimativa de riscos associados à irrigação com esgotos sanitários, incluindo a aplicação de modelos determinísticos (ASANO et al., 1992; ROSE et al., 1996; SHUVAL et al., 1997; BASTOS et al., 2008) ou de modelos estocásticos envolvendo simulação de Monte Carlo (TANAKA et al., 1998; van GINNEKEN e ORON, 2000; PETERSON et al., 2001; HAMILTON et al., 2006a; MARA et al., 2007; PAVIONE et al., 2011). Os trabalhos publicados incluem ainda ampla variedade de cenários de exposição testados, tais como: risco ao consumidor e ao trabalhador (MARA et al., 2007), tipo de cultura irrigada (HAMILTON et al., 2006a), métodos de irrigação (van GINNEKEN e ORON, 2000), estimativas (HAMILTON et al., 2006a; MARA et al., 2007) ou medidas de contaminação das culturas irrigadas (BASTOS et al., 2008; SEIDU et al., 2008; PAVIONE et al., 2011) e padrão de consumo de alimentos (HAMILTON et al., 2006b; PAVIONE

et al., 2013). A maioria desses trabalhos tende a enfatizar riscos associados a *Campylobacter*, *Cryptosporidium* e principalmente ao rotavírus, tendo sido estes os organismos tomados como referência na atualização das diretrizes da OMS para irrigação com águas residuárias (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006). Estudos de aplicação de AQRM à irrigação de forma genérica são, entretanto, mais escassos e recentes e ainda não se tem registro de normas ou critérios de qualidade da água para irrigação (que não águas residuárias) que tenham AQRM como referência (PACHEPSKY et al., 2011).

### **Normas e critérios de qualidade microbiológica da água para irrigação de hortaliças**

Pachepsky et al. (2011) identificam três escolas de pensamento sobre a utilidade de se estabelecer padrões de qualidade microbiológica da água para irrigação na forma de valores máximos permitidos de concentrações de patógenos e, ou organismos indicadores na água: (i) o estabelecimento de padrões de caráter mandatório; (ii) o uso de padrões como recurso auxiliar no controle da qualidade dos produtos irrigados, isto é apenas como diretrizes; e (iii) simplesmente não se estabelecer padrões. No entendimento desses autores, o estabelecimento de padrões de caráter mandatório pode ser medida conveniente (ou reconfortante) desde o ponto de vista do poder regulatório, mas pode se mostrar de difícil implementação e, portanto, pouco efetiva. E exatamente aqui se encontram os argumentos para as duas últimas opções, no entendimento de que mais vale a observação das boas práticas em todo o ciclo de produção no campo, utilizando (na segunda opção) ou não (na terceira) o controle de qualidade da água de irrigação como uma das medidas de validação das boas práticas.

Seja por que razões forem, com efeito, não existem no cenário internacional muitos exemplos de normas ou critérios de qualidade microbiológica da água específicos para irrigação e, dentre esses poucos, muitos são de fato baseados em critérios de qualidade da água para fins recreacionais (PACHEPSKY et al., 2011). Entretanto, essa é uma abordagem criticável, pois os cenários de exposição aos agentes patogênicos são muito diferentes nos casos de irrigação (consumo de produtos irrigados) e de uso recreacional da água (imersão total do corpo), sendo que alguns dos padrões de qualidade da água relativos ao uso recreacional têm por base estudos epidemiológicos considerando este modo específico de exposição. Na Tabela 2, são mostrados alguns exemplos de regulamentações regionais dos Estados Unidos (EUA) e do Canadá compilados por Pachepsky et al. (2011), cujos padrões microbiológicos nem sempre se encontram bem justificados.

**Tabela 2.** Exemplos de regulamentação da qualidade microbiológica da água para irrigação nos EUA e no Canadá

Região, País	Tipo de irrigação	Organismos pro 100 mL			
		CT	Cter	E.coli	Enterococos
Alberta, Canadá	Hortaliças	1.000 <sup>(2)</sup>	200 <sup>(2)</sup>		
		2.400 <sup>(3)</sup>			
British Columbia, Canada	Irrigação em geral		1.000 <sup>(2)</sup>	1.000 <sup>(2)</sup>	250 <sup>(2)</sup>
	Hortaliças consumidas cruas		200 <sup>(2)</sup>	77 <sup>(2)</sup>	20 <sup>(2)</sup>
Vermont, EUA <sup>(1)</sup>	Irrigação em geral			235	
Califórnia, EUA <sup>(1)</sup>	Hortaliças consumidas cruas – irrigação por aspersão			126 <sup>(2)</sup>	
				235 <sup>(3)</sup>	
Califórnia, EUA <sup>(1)</sup>	Hortaliças consumidas cruas – irrigação por gotejamento ou sulcos			126 <sup>(2)</sup>	
				576 <sup>(3)</sup>	

CT: coliformes totais; CTer: coliformes termotolerantes; (1) baseado em critério de uso recreacional; (2) média geométrica; (3) amostra individual. Fonte: Pachepsky et al. (2011).

A regulamentação do uso de águas residuárias para irrigação, na forma de normas ou diretrizes, mas incluindo padrões de qualidade microbiológica, já é bem mais frequentemente encontrada em países tão diversos quanto: México (1996), Portugal (2005), Austrália (2006), Estados Unidos, Israel, Chipre (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2012). Nesse caso identificam-se duas “escolas”, conforme discutido no item 3: uma com fundamentação mais próxima à abordagem do “risco nulo”, representada originalmente pela regulamentação, um tanto pioneira diga-se de passagem, do estado da Califórnia - EUA (CROOK, 2012) e aqui ilustrada pelas Diretrizes para Reúso da Água da Agência de Proteção Ambiental dos EUA (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2012); outra, fundamentada em avaliação de risco – evidências epidemiológicas e AQRM – representada, principalmente, pelas Diretrizes da OMS para uso agrícola de águas residuárias (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006).

Para irrigação irrestrita (ou seja, sem restrições de culturas irrigadas ou de método de irrigação), o critério da United States Environmental Protection Agency - USEPA (Tabela 3) impõe um padrão de qualidade de efluentes semelhante ao padrão de potabilidade da água (ausência

**Tabela 3.** Diretrizes da USEPA para uso agrícola de esgotos sanitários

Tipo de irrigação e cultura irrigada	Processo de tratamento	Qualidade do efluente
Culturas alimentícias não processadas comercialmente <sup>(1)</sup> Irrigação superficial ou por aspersão de qualquer cultura, incluindo culturas consumidas cruas	Secundário + filtração + desinfecção <sup>(2)(3)</sup>	pH 6 a 9 DBO ≤ 10 mg L <sup>-1</sup> . Turbidez ≤ 2 uT <sup>(4)</sup> CRT ≥ 1 mg L <sup>-1</sup> . <sup>(5)(6)</sup> CTer ND <sup>(7)</sup> Organismos patogênicos ND
Culturas alimentícias processadas comercialmente <sup>(1)</sup> Irrigação superficial de pomares e vinhedos Silvicultura e irrigação de áreas com acesso restrito ao público	Secundário + desinfecção <sup>(2)</sup>	pH 6 a 9 DBO ≤ 30 mg L <sup>-1</sup> . SST ≤ 30 mg L <sup>-1</sup> <sup>(8)</sup> CRT ≥ 1 mg L <sup>-1</sup> . <sup>(5)</sup> CTer ≤ 200 100 mL <sup>-1</sup> <sup>(9)</sup>
Culturas não alimentícias Pastagens para rebanhos de leite <sup>(10)</sup> , forrageiras, cereais, fibras e grãos	Secundário + desinfecção <sup>(2)</sup>	pH 6 a 9 DBO ≤ 30 mg L <sup>-1</sup> . SST ≤ 30 mg L <sup>-1</sup> <sup>(8)</sup> CRT ≥ 1 mg L <sup>-1</sup> . <sup>(5)</sup> CTer ≤ 200 100 mL <sup>-1</sup> <sup>(9)</sup>

(1) Combinação de medidas de proteção à saúde (ver Figura 1). (A): cultivo de raízes e tubérculos; (B): cultivo de folhosas; (C): irrigação localizada de plantas que se desenvolvem distantes do nível do solo; (D): irrigação localizada de plantas que se desenvolvem rentes ao nível do solo; (E): qualidade de efluentes alcançável com o emprego de técnicas de tratamento tais como tratamento secundário + coagulação + filtração + desinfecção; qualidade dos efluentes avaliada ainda com o emprego de indicadores complementares (por exemplo, turbidez, SST, cloro residual); (F): agricultura de baixo nível tecnológico e mão de obra intensiva; G: agricultura de alto nível tecnológico e altamente mecanizada; (H): técnicas de tratamento com reduzida capacidade de remoção de patógenos (por exemplo, tanques sépticos ou reatores UASB) associada ao emprego de técnicas de irrigação com elevado potencial de minimização da exposição (irrigação subsuperficial). (2) remoção de vírus que associada a outras medidas de proteção à saúde corresponderia a risco de infecção  $\leq 10^{-3}$  pppa e riscos menores de infecções bacterianas e por protozoários. (3) Qualidade do efluente correspondente à remoção de patógenos indicada em (4). (2) No caso de exposição de crianças (15 anos) recomenda-se um padrão e, ou, medidas complementares mais exigentes:  $\leq 0,1$  ovo L<sup>-1</sup>, utilização de equipamentos de proteção individual, tratamento quimioterápico. No caso da garantia da remoção adicional de  $1 \log_{10}$  na higiene dos alimentos pode-se admitir  $\leq 10$  ovos L<sup>-1</sup>. (5) Média aritmética em pelo menos 90 % do tempo, durante o período de irrigação. A remoção requerida de ovos de helmintos ( $\log_{10}$ ) depende a concentração presente no esgoto bruto. Com o emprego de lagoas de estabilização, o tempo de detenção hidráulica pode ser utilizado como indicador de remoção de helmintos. No caso da utilização de técnicas de tratamento mais complexas (opção E), o emprego de outros indicadores (por exemplo, turbidez  $\leq 2$  uT) pode dispensar a verificação do padrão ovos helmintos. No caso de irrigação localizada, em que não haja contato da água com as plantas e na ausência de riscos para os agricultores (por exemplo, opção H) o padrão ovos de helmintos poderia ser dispensável.

Fonte: Adaptado de World Health Organization (2006).

de coliformes e de organismos patogênicos, turbidez  $\leq 2$  uT e cloro residual  $\geq 1$  mg L<sup>-1</sup>). Depreende-se que o critério de ausência de coliformes indique a ausência de bactérias patogênicas, enquanto a turbidez e o cloro residual se prestem ao papel complementar da indicação da remoção de protozoários por filtração e da inativação de vírus. Obviamente, um padrão com tais níveis de exigência somente pode ser alcançado (aliás, como explicitado) por processos rigorosos de tratamento de esgotos, incluindo a filtração e desinfecção.

Para a irrigação restrita (culturas alimentícias processadas comercialmente e culturas não alimentícias, silvicultura) exige-se também a desinfecção, a garantia de cloro residual  $\geq 1$  mg L<sup>-1</sup>, mas um padrão bacteriológico  $\leq 200$  CTer 100 mL<sup>-1</sup>. Não são explicitados padrões e não se exige o monitoramento de vírus e protozoários, com base no seguinte entendimento: (i) no caso da irrigação irrestrita, a combinação de requerimentos de tratamento e o emprego dos indicadores (turbidez e cloro residual x tempo de contato) deve assegurar efluentes livres de níveis detectáveis de patógenos; (ii) no caso da irrigação restrita, exigências mais rigorosas de tratamento não se justificariam em termos de custo-benefício (proteção à saúde); (iii) atendidos os padrões de qualidade de efluentes recomendados, não há evidências de risco relacionado à protozoários e vírus; (iv) não há consenso sobre o risco associado à presença de vírus em baixas densidades nos efluentes utilizados para irrigação. As diretrizes da USEPA são também omissas em relação aos helmintos, provavelmente no pressuposto de que “ovos de helmintos são eficientemente removidos pelos processos de tratamento usualmente empregados, tais como sedimentação, filtração ou lagoas de estabilização” (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2012).

A Tabela 4 e a Figura 1 sintetizam as diretrizes da OMS para irrigação com águas residuárias (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006), associando a remoção de patógenos com outras medidas de proteção à saúde para o alcance do nível de risco de infecção adotado como referência para definição do risco tolerável:  $10^{-3}$  pppa para exposição à rotavírus, isto é, no entendimento que o controle desse patógeno garantiria proteção suficiente também contra infecções bacterianas e por protozoários. No que diz respeito aos riscos associados a doenças helmínticas, ao se reconhecer a insuficiência de informações para a aplicação da metodologia de AQRM, o padrão de qualidade de efluentes ( $< 1$  ovo de helmintos por litro) permanece baseado nas evidências epidemiológicas disponíveis (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006).

Os exercícios de avaliação de risco que deram fundamentação às diretrizes da OMS (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006, MARA et al., 2007) sugerem que para alcançar o risco tolerável de infecção por rotavírus se deve garantir redução de 6 a 7 unidades logarítmicas desse patógeno (Tabela 4). Tais níveis de proteção podem ser alcançados por meio de técnicas adequadas de tratamento de esgotos, combinadas ou complementadas com remoção adicional por decaimento natural no ambiente e, ou, com medidas outras de proteção à saúde, tais como: técnicas de irrigação que minimizem o contato esgoto-planta ou a exposição humana, uso de equipamentos de proteção individual, higiene dos alimentos.

No caso da irrigação irrestrita (que inclui a irrigação de culturas consumidas cruas e que, portanto, além de riscos ocupacionais – ao trabalhador, envolve também risco ao consumidor), a opção *E* acomoda situações em que se quer reduzir ao máximo os perigos, o que exigiria o emprego de rigorosos processos de tratamento (remoção de  $7 \log_{10}$ ), aproximando-se assim da abordagem adotada nas diretrizes da USEPA (Tabela 3). Nas demais opções de irrigação irrestrita é considerado o tipo de exposição (Figura 1), sendo que a remoção de patógenos delegada aos processos de tratamento de esgotos (vírus, bactérias e protozoários) é complementada por outras medidas ou situações de proteção. Assim, na situação mais desfavorável - cultivo de culturas comestíveis cruas e mais susceptíveis à contaminação devido ao estreito contato com o solo, (opções *A* e *B*), requer-se até  $4 \log_{10}$  de remoção de patógenos no tratamento das águas residuárias, complementada por redução adicional esperada por decaimento natural ou por hábitos de limpeza das culturas irrigadas (o que bem se aplicaria ao caso de raízes, tubérculos e hortaliças folhosas). A diferença de redução total de patógenos requerida entre as opções *A* e *B*, *C* e *D* decorre da maior contaminação esperada em raízes e tubérculos e, portanto, do maior risco de infecção associado ao consumo dessas culturas. Nas opções *C* e *D*, o requerimento de remoção de patógenos é contrabalançado com a maior ou menor intensidade de contato entre a água de irrigação e as culturas irrigadas, menor no caso do emprego de irrigação por gotejamento e o cultivo de plantas que crescem mais distantes do nível do solo.

Para a irrigação restrita (que não inclui a irrigação de culturas consumidas cruas e que, portanto, envolve somente riscos ocupacionais), a utilização de efluentes tratados por técnicas com reduzida capacidade de remoção de patógenos (por exemplo, tanques sépticos ou reatores

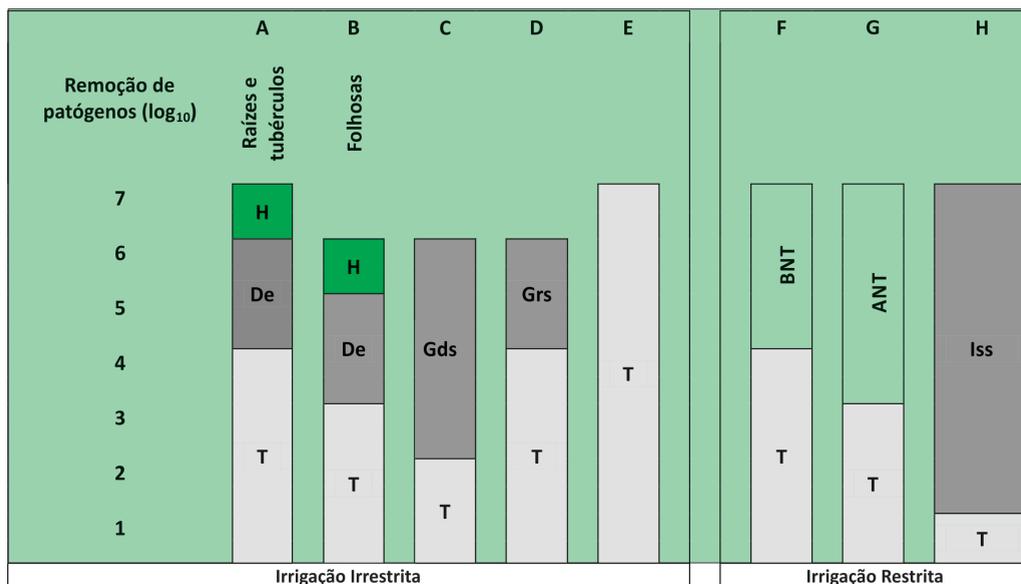
UASB) poderia ser associada ao emprego de técnicas de irrigação com elevado potencial de minimização da exposição (contato solo-água-planta-trabalhadores), por exemplo, a irrigação subsuperficial (opção H). No caso de agricultura com baixo nível tecnológico e uso intensivo de mão de obra

**Tabela 4.** Diretrizes da OMS para uso agrícola de águas residuárias

Categoria irrigação	Opção <sup>(1)</sup>	Tratamento de esgotos e remoção de patógenos ( $\log_{10}$ ) <sup>(2)</sup>	Qualidade do efluente	
			<i>E.coli</i> 100 mL <sup>-1</sup> <sup>(3)</sup>	Ovos helmintos L <sup>-1</sup>
Irrestrita	A	4	$\leq 10^3$	$\leq 1$ <sup>(4)</sup> <sup>(5)</sup>
	B	3	$\leq 10^4$	
	C	2	$\leq 10^5$	
	D	4	$\leq 10^3$	
	E	6 ou 7	$\leq 10^1$ ou $10^0$	
Restrita	F	4	$\leq 10^4$	
	G	3	$\leq 10^5$	
	H	< 1	$\leq 10^6$	

(1) Combinação de medidas de proteção à saúde (ver Figura 1). (A): cultivo de raízes e tubérculos; (B): cultivo de folhosas; (C): irrigação localizada de plantas que se desenvolvem distantes do nível do solo; (D): irrigação localizada de plantas que se desenvolvem rentes ao nível do solo; (E): qualidade de efluentes alcançável com o emprego de técnicas de tratamento tais como tratamento secundário + coagulação + filtração + desinfecção; qualidade dos efluentes avaliada ainda com o emprego de indicadores complementares (por exemplo, turbidez, SST, cloro residual); (F): agricultura de baixo nível tecnológico e mão de obra intensiva; G: agricultura de alto nível tecnológico e altamente mecanizada; (H): técnicas de tratamento com reduzida capacidade de remoção de patógenos (por exemplo, tanques sépticos ou reatores UASB) associada ao emprego de técnicas de irrigação com elevado potencial de minimização da exposição (irrigação subsuperficial). (2) remoção de vírus que associada a outras medidas de proteção à saúde corresponderia a risco de infecção  $\leq 10^{-3}$  pppa e riscos menores de infecções bacterianas e por protozoários. (3) Qualidade do efluente correspondente à remoção de patógenos indicada em (2). (4) No caso de exposição de crianças (15 anos) recomenda-se um padrão e, ou, medidas complementares mais exigentes:  $\leq 0,1$  ovo L<sup>-1</sup>, utilização de equipamentos de proteção individual, tratamento quimioterápico. No caso da garantia da remoção adicional de 1 log<sub>10</sub> na higiene dos alimentos pode-se admitir  $\leq 10$  ovos L<sup>-1</sup>. (5) Média aritmética em pelo menos 90 % do tempo, durante o período de irrigação. A remoção requerida de ovos de helmintos (log<sub>10</sub>) depende a concentração presente no esgoto bruto. Com o emprego de lagoas de estabilização, o tempo de detenção hidráulica pode ser utilizado como indicador de remoção de helmintos. No caso da utilização de técnicas de tratamento mais complexas (opção E), o emprego de outros indicadores (por exemplo, turbidez  $\leq 2$  uT) pode dispensar a verificação do padrão ovos helmintos. No caso de irrigação localizada, em que não haja contato da água com as plantas e na ausência de riscos para os agricultores (por exemplo, opção H) o padrão ovos de helmintos poderia ser dispensável.

Fonte: Adaptado de World Health Organization (2006).



T: tratamento; De: decaimento no ambiente; H: higiene dos alimentos (lavagem); Gds: irrigação por gotejamento de plantas que se desenvolvem distantes do nível do solo; Grs: irrigação por gotejamento de plantas que se desenvolvem rentes ao nível do solo; BNT: agricultura de baixo nível tecnológico (mão de obra intensiva); ANT: agricultura de alto nível tecnológico (mecanização); Iss: irrigação sub-superficial.

**Figura 1.** Exemplos de combinação de medidas de proteção à saúde para cumprimento da meta de nível de risco tolerável de infecção por vírus de  $10^{-3}$  pppa.

Fonte: Adaptado de World Health Organization (2006).

(elevada exposição) (opção F) é de se esperar que a meta de remoção de *E.coli* de  $4 \log_{10}$  seja garantida por meio do tratamento dos esgotos, produzindo efluentes com  $10^3 - 10^4 E.coli$   $100 \text{ mL}^{-1}$ . No caso de agricultura com elevado nível tecnológico e mecanização (opção G), supondo-se, portanto, exposição menos acentuada, seriam recomendadas 3 unidades logarítmicas de remoção, isto é, um efluente tratado com  $10^4 - 10^5 E.coli$   $100 \text{ mL}^{-1}$ . Nessas três opções, medidas de proteção adicionais, como a técnica de irrigação empregada ou a utilização de equipamentos de proteção individual poderiam, em tese, contribuir para elevados níveis de proteção, comparáveis aos das opções A ou E.

Na Tabela 5 apresenta-se um resumo do especificado para irrigação na Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) N° 357 / 2005, que “dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento” [com base em critérios de qualidade da água e respectivos usos] (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2005).

**Tabela 5.** Critérios de qualidade microbiológica de águas superficiais para uso em irrigação, Resolução Conama nº 357 / 2005.

Tipo de irrigação	Critério de qualidade <sup>(1)</sup>
Hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película	200 Cter ou <i>E.coli</i> / 100 mL
Hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto	1.000 Cter ou <i>E.coli</i> / 100 mL
Culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras	4.000 Cter ou <i>E.coli</i> / 100 mL

Cter: coliformes termotolerantes; (1) em 80% ou mais de pelo menos seis amostras coletadas durante o período de um ano, com periodicidade bimestral.

Assim como nos exemplos das Diretrizes da OMS e da USEPA para irrigação com águas residuárias, nota-se uma lógica correta nesta Resolução do Conama ao estabelecer relação entre os padrões de exigência de qualidade da água e os riscos potenciais à saúde associados a diferentes cenários de exposição. Porém, algumas contradições merecem ser destacadas. Para a situação mais desfavorável (hortaliças e frutas que se desenvolvem rente ao solo e que são ingeridas cruas, ou terminologia usada pela OMS, irrigação irrestrita) é estabelecido o limite de 200 Cter ou *E.coli* / 100 mL, mais rigoroso, portanto, que as Diretrizes da OMS para irrigação com águas residuárias em cenários análogos de exposição ( $10^3$  *E.coli* / 100 mL nas situações mais exigentes de irrigação irrestrita expressas na Tabela 4). Mais rigoroso inclusive do que o critério de balneabilidade estabelecido pela Resolução nº 274/2000 do Conama, que define como satisfatória para recreação de contato primário (“contato direto e prolongado com a água, tal como natação, mergulho, esqui aquático, no qual a possibilidade do banhista ingerir água é elevada”) a água que apresente “no máximo 1.000 coliformes termotolerantes ou 800 *Escherichia coli* por 100 mililitros em 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das cinco semanas anteriores, colhidas no mesmo local” (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2001).

Nas classes seguintes, permite-se a irrigação das demais hortaliças e plantas frutíferas e de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras (na terminologia usada pela OMS, irrigação restrita) com água contendo até, respectivamente, 1.000 e 4.000 Cter ou *E.coli* / 100 mL, ou seja, conforme já destacado, similar ao recomendado pela OMS para os cenários mais desfavoráveis de irrigação irrestrita. Em resumo, os critérios para qualidade da

água para irrigação da Resolução Conama nº 357 / 2005 nitidamente carecem de fundamentação em avaliação de risco e soam excessivamente restritivos.

### **Normas e critérios de qualidade microbiológica de hortaliças e associação com a qualidade da água de irrigação**

Assim como discutido em relação à qualidade da água para irrigação, há controvérsias sobre a efetividade do estabelecimento de normas de qualidade microbiológica de hortaliças e frutas consumidas cruas, isto é, o estabelecimento de normas e padrões de qualidade de cumprimento mandatório, ou de critérios de qualidade a serem observados em programas mais amplos de boas práticas e de gestão de risco em todo o ciclo de produção, processamento e distribuição dos produtos.

A título de exemplo, na Tabela 6 são apresentados normas e critérios de qualidade microbiológica de hortaliças e frutas, vigentes no Brasil e em outros países ou sugeridas por organismos internacionais. As recomendações da International Comission on Microbiological Specifications for Food (1974) são citadas na Tabela 6 apenas como registro histórico, pois em edição seguinte a International Comission on Microbiological Specifications for Food (1986) já não mais fazia menção a padrões microbiológicos para frutas e hortaliças que são consumidas cruas, no entendimento de que, como acima referido, mais importante é a observação de boas práticas de produção (incluindo a adubação e irrigação), colheita, embalagem e transporte. De forma similar, nos exemplos da Nova Zelândia (NEW ZEALAND, 1995) e Canadá (CANADA, 2008) os valores citados têm caráter de diretrizes e não de padrões microbiológicos. No caso da Canadá, é destacado que a segurança dos alimentos não pode se basear unicamente na verificação da qualidade microbiológica dos produtos, sendo fundamental o uso de programas baseados nos princípios da APPCC. Dito isso, é de se observar que o ponto de corte de aceitação de qualidade de hortaliças consumidas cruas varia entre  $10^3$  *E.coli* / g e  $10^2$ - $10^4$  CTer / g, sendo o critério vigente no Brasil um dos mais rigorosos.

Como já indicado na introdução do presente texto, a literatura nacional traz um número considerável de relatos sobre qualidade microbiológica de águas utilizadas para irrigação de hortaliças, bem como da qualidade de hortaliças irrigadas ou comercializadas em várias partes do país. Entretanto, isso não chega a constituir um banco de dados que retrate a qualidade das águas de irrigação utilizadas no Brasil. Também no cenário internacional, como pontuado por Pachepsky et al. (2011), embora haja

**Tabela 6.** Padrões microbiológicos para hortaliças e frutas *in natura*.

Grupo de alimentos	Microrganismo	Tolerância para amostra indicativa	Tolerância para amostra representativa			
			n	c	m	M
International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF, 1974)						
Frutas e vegetais consumidos crus	<i>E. coli</i> / g		5	2	10	10 <sup>3</sup>
	Coliformes tertolerantes / g		5	2	10 <sup>2</sup>	10 <sup>4</sup>
	Salmonella / 25 g	Ausência	10	0	Ausência	-
Canadá (Canada, 2008)						
Frutas e vegetais	Coliformes termotolerantes / g		5	2	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>
	Salmonella spp / 25 g		5	0	0	-
Nova Zelândia (New Zealand, 1995)						
Frutas e vegetais frescos	<i>E. coli</i> O157 / g		5	0	0	-
	<i>E. coli</i> / g		5	2	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>
Resolução Anvisa RDC nº 12 / 2001 (Brasil, 2001)						
Hortaliças frescas, "in natura", inteiras, selecionadas ou não	Salmonella spp / 25 g	Ausência	5	0	Ausência	-
Hortaliças frescas, "in natura", preparadas (descascadas ou selecionadas ou fracionadas) sanificadas, refrigeradas ou congeladas, para consumo direto	Salmonella spp / 25 g	Ausência	5	0	Ausente	-
	Coliformes termotolerantes / g	10 <sup>2</sup>	5	2	10	10 <sup>2</sup>
Frutas - morangos frescos e similares, "in natura", inteiras, selecionadas ou não.	Salmonella spp / 25 g	Ausência	5	0	Ausência	-
	Coliformes termotolerantes / g	2 x 10 <sup>3</sup>	5	2	2 x 10 <sup>2</sup>	2 x 10 <sup>3</sup>
Frutas frescas, "in natura", preparadas (descascadas ou selecionadas ou fracionadas) sanificadas, refrigeradas ou congeladas, para consumo direto.	Salmonella spp / 25 g	Ausência	5	0	Ausência	-
	Coliformes termotolerantes / g	10 <sup>2</sup>	5	2	10	10 <sup>2</sup>

*m*: é o limite que, em um plano de três classes, separa o lote aceitável do produto ou lote com qualidade intermediária aceitável. *M*: é o limite que, em plano de duas classes, separa o produto aceitável do inaceitável. Em um plano de três classes, *M* separa o lote com qualidade intermediária aceitável do lote inaceitável. Valores acima de *M* são inaceitáveis. *n*: é o número de unidades a serem colhidas aleatoriamente de um mesmo lote e analisadas individualmente. Nos casos nos quais o padrão estabelecido é ausência em 25 g, como para *Salmonella* sp e *Listeria monocytogenes* e outros patógenos, é possível a mistura das alíquotas retiradas de cada unidade amostral, respeitando-se a proporção p/v (uma parte em peso da amostra, para 10 partes em volume do meio de cultura em caldo). *c*: é o número máximo aceitável de unidades de amostras com contagens entre os limites de *m* e *M* (plano de três classes). Nos casos em que o padrão microbiológico seja expresso por "ausência", *c* é igual a zero, aplica-se o plano de duas classes. Tipos de plano: Duas classes: quando a unidade amostral a ser analisada pode ser classificada como aceitável ou inaceitável, em função do limite designado por *M*, aplicável para limites qualitativos. Três classes: quando a unidade amostral a ser analisada pode ser classificada como aceitável, qualidade intermediária aceitável ou inaceitável, em função dos limites *m* e *M*. Além de um número máximo aceitável de unidades de amostra com contagem entre os limites *m* e *M*, designado por *c*. As demais unidades, *n* menos *c*, devem apresentar valores menores ou iguais a *m*. Nenhuma das unidades *n* pode apresentar valores superiores ao *M*.

informações relativamente amplas de qualidade de águas superficiais, informações mais específicas sobre qualidade da água para irrigação são mais escassas. Adicionalmente, em ambos os casos, as informações disponíveis são majoritariamente baseadas em organismos indicadores e, como já referido no item 2, rigorosamente, isso pouco ou nada informa mais especificamente sobre a presença, e menos ainda sobre a concentração, de determinado patógeno na água. Sendo assim, a predição da qualidade microbiológica de produtos irrigados a partir da qualidade microbiológica da água de irrigação em si não é fácil e, além disso, há reconhecidamente outros fatores pré e pós-colheita que determinam a qualidade dos produtos colocados no mercado ou, finalmente, na mesa do consumidor.

Não obstante, conforme discutido no item 4, modelos de AQRM têm se valido de relações empíricas que permitam estimar a concentração de microrganismos na superfície de hortaliças irrigadas a partir do conhecimento da concentração de microrganismos na água de irrigação e isso pressupõe que a contaminação se dê por aderência dos microrganismos à superfície das culturas irrigadas. Cabe então esclarecer que esse é de fato reconhecido como o principal mecanismo de contaminação de culturas irrigadas, embora restem controvérsias sobre a probabilidade de internalização de microrganismos, isto é o transporte via sistema radicular e a colonização de tecidos vegetais (PACHEPSKY et al., 2011).

Em todo caso, vale observar que, com base nas equações 3 e 4 propostas por Bastos et al. (2008) a partir de experimentos com irrigação de hortaliças com efluentes de lagoas de estabilização (ver item 4), mesmo a irrigação com água contendo cerca de  $10^5$  *E. coli*/100 mL pode resultar em níveis de contaminação de hortaliças que se desenvolvem distantes do nível do solo sempre abaixo do padrão estabelecido pela Anvisa (Tabela 7). No cenário mais desfavorável (irrigação de hortaliças que se desenvolvem rentes ao nível do solo), o uso de água contendo  $10^1$ - $10^2$  e  $10^3$ - $10^4$  *E. coli*/100 mL (valores medianos) resultou em níveis de contaminação, respectivamente, sempre abaixo e próximos ao limite de aceitação da Anvisa (Tabela 7). Esses resultados confirmam então que a seleção de culturas, bem como dos métodos de irrigação, têm grande impacto sobre os níveis de contaminação de hortaliças irrigadas e reforçam o entendimento presente nas Diretrizes da OMS para irrigação com águas residuárias (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006) de que a irrigação com efluentes contendo até de  $10^3$  *E. coli*/100 mL seja prática segura.

**Tabela 7.** Estimativa da contaminação de hortaliças irrigadas com efluentes de lagoas de estabilização – valores das medianas e percentis 95% das distribuições de probabilidades obtidas por simulação de Monte Carlo.

Qualidade da água de irrigação ( <i>E. coli</i> /100 mL)		Qualidade das hortaliças irrigadas ( <i>E. coli</i> /g)			
		Desenvolvimento rente ao nível do solo		Desenvolvimento distante do nível do solo	
Mediana	95%	Mediana	95%	Mediana	95%
1,60 x 10 <sup>5</sup>	5,20 x 10 <sup>5</sup>	4,02 x 10 <sup>3</sup>	1,04 x 10 <sup>4</sup>	4,79 x 10 <sup>1</sup>	8,03 x 10 <sup>1</sup>
3,25 x 10 <sup>3</sup>	1,49 x 10 <sup>4</sup>	1,58 x 10 <sup>2</sup>	5,47 x 10 <sup>2</sup>	8,28	1,62 x 10 <sup>1</sup>
1,00 x 10 <sup>2</sup>	1,89 x 10 <sup>3</sup>	8,51	9,75 x 10 <sup>1</sup>	1,70	6,37
3,10 x 10 <sup>1</sup>	6,86 x 10 <sup>2</sup>	3,22	4,21 x 10 <sup>1</sup>	1,00	4,04

Fonte: Pavione (2010)

## Considerações finais

De início, é preciso identificar que o Brasil não dispõe de norma ou diretrizes de qualidade microbiológica da água específicas para irrigação, pois os critérios estabelecidos na Resolução Conama nº 357 / 2005 se inserem em contexto mais amplo de classificação e enquadramento dos corpos de água. Não obstante, o uso da água para irrigação constitui um dos pontos de corte importantes entre as várias classes de qualidade da água estabelecidas na Resolução Conama nº 357 / 2005, e os respectivos critérios de qualidade microbiológica são de fato referências vigentes.

Assim, a discussão no país deve começar, como problematizado no item 5, sobre a pertinência de ser ter ou não regulamentação específica sobre qualidade da água para irrigação, especificando ou não padrões microbiológicos, e se estes devem assumir caráter de cumprimento mandatório ou de diretrizes orientadoras de boas práticas.

Na sequência, a discussão sobre que padrões microbiológicos estabelecer deve ter em consideração o discutido no item 2 sobre a propriedade de que tais padrões estejam fundamentados em avaliação de risco à saúde humana, de tal forma que sejam sim efetivos na proteção a saúde mas também bem fundamentados cientificamente e de implementação factível. E se nesse

sentido a abordagem da Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico se apresenta como ferramenta valiosa, para que de fato seja útil na formulação de critérios consistentes, é preciso que os cenários e modelos de exposição que compõem os modelos de estimativa de risco sejam condizentes com a realidade nacional. Estão assim delineados desafios para os entes reguladores da matéria no país, particularmente os setores de saúde, de meio ambiente e de recursos hídricos, bem como para a academia.

Por fim, se quer registrar que o enfoque dado neste capítulo pode, por vezes, soar como “datado” ao, por exemplo, fazer referência à Resolução nº 357/2005 do Conama e os respectivos critérios de qualidade da água. Mas não necessariamente o é, pois o mais relevante aqui são as reflexões levantadas sobre a necessidade da boa fundamentação científica, e particularmente a “defesa” que se faz da adequada apropriação e aplicação da metodologia de AQRM, para a formulação de normas ou critérios de qualidade da água para irrigação, bem como para a crítica bem fundamentada da regulamentação vigente em qualquer tempo, no sempre necessário processo continuado de revisão e atualização.

## Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001. Aprova o Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 10 jan. 2001.
- ARAÚJO, J. D. Polarização epidemiológica no Brasil. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, Brasília, DF, v. 21, n. 4, p 533-538, 2012.
- ASANO, T.; LEONG, L. Y. C.; RIGBY, M. G.; SAKAJI, R. H. Evaluation of the California wastewater reclamation criteria using enteric virus monitoring data. **Water Science and Technology**, Oxford, v. 26, n 7-8, p. 1513-1524, 1992.
- BARROS, A. J. M.; CEBALLOS, B. S. O. de.; KÖNIG, A.; GHEYI, H. R. Avaliação sanitária e físico-química das águas para irrigação de hortaliças no agreste e brejo paraibanos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 355-360, 1999.
- BASTOS R. K. X.; BEVILACQUA, P. D.; KELLER, R. Organismos patogênicos e efeitos sobre a saúde humana. In: GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Desinfecção de efluentes sanitários**. Rio de Janeiro: ABES: RiMa, 2003. cap. 2 p. 27-88. (Projeto ProSab).

BASTOS R. K.; BEVILACQUA, P. D.; SILVA, C. A.; SILVA, C. V. Wastewater irrigation of salad crops: further evidence for the evaluation of the WHO guidelines. **Water Science and Technology**, Oxford, v. 57, n. 8, p. 1213-1219, 2008.

BASTOS, M. S. R.; ALVES, R. E. Segurança dos alimentos. In: MORETTI, C. L. (Ed.) **Manual de processamento mínimo de frutas e hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças: Sebrae, 2007. cap. 4, p. 123-140.

BLUMENTHAL, U. J.; MARA, D. D.; PEASEY, A. RUIZ-PALACIOS, G; STOTT, R. Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines. **Bulletin of the World Health Organization**, Geneva, v. 78, n. 9, p. 1001-1116, 2000.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação Geral das Doenças Transmissíveis. Unidade Técnica de Doenças de Veiculação Hídrica e Alimentar. **Dados Epidemiológicos - DTA período de 2000 a 2011**. Brasília,DF, 2011. Disponível em: <[www. http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/dados\\_epidemiologicos\\_dta\\_15911.pdf](http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/dados_epidemiologicos_dta_15911.pdf)>. Acesso em: 03 junho. 2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância das Doenças Transmissíveis. Coordenação Geral das Doenças Transmissíveis. Unidade Técnica de Doenças de Veiculação Hídrica e Alimentar. Brasília, 2012. **Doenças Diarréicas Agudas (dados)**. Disponível em: <[www.portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/vigilanciadda.pdf](http://www.portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/vigilanciadda.pdf)>. Acesso em: 03 junho. 2013.

CANADA. Health Canada. Health Products and Food Branch. **Standards and guidelines for microbiological safety of food: an interpretive summary**. Ottawa, 2008. 16 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução nº 274, de 29 de novembro de 2000. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 25 jan. 2001, n. 18, seção 1, p. 89-91.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução nº 357, de 17 de mar. de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 mar. 2005, nº 053, seção 1 p. 58-63.

CORTEZ, L. A. B.; HONÓRIO, S. L.; NEVES FILHO, L de C.; MORETTI, C. L. Importância do resfriamento para frutas e hortaliças no Brasil. In: CORTEZ, L. A.

B.; HONÓRIO, S. L.; MORETTI, C. L. (Ed.). **Resfriamento de frutas e hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. p. 18-35.

CROOK, J. California State Regulations. In: UNITED STATES. Environmental Protection Agency. **2012 Guidelines for water reuse**. Washington, DC, 2012. p. D57-D60.

DUARTE, E. C.; BARRETO, S. M. Transição demográfica e epidemiológica: a epidemiologia e serviços de saúde revisita e atualiza o tema. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, Brasília, DF, v. 21, n. 4, p. 529-532, 2012.

GUIMARÃES, A. M.; ALVES, E. G. L.; FIGUEIREDO, H. C. P.; COSTA, G. M. da; RODRIGUES, L. dos S. Frequência de enteroparasitas em amostras de alface (*Lactuca sativa*) comercializadas em Lavras, Minas Gerais. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, Uberaba, v. 36, n. 5, p. 132-135, 2003.

HAAS, C. N.; ROSE, J.; GERBA, C. P. **Quantitative microbial risk assessment**. New York: John Wiley & Sons, 1999. 449 p.

HAMILTON, A. J.; STAGNITTI, F. S.; PREMIER, R.; BOLAND, A. M. Is the risk of illness through consuming vegetables irrigated with reclaimed wastewater different for different population groups? **Water Science and Technology**, Oxford, v. 54, n. 11-12, p. 379-386, 2006b.

HAMILTON, A. J.; STAGNITTI, F.; PREMIER, R.; BOLAND, A.; HALE, G. Quantitative microbial risk assessment models for consumption of raw vegetables irrigated with reclaimed water. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, DC, v. 72, n. 5, p. 3284 - 3290, 2006a.

HUNTER, P. R.; FEWTRELL, L. Acceptable risk. In: FEWTRELL, L.; BARTRAM, J. (Ed.) **Water quality guidelines, standards and health: assessment of risk and risk management for water related infectious disease**. London: IWA Publishing, 2001. p. 207-227.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010a. 219 p.

IBGE. **Pesquisa de orçamentos familiares 2008-2009**: aquisição alimentar domiciliar *per capita* – Brasil e grandes regiões. Rio de Janeiro: IBGE, 2010b. 282 p.

INTERNATIONAL COMMISSION ON MICROBIOLOGICAL SPECIFICATIONS FOR FOODS. **Sampling for microbiological analysis**: principles and specific applications. Toronto: University of Toronto Press, 1974. xi, 213 p. (Microorganisms in foods, 1).

INTERNATIONAL COMMISSION ON MICROBIOLOGICAL SPECIFICATIONS FOR FOODS. **Sampling for microbiological analysis**: principles and specific applications. 2nd ed., Toronto: University of Toronto Press, 1986. (Microorganisms in foods, 2).

MARA, D. D.; SLEIGH, P. A.; BLUMENTHAL, U. J.; CARR, R. M. Health risks in wastewater irrigation: Comparing estimates from quantitative microbial risk analyses and epidemiological studies. **Journal of Water and Health**, London, v. 5, n. 1, p. 39-50, 2007.

MEXICO. Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. **Diario Oficial de la Federación**, México DF, 11 dec. 1996.

MORGAN, M. G.; HERION, M. **Uncertainty**: a guide to dealing with uncertainty in quantitative risk and policy analysis. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

NATURAL RESOURCE MANAGEMENT MINISTERIAL COUNCIL; ENVIRONMENT PROTECTION AND HERITAGE COUNCIL; AUSTRALIAN HEALTH MINISTERS CONFERENCE. **National guidelines for water recycling**: managing health and environmental risks. Canberra, 2006. Disponível em: <[http://www.ephc.gov.au/sites/default/files/WQ\\_AGWR\\_GL\\_Managing\\_Health\\_Environmental\\_Risks\\_Phase1\\_Final\\_200611.pdf](http://www.ephc.gov.au/sites/default/files/WQ_AGWR_GL_Managing_Health_Environmental_Risks_Phase1_Final_200611.pdf)>. Acesso em: 03 jun. 2013.

NEW ZEALAND. Ministry of Health. **Microbiological reference criteria for food**. Food Administration Manual S.11. Version 2.0, October 1995, 25 p.

OLIVEIRA, C. A. F.; GERMANO, P. M. L. Estudo da ocorrência de enteroparasitas em hortaliças comercializadas na região metropolitana de São Paulo, SP, Brasil. I- pesquisa de helmintos. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 26, n. 4, p. 283-289, 1992.

PACHEPSKY, Y.; SHELTON, D. R.; McLAIN, J. E. T.; PATEL, J.; MANDRELL, R. E. Irrigation waters as a source of pathogenic microorganisms in produce: a review. **Advances in agronomy**, San Diego, v. 113, p. 73-138, 2011.

PAVIONE, D. M. S.; BASTOS R. K. X.; BEVILACQUA, P. D. Quantitative microbial risk assessment applied to irrigation of salad crops with waste stabilization pond effluents. **Water Science and Technology**, Oxford, v. 67, n. 6, p. 1208-1215, 2013.

PAVIONE, D. M. de S. **Análise de incertezas e de sensibilidade e avaliação quantitativa de risco microbiológico aplicadas ao dimensionamento de lagoas de polimento e à utilização de efluentes para irrigação**. 2010. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

- PETTERSON, S. R.; ASHBOLT, N. SHARMA, A. Microbial risks from wastewater irrigation of salad crops: a screening-level risk assessment. **Water Environmental Resources**, Alexandria, v. 73, n. 6, p. 667–672, Nov./Dec. 2001.
- PORTUGAL. Instituto Português da Qualidade. **NP 4434 – Norma Portuguesa sobre reutilização de águas residuais urbanas tratadas na rega**. Caparica, 2005.
- ROSE, J. B.; DICKSON, L. J.; FARRAH, S. R.; CARNAHAN, R. P. Removal of pathogenic and indicator microorganisms by a full-scale water reclamation facility. **Water Research**, New York, v. 30, n. 11, p. 2785–2797, 1996.
- SANTANA, L. R. de.; CARVALHO, R. D. S.; LEITE, C. C.; ALCÂNTARA, L. M.; OLIVEIRA, T. W. S. de. Qualidade física, microbiológica e parasitológica de alfaces (*Lactuca sativa*) de diferentes sistemas de cultivo. **Ciências e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 2, p. 264-269, 2006.
- SANTOS, C. M. G.; BRAGA, C. de L.; VIEIRA, M. R. da S.; CERQUEIRA, R. C.; BRAUER, R. L.; LIMA, G. P. P. Qualidade da alface comercializada no município de Botucatu - SP. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, Hermosillo, v. 11, n. 1, p. 67-74, 2010.
- SEIDU, S.; HEISTAD, A.; AMOAH, P.; DRECHSEL, P.; JENSSEN, P. D.; STENSTRO, M. T. A. Quantification of the health risk associated with wastewater reuse in Accra, Ghana: a contribution toward local guidelines. **Journal of Water and Health**, London, v. 6, n. 4, p. 641–671, 2008.
- SHUVAL, H. I.; LAMPERT, Y.; FATTAL, B. Development of a risk assessment approach for evaluating wastewater reuse standards for agriculture. **Water Science and Technology**, Oxford, v. 35, n. 11–12, p. 15–20, 1997.
- SILVEIRA, J.; GALESKAS, H.; TAPETTI, R. LOURENCINI, I. Quem é o consumidor de brasileiro de frutas e hortaliças? **Hortifruti Brasil**, Piracicaba, Ano 10, n. 103, p. 8-18, julho 2011.
- TAKAYANAGUI, O. M.; CAPUANO, D. M.; OLIVEIRA, C. A. D.; BERGAMINI, A. M. M.; OKINO, M. H. T.; CASTRO E SILVA, A.; OLIVEIRA, M. A.; RIBEIRO, E. G. A. TAKAYANAGUI, A. M. M. Avaliação da contaminação de hortas produtoras de verduras após a implantação do sistema de fiscalização em Ribeirão Preto, SP. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**. Uberaba, v.40, n.2, p. 239-241, 2007.
- TANAKA, H.; ASANO, T.; SCHOEDER, E. D.; TCHOBANOGLIOUS, G. Estimating the safety of wastewater reclamation and reuse using enteric virus monitoring data. **Water Environmental Research**, Alexandria, v. 70, n. 1, p.39–51, 1998.

UNITED STATES. Environmental Protection Agency. **2012 Guidelines for water reuse**. Washington DC, 2012, 643 p. (EPA/600R/R-12/618).

van GINNEKEN, M.; ORON, G. Risk assessment of consuming agricultural products irrigated with reclaimed wastewater: an exposure model, **Water Resources Research**, Washington, DC, v. 36, n. 9, p. 2691–2699, 2000.

VOSE, D. **Risk analysis: a quantitative guide**. 3<sup>rd</sup> ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2008. 735 p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for drinking water quality**. 4<sup>th</sup> ed. Geneva, 2011. 541 p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**. Geneva, 2006. 213 p. v. 2.

# Remoção Biológica de Nutrientes precedido de Reator UASB: O Caso da ETE Gama (DF)<sup>1</sup>

Mauro Roberto Felizatto  
Antônio Carlos Teixeira Pinto Filho  
Edson da Silva Soares  
Carlos Alexandre Batista dos Santos  
Rosvaldo Catino

## Introdução

As primeiras fazendas desapropriadas pelo Governo de Goiás para compor o território do Distrito Federal, lá pelo final dos anos 50, foram: Alagado, Ipê, Ponte Alta e Gama, sendo nesta última propriedade, a Fazenda do Gama, o local onde, em 1956, desembarcou a primeira comitiva oficial em visita à nova capital. Posteriormente, o Governo Federal construiu nesse mesmo sítio uma pista de pouso e a primeira residência de Brasília, o *Catetinho* (FERRO, 1997).

Comenta Ferro (1997), que a cidade-satélite do Gama, inaugurada em 12 de outubro de 1960, foi planejada para uma população constituída de trabalhadores oriundos de invasões/acampamentos e outros grupos que desde 1959 viviam em torno das antigas fazendas da região. O projeto urbanístico do Gama, de autoria de Paulo Hungria, dividiu a cidade em cinco setores: Norte, Sul, Leste, Oeste e Central, lembrando o formato de uma colméia; o Setor Central, voltado às atividades comerciais e os demais, destinados às quadras residenciais. O nome Gama, originalmente dado a um ribeirão da região, foi uma homenagem a *Luiz da Gama Mendonça*, primeiro padre do povoado de Santa Luzia, hoje Luziânia-GO (FERRO, 1997).

---

<sup>1</sup> Este capítulo foi originado do trabalho apresentado no no 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Os conceitos fundamentais do processo de lodos ativados foram desenvolvidos em 1914 por Edward Andern e William Lockett, discípulos do Dr. Gilbert John Fowler da Universidade de Manchester, Inglaterra, tornando-se, desde então, amplamente difundido no mundo (JORDÃO e PESSÔA, 2005). Segundo Cooper (2001), esse processo (e suas diversas variantes) tem sido o principal mecanismo no tratamento secundário de águas residuárias e provavelmente aquele que mais contribuiu para a melhoria do meio ambiente aquático no século XX.

Cooper (2001) também comenta que foi no período de 1965 a 2000 onde houve maior ênfase na aplicação das técnicas conhecidas para remoção de Matéria Orgânica (DBO, DQO, SST), Nutrientes (Fósforo e Nitrogênio) e processo de desinfecção (COOPER, 2001).

Beccari et al. (1993), reportaram que a preocupação com a remoção de fósforo começou em meados dos anos 50, indo até o fim dos anos 60. Shapiro et al. (1967) examinaram em detalhe o comportamento do fósforo no processo de lodos ativados em condições aeróbias e anaeróbias, observando uma liberação de fósforo na fase anaeróbia e uma forte captura, chamada pelos próprios de “luxury uptake”, em uma fase aeróbia; tal fenômeno era interrompido na presença de substâncias tóxicas, revelando assim a natureza biológica do mecanismo de remoção, também chamado de Desfosfatização Biológica.

O problema de como remover fósforo em unidades de tratamento de lodos ativados, em escala real, foi solucionado em 1974 por James Barnard, hoje considerado o “pai da remoção biológica de fósforo”, e seus colegas da África do Sul. Em função de padrões rigorosos de fósforo total no efluente final ( $PT < 1,0 \text{ mg/L}$ ), a solução atualmente utilizada tem sido combinar a desfosfatização biológica com a remoção química, utilizando coagulantes metálicos (HAAS, 2000; WENTZEL e EKAMA, 2002).

No Brasil, o processo de lodos ativados convencional foi inicialmente implementado pelo Engenheiro Azevedo Netto nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e no Distrito Federal, sendo adotado nas ETES Brasília Sul (1962) e Norte (1967) (JORDÃO e PESSÔA, 2005).

As citadas ETES de Brasília-DF lançam os seus efluentes no Lago Paranoá, importante espelho d’água de efeito estético e de lazer. Tendo em vista o aumento populacional do Distrito Federal, além do planejado, e ressaltando que as ETES originais não removiam nutrientes, ocorreu na

década de 70 o processo de eutrofização do Lago Paranoá. Com isso, a Caesb decidiu construir novas estações de tratamento com remoção biológica ampliada de nutrientes (Nitrogênio e Fósforo).

O presente relato técnico tem como finalidade analisar o desempenho operacional da ETE Gama, comparando os resultados da seguinte forma: (i) cálculo das remoções globais da unidade operacional para DBO, DQO, SST, PT e NT, em comparação com as referências adotadas pelo Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas, conhecido como PRODES/ANA (LIBÂNIO et al., 2007) e (ii) levantamento de frequências das concentrações do efluente final dos mesmos parâmetros citados utilizando o método para avaliação de desempenho de ETEs - *TPS (Technology Performance Statistics)*, proposto por United States Environmental Protection Agency (2010).

## Material e métodos

### ETE GAMA

A unidade depuradora está localizada no km 20 da rodovia DF 290 (16°01,493'S e 48°05,815'E), ao sudoeste da cidade-satélite do Gama, uma das 17 ETEs pertencentes ao sistema de esgotamento sanitário do Distrito Federal e operada pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (Caesb). Foi projetada para tratar águas residuárias de uma população equivalente de 182.730 habitantes. A Tabela 1 demonstra alguns dos principais parâmetros utilizados no projeto (Caesb, 2003). Essa unidade de depuração traz no seu desenho a nova filosofia nacional para tratamento de esgotos domésticos, que associa sequencialmente os processos anaeróbio e aeróbio. Jordão, Volschan e Além Sobrinho (2007) comentaram que essa nova configuração é uma excelente experiência brasileira no tratamento de águas residuárias.

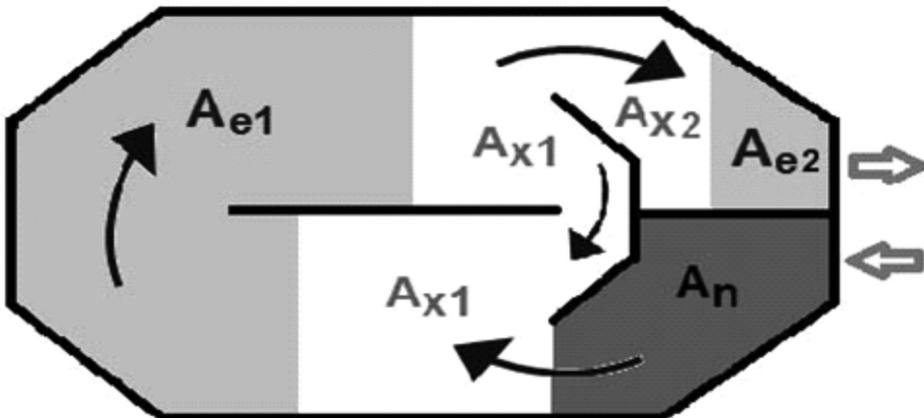
**Tabela 1.** Principais parâmetros de projeto da ETE Gama.

Parâmetros	Valores	Unidades
Vazão média (Qmed)	328	L/s <sup>-1</sup>
Vazão máxima (Qmax)	545	L/s <sup>-1</sup>
Carga orgânica diária	9.867	Kg DBO/d
Contribuição <i>per capita</i>	155	L/hab.d

Fonte: Caesb (2003).

A ETE Gama lança seu efluente final no Ribeirão Ponte Alta, pertencente à Bacia Hidrográfica do Rio Corumbá. A construção de uma represa a jusante desse lançamento, levou à necessidade do tratamento dos esgotos a nível terciário, ou seja, processo de remoção biológica de nutrientes (RBN) com foco principal no Fósforo.

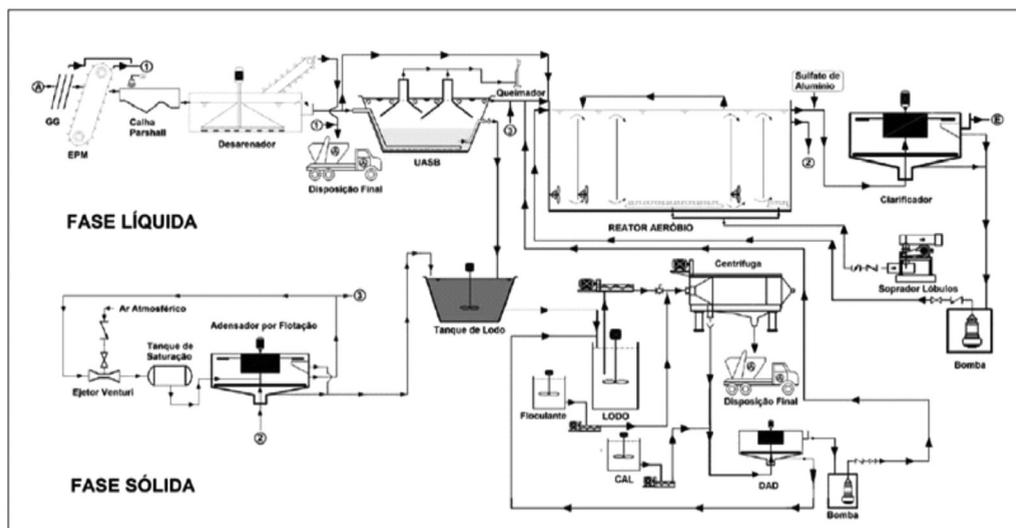
O reator aeróbio da ETE Gama é classificado como processo PHOREDOR ou BARDENPHO<sup>®</sup> Modificado de cinco Estágios (BARNAD, RANDALL e STENSEL, 1992), com aeração prolongada e co-precipitação, como ilustrado nas Figuras 1 e 2. A Figura 1 apresenta um desenho esquemático do reator aerado da ETE Gama, onde pode ser verificado que não existe compartimentação das fases que compõem o processo. Essa configuração não é muito frequente em remoção biológica de nutrientes, mas muito usual em Valos de Oxidação.



**Figura 1.** Desenho esquemático do reator aerado da ETE Gama (sem escala).  
Legenda:  $A_n$ ... Zona Anaeróbia,  $A_{x1}$ ... Zona Anóxica (Primeira),  $A_{e1}$ ... Zona Aeróbia (Primeira),  $A_{x2}$ ...Zona Anóxica (Segunda),  $A_{e2}$ ...Zona Aeróbia (Segunda). Fonte: Autores do artigo

A Figura 2 apresenta o fluxograma de todo o processo de tratamento da ETE Gama, fases líquida e sólida. Na fase líquida pode-se observar a adição de coagulante metálico, Sulfato de Alumínio líquido, com vistas à coprecipitação de Fósforo.

O projeto da ETE Gama estipulou as características das águas residuárias em cada etapa do processo de tratamento, conforme demonstrado na Tabela 2; observa-se como características químicas: matéria carbonácea



**Figura 2.** Fluxograma da Estação de tratamento de esgotos do Gama-DF. (Legenda: A – Afuente, E – Efluente, GG- Grade grossa, EPM- Esteira peneiramento mecânico, UASB – Reator anaeróbico de fluxo ascendente, DAD – Decantador e adensador de lodo não capturado). Fonte: Autores do artigo.

(DQO, DBO e SST) e nutrientes (Fósforo - PT e Nitrogênio - NT,  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ ); características físicas (pH e Temperatura) e microbiológica (CT – Coliformes Termotolerantes).

**Tabela 2.** Características da qualidade da água preconizadas no projeto da ETE Gama.

Parâmetros	Unidade	Afluente	Efluente UASB	Efluente final
DQO	mg- $\text{O}_2$ /L	580	246 - 33	$\leq 125$
DBO	mg- $\text{O}_2$ /L	348	148 - 200	$\leq 50$
SST	mg/L	290	74 - 100	-
$\text{N}_T$	mg-N/L	56,0	38 - 51	$\leq 10,0$
$\text{P}_T$	mg-P/L	8,20	5,20 - 7,10	$\leq 1,00$
$\text{NH}_4^+$	mg-N/L	35,0	--	-
$\text{NO}_3^-$	mg-N/L	0,04	--	-
pH	---	---	--	5,0 - 9,0
Temperatura	°C	---	--	$\leq 40$
Coliformes Termotolerantes	NMP/100m L	$1,0 \times 10^7$	--	-

Fonte: Caesb (2003).

Como demonstrado no fluxograma de processo da Figura 2, a configuração das unidades de tratamento da ETE Gama é a seguinte: Tratamento Preliminar (Grade Grosseira de limpeza manual de abertura de 2", três Esteiras de Peneiramento Mecânico de abertura 3 mm), quatro reatores UASB e dois reatores aerados com dois clarificadores por reator. Na fase sólida o adensamento do lodo aeróbio descartado é realizado pelo processo de flotação por ar dissolvido sob pressão – FAD. Essa etapa ainda possui um reservatório de lodos (anaeróbio e aeróbio adensado), desaguamento mecanizado de lodos por centrifugação e decandator-adensador de lodo não capturado. O lodo de esgotos desaguado produzido é estocado temporariamente em galpão coberto.

**Tabela 3.** Parâmetros de controle operacional e métodos empregados

Parâmetros	Método
DBO (mg-O <sub>2</sub> /L)	Manométrico
DQO (mg-O <sub>2</sub> /L)	Digestão em refluxo fechado - leitura titulométrica
Sólidos em Suspensão totais (mg/L)	Gravimétrico
NTK-N (mg-N/L)	Método Micro-Kjeldahl
NO <sub>x</sub> -N (mg-N/L)	Filtração/Método da coluna de Cádmio
P <sub>T</sub> -P (mg-P/L)	Digestão Persulfato de Potássio/H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , Redutor Cloreto Estanoso
CT (NMP/100 mL)	Método dos Tubos Múltiplos (Substrato A1)

O programa de monitoramento do desempenho operacional é efetuado duas vezes por semana, através de coletas compostas realizadas durante 24 horas, com alíquotas tomadas de duas em duas horas, de onde destacamos alguns parâmetros conforme descritos na Tabela 3. Todas as marchas analíticas utilizadas seguem o preconizado pela APHA/AWWA/WPCF (1999).

### PRODES/ANA

Como reportado por Libânio et al. (2007), PRODES é um programa implementado pela ANA (Agência Nacional de Águas) em 2001 para estimular a implantação e a operação adequada de ETEs através de um processo de certificação de desempenho. As informações periódicas demandadas pelo PRODES abrangem dados como vazões de esgoto, cargas orgânicas afluentes às estações de tratamento e resultados de eficiência de

remoção de determinados parâmetros (DBO, SST, NT, PT e CT). Também é conhecido como um “Programa de Compra de Esgotos Tratados”.

O programa classifica as unidades de depuração em nove categorias (de A até I), sendo “A” aquela de menor complexidade, seguindo em ordem alfabética de acordo com o aumento da complexidade e capacidade de depuração do processo. A ETE Gama foi classificada como “H”, ou seja, processo de tratamento secundário avançado seguido de remoção de nutrientes (Fósforo ou Nitrogênio), sendo que as remoções estabelecidas pelo PRODES/ANA são: DBO e SST – 90%, PT – 85% ou NTK – 80%. No presente trabalho, para avaliar o desempenho da unidade depuradora de forma ainda mais restritiva, também foi incluída a DQO com meta de remoção de 90%.

Um processamento estatístico realizado na base de dados da ETE Gama, para DBO, DQO, SST, NT e PT, calcula a frequência relativa de atendimento das remoções desses parâmetros aos valores preconizados pelo PRODES/ANA.

### **Estatísticas aplicadas na avaliação do desempenho de processo**

Nos últimos anos, o uso de percentis tem crescido nas legislações e nos padrões ambientais. Países como a Inglaterra têm limites legais de permissão quanto ao monitoramento de dados da qualidade da água baseados nos percentis 90% e 94%. A lógica é: o limite consentido não deve ser excedido. A US-EPA tem estabelecido limitações, em termos de percentis, no monitoramento da qualidade do ar. Essas limitações, por exemplo, determinam que as concentrações de um determinado composto no ar não podem ser ultrapassadas mais de uma vez por ano (percentil 99,73%). Na qualidade da água, a US-EPA tem adotado o percentil 99% como diretriz para os padrões de concentração de produtos químicos tóxicos, com isso utilizando a estatística para tomar decisões importantes no monitoramento e na avaliação do cumprimento do que foi especificado. Com relação a efluentes industriais, como por exemplo, indústria de papel e celulose, a agência ambiental norte-americana tem usado o percentil 99%. O emprego de um percentil de 99% para tomada de decisões pode dar um impressão de grande conservadorismo, ou mesmo de grande confiança em fazer aquilo que é seguro e, portanto, a melhor decisão do ponto de vista ambiental. Infelizmente, segundo a US-EPA, o percentil 99% é difícil de antecipadamente ser previsto em um determinado processo e uma vez definido, difícil de ser mantido (BERTHOUEX e BROWN, 2002).

United States Environmental Protection Agency (2010), da mesma forma citada por US-EPA (2008<sup>a</sup> e 2008<sup>b</sup>), considerando as variabilidades que ocorrem em uma planta de tratamento, entendeu não ser prático avaliar seu desempenho utilizando um único número, por exemplo, média aritmética ou desvio padrão, etc. Segundo a United States Environmental Protection Agency (2010), a praticidade para avaliação do desempenho operacional deve ser alcançada através do sistema descrito como *TPS (Technology Performance Statistics)*, que os autores traduziram livremente para o presente texto como sendo Estatísticas Aplicadas na Avaliação do Desempenho de Processos (EADP). Os três níveis de EADP foram definidos como: (i) Melhor Desempenho (*Best Performance*), (ii) Desempenho Mediano (*Median Performance*) e (iii) Desempenho realizável com segurança (*Reliably Achievable Performance*).

Segundo United States Environmental Protection Agency (2010), o Melhor Desempenho (*Best Performance*) baseia-se na menor concentração atingida em 14 dias pela planta, período de tempo assim escolhido por representar uma idade do lodo típica de estações de remoção biológica de nutrientes. O EADP-14dias pode ser calculado através de duas maneiras: (a)

o menor valor obtido pelo cálculo das médias móveis (14 dias) da série analisada ou (b) a frequência 3,84% da série de dados. No presente trabalho optou-se pelo segundo modo (EADP-3,84%).

O Desempenho Mediano (*Median Performance*) – EADP-50% é calculado pelo levantamento da mediana da série. O valor aproxima-se do desempenho médio do processo de tratamento alcançado em um ano de operação. A média aritmética é a estatística mais utilizada em trabalhos técnicos que avaliam o desempenho de processos de tratamento e no controle operacional das ETEs brasileiras, ferramenta que a US-EPA (2010) considera menos refinada.

Desempenho realizável com segurança (*Reliably Achievable Performance*) pode ser representado pelo percentis 90, 95 ou 99. United States Environmental Protection Agency (2010) comentam que a frequência 91,7% retrata o desempenho de uma planta (médias mensais), que possui uma não conformidade a cada ano, ou seja, resultados em conformidade durante 11 meses por ano. O EADP-95% indica 3 meses de não conformidade em um ciclo de 5 anos. No presente relato, optou-se pela análise dos percentis 90%, 91,7% e 95% (EADP90%, EADP-91,7% e EADP-95%).

## Resultados e Discussão

Conforme descrito no monitoramento do desempenho operacional da ETE Gama, as séries de dados obtidas e analisadas no presente trabalho têm como base um programa com frequência de duas vezes por semana, enquanto a US-EPA (2010) adota uma base mensal. Em vista disto, houve necessidade de adequação numérica na interpretação dos resultados, mantendo, contudo, a mesma filosofia da agência ambiental norte-americana. A apresentação dos resultados e discussões segue a ordem: Matéria Orgânica (DBO, DQO e SST) e Nutrientes (Fósforo e Nitrogênio).

### PRODES/ANA

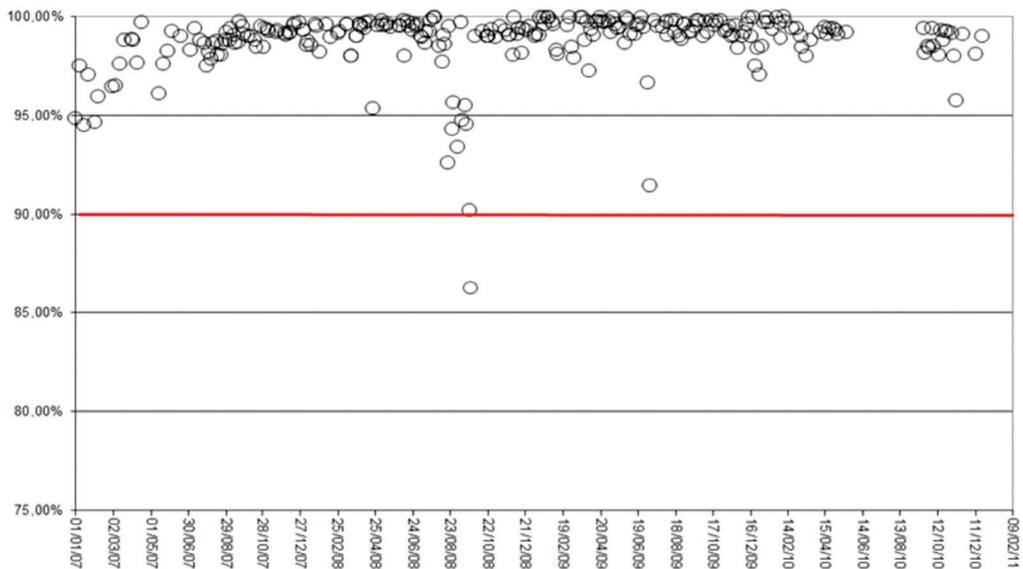
A Tabela 4 apresenta os resultados da frequência de atendimento das remoções da ETE Gama, sempre comparada com as de referência do PRODES/ANA (DBO, DQO e SST – 90%, PT – 85% e NTK – 80%). A frequência geral da Tabela 4 representa a média aritmética dos parâmetros em questão, significando que no geral, para o período de 2007 a 2010, a frequência de atendimento é de 95,82%. Portanto, a cada 84 dias de operação a ETE Gama apresenta um resultado fora da conformidade, ou seja, abaixo das remoções propostas pelo PRODES/ANA, muito embora essas remoções não conformes sejam maiores que 75% para DBO, NTK e PT e maiores que 80% para SST, como representado nas Figuras 3, 4, 5, 6 e 7.

**Tabela 4.** Resultados da frequência de atendimento das remoções da ETE Gama.

ANO	DBO (%)	DQO (%)	SST (%)	NTK (%)	Pt (%)	Geral (%)
2007	98,33	94,68	93,60	89,01	93,28	93,78
2008	98,81	95,83	100	97,50	98,40	98,11
2009	100	98,96	100	89,74	98,97	97,53
2010	100	95,12	95,35	83,33	90,59	92,88
2007-2010	99,26	96,20	97,40	90,72	95,54	95,82

A Figura 3 apresenta o gráfico de distribuição dos resultados das remoções da ETE Gama para a DBO para o período de Janeiro de 2007 a Dezembro de 2010.

Conforme ilustrado na Figura 3, 99,26% das vezes a remoção de DBO encontra-se acima do valor preconizado pelo PRODES/ANA, ou seja, a cada



**Figura 3.** Gráfico de Distribuição da Série Temporal de Remoção de Matéria Orgânica (DBO) da ETE Gama (período de Janeiro de 2007 a Dezembro de 2010).

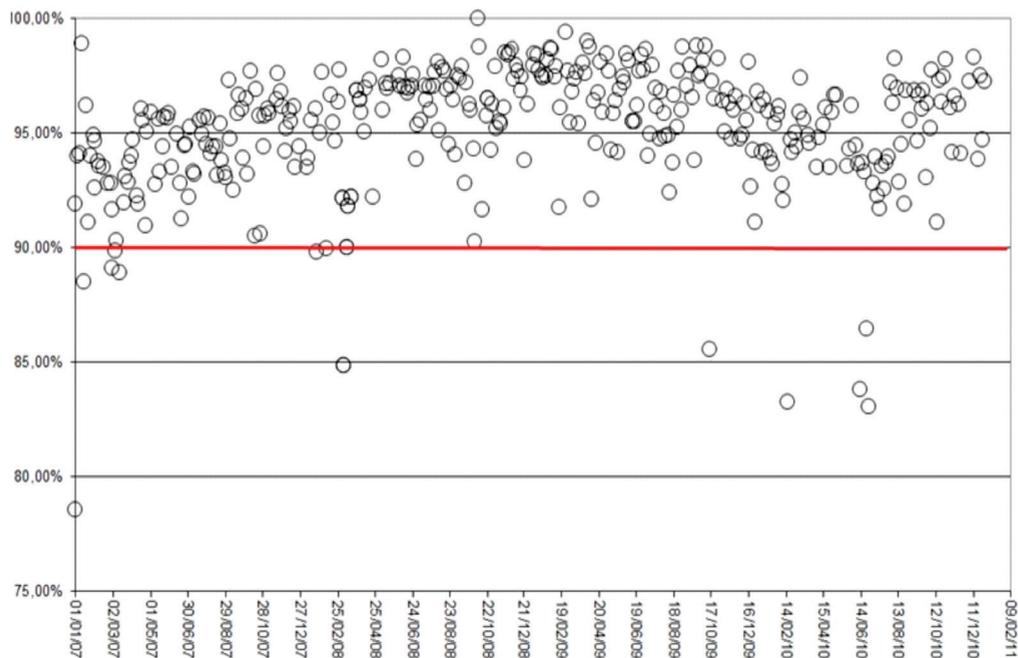
945 dias dois resultados de remoção ficaram abaixo de 90%, porém com remoção acima de 85%. A resolução do Conama que trata dos limites de lançamento para efluente de Sistema de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETEs), estabelece um remoção mínima de 60% para DBO. A DBO do efluente da ETE pode ultrapassar a 120 mg/ℓ caso a remoção mínima for atendida (BRASIL, 2011). Verifica-se, portanto, que a ETE Gama possui uma remoção de DBO bem superior ao especificado por Brasil (2011).

A Figura 4 apresenta o gráfico de distribuição dos resultados das remoções da ETE Gama para a DQO para o mesmo período da Figura 3.

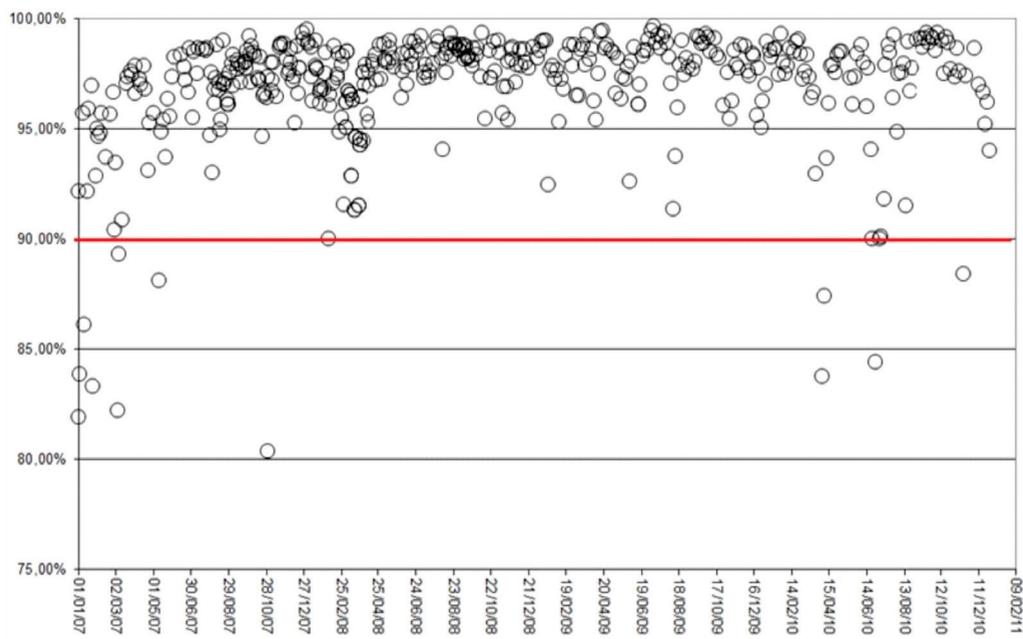
Conforme apresentado na Figura 4, 96,20% das vezes a remoção de DQO encontra-se acima do valor adotado pelo PRODES/ANA para a DBO, parâmetro usado como valor de referência para a DQO, ou seja, aproximadamente a cada três meses um resultado de remoção ficou abaixo de 90%, porém com remoção acima de 75%.

A Figura 5 apresenta o gráfico de distribuição dos resultados das remoções da ETE Gama para a SST de Janeiro de 2007 a Dezembro de 2010.

Como visto na Figura 5, 97,40% das vezes a remoção de SST encontra-se acima do valor estabelecido pelo PRODES/ANA, ou seja, a cada 91 dias um resultado de remoção ficou abaixo de 90%, mas com remoção acima de 80%.



**Figura 4.** Gráfico de Distribuição da Série Temporal da Remoção da Matéria Orgânica (DQO) da ETE Gama (período de Janeiro de 2007 a Dezembro de 2010).



**Figura 5.** Gráfico de Distribuição da Série Temporal da Remoção de Matéria Orgânica (SST) da ETE Gama (período de Janeiro de 2007 a Dezembro de 2010).

A Figura 6, para o mesmo período, apresenta o gráfico de distribuição dos resultados das remoções da ETE Gama para PT .

Conforme verificado na Figura 6, 95,54% das vezes a remoção de PT encontra-se acima do valor do PRODES/ANA, ou seja, aproximadamente a cada 77 dias um resultado de remoção ficou abaixo de 85%, apresentando, todavia, uma remoção acima de 75%.

A Figura 7 apresenta o gráfico de distribuição dos resultados das remoções da ETE Gama para o NTK de Janeiro de 2007 a Dezembro de 2010.

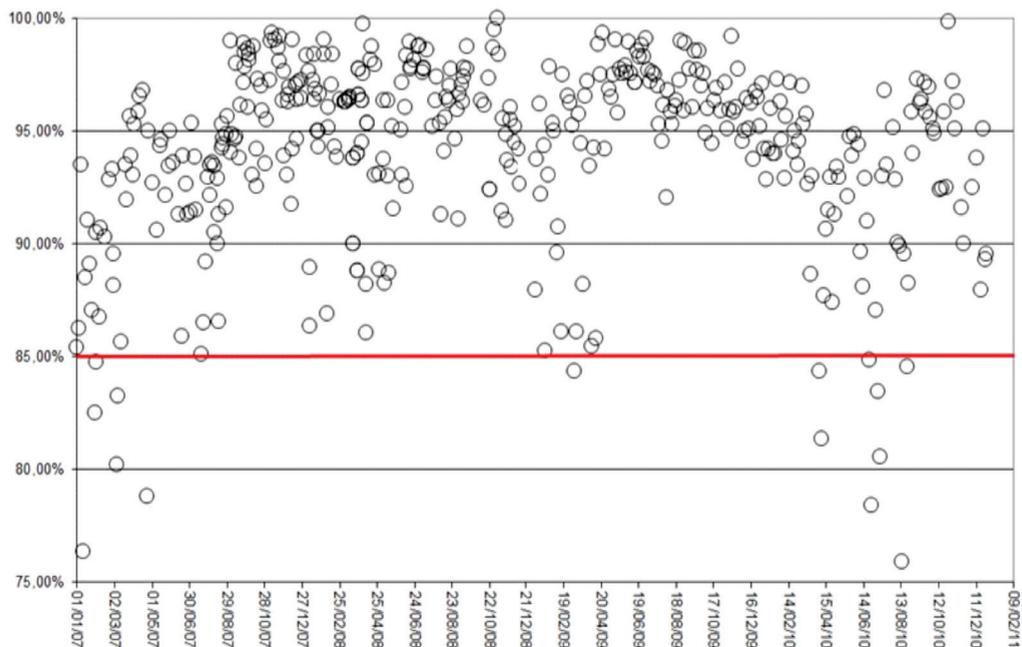
Como pode ser visto na Figura 7, 90,72% das vezes a remoção de NTK encontra-se acima do valor preconizado pelo PRODES/ANA, ou seja, aproximadamente a cada 77 dias dois resultados de remoção ficaram abaixo de 85%, mas com remoção acima de 75%.

### **Estatísticas aplicadas na avaliação do desempenho de processo.**

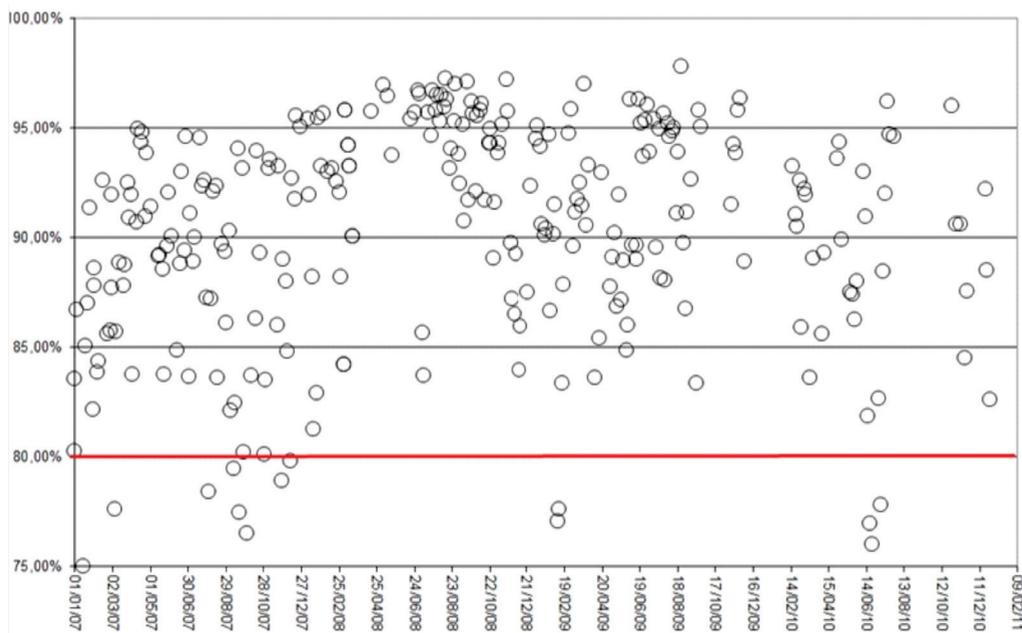
A Figura 8 demonstra as estatísticas avaliadas para as concentrações de DBO efluente da ETE Gama, observando-se que ao longo dos anos houve uma melhora no desempenho deste parâmetro, com valores de DBO no efluente tratado com valores mais reduzidos que o previsto no projeto (50 mg/ℓ). Como pode ser verificado nessa figura, o maior valor de DBO efluente foi de 25 mg/ℓ no EADP-95%, significando que a cada 70 dias um valor ultrapassa essa concentração, embora, segundo dados da planta, tal valor ainda seja inferior a 50 mg/ℓ, e também muito inferior a 120 mg/ℓ que é o valor estabelecido pela resolução Conama já citada (BRASIL, 2011).

A Figura 9 apresenta as estatísticas avaliadas para as concentrações de DQO efluente da ETE Gama, observando-se que houve uma melhora no desempenho desse parâmetro de 2007 a 2009, com valores de DBO no efluente tratado bem inferiores ao previsto no projeto (125 mg/ℓ). Como nessa figura, o maior valor de DQO efluente foi de 64 mg/ℓ no EADP-95% de 2010, significando que a cada 70 dias um valor ultrapassa essa concentração, embora não ultrapasse o limite de 125 mg/ℓ. Em termos de matéria orgânica, de 2009 para 2010, verifica-se um discreto acréscimo em todos os EADP (3,84%, 50%, 90%, 91,7% e 95%).

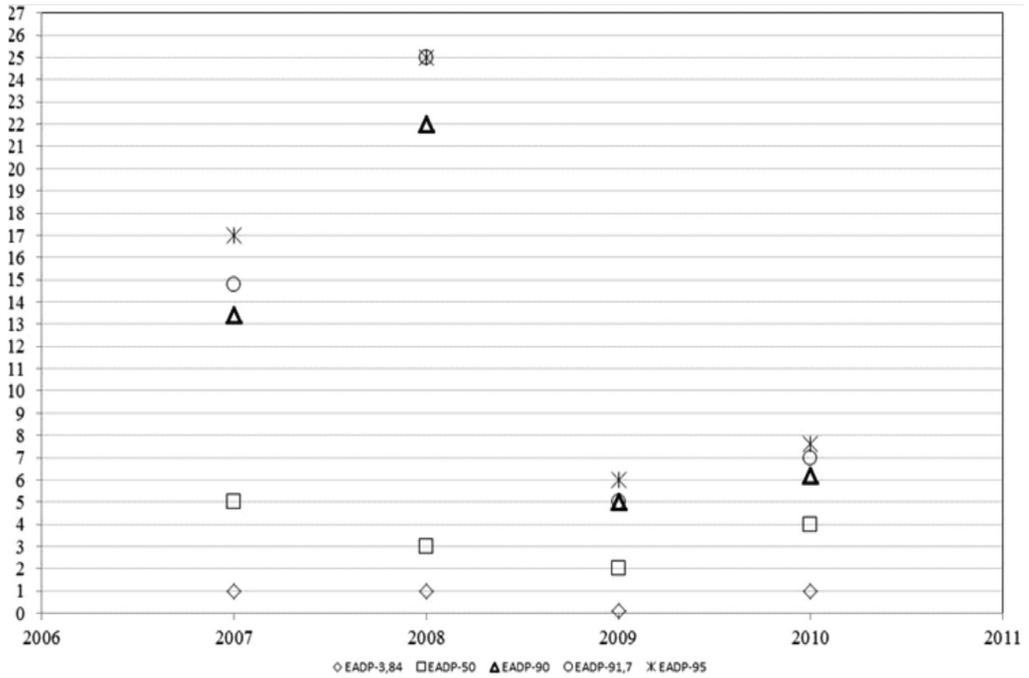
As estatísticas avaliadas para as concentrações de SST efluente da ETE Gama estão na Figura 10, observando-se que houve uma melhora no desempenho deste parâmetro de 2007 a 2009. Vemos na figura que o maior valor de SST efluente foi de 26 mg/ℓ no EADP-95% de 2010, significando que a cada 70 dias um valor ultrapassa essa concentração.



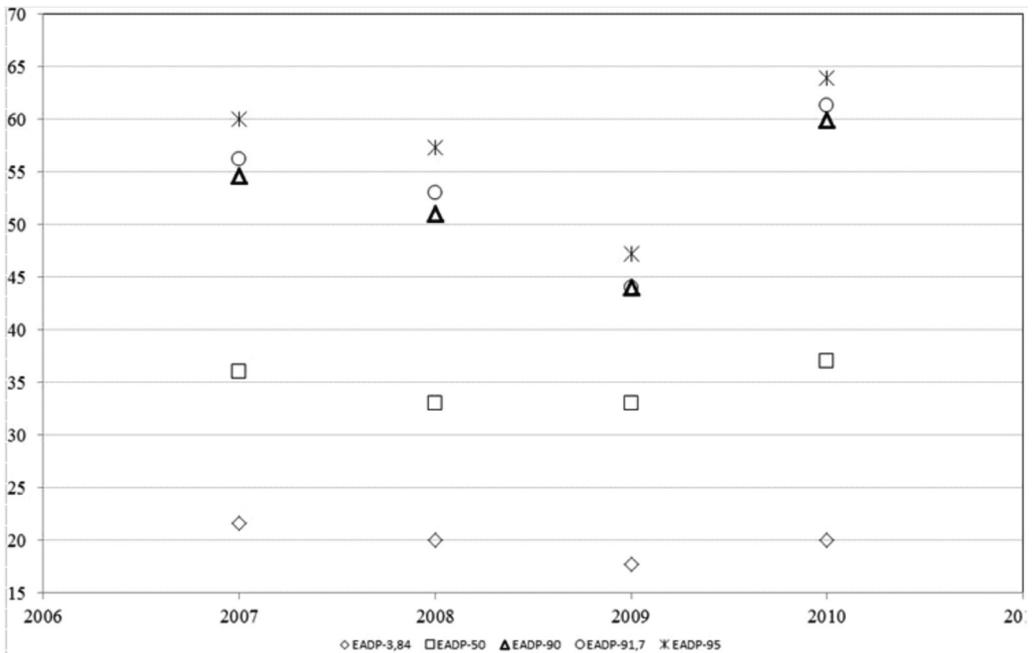
**Figura 6.** Gráfico de Distribuição da Série Temporal da Remoção de Fósforo Total (PT) da ETE Gama (período de Janeiro de 2007 a Dezembro de 2010).



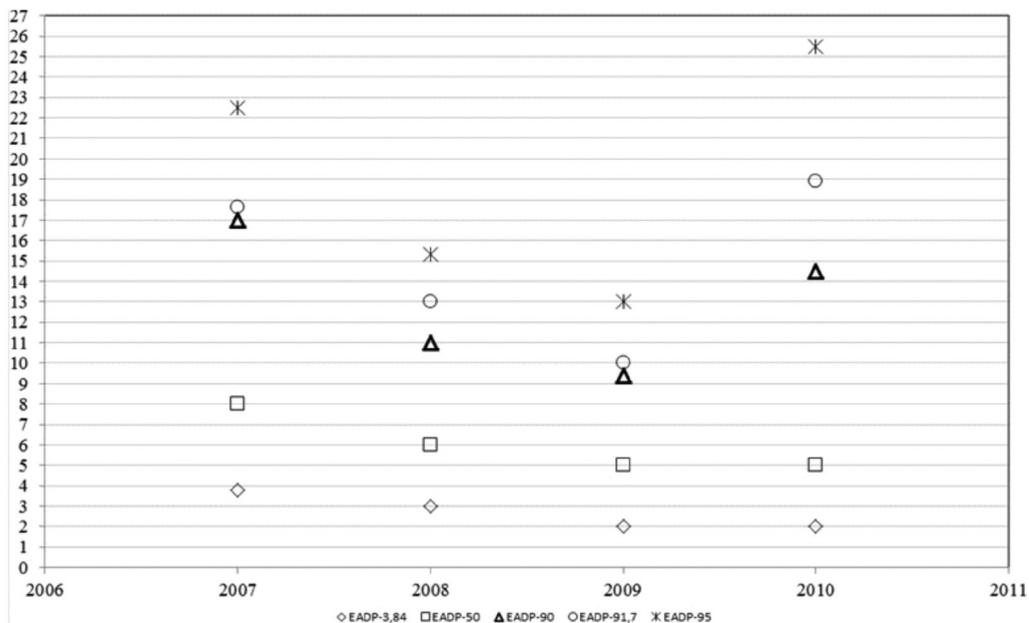
**Figura 7.** Gráfico de Distribuição da Série Temporal da Remoção de Nitrogênio Total de Kjédahl (NTK) da ETE Gama ( período de Janeiro de 2007 a Dezembro de 2010).



**Figura 8.** Gráfico EADP para a concentração da Demanda Biológica de Oxigênio (DBO) Efluente da ETE Gama no período de 2007 a 2010.



**Figura 9.** Gráfico EADP da concentração da Demanda Química de Oxigênio (DQO) Efluente da ETE Gama no período de 2007 a 2010.

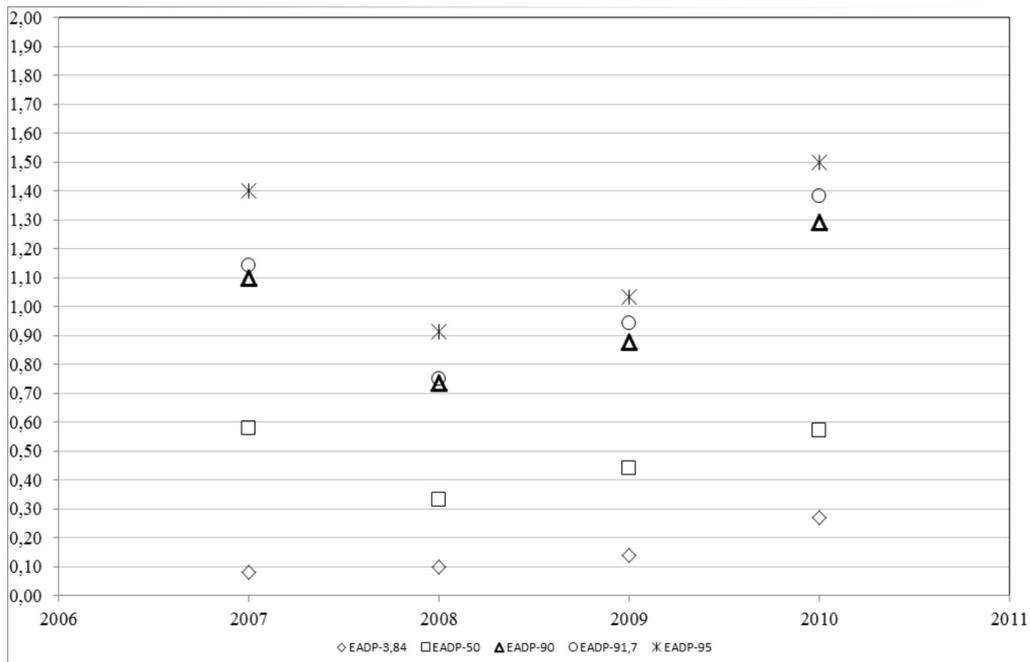


**Figura 10.** Gráfico EADP da concentração dos sólidos em Suspensão Totais (SST) Efluente da ETE Gama no período de 2007 a 2010.

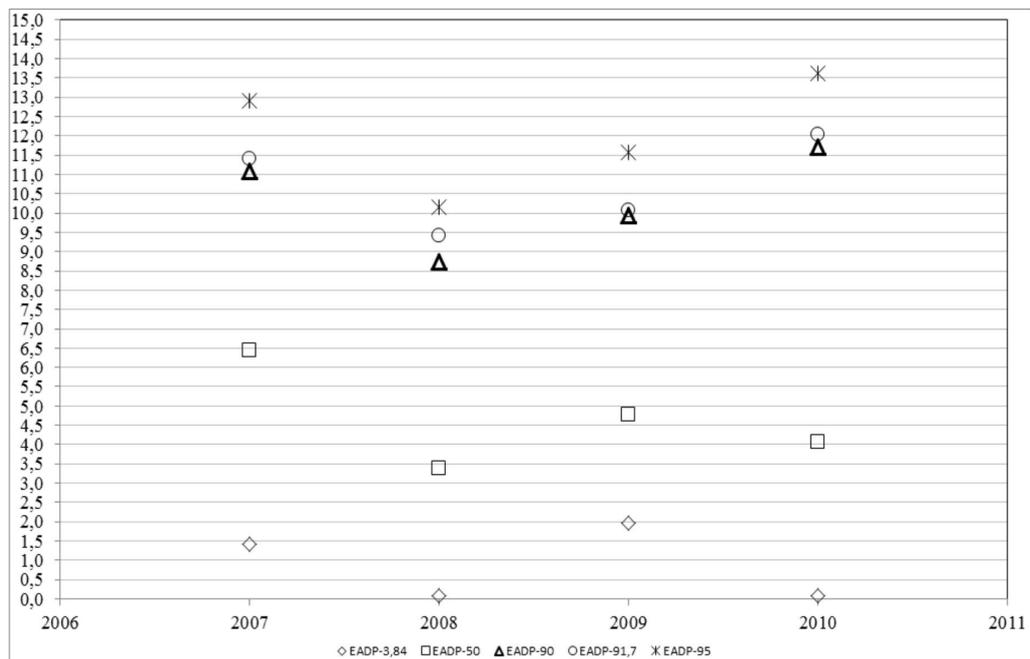
Em termos de SST, de 2009 para 2010, ocorre também um discreto acréscimo nos EADP (90%, 91,7% e 95%).

Uma análise da Figura 11, que mostra as estatísticas avaliadas para as concentrações de PT efluente da ETE Gama, mostra que houve uma melhora no desempenho deste parâmetro de 2007 para 2008, invertendo a tendência a partir de então para todos os EADP (3,84%, 50%, 90%, 91,7% e 95%). Conforme visto nessa figura, o maior valor de PT efluente foi de 1,50 mg/ℓ no EADP-95% para 2010, significando que a cada 70 dias um valor ultrapassa este valor. Todavia, a maioria dos resultados alcançados para a concentração de Fósforo Total no período avaliado encontra-se abaixo do valor de 1,0 mg/ℓ (Valor de Projeto). Segundo US-EPA (2010), uma análise do EADP-95% para cinco ETEs com remoção biológica de nutrientes revelou que todos os valores foram inferiores a 0,7 mg/ℓ, sendo que para o Desempenho pela Mediana foi inferior a 0,1 mg/ℓ.

As estatísticas avaliadas para as concentrações de NT efluente da ETE Gama são vistas na Figura 12, observando-se que houve uma melhora no desempenho deste parâmetro de 2007 para 2008, invertendo a tendência a partir de então para os EADP (90%, 91,7% e 95%). Conforme visto nessa



**Figura 11.** Gráfico EADP da concentração de Fósforo Total (PT) Efluente da ETE Gama no período de 2007 a 2010.



**Figura 12.** Gráfico EADP da concentração de Nitrogênio Total (NT) Efluente da ETE Gama no período de 2007 a 2010.

figura, o maior valor de NT efluente levantado foi de 13,6 mg/ℓ no EADP-95% do ano 2010, significando que a cada 70 dias um valor ultrapassa 13,6 mg/ℓ, mas a maioria dos resultados alcançados para a concentração de Nitrogênio Total no período avaliado encontra-se abaixo do valor de 10,0 mg/ℓ (Valor de Projeto). Segundo US-EPA (2010), uma análise do EADP-95% para quatro ETEs com remoção biológica de nutrientes revelou que todos os valores foram inferiores a 8,0 mg/ℓ, sendo que para o Desempenho pela Mediana foi inferior a 4,0 mg/ℓ.

## **Conclusões e recomendações**

– A análise do desempenho operacional da ETE Gama, pelo PRODES/ANA e pelo EADP, mostrou um bom desempenho da unidade de tratamento no período analisado de 2007 a 2010, apresentando uma frequência de remoções inconformes de 4,18% das vezes para todos os parâmetros avaliados;

– Ainda pela abordagem do PRODES, as remoções da concentração de DBO apresentaram frequência de inconformidade de 0,74% do tempo, valor muito reduzido, demonstrando a capacidade do processo da ETE Gama na remoção de matéria orgânica. Na remoção de DBO a estação apresentou seu melhor desempenho, com maior homogeneidade de dados. As remoções de DQO, SST e PT apresentaram frequência de não conformidade de 3,80%, 2,60% e 4,46%, respectivamente. Os valores não conformes para DQO, SST e PT foram influenciados pelo aumento de perda de sólidos nos clarificadores. No período estudado, a remoção de nitrogênio apresentou uma maior irregularidade, tendo a maior frequência de não conformidade, igual a 9,28%;

– Pela abordagem do EADP (*TPS*), as oscilações que ocorreram no processo ficaram mais visíveis, sendo que o perfil dos gráficos para DQO, SST e PT foi similar ao longo do período avaliado, possivelmente devido à perda de sólidos já citada. Vale ressaltar que em termos de processo os valores apresentados podem ser oscilações naturais que dizem respeito à própria capacidade do processo (capabilidade) e não um piora no desempenho da unidade. De modo a ter certeza quanto à tendência dos dados, deve-se continuar a avaliar as futuras séries temporais com a estatística proposta (EADP) com a regularidade necessária;

– O método EADP (*TPS*), avaliando os resultados de concentrações de nutrientes no efluente final de unidades de tratamento norte-americanas,

apresentou resultados muito restritivos quando comparados àqueles alcançados pela ETE Gama;

– Tendo em vista que a remoção de Nitrogênio é essencialmente biológica, ao passo que no caso do Fósforo é biológica/química um dos estudos futuros a ser feito deve avaliar a relação estequiométrica C/N e C/P, que implicam diretamente no desempenho do sistema biológico;

– É importante ressaltar que o emprego de métodos estatísticos para análise de desempenho de unidades em escala real é um objetivo a ser perseguido por todos os envolvidos no projeto, na operação e na manutenção e que simples avaliações fundamentadas apenas em um só número, por exemplo, média aritmética ou desvio padrão, são menos esclarecedores quanto ao real desempenho de um sistema de tratamento;

– Não obstante as irregularidades encontradas no desempenho da ETE Gama, a análise dos dados comprova sua elevada capacidade de remoção, ficando como grande desafio para os operadores da planta identificar a origem dos possíveis desvios apontados e melhorar o processo de tratamento de forma contínua;

– Estudos devem ser feitos para avaliar a confiabilidade das diversas etapas de tratamento, bem como a capacidade dos processos que compõem a planta como um todo.

## Referências

BARNARD, J. L.; RANDALL, C. W.; STENSEL, H. D. **Design and Retrofit of Wastewater Treatment Plants for Biological Nutrient Removal**. Pennsylvania: Lancaster, 1992. 417 p. (Water Quality Management Library, 5).

BECCARI, M.; PASSINO, R.; RAMADORI, R.; VISMARA, R. **Rimozione di Azoto e Fosforo dai Liquami**. Milano: Ulrico Hoepli, 1993. 241p.

BERTHOUEX, P. M.; BROWN, L. C. **Statistical for environmental engineers**. 2. ed. Boca Raton : Lewis, 2002. 489 p.

BOTT, C. B; PARKER, D; NEETHLING, J. B.; PRAMANIK, A.; MURTHY, S. WEF/ WERF Cooperative study of BNR plants approaching the limit of technology: II. Statistical Evaluation of Process Reliability. **Proceedings of the Water Environment Federation**, Orlando, n. 29, p. 725-753, 2009.

CAESB. **Manual de instruções, operação e controle, sistema de esgotamento sanitário do Gama**: processo biológico anaeróbico em reator de fluxo ascendente e manto de lodo seguido de processo aeróbico de lodos ativados, Brasília, DF, 2003. 96 p.

CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A. E.; EATON, A. D. **Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater 20<sup>th</sup> Edition**. Washington DC: American Public Health Association, 1999. (CD-ROM).

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução nº 430, de 13 Maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-Conama. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 92, p. 89, 16 Maio de 2011.

COOPER, P. F. Historical aspects of wastewater treatment. In: LETTINGA, G., ZEEMAN, G.; LENS, P. **Decentralized sanitation and reuse**: concepts, systems and implementation. London: IWA Publishing, 2001. p. 11-38.

FERRO, L. R. S. (coord.). **Atlas histórico e geográfico do Distrito Federal**. Brasília, DF: Fundação Athos Bulcão, 1997. 188 p.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. **Tratamento de esgotos domésticos**. 4. ed. Rio de Janeiro: SEGRAC, 2005. 960 p.

JORDÃO, E. P.; VOLSCHAN JUNIOR, I.; ALÉM SOBRINHO, P. Secondary WWTP preceded by UASB reactor: an excellent Brazilian experience. **Water Practice and Technology**, London, v. 4, n. 1. p. 10.2166, 2009.

HAAS, D. W.; WENTZEL, M. C.; EKAMA, G. A. The use of simultaneous chemical precipitation in modified activated sludge systems exhibiting biological excess phosphate removal – Part 1: Literature review. **WATER SA**, South Africa, v. 26, n. 4, p. 439-452, Octo. 2000.

KANG, S. J.; OLMSTEAD, K.; TAKACS, K.; COLLINS, J. **US-EPA. Municipal nutrient removal technologies**: reference document. Texas: Office of Wastewater Management, Municipal Support Division, 2008. 171 p. 2 v.

LIBÂNIO, P. A. C.; NUNES, C. M.; de OLIVEIRA, E. F. C. C.; SOARES, S. R. A.; BRITO, M. C. S. O. M. Implantação e operação de estações de tratamento de esgotos: experiências no âmbito do programa despoluição de bacias hidrográficas (PRODES). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007, Belo Horizonte. Saneamento ambiental: compromisso ou discurso?: **anais...** Belo Horizonte: ABES, 2007. CD-ROM.

SHAPIRO, J.; LEVIN, G.V.; ZEA G., H. Anoxically induced release of phosphate in wastewater treatment. **Journal Water Pollution Control Federation**, p. 1810-1818, Nov. 1967.

US-EPA. **Nutrient Control Design Manual**. Ohio: Office of Research and Development, National Risk Management Research Laboratory, 2010, 305 p.

# Segurança sanitária da água para irrigação

Waldir Aparecido Marouelli  
Henoque Ribeiro da Silva  
Marcos Brandão Braga

## Introdução

Apesar da existência de legislação federal que estabelece as condições e os padrões de qualidade para o lançamento de efluentes nos corpos de água em todo o território nacional, é de conhecimento geral que um número significativo de nossos rios e lagos encontram-se poluídos ou em processo de poluição, seja por dejetos domésticos e industriais, decorrentes de atividade agrícola e pastoril ou outras fontes poluentes. Quando carregados ou lançados diretamente nas fontes de água, sem o devido tratamento, os resíduos gerados por essas atividades podem causar contaminações de natureza microbiológica, por detergentes, metais pesados, óleos, agrotóxicos, fertilizantes químicos, sólidos solúveis entre outros, inviabilizando o uso da água para diferentes finalidades.

O problema de poluição, que tem diminuído nos últimos anos, é usualmente mais grave nas regiões urbanas e periurbanas onde parte das fontes de águas superficiais está severamente contaminada por efluentes não tratados ou tratados de forma inadequada. No entanto, problemas de contaminação fecal da água podem existir, com alguma frequência, mesmo em áreas distantes das regiões urbanas, podendo ter origem na disposição inadequada de esgotos domésticos gerados na própria propriedade rural ou no carreamento e lançamento de fezes produzidas por animais, sobretudo aqueles criados de forma extensiva ou em sistema de confinamento.

Apesar do risco de transmissão de uma série de doenças ao homem, águas contaminadas, principalmente por esgotos domésticos, têm sido utilizadas para a irrigação de diferentes espécies vegetais sem qualquer

critério técnico ou tratamento prévio. Como consequência, tem-se constatado, com relativa frequência, a ocorrência de microrganismos patogênicos, como a *Escherichia coli* enteropatogênica, as Salmonelas, os ovos de helmintos e os cistos de protozoários, em hortaliças e frutas consumidas pela população. Quando presentes na água de irrigação, tais microrganismos são capazes de contaminar os produtos agrícolas, em especial aqueles com área superficial grande e irregular; como as hortaliças folhosas, infectar o homem e provocar diferentes doenças, como as verminoses, os distúrbios gastrointestinais, as micoses e as viroses.

O consumo de hortaliças e frutas em sua forma *in natura* constitui um importante meio de transmissão de várias doenças infecciosas. Dentre as hortaliças, as folhosas se destacam como as mais eficientes na transmissão de doenças, pois oferecem melhores condições para a retenção e a sobrevivência dos microrganismos depositados sobre as mesmas.

O tratamento de águas contaminadas é um processo geralmente dispendioso. Quanto maior o grau de poluição, maior é o custo para se tratar um mesmo volume de água. O custo e a tecnologia utilizada para o tratamento também dependem dos tipos de contaminantes presentes e da finalidade de uso da água. Muito embora os padrões de qualidade da água para fins de irrigação sejam menos rígidos que para fins de abastecimento público, o custo de tratamento, quando necessário, é muito alto para ser bancado pelo produtor rural, devido principalmente ao grande volume de água utilizado na irrigação. Além da inviabilidade econômica, existe a questão tecnológica envolvida no processo de tratamento, inacessível, por exemplo, ao pequeno e médio produtor rural.

Neste trabalho são apresentados os riscos inerentes à utilização de águas contaminadas por microrganismos patogênicos para fins de irrigação e os cuidados básicos que devem ser tomados pelos agricultores, principalmente os de hortaliças e frutas que são consumidas na sua forma *in natura*.

## **Doenças transmissíveis pela água**

A água, quando contaminada por dejetos fecais não tratados, é um dos meios mais eficientes de transmissão e de disseminação de diversas doenças ao homem. Essas doenças podem ser causadas por cinco categorias principais de microrganismos: bactérias, fungos, helmintos, protozoários e vírus.

**Bactérias:** são microrganismos unicelulares, procariotos, aclorofilados, heterotróficos, que normalmente se reproduzem por fissão binária ou cissiparidade. Doenças causadas por esses organismos incluem a febre tifóide e a cólera. Linhagens patogênicas de *E. coli* podem causar diarreias agudas, especialmente em crianças, infecções nas vias urinárias, além de outras enfermidades.

**Fungos:** são microrganismos unicelulares ou multicelulares, eucarióticos, aclorofilados, heterotróficos e geralmente filamentosos que se reproduzem comumente por meio de esporos. Doenças causadas por fungos e que podem vir a ser transmitidas pela água de irrigação limitam-se principalmente à ocorrência de erupções de pele e micoses.

**Helmintos:** são seres metazoários, muitos dos quais parasitos, que vivem em várias partes do corpo humano. Podem ser classificados em nematódeos (vermes cilíndricos), cestóides (vermes chatos) e trematódeos (vermes providos de ventosas). Muitas são as verminoses que podem ser transmitidas pela água, como a ascaridíase e a teníase. Dentre os vermes intestinais, o *Schistosoma mansoni*, causador da esquistossomose, constitui importante problema endêmico no Brasil.

**Protozoários:** são microrganismos protistas unicelulares, eucariontes, autótrofos, heterótrofos, com mobilidade especializada, que normalmente se reproduzem por cissiparidade ou conjugação. As infecções causadas por esses organismos restringem-se basicamente à disenteria amebiana e à giardíase.

**Vírus:** são parasitas intracelulares, constituídos de uma ou mais moléculas de ácido nucléico (DNA ou RNA), geralmente envolvidos por um capsídeo. As doenças oriundas de vírus estendem-se desde a poliomielite e distúrbios gastrointestinais até inflamações das mais diversas ordens.

Vários estudos têm demonstrado que uma parcela expressiva de pessoas portadoras de entamoebas, giárdias, estrongilóides, tênias, necátors, tricocéfalos, áscaris e oxiúros foi contaminada pelo consumo de hortaliças e frutas irrigadas com águas contaminadas por esgotos domésticos não tratados. Indicam ainda que doenças como a cólera e a febre tifóide também podem ser disseminadas por meio de hortaliças e outros produtos agrícolas irrigados com águas carregando *Vibrio cholerae* e *Salmonella typhi*, respectivamente, acima das doses mínimas infectantes.

A transmissão de doenças via produtos agrícolas contaminados pela água de irrigação deve-se basicamente a três fatores principais: precariedade do saneamento básico, falta de esclarecimento por parte de muitos agricultores e à falta de orientação às donas-de-casa da necessidade de sanitização de hortaliças e frutas antes de serem consumidas.

Na Tabela 1 são sumarizadas as principais doenças que podem ser transmitidas por meio da água de irrigação, com indicativo do agente etiológico, dos meios de transmissão e de algumas medidas para a prevenção da transmissão.

### **Riscos de transmissão de doenças**

Na maioria dos casos, a transmissão de doenças ao homem via água de irrigação ocorre principalmente por meio de hortaliças e frutas irrigadas com águas contaminadas por esgotos domésticos e consumidas pela população sem qualquer tipo de tratamento.

Além da qualidade da água, os riscos de transmissão de doenças ao consumidor final dependem de vários fatores, como o tipo de produto vegetal, o tempo decorrido entre o contato com a água e a colheita, a persistência do patógeno no ambiente, a dose mínima infectante, a imunidade da população à doença e as práticas de manipulação da água e dos produtos a serem consumidos.

As doenças causadas por helmintos são, em regra, as mais efetivamente transmitidas pelo uso de águas contaminadas, o que se deve à longa persistência desses organismos no ambiente, da dose mínima infectante ser pequena e da grande susceptibilidade da população a esses parasitas. Muito embora o tempo de sobrevivência dos vírus na água, no solo e nos vegetais seja relativamente grande e a dose mínima infectante baixa, as viroses são as menos transmitidas pela água de irrigação; isso se deve em parte à relativa imunidade da população à maioria dos vírus. Entre esses dois extremos encontram-se as transmissões de doenças causadas por protozoários e bactérias.

A persistência de patógenos na água, no solo e na planta é muito variável, dependendo do tipo de microrganismo e das condições ambientais. No estágio infeccioso e sob temperaturas ambiente entre 20°C e 30°C, protozoários, como a *Giardia lamblia* e a *Entamoeba histolytica*, sobrevivem

**Tabela 1.** Principais doenças que podem ser transmitidas pela água de irrigação, formas de transmissão e principais medidas de prevenção.

Doença	Agente etiológico	Modo de transmissão	Medida de prevenção
Amebíase	<i>Entamoeba histolytica</i>	Ingestão de água e alimentos contaminados; moscas	Controle de moscas; lavar as mãos; esterilizar hortaliças e frutas que são consumidas cruas; uso de filtro
Ancilostomíase	<i>Ancilostoma duodenale</i>	Contato com o solo contaminado	Uso de calçado; não aplicar resíduo orgânico contaminado no solo
Ascariíase	<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ingestão de água e alimentos contaminados, principalmente hortaliças consumidas cruas; mãos sujas	Lavar as mãos; esterilizar hortaliças e frutas que são consumidas cruas; uso de filtro
Cólera	<i>Vibrio cholerae</i>	Ingestão de água e alimentos contaminados	Cozimento e acondicionamento adequado de alimentos; vacinação
Esquistossomose	<i>Schistosoma mansoni</i>	Contato da pele ou mucosas com água contaminada	Retificação de rios; drenagem de áreas alagadas; uso de moluscidas
Febre tifóide	<i>Salmonella typhi</i>	Ingestão de água e alimentos contaminados; contato com pacientes e objetos contaminados	Pasteurização do leite e derivados; cozimento e embalagem adequada de alimentos; vacinação
Febre paratífóide	<i>Salmonella paratyphi A, B</i>	Ingestão de água e alimentos contaminados	Cozimento e embalagem adequada de alimentos
Giardíase	<i>Giardia lamblia</i>	Ingestão de água e alimentos contaminados, principalmente hortaliças consumidas cruas; mãos sujas	Filtragem e fervura da água; higiene pessoal e doméstica; esterilizar alimentos que são consumidos crus
Hepatite A ou infecciosa	Vírus da hepatite A	Contaminação fecal-oral; ingestão de leite, hortaliças e frutas contaminadas	Prevenções de ordem médica; vacinação
Poliomielite	Polívirus 1, 2, 3	Secreções oro-nasais; água contaminada; moscas	Vacinação
Teniase	<i>Taenia solium</i> e <i>Taenia saginata</i>	Ingestão de água e alimentos contaminados; mãos sujas	Cozimento de alimentos; lavar as mãos

Obs.: O saneamento básico, que inclui coleta de lixo e tratamento de água e esgoto, é medida indispensável na prevenção de todas as doenças acima descritas. Cozimento e outros tratamento de hortaliças e frutas consumidas cruas também podem minimizar o risco de transmissão das doenças onde tais medidas não foram mencionadas.

Fonte: adaptado de Rouquayrol (1994).

por um período entre duas e três semanas, enquanto grande parte das bactérias e dos vírus patogênicos podem sobreviver entre um e três meses. Mais resistentes, os ovos de helmintos, como de *Trichuris trichiura*, de *Taenia saginata* e de *Ascaris lumbricoides*, podem sobreviver no ambiente por até doze meses.

Produtos hortícolas com maiores áreas de contato em relação ao seu volume são os que apresentam maior risco de contaminação. Dentre os produtos que podem ser consumidos crus, aqueles cuja inflorescência constitui a parte comestível, como os brócolos e a couve-flor, e as folhosas, principalmente as com folhas sobrepostas e superfície irregular, como a alface e a chicória, são as que mais favorecem a retenção e a sobrevivência de microrganismos depositados pela água de irrigação. O risco de contaminação aumenta significativamente quando o contato com a água contaminada ocorre próximo à colheita ou durante o manuseio pós-colheita. Por outro lado, os produtos que apresentam superfície lisa e pequena em relação ao seu volume, como o tomate, o pimentão e a manga, assim como aquelas que se apresentam na forma de cabeça compacta, como o repolho, possuem capacidade reduzida de retenção.

Além da transmissão indireta por meio do consumo de produtos agrícolas contaminados pela água de irrigação, as doenças podem ainda ser transmitidas ao homem pelo contato direto da água com a pele ou a mucosa. A maioria dos casos de contaminação acontece com o trabalhador rural durante a realização das irrigações ou da manutenção do sistema de irrigação, incluindo o sistema de captação de água.

## **Fontes de água e de contaminação**

Rios, córregos, represas, lagos e canais aberto são as fontes de água mais comumente utilizadas para fins de irrigação. Outras fontes incluem poços subterrâneos (abertos ou cobertos) e a rede municipal de água.

A água destinada a produção agrícola, especialmente as superficiais, pode estar sujeita a contaminação, intermitente ou temporária, pelo lançamento de esgoto doméstico e de resíduos industriais, além da própria atividade rural, como a criação de animais em área adjacentes e a aplicação de adubos orgânicos. A água pode conter milhares de microrganismos por mililitro após uma chuva até um número relativamente baixo após a autodepuração, um processo que ocorre normalmente em águas tranquilas.

A água subterrânea, após filtração através das camadas de solo e rocha, apresenta geralmente baixo conteúdo bacteriano, variando de poucas unidades de microrganismos até algumas centenas por mililitro.

O problema de contaminação da água utilizada para irrigação é mais grave nos cinturões verdes dos centros urbanos, onde grande parte das fontes de águas superficiais, e mesmo subterrânea, estão contaminadas por efluentes não tratados.

Muito embora as fontes subterrâneas sejam menos suscetíveis a contaminação, é necessário levar em conta que a água não é inerte e que certas atividades urbanas e rurais podem levar a sua contaminação por diversos agentes de risco biológico e químico, incluindo bactérias, vírus, nitrato, substâncias químicas orgânicas e sintéticas e metais pesados. Poços rasos, antigos ou inadequadamente construídos, por exemplo, apresentam alto potencial de contaminação pela água de superfície.

Na propriedade agrícola é importante manter os animais fora das áreas de cultivo e proporcionar aos trabalhadores do campo banheiros construídos de forma adequada ou unidades sanitárias móveis. A contaminação por desejos fecais também pode ocorrer por deficiência do sistema séptico, bem como devido a descargas de estações de tratamento de esgoto sem o devido tratamento.

Vetores silvestres de doenças, como pequenos animais e pássaros, são encontrados mesmo nos ambientes mais puros e representam fontes quase inevitáveis de contaminação. Todavia, tais fontes de contaminação não são significativas no que se refere ao uso da água para irrigação.

### **Amostragem de água para análise de qualidade**

A qualidade da água proveniente de uma mesma fonte pode variar com o tempo, sendo mais variável nas fontes superficiais do que nas subterrâneas. Assim, a frequência das análises deve ser estabelecida em função do tipo de fonte, como sugerido a seguir:

- Rios, riachos, lagoas, represas, canais abertos e poços rasos: realizar uma análise a cada três meses durante o período de cultivo;
- Poços subterrâneos devidamente construídos, cobertos e mantidos: realizar uma análise anual no início do período de cultivo;

- Rede de água municipal: manter os registros da qualidade da água distribuída, fornecido pela companhia de água na conta mensal.

No caso da avaliação de coliformes termotolerantes ou de *E.coli* na água, a legislação em vigor recomenda, no entanto, que devem ser realizadas pelo menos seis análises, com frequência bimestral, durante o período de um ano.

Para a obtenção de amostras representativas de água para a análise de qualidade é indispensável ponderar que, além da questão temporal, pode existir grande variabilidade espacial nas condições em que as amostras são coletadas. Assim, não existem procedimentos padrões para todas as situações. Para que a amostragem seja a mais representativa possível devem-se considerar os seguintes aspectos:

- Poços profundos: a amostragem deve ser feita após o nível da água do poço ter entrado em equilíbrio durante o bombeamento;

- Rios e córregos: a amostragem deve ser realizada no ponto de captação de água, tanto na superfície quanto em diferentes profundidades (amostra composta);

- Pequenos reservatórios: a amostra pode ser coletada na saída do reservatório, visto que não há grandes variações na qualidade da água nesse tipo de reservatório;

- Grandes reservatórios: a amostragem deve ser feita em diversos locais e profundidades (amostra composta), uma vez que as características da água podem variar significativamente;

- Rede de água municipal: se a água for coletada de uma torneira, deve-se deixar aberta por cerca de 2 minutos antes de se fazer a coleta da amostra.

Para a coleta e acondicionamento das amostras de água deve-se usar um frasco esterilizado, de preferência fornecido pelo laboratório de análise. Os tipos de frascos normalmente recomendados para a análise de coliformes e de DBO são os de vidro ou de plástico inerte, preferencialmente escuro e resistente a álcalis. Tampas rosqueáveis de plásticos inertes são geralmente recomendadas. No caso do recipiente não ser fornecido pelo laboratório, o mesmo deverá ser previamente lavado com água quente e detergente e enxaguado adequadamente também com água quente. Posteriormente,

colocar o recipiente e a tampa em água (de boa qualidade) fervendo e deixar por 15 minutos. O tamanho dos frascos é função da quantidade de análises a ser realizadas, mas um volume de 1.000 mL é geralmente suficiente.

As amostras de água devem ser entregues no laboratório num prazo máximo 24 horas e o transporte realizado em recipientes que protejam as amostras da luz solar. Se o tempo necessário entre a coleta e o transporte das amostras superar 24 horas, o uso de gelo e caixa térmica é recomendado. De qualquer forma, não deve superar 36 horas. As amostras devem ser devidamente identificadas com o local da fonte, horário e data da coleta.

No caso da coleta não ser realizada pelo técnico do laboratório de análise, deve-se solicitar previamente ao laboratório as instruções para que a coleta seja realizada corretamente. É comum que a amostra não seja representativa ou que seja contaminada durante a coleta.

### **Análise de qualidade da água**

A detecção da presença de organismos patogênicos em uma amostra de água por meio de análises laboratoriais é geralmente difícil, devido estarem presentes em baixas concentrações. Ademais, algumas análises laboratoriais para a detecção de organismos patogênicos específicos são complexas e de custo elevado. Essa dificuldade é superada ao se utilizar microrganismos indicadores de contaminação fecal.

Muito embora os microrganismos indicadores de contaminação fecal não sejam geralmente patogênicos, a avaliação dos mesmos possibilita uma avaliação aceitável do nível de contaminação fecal na água e, conseqüentemente, de sua potencialidade de transmitir doenças ao homem.

Os microrganismos normalmente utilizados como indicadores de contaminação fecal são as bactérias do grupo coliforme, pois estão presentes em grande quantidade nas fezes humanas e apresentam resistência ligeiramente superior à maioria das bactérias patogênicas intestinais. Três grupos principais de coliformes são utilizados como indicadores: coliformes totais, coliformes termotolerantes e *E. coli*.

Os coliformes totais representam um grande grupo de bactérias presentes mesmo em águas e em solos não contaminados por fezes humana e de animais endotérmicos (de sangue quente; mamíferos e aves). Como nesse grupo de coliformes estão incluídas bactérias de origem fecal e não

fecal, não se pode estabelecer uma relação segura entre a presença de coliformes totais e a de microrganismos patogênicos intestinais. Assim, não é um indicador seguro para a avaliação das condições sanitárias de ambientes aquáticos. No entanto, por terem sido bastante utilizados no passado, devido à sua simplicidade de processamento e à larga documentação de uso, a contagem de coliformes totais ainda tem sido utilizada em avaliações de sistemas de tratamento de água.

Os coliformes termotolerantes, anteriormente denominados fecais, são um grupo de bactérias encontradas principalmente no trato intestinal humano e de animais endotérmicos, de onde são eliminados para o meio ambiente por meio das fezes. Esse grupo de bactérias pode ocorrer, no entanto, mesmo em ambientes (água, solo, planta entre outros) não contaminados por material fecal, pois a análise para coliformes termotolerantes não é capaz de suprimir parte dos coliformes não fecais. Assim, apesar de ser mais preciso que a contagem de coliformes totais, coliformes termotolerantes não é um indicador sensível para uma avaliação criteriosa da exposição de ambientes aquáticos à poluição fecal. A presença de coliformes termotolerantes é um indicativo da existência de outras entobactérias no ambiente, como de *Salmonella* ssp. e de *Shigella* ssp., além de *E.coli* patogênicas.

A *E.coli* é um gênero de enterobactéria pertencente ao grupo dos coliformes fecais (termotolerantes), cujo habitat específico é o intestino humano e de animais endotérmicos, onde ocorrem em abundância. São encontradas em esgotos domésticos, águas poluídas e mesmo em efluentes tratados e águas naturais com contaminação recente por seres humanos, mamíferos e aves, mesmo que selvagens. Por ser garantia de contaminação unicamente fecal e por sua detecção em laboratório ser bastante simples, com o uso de métodos baseados na combinação de substratos cromogênicos e fluorogênicos, existe uma forte tendência em se utilizar *E.coli* como indicador padrão de contaminação fecal.

Atualmente, a análise de contaminação fecal da água pode ser feita de forma expedita e a baixo custo, sem nem mesmo necessitar o envio de amostras aos laboratórios de análise. Existem no mercado diferentes tipos de kits para detecção, inclusive simultânea, de coliformes totais e termotolerantes e de *E.coli*. Alguns kits são bastante simples e permitem determinar de forma qualitativa a contaminação em poucas horas. Outros mais completos e precisos permitem a obtenção de resultados quantitativos entre 18 horas a 48 horas.

A detecção de coliformes termotolerantes e de *E.coli* é geralmente utilizada como indicador de contaminação fecal presente, o que é suficiente para fins de irrigação. Por apresentarem maior resistência de sobrevivência no ambiente que os coliformes termotolerantes e a *E.coli*, os grupos de enterococos e de estreptococos são eficientes indicadores de contaminação fecal passada. Esses dois grupos de bactérias são encontrados naturalmente nos intestinos de animais endotérmicos e têm resistência no ambiente próxima à dos protozoários, helmintos e vírus entéricos.

Confirmado o estado de contaminação fecal da água, análises microbiológicas específicas poderão ser realizadas para avaliar a presença de patógenos de interesse. Tais análises não são, no entanto, necessárias ou requeridas para fins de água de irrigação.

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) é um indicador utilizado para expressar o nível de matéria orgânica em decomposição na água. Apesar de a presença de matéria orgânica na água favorecer uma maior proliferação de muitos microrganismos, a DBO não indica o grau de contaminação fecal da água. É, no entanto, um indicador presente na legislação em vigor no Brasil.

O primeiro passo ao se constatar problemas de contaminação fecal é a realização de uma simples inspeção sanitária nas áreas de produção e vizinhanças e nas fontes de água utilizadas para irrigação. O objetivo é identificar a origem da contaminação, que pode ser devido o lançamento de esgotos domésticos (municipal ou propriedade rural) ou de dejetos provenientes da criação de animais. De qualquer forma, esta inspeção deve ser realizada periodicamente, independente da realização de análises e dos resultados dos indicadores de qualidade da água.

Algumas vezes, o problema pode ser controlado pelo próprio produtor, seja por meio do tratamento ou do manejo adequado dos esgotos e dos dejetos de animais produzidos na própria propriedade. A solução é geralmente muito complexa quando a contaminação é por esgotos domésticos municipais. O caminho seria demandar, por meio de uma associação ou grupo de produtores, o tratamento dos esgotos junto à companhia estadual de águas e esgotos e à prefeitura do município (pode demorar anos), utilizar outra fonte de água (muitas vezes inexistente), realizar o tratamento da água a ser utilizada (processo muito caro) ou irrigar outras culturas (caso a qualidade possibilite).

## Classificação e possibilidades de uso da água

Diferentemente das águas destinadas ao abastecimento público, águas contaminadas por dejetos fecais podem vir a ser utilizadas para fins de irrigação dependendo do grau de contaminação, do tipo de cultura a ser irrigada e do sistema de irrigação adotado.

A classificação das águas segundo seus usos predominantes no Território Nacional foi proposta e regulamentada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) pela Resolução nº 357. Das treze classes estabelecidas, três dizem respeito às possibilidades de uso para fins de irrigação (Tabela 2). Os limites apresentados para cada classe não devem exceder o número de coliformes termotolerantes em 80% de pelo menos seis amostras coletadas no período de um ano, com frequência bimestral. Pela resolução, o número *E.coli* pode ser determinado em substituição ao de coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental (municipal, estadual ou federal) competente.

Águas da classe 200 >) 1 colifórmes termotolerantes /100 mL) podem ser utilizadas na irrigação de hortaliças que são consumidas cruas, como as folhosas e as brássicas, e de fruteiras em que os frutos se desenvolvam rentes solo e sejam consumidos crus sem remoção da película, como o morango.

Águas da classe 200) 2 a 1.000 colifórmes termotolerantes /100 mL) podem ser utilizadas para a irrigação de hortaliças que não são consumidas cruas, como o chuchu, a batata e a abóbora-seca. Também podem ser utilizadas em fruteiras com frutos que se desenvolvam rente do solo e sejam consumidos crus, mas com remoção da película, como a melancia e a melão. Ainda que não implícito na Resolução nº 357, águas da classe 2 poderiam também ser utilizadas para irrigar todas fruteiras em que os frutos se desenvolvam distante do solo, desde que no caso daquelas em os frutos sejam consumidos crus e sem remoção da película, como a uva e a maçã, não sejam irrigadas por sistemas (aspersão) que molhem os frutos.

Em termos gerais, pode-se dizer que as hortaliças e frutas que são consumidas cruas não devem ser irrigadas com água no nível de contaminação fecal acima do padrão estabelecidos na classe 1 da Resolução nº 357 do Conama. Em algumas situações, no entanto, águas com uma maior nível de contaminação (classe 2) podem vir a ser utilizadas na irrigação de algumas hortaliças e frutas que são consumidas cruas, mas que frutifiquem a uma altura tal em que os frutos não sejam atingidos por respingos de água

**Tabela 2.** Classes e possibilidades de uso das águas para irrigação de diferentes culturas, segundo seu grau de contaminação por coliformes termotolerantes e limites de DBO.

Classe	Coliformes termotolerantes <sup>(1)</sup> (n <sup>o</sup> /100 ml <sup>(2)</sup> )	DBO <sup>(3)</sup> (mg/L O <sub>2</sub> )	Cultura a serem irrigadas
1	200	3	Hortalças consumidas cruas e fruteiras em que os frutos se desenvolvam rentes solo e sejam consumidos crus sem remoção da película
2	1.000	5	Hortalças e frutíferas, exceto as anteriores, parques, jardins, campos de esporte e lazer com os quais o público possa a vir a entrar contato direto
3	4.000	10	Arbóreas, cerealíferas e forrageiras

<sup>(1)</sup> Escherichia coli poderá ser determinada em substituição a coliformes termotolerantes, de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente.

<sup>(2)</sup> Número de coliformes por 100 ml de água em no máximo 80% de pelo menos seis amostras coletadas, com frequência bimestral, durante o período de um ano.

<sup>(3)</sup> DBO: demanda bioquímica de oxigênio (5 dias, 20°C).

Fonte: CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA (2005)

de chuva, como a banana, a mamão e a manga, e desde que não se irrigue por aspersão. Nesse caso, cuidado especial deve ser tomado por ocasião das colheitas, pois o contato dos frutos e das caixas de colheita com o solo pode contaminar os frutos.

Algumas hortalças, como o pimentão, a berinjela e o tomate, não devem ser irrigadas com água contaminada além dos limites estabelecidos na classe 1, mesmo que por sistemas por sulco ou gotejamento, visto que os frutos, por estarem próximos ao solo, podem ser facilmente contaminados por respingos de água de chuva. No caso de cultivo protegido, o problema de contaminação dos frutos pelo respingo da chuva é eliminado, mas ainda existe o risco de contaminação dos mesmos durante a colheita.

Águas da classe 1.000) 3 a 4.000 colifórmes termotolerantes /100 mL) não são permitidas para a irrigação de qualquer tipo de hortalça ou fruteira, mas somente para plantas arbóreas, culturas cerealíferas (feijão, milho, trigo etc.) e forrageiras. Ainda que não previsto na legislação em vigor, águas da

classe 3 poderiam vir a ser utilizadas, sem maiores problemas, durante as fases de fruteiras perenes em os frutos ainda não estivessem presentes.

Por fim, as águas com a presença de mais de 4.000 colifórmes termotolerantes por 100 mL não podem ser utilizadas, pela legislação em vigor, para a irrigação de nenhuma espécie vegetal.

O limite de contaminação estabelecido pela Organização Mundial da Saúde para água destinada a irrigação de hortaliças consumidas cruas é de 1.000 colifórmes termotolerantes /100 mL, portanto acima daquele estabelecido no Brasil. Esse padrão é similar ao adotado, por exemplo, no Chile e outros países. Vários países desenvolvidos, por outro lado, adotam padrões de qualidade ainda mais rígidos que os adotados no Brasil, sobretudo no caso de hortaliças e frutas consumidas cruas.

## **Tratamento de água**

O objetivo principal do tratamento de águas contaminadas para uso na irrigação é eliminar ou, pelo menos, reduzir, a níveis seguros e previstos na legislação, os microrganismos patogênicos presentes na água, a fim de proteger a saúde dos trabalhadores rurais e dos consumidores. O uso de água residual na agricultura já vem sendo testado e usado há várias décadas em diferentes países.

Como exemplo do uso de esgoto municipal para irrigação de culturas pode-se destacar Bakersfield, na Califórnia, onde existe um programa a mais de 65 anos. O sistema utilizado consiste basicamente em tratamento primário seguido de lagoas aeradas e reservatórios de armazenamento. O efluente tratado é utilizado para irrigar cerca de 2.250 ha, incluindo milho, cevada, alfafa, sorgo e pastagens. Várias outras cidades ao redor do mundo, sobretudo em regiões áridas, tem adotado tal tipo de estratégia. De um modo geral, os efluentes tratados, a partir de esgotos domésticos, não são utilizados para a irrigação de hortaliças, pois, para minimizar custos, o nível de contaminação final da água (efluente) ainda apresenta riscos.

O tratamento de grandes volumes de água, mesmo que não seriamente contaminada como esgotos municipais, é um processo dispendioso, e são feitos essencialmente em estações de tratamento para abastecimento público. Diversos métodos podem ser utilizados no tratamento da água. O método conjunto de coagulação, sedimentação, filtração e desinfecção química é o mais frequentemente utilizado.

No método químico de tratamento da água, o cloro, por ser mais econômico, é comumente utilizado, seja na forma de cloro gasoso, dióxido de cloro, hipoclorito de sódio ou hipoclorito de cálcio. A dosagem e o tempo mínimo de contato para sanitização dependem, principalmente, da qualidade da água. A eficácia de cloração esta diretamente relacionada ao residual de cloro livre na água, sendo que a dosagem média de cloro varia entre 40 g/m<sup>3</sup> a 60 g/m<sup>3</sup> de água. Para águas municipais, a dosagem recomendada deve ser suficiente para obter um residual de 0,5 g/m<sup>3</sup> a 1,0 g/m<sup>3</sup>. No entanto, um residual de cloro livre de 0,1 g/m<sup>3</sup> a 0,2 g/m<sup>3</sup>, por exemplo, pode ser suficiente para a eliminação de pelo menos 90% de microrganismos, para um tempo de contato de pelo menos três minutos.

A Tabela 3 mostra a eficiência média de remoção de patógenos para diferentes métodos convencionais de tratamento de água, além do uso de lagoas de estabilização. O método convencional mais efetivo é o de lodo ativado, que remove entre 90% e 99% de vírus, protozoários e helmintos e entre 90% e 99,9% de bactérias. Em contraste, lagoas de estabilização, quando bem projetadas e operadas, podem remover acima de 99,9% de bactérias, helmintos e vírus, a um menor custo.

Ainda que eficientes, os métodos convencionais de tratamento de água apresentam alto custo para fins de irrigação. Lagoas de estabilização, por outro lado, têm sido um dos métodos de tratamento mais recomendados para regiões tropicais, com temperaturas médias acima de 20°C. O método tem baixo custo, comparado aos convencionais, é de simples operação e manutenção e apresenta alta eficiência no tratamento da água. O aspecto mais importante do tratamento de águas contaminadas utilizando lagoas de estabilização é a sua eficácia na remoção de patógenos, sendo, em muitos casos, melhor do que a eficácia dos métodos convencionais (Tabela 3). A principal desvantagem do uso de lagoas de estabilização é a grande área necessária para construção das lagoas, que varia entre 5% a 10% da área total a ser irrigada.

A área necessária para a construção das lagoas depende de fatores como quantidade e qualidade inicial da água, condições climáticas e grau de tratamento requerido. Para regiões de clima temperado e quente, por exemplo, é indicado em torno de 3,0 m<sup>2</sup>/pessoa para o dimensionamento de lagoas de estabilização. A profundidade varia entre 1,5 m a 2,0 m. O tempo de residência do efluente na lagoa é o fator mais importante na redução da concentração de bactérias, devendo ser, em geral, de 20 dias a 25 dias.

**Tabela 3.** Eficiência relativa de métodos de tratamento de águas contaminadas por microrganismos patogênicos.

Tratamento	Eficiência na redução (%)		
	DBO <sup>(1)</sup>	Sólidos suspensos	Bactérias
Tela fina	5 - 10	2 - 20	0
Cloração	15 - 30	--	90 - 95
Sedimentação	25 - 40	40 - 70	50 - 90 <sup>(2)</sup>
Precipitação química	50 - 85	70 - 90	40 - 80
Filtragem biológica e sedimentação	50 - 95	50 - 92	80 - 95
Lodo ativado e sedimentação	55 - 95	55 - 95	90 - 99 <sup>(3)</sup>
Cloração após tratamento biológico	--	--	98 - 99
Lagoas de estabilização	90 - 95	85 - 95	≥99,9 <sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> DBO: demanda bioquímica de oxigênio.

<sup>(2)</sup> Pode cair em 10% para tempos de residência menores que 3 horas.

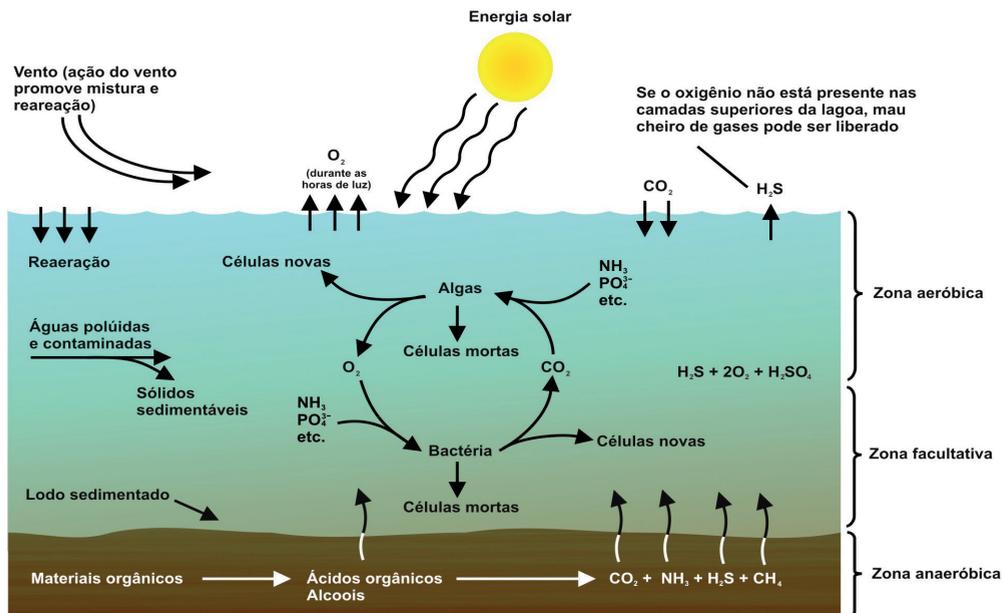
<sup>(3)</sup> Pode diminuir para 60% para sistemas mal aerados. Pode atingir 99,9% para aeração estendida com tempo de retenção hidráulica acima de 24 horas.

<sup>(4)</sup> Para uma série de pelo menos três lagoas com tempo total de residência acima de 15 dias.

Fonte: adaptado de Shuval (1990).

O tratamento da água em lagoas de estabilização utiliza processos biológicos naturais e físicos de baixo custo, como o uso de tela, misturadores e sedimentação. A luz solar é a principal fonte de energia externa responsável pelo aceleração dos processos biológicos na decomposição dos materiais orgânicos. A matéria orgânica é decomposta por bactérias e outros microrganismos não patogênicos, que liberam nutrientes responsáveis pela proliferação e crescimento de algas. As algas produzem oxigênio que é utilizado por bactérias aeróbicas responsáveis por purificar a água. As bactérias também produzem gás carbônico, que é necessário para as algas realizarem fotossíntese. A Figura 1 apresenta um diagrama esquemático dos processos envolvidos no tratamento de água em uma lagoa de estabilização. Informações adicionais sobre o dimensionamento e operacionalização de lagoas de estabilização podem ser obtidas em publicações específicas.

A remoção das algas que se acumulam dentro das lagoas é uma operação trabalhosa. As algas, no entanto, podem ser utilizadas na produção de biogás, adubação orgânica ou até mesmo alimentação animal, pois apresentam alto teor proteico.



**Figura 1.** Diagrama esquemático dos processos envolvidos no tratamento de água em uma lagoa de estabilização.

Fonte: adaptado de Tchobanoglous e Schroeder (1987).

A contaminação patogênica da água também pode ser sensivelmente reduzida por meio da filtragem natural utilizando-se plantas aquáticas. O aguapé (*Eichhornia azurea*), por exemplo, tem sido utilizado no tratamento de águas contaminadas por esgotos domésticos. O método consiste na passagem da água contaminada por tanques densamente povoados por aguapé, onde ocorre a filtragem biológica. O uso de plantas aquáticas, no entanto, pode ser problemático em regiões onde se tem problema de esquistossomose, por exemplo, já que as plantas aquáticas favorecem a proliferação do hospedeiro intermediário (caramujo) da doença.

### Esquistossomose: transmissão e medidas saneadoras

Enfoque particular à esquistossomose é oferecido por se tratar de uma doença de grande importância sob o aspecto de saúde pública e por sua disseminação ocorrer mesmo na zona rural em águas com baixo índice de poluição. Ademais, as medidas saneadoras são, na sua maioria, específicas.

A esquistossomose é uma doença que ocorre em grande parte do território nacional, acometendo entre três e seis milhões de brasileiros.

A área endêmica abrange os estados do Maranhão, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Minas Gerais e Espírito Santo. Existem ainda focos de transmissão em dez outras unidades da federação: Pará, Piauí, Ceará, Goiás, Distrito Federal, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Santa Catarina, e Rio Grande do Sul.

A doença é transmitida pelo *Schistosoma mansoni*, por meio do contato da água contaminada pelo patógeno com o homem. O ciclo evolutivo do parasita ocorre em dois hospedeiros: o definitivo (homem e outros mamíferos) e o intermediário (moluscos do gênero *Biomphalaria*). O ciclo inicia-se quando fezes do hospedeiro definitivo, contendo ovos de *Schistosoma mansoni*, contaminam fontes águas superficiais (rios, córregos, lagoas e açudes), além de canais de irrigação e áreas inundadas em geral. Ao eclodirem, larvas ciliadas penetram no hospedeiro intermediário e se transformam no interior do molusco. Ao abandonarem os moluscos, os parasitas se dispersam no ambiente aquático e penetram no hospedeiro definitivo através de sua pele ou mucosa.

A transmissão da doença é complexa em virtude da quantidade de fatores envolvidos. Dentre os principais fatores condicionantes e favorecedores da transmissão destacam-se a presença dos hospedeiros intermediários, a presença do hospedeiro definitivo, a escassez de saneamento domiciliar e ambiental, condições socioeconômicas e culturais (ocupação, lazer etc.) e o nível de educação em saúde da população exposta ao risco.

A incidência do caramujo hospedeiro está diretamente relacionada às condições ambientais. Temperatura entre 18°C e 28°C, água calma e presença de vegetação aquática são condições favoráveis para proliferação destes moluscos. A esquistossomose é muito comum nas regiões ribeirinhas e áreas irrigadas, principalmente naquelas atendidas por sistemas superficiais (sulco e inundação), onde o irrigante está continuamente em contato com a água. Assim, cursos de água, canais, tabuleiros e pequenas bacias de irrigação constituem-se nos principais focos. A velocidade limite da água para a maioria das espécies de caramujo é de 0,30 m/s. A vegetação aquática, além de reduzir a movimentação da água e criar ambiente favorável para a procriação, serve também como fonte de alimento aos caramujos.

O combate aos caramujos pode ser feito utilizando métodos físicos, químicos e biológicos. Os métodos físicos consistem em medidas de saneamento básico e da eliminação dos criadouros predominantes. Obras de engenharia sanitária previnem não apenas a esquistossomose, mas

muitas outras doenças, como as hepatites, as salmoneloses e as giardíases. Os métodos químicos envolve o uso de moluscidas que, em geral, são tóxicos, mas não possuem efeito residual prolongado. Os métodos biológicos consistem no uso de predadores ou competidores.

A seguir são listadas algumas das principais medidas que podem ser utilizadas para o controle do caramujo em áreas irrigadas. Estas, dependendo das condições ambientais, podem ser aplicadas em conjunto ou isoladamente.

**Métodos de irrigação:** Inundação é o sistema de irrigação que proporciona melhores condições à proliferação de caramujos, seguido dos sistemas por faixas e sulcos. Por essa razão, os métodos por aspersão e microirrigação devem ser preferidos.

**Reservatórios:** O local para a construção de reservatórios de água deve apresentar declive acentuado para evitar margens rasas. Antes de o local ser inundado deve-se promover a retirada do material orgânico existente para evitar a proliferação de plantas aquáticas.

**Retificação de cursos de água** Cursos de água com leitos tortuosos e obstruídos pela vegetação devem ser retificados para possibilitar maior velocidade da água e melhor drenagem das terras adjacentes.

**Drenagem:** Entre as medidas saneadoras, a drenagem superficial é a mais eficaz no combate ao caramujo. Devem ser drenados brejos, poças e outros pontos de acúmulo de água e locais favoráveis à proliferação dos caramujos.

**Captação de água:** A captação de água em um ponto profundo e afastado da margem, bem como a utilização de telas, contribui para minimizar a disseminação de caramujos para dentro da área irrigada.

**Canais de condução e distribuição:** O revestimento de canais permite maiores velocidades de escoamento, diminui as perdas por infiltração e restringe o desenvolvimento de plantas aquáticas. Para que possam ser drenados periodicamente e não apresentem pontos de empoçamento, os canais devem ter declividade uniforme e dispor de comportas.

**Controle de vegetação aquática:** Um controle rigoroso de plantas aquáticas, tanto nas fontes de captação quanto nos canais de distribuição, contribui para o controle do caramujo.

**Construção de sanitários:** A instalação de fossas higiênicas em locais de trabalho, tornando seu uso obrigatório, é uma medida que reduz a contaminação de caramujos pelas fezes humanas.

**Controle da poluição:** As fontes de água não devem receber qualquer tipo de matéria orgânica, principalmente de origem fecal, pois sua presença estimula a proliferação de plantas aquáticas.

**Controle coprológico:** Exames devem ser realizados periodicamente em toda população local a fim de diagnosticar e tratar infecções ou reinfeções pelo *Schistosoma mansoni*.

**Controle químico:** A utilização de produtos químicos deve ocorrer somente na impossibilidade da eliminação de caramujos por meio de outros métodos. O moluscicida utilizado para o controle de caramujos tem como base a niclosamida e tem custo elevado. Pesquisas vêm sendo realizadas visando o desenvolvimento de produtos mais eficientes, menos tóxicos e mais baratos.

**Controle biológico:** Esse método de controle não se tem mostrado eficaz, principalmente quando utilizado de forma isolada. Existe também o risco da introdução de espécies exóticas no ambiente. Nos anos 80 foi implantado pela CODEVASF um programa de combate à esquistossomose utilizando o tambaqui (*Colossoma macropomun*) em alguns projetos de irrigação no Vale do Rio São Francisco. Trata-se de um peixe adaptado à região Nordeste e grande predador de caramujos. O processo consistia em introduzir a espécie em áreas inundadas, canais e reservatórios de água onde existia grande proliferação de caramujos. O principal problema para o insucesso do programa foi devido à pesca ilegal dos peixes.

## **Conclusões e recomendações**

- Uma significativa fração das águas superficiais, principalmente em regiões urbanas e periurbanas, está contaminada por esgotos domésticos e, apesar da legislação em vigor, tem sido utilizada para a irrigação, inclusive de hortaliças consumidas cruas

- Várias doenças de interesse público são transmitidas ao homem por meio do consumo de hortaliças e frutas, sobretudo aquelas consumidas cruas, irrigadas com águas contaminadas por microrganismos patogênicos de origem fecal.

- A inspeção e o controle sanitário das águas utilizadas para a irrigação principalmente de hortaliças são de grande importância para a saúde pública, mas têm sido muitas vezes desprezados pelos órgãos oficiais de saúde.

- O custo para o tratamento de águas contaminadas por dejetos de origem fecal é muito elevado para ser bancado pelo produtor rural, devido principalmente aos grandes volumes de água utilizados na irrigação. Ademais, é atribuição do poder público a coleta e o tratamento adequado de todo esgoto gerado nas áreas urbanas, antes de serem lançados no ambiente.

- Há necessidade de pesquisas específicas visando desenvolver ou aprimorar métodos simples e de baixo custo para o tratamento sanitário de grandes volumes de água para fins de irrigação.

- Maior segurança sanitária no consumo de hortaliças e frutas consumidas cruas somente é possível por meio do uso de água de boa qualidade, do aprimoramento das condições de cultivo, colheita, pós-colheita e comercialização e do método de sanitização dos alimentos.

- É necessário que a fiscalização sanitária atue de forma mais efetiva e integrada junto aos produtores, companhias estaduais de águas e esgotos, estados e prefeituras, principalmente em áreas de maior produção de hortaliças folhosas, e que o produtor e o consumidor passem por um processo contínuo de conscientização e de orientação quanto às corretas práticas e condições higiênicas e sanitárias desde a produção até o consumo das hortaliças.

## Referências

BARRERA, S. C. **Manual de tecnologías para mitigar la contaminación de las aguas de riego**. Santiago: Comisión Nacional de Riego, 2007. 53 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 março 2005. Seção 1, p. 58-63.

DRECHSEL, P.; SCOTT, C. A.; RASCHID-SALLY, L.; REDWOOD, M.; BAHRI, A. (Ed.). **Wastewater irrigation and health: assessing and mitigating risk in low-income countries**. London: Earthscan, 2009. 404 p.

GREGÓRIO, D. de S.; MORAES, G. F. A. de.; NASSIF, J. M.; ALVES, M. R. de M.; CARMO, N. E. do; JARROUGE, M. G.; BOUÇAS, R. I.; SANTOS, A. C. C. dos.; BOUÇAS, T. R. J. Estudo da contaminação por parasitas em hortaliças da região leste de São Paulo. **Science in Health**, São Carlos, v. 3, n. 2, p. 96-103, 2012.

**HEALTH guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture.** Geneva: World Health Organization, 1989. 74 p. (Technical Report, 778).

MAROUELLI, W. A. Fontes de água e práticas de irrigação. In: **Elementos de apoio para as boas práticas agrícolas e sistema APPCC.** 2. ed. rev. e atual. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. p. 105-121. (Série Qualidade e Segurança dos Alimentos).

PESCOD, M. B. **Wastewater treatment and use in agriculture.** FAO: Rome, 1992, 125 p. (Irrigation and Drainage, paper 47).

ROUQUAYROL, M. Z. **Epidemiologia & saúde.** 4. ed. Rio de Janeiro: MEDSI, 1994. 529 p.

SHUVAL, H. I. **Wastewater irrigation in developing countries: health effects and technical solutions.** Washington: World Bank, 1990. 55p. (Technical paper, 51).

SPERLING, M. von. **Introdução à qualidade de água e ao tratamento de esgotos.** 3 ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2009. 452 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 1).

TCHOBANOGLIOUS, G.; SCHROEDER, E.D. Water quality: characteristics, modeling and modification. 2.ed. California, Addison Wesley, 1987, 768p.



**Embrapa**

**PROCISUR**

Argentina  
Bolivia  
Brasil

Chile  
Paraguay  
Uruguay

