

II SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE O USO DA ÁGUA NA AGRICULTURA
UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO – UPF
Passo Fundo, 27 a 30 de março de 2006

**REUSO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS NA AGRICULTURA: CENÁRIO
ATUAL E DESAFIOS A SEREM ENFRENTADOS**

Antônio Domingues Benetti

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH

REUSO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS NA AGRICULTURA: CENÁRIO ATUAL E DESAFIOS A SEREM ENFRENTADOS

Antônio D. Benetti¹

RESUMO --- Este artigo analisa o uso de águas residuárias para a irrigação de culturas. São apresentadas informações sobre o uso de água na agricultura no mundo, no Brasil e no RS. É feito um relato sobre a história do uso de esgotos na irrigação até se chegar a idade contemporânea. Os requisitos de qualidade de água para irrigação estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde, Estados Unidos e Brasil são descritos. As medidas de proteção à saúde dos trabalhadores e consumidores de alimentos irrigados com águas residuárias são discutidas, assim como os aspectos a serem considerados em estudos de viabilidade. O artigo finaliza com uma análise da possibilidade de se utilizar solos agrícolas como método de disposição final de lodos de estações de tratamento de esgotos.

ABSTRACT --- This paper analyzes the use of wastewater for agriculture irrigation. Information regarding irrigation water use in the world, Brazil, and RS is presented. The history of wastewater irrigation in different regions of the world is described. Also, it is presented the requirements for irrigation quality criteria established by the World Health Organization, United States and Brazil. Aspects to be considered for workers and environment protection are discussed, as well as the several aspects that must be analyzed in feasibility studies for agriculture wastewater irrigation. The article ends describing the possibility of using agriculture soil as a final disposal method for biosolids produced during the treatment of wastewater.

Palavras-chave: reuso, águas residuárias, irrigação

1. INTRODUÇÃO

As necessidades de água exigidas para atender ao crescimento populacional, ao desenvolvimento industrial e a expansão de áreas irrigadas têm aumentado substancialmente nas últimas décadas. A Figura (1) mostra, por setor, as tendências de consumo de água a partir do início do século 20. Observa-se que o consumo total no ano 2000 representa quase nove vezes aquele do início do século passado.

O aumento na demanda de água levou a uma situação de escassez em várias regiões do mundo. Atualmente, em 22 países, a disponibilidade anual de água é menor do que 1.000 metros cúbicos por habitante, indicando uma severa escassez de água. Outros 18 países possuem disponibilidade anual de água menor que 2.000 metros cúbicos por habitante, nível considerado perigoso devido às variações na precipitação (World Bank, 1992). Em muitos países, a água é abundante a nível nacional, mas escassa em determinadas regiões. Por exemplo, a disponibilidade média anual de água no Brasil é de 35.732 metros cúbicos por habitante, mas é de apenas 1.270 metros cúbicos por habitante no estado de Pernambuco (Tundizi, 2003).

¹ Professor adjunto do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, IPH-UFRGS; Av. Bento Gonçalves, 9.500, Caixa Postal 15029, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS. E-mail benetti@iph.ufrgs.br

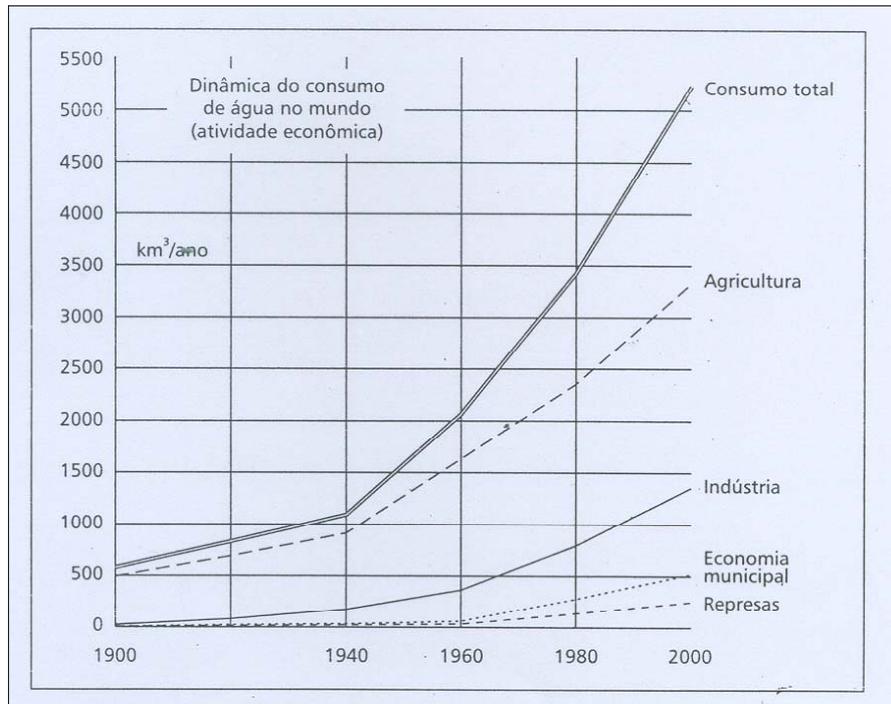


Figura 1: Tendência de consumo de água, por setor, entre os anos de 1900 e 2000
(Fonte: Tundisi, 2003)

Em muitas regiões da Terra, a demanda de água excede os volumes repostos através da precipitação e da recarga de aquíferos. Esta situação tem levado mananciais de água a situações críticas. Por exemplo, a água nos rios Ganges, na Índia, Yellow na China e Colorado nos Estados Unidos não chegam ao oceano durante parte do ano devido a retiradas em excesso para atender necessidades de cidades, indústrias e agricultura. Também, em muitos aquíferos têm ocorrido o rebaixamento dos níveis d'água devido às retiradas excederem as respectivas capacidades de recargas. Isto está ocorrendo em regiões dos Estados Unidos, México, Península Árabe, Norte da África, Israel, Espanha, Índia, China e Sudeste da Ásia. Por exemplo, na região da cidade de Phoenix nos Estados Unidos, o nível de água teve uma queda de 120 metros; na cidade do México ocorre subsidência do solo devido à compactação do aquífero, trazendo danos à infra-estrutura construída na superfície da cidade (Postel, 1996).

A Figura (1) mostra que o setor que exerce maior demanda de água é a agricultura, com cerca de 63% do total, seguindo-se o setor industrial (25%), cidades (8%) e evaporação em reservatórios (4%). Contudo, estas proporções variam com o desenvolvimento econômico dos países. Por exemplo, em países com alta renda *per capita*, o percentual médio retirado para irrigação corresponde a 39% da demanda global, enquanto que, em países considerados de baixa renda, este percentual pode chegar a 95% (World Bank, 1992).

No Brasil, a demanda média de água para irrigação corresponde a 65% da demanda global, com variações nas diversas bacias hidrográficas (Lima et al., 1999). Por exemplo, água para irrigação corresponde a 7% e 90%, respectivamente, das demandas globais de água nas bacias do Atlântico Leste e Uruguai. O gráfico da Figura (2) ilustra o crescimento das áreas irrigadas no Brasil a partir do ano de 1950. Observa-se que houve um crescimento substancial, chegando-se em 1990 com área de irrigação superior a 25 vezes àquela de 1950. Entretanto, na década de 90, houve um decréscimo na taxa de crescimento das áreas irrigadas. O percentual de áreas irrigadas por volta do ano 2000 correspondia a apenas 10% do potencial de área irrigável no país (Lima et al., 1999).

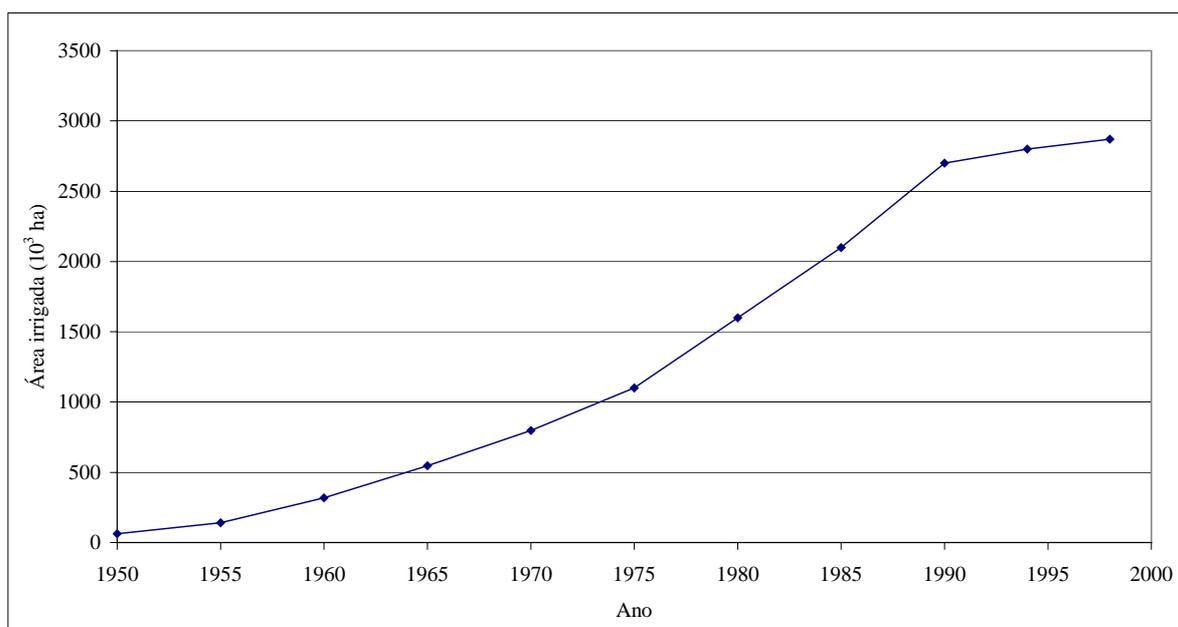


Figura 2: Evolução de área irrigada no Brasil
(Fonte: Lima et al., 1999)

O Rio Grande do Sul tem grande tradição no uso de irrigação, principalmente para o cultivo de arroz. Contudo, o crescimento da área irrigada tem exercido pressão sobre os recursos hídricos, em muitos casos ocorrendo conflitos com outros usuários da água. Um exemplo desta situação é a bacia hidrográfica do rio Santa Maria. A Figura (3) mostra a evolução da área plantada com arroz na bacia entre os anos de 1970 e 2002, observando-se que a área ao final do período correspondia a cerca de quatro vezes a área de 1970. Este fato resultou em aumento na demanda de água para irrigação nos mananciais da bacia do rio Santa Maria. A Figura (4) mostra estimativas de demanda de água para atender aos usos abastecimento urbano, rural, dessedentação de animais e irrigação de arroz em nove sub-bacias do rio Santa Maria. O uso para irrigação é responsável por 96-99% da demanda de água da bacia.

Este artigo aborda aspectos relacionados ao uso de águas residuárias, especificamente, esgotos domésticos tratados, na agricultura. Tendo em vista as crescentes dificuldades em atender as enormes quantidades de água requeridas para irrigação, esta alternativa é atraente, embora o volume total de esgotos seja pequeno em relação à demanda da agricultura e haja consideráveis obstáculos para sua viabilização.

2. HISTÓRICO

Há cerca de 8.000 anos, nas margens dos rios Tigres e Eufrates, na Mesopotâmia, o início da aplicação de técnicas de irrigação e drenagem possibilitou, pela primeira vez, a produção de excedentes agrícolas, liberando grupos de pessoas das tarefas de busca de alimentos. Este tempo livre pode ser utilizado para a invenção da escrita, o estabelecimento de normas de regulação social e a organização de cidades. Seguindo-se a Mesopotâmia, outras civilizações do mundo antigo floresceram as margens dos rios Nilo (Egito), Ganges (Índia) e Yangtze (China), utilizando-se das águas destes mananciais para fertilizar solos e prover as necessidades de água das plantas. A aplicação de irrigação para produção de alimentos prosseguiu através dos séculos até a idade contemporânea.

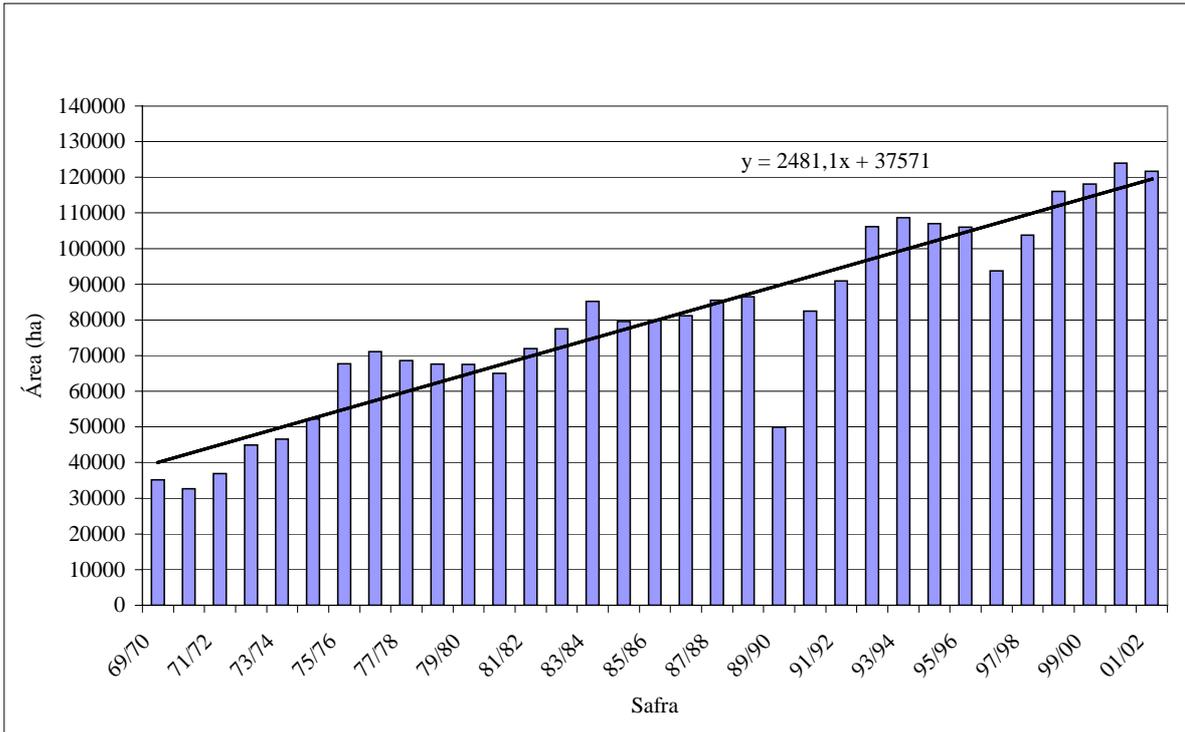


Figura 3: Evolução de área plantada com arroz em municípios da bacia do rio Santa Maria (Fonte: IRGA – Anuários estatísticos do arroz; tabelas de acompanhamento de colheita de arroz irrigado; internet www.irga.rs.gov.br)

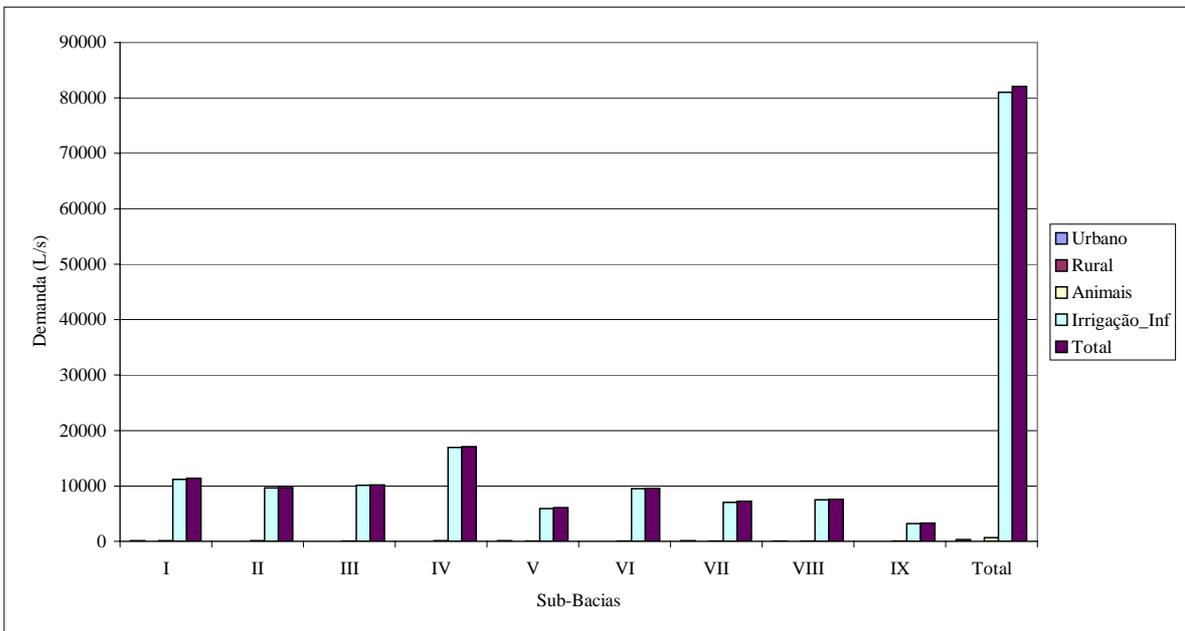


Figura 4: Demanda de água por setor e global na bacia do rio Santa Maria (Fonte: Benetti, 2002)

Os chineses, cinco séculos antes da era cristã, já dominavam técnicas de gestão da água, realizando obras para aumentar a sua disponibilidade. O preparo do solo era feito com o uso de animais; seus dejetos, assim como os de humanos, eram aproveitados para fertilizar o solo. Entre os séculos 8 e 13, os chineses possuíam a agricultura mais sofisticada do mundo, sendo capazes de produzir três ou mais colheitas por ano, sendo arroz o principal cereal cultivado. O modelo chinês se baseava no uso intensivo de água e de mão de obra. Por outro lado, a irrigação por inundação e o uso de excrementos humanos para fertilização favorecia a exposição a esquistossomas, parasitas e vermes, os quais provocavam enfermidades diversas (Landes, 1999). Não era conhecida ainda a associação entre excretas e doenças, a qual somente viria a ser comprovada pelo médico inglês John Snow em episódio de epidemia de cólera, entre 1849-1854, em Londres (Prescott et al., 1990).

Na cidade do México, a partir de 1890, esgotos não tratados eram conduzidos por canais para irrigar áreas agrícolas próximas da cidade. A prática estende-se até os dias atuais, sendo os esgotos brutos da cidade conduzidos dezenas de quilômetros através de canais até a região do Vale do México, onde são utilizados para irrigar cerca de 90.000 ha de solo árido (Metcalf & Eddy, 2003).

Ao final do século 19, muitas cidades na Europa e Estados Unidos estabeleceram sistemas de coleta de esgotos. Era prática corrente deste período conduzir estes rejeitos até “fazendas de esgotos”, onde eram dispostos no solo. Eventualmente, eram também utilizados para irrigar plantações. O reuso de esgotos em irrigação passou a ser uma técnica de aplicação disseminada em várias regiões do mundo. A seguir apresenta-se alguns exemplos de aplicação (Shuval, 1977):

Califórnia, EUA: este estado tem usado efluente tratado de esgotos desde o início do século 20. Em 1935, efluentes de 32 municipalidades irrigavam plantações com esgotos tratados. Este número elevou-se para 153 em 1977. Novos projetos foram desenvolvidos, destacando-se o de uso de esgotos tratados da área metropolitana de cidade de Monterey para irrigar plantações de brócolis, alface, couve-flor, aipo e alcachofra.

Alemanha: a precipitação natural atende as necessidades de água de mais de 90% da área agrícola do país. O complemento requerido vem principalmente de mananciais superficiais, seguindo-se as águas subterrâneas e os esgotos tratados. Cerca de 3% dos esgotos sanitários gerados na Alemanha são utilizados para irrigação.

Índia: a irrigação é o principal método de disposição de esgotos no país, tendo a primeira “fazenda de esgotos” se estabelecido em 1895. Na Índia, muitos rios praticamente se tornam secos durante os meses de verão, favorecendo ainda mais o reuso agrícola dos esgotos. Existem 132 projetos de irrigação com esgotos sanitários e muitos outros com efluentes de agroindústrias.

Israel: faz uso extensivo de irrigação com esgotos tratados. Em comunidades de até 40.000 habitantes, o método mais utilizado de tratamento é a seqüência de lagoas anaeróbia e facultativas, ou facultativas seguidas por lagoas de maturação. O efluente é aproveitado próximo à comunidade que o gerou. Na zona costeira central onde há maior densidade de população, um conduto central coleta e conduz efluentes de tratamento secundário em direção ao sul do país, na região de Negev, onde se encontra implantado uma área extensa de irrigação centralizada. Os esgotos das cidades de Haifa e Jerusalém, após passarem por tratamento por sistemas de lodos ativados são conduzidos a projetos de irrigação no Vale Ezraelon e Gaza, respectivamente.

África do Sul: a irrigação de efluentes sanitários é prática comum no país, com 25% dos esgotos tratados das cidades sendo utilizados na agricultura. Em algumas cidades, esta proporção atinge a 100%. A cidade de Johannesburg usa esgotos para irrigação desde 1914, sendo proprietária de fazendas para pecuária e agricultura com o objetivo de disposição de esgotos.

Brasil: não existe registro oficial de projetos de reuso de esgotos na irrigação, embora ele ocorra de maneira incontrolada. Andrade Neto apud Bastos (1992). apresentou exemplos de utilização de esgotos (tratados ou não) em irrigação de milho, melancia, abóbora e capim para alimentação animal no Nordeste. Além disto, o uso indireto de esgotos é realizado através da captação de água para irrigação em mananciais contaminados com despejos não tratados de cidades. Atualmente, existe um interesse muito grande no desenvolvimento de conhecimento científico que permita utilizar os esgotos em projetos de irrigação, hidroponia e piscicultura. Pesquisas nesta área têm sido suportadas pela Financiadora de Estudos e Pesquisas (FINEP), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Caixa Econômica Federal, através do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB). Recentemente um livro foi publicado divulgando as pesquisas nesta área realizadas por uma rede cooperativa constituída por onze instituições brasileira de ensino superior (Bastos, 2003).

A Tabela (1) apresenta uma compilação da área irrigada com esgotos domésticos em diversos países que fazem uso desta alternativa de disposição.

Tabela 1: Áreas irrigadas com esgotos domésticos em alguns países que utilizam esta alternativa de disposição (Fonte: Bastos et al., 2003)

País	Área irrigada (ha)
Argentina	37.000
Austrália	10.000
Alemanha	28.000
África do Sul	1.800
Arábia Saudita	4.400
Bahrain	800
Chile	16.000
China	1.330.000
Estados Unidos	14.000
Índia	73.000
Israel	10.000
Kuwait	12.000
México	250.000
Peru	4.300
Sudão	2.800
Tunísia	7.300

3. REQUERIMENTOS DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

Os esgotos domésticos são caracterizados por sua composição física, química e biológica. Os constituintes presentes nos esgotos que apresentam potenciais efeitos negativos sobre a saúde pública e aos recursos hídricos são descritos na Tabela (2).

O grau de tratamento dos esgotos requerido depende da qualidade exigida para a água de irrigação. Esta, por sua vez, depende da legislação que regula o uso do esgoto na agricultura. A seguir são apresentados três exemplos de requerimentos de qualidade de água para irrigação.

Tabela 2: Constituintes presentes em esgotos domésticos que apresentam possíveis efeitos prejudiciais à saúde pública e aos recursos hídricos (Fonte: Metcalf & Eddy, 2003)

Constituinte	Importância
Sólidos em suspensão	Formação de bancos de lodos e condições anaeróbias nos leitos dos mananciais de água.
Matéria orgânica biodegradável	Composta basicamente por proteínas, carboidratos e óleos e graxas. Sua estabilização consome o oxigênio dissolvido na água, podendo levar o manancial a atingir condições sépticas.
Microorganismos patogênicos	Transmissores de doenças contagiosas.
Nutrientes	Descargas de nitrogênio, fósforo e carbono em ambientes aquáticos favorecem o crescimento acelerado de algas e cianobactérias (florações).
Compostos orgânicos refratários	Compostos que resistem aos métodos convencionais de tratamento de esgotos, incluindo fenóis, pesticidas e surfactantes
Poluentes prioritários	Compostos orgânicos e inorgânicos de toxidez aguda e suspeitos ou comprovadamente carcinogênicos, mutagênicos e teratogênicos.
Metais pesados	Acima de determinadas concentrações, os metais apresentam toxicidade.
Compostos inorgânicos dissolvidos	O uso da água nas cidades aumenta o conteúdo de sais que encontram-se originalmente dissolvidos na fonte de água.

Brasil

O Brasil não tem uma legislação específica regulando a utilização de esgotos na agricultura. Recentemente o Conselho Nacional de Recursos Hídricos, através da Resolução N°54, estabeleceu critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água (Brasil, 2005a). A resolução abrange reuso para fins urbanos, agrícolas, florestais, ambientais, industriais e aquíicultura, determinando que os parâmetros específicos para cada modalidade sejam estabelecidos pelos respectivos órgãos competentes.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente, por outro lado, através da Resolução N°357, estabeleceu graus de qualidade a serem atendidos por águas de mananciais utilizadas para diversos fins (Brasil, 2005b). A resolução fixa concentrações limites dos diversos contaminantes para que a água possa ser utilizada na irrigação. Praticamente todos os constituintes descritos na Tabela (2) estão incluídos na resolução. A Tabela (3) apresenta, para cada grupo de culturas agrícolas, a classe de qualidade que a água deve estar enquadrada e exemplos de limites de concentração estabelecidos para alguns contaminantes.

Organização Mundial da Saúde

A ênfase dada pela Organização Mundial da Saúde é para a qualidade biológica da água de irrigação, de modo a minimizar a probabilidade de ocorrência de doenças transmitidas por bactérias, vírus, protozoários e vermes. De acordo com a OMS, *risco real* à saúde pública associado ao uso de excretas e esgotos em agricultura e aquíicultura, ocorre somente se *todas* as seguintes condições estiverem presentes (WHO, 1989):

- a) a dose infecciosa de um organismo patogênico chega ao campo ou lagoa irrigada, ou o organismo multiplica-se no local até atingir a dose infecciosa;
- b) a dose infecciosa atinge o hospedeiro humano;

- c) o hospedeiro torna-se infectado;
- d) a infecção causa doença ou é transmitida para outros.

Tabela 3: Classes de qualidade para águas utilizadas em irrigação de diferentes culturas
(Fonte: Brasil, 2005b)

Uso	Classe de qualidade	Exemplos de limites de concentração estabelecidos
Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas sem remoção de película	Classe 1	Coliformes fecais: $\leq 200/100$ mL Turbidez: ≤ 40 UNT DBO (5 dias, 20°C): $\leq 3,0$ mg/L Sólidos dissolvidos totais: ≤ 500 mg/L Fósforo total: $\leq 0,1$ mg/L P ¹ Mercúrio: $\leq 0,0002$ mg/L Hg 2,4-D: $\leq 4,0$ µg/L
Irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato	Classe 2	Coliformes fecais: $\leq 1000/100$ mL Turbidez: ≤ 100 UNT DBO (5 dias, 20°C): $\leq 5,0$ mg/L Sólidos dissolvidos totais: ≤ 500 mg/L Fósforo total: $\leq 0,1$ mg/L P ¹ Mercúrio: $\leq 0,0002$ mg/L Hg 2,4-D: $\leq 4,0$ µg/L
Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras	Classe 3	Coliformes fecais: $\leq 2.500/100$ mL Turbidez: ≤ 100 UNT DBO (5 dias, 20°C): $\leq 10,0$ mg/L Sólidos dissolvidos totais: ≤ 500 mg/L Fósforo total: $\leq 0,15$ mg/L P ¹ Mercúrio: $\leq 0,002$ mg/L Hg 2,4-D: $\leq 30,0$ µg/L

¹ Ambiente lóxico

Se qualquer elo desta seqüência de eventos for quebrado, o risco potencial não constituirá um risco real. Por outro lado, se o evento *d* não ocorrer, mas existirem *a*, *b* e *c*, continuará a haver risco potencial. De acordo com a OMS, presentemente se pode projetar e implementar programas de reuso de esgotos que não apresentam riscos à saúde pública. Isto requer apenas que se conheça a epidemiologia de infecções relacionadas ao reuso de esgotos.

Estudos epidemiológicos sobre irrigação com esgotos permitiram a OMS concluir que a aplicação de *esgotos não tratados* em culturas agrícolas resulta em risco elevado de aquisição de doenças intestinais por vermes e bactérias, sendo baixo, contudo, o risco com relação à vírus (WHO, 1989). Baseada nesta informação, a organização estabeleceu as seguintes recomendações para qualidade microbiológica de esgotos tratados a serem utilizados em irrigação:

- Irrigação restrita ou irrestrita: menos de 1 ovo de helminto por litro;
- Irrigação irrestrita: menos de 1000 coliformes fecais por 100 mililitros

Irrigação restrita é definida como àquela usada para culturas comestíveis, parques públicos e campos de esporte; irrigação irrestrita refere-se aquela destinada a plantações de árvores, forrageiras, pastagens, cultivos industriais e árvores frutíferas.

Estados Unidos

Este país apresenta uma legislação mais sofisticada com relação a qualidade da água utilizada para irrigação. Quatro principais categorias de problemas associados a água de irrigação são considerados (Metcalf & Eddy, 2003).

- Salinidade

É considerado o parâmetro mais importante para se determinar a adequação da água para irrigação. Sólidos dissolvidos totais (SDT) e condutividade elétrica (CE) são características utilizadas para avaliação da salinidade. A presença de sais afeta o crescimento vegetal de três modos: (1) efeitos osmóticos devido a concentração de sais dissolvidos na água, (2) toxicidade de íons específicos devido as concentrações de íons individuais e (3) dispersão de partículas do solo devido a teores altos de sódio e baixa salinidade.

- Toxicidade específica de íons

Os íons de maior preocupação são sódio, cloreto e boro, sendo este o de maior prevalência. As principais fontes de boro são detergentes ou descargas industriais. Além destes, existe a recomendação de concentrações máximas para outros 20 elementos traços em águas de irrigação devido as suas toxicidades e capacidade de se acumularem nas plantas e solos.

- Taxa de infiltração de água

Concentrações altas de sódio conduzem a deterioração das condições físicas do solo pela formação de crostas, redução de permeabilidade do solo e *waterlogging* (saturação do solo com água). O conceito de taxa de adsorção de sódio (SAR) é utilizado para determinar a existência de problemas de infiltração (equação 1).

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (1)$$

sendo as concentrações dos cátions Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} expressas em meq/L.

A taxa de adsorção de sódio ajustada tem sido proposta para uso em projetos de irrigação com esgotos uma vez que reflete as mudanças nas concentrações de cálcio em água do solo mais corretamente. Neste caso, Ca^{2+} na Equação (1) é substituído por Ca_x^{2+} , valor que depende da relação entre os íons bicarbonato (HCO_3^-) e Ca^{2+} , e da salinidade do esgoto (Metcalf & Eddy, 2003). A Equação (1) muda para a seguinte forma:

$$adjR_{Na} = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca_x^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (2)$$

$adjR_{Na}$ o valor de SAR ajustado.

- Outros problemas

- Os esgotos contêm nutrientes que podem servir como fertilizantes para as plantas. Todavia, em casos em que as concentrações de nitrogênio são excessivas, pode haver perda de qualidade das plantações.

- Em algumas situações, tem sido observados o entupimento de sistemas de irrigação, particularmente sistemas de aspersão devido ao crescimento de biofilme, presença de algas e sólidos em suspensão.

- Cuidados devem ser tomados caso o efluente tratado dos esgotos seja desinfetado com cloro uma vez que concentrações deste elemento acima de 5 mg/L causam danos às folhas dos vegetais.

A Tabela (4) apresenta as recomendações da prática norte-americana para qualidade de água para irrigação.

Tabela 4: Problemas associados a qualidade de água para irrigação e recomendações relativas a concentrações máximas (Fonte: Metcalf & Eddy, 2003)

Parâmetro	Unidade	Grau de restrição de uso		
		Nenhum	Moderado	Severo
Salinidade (afeta a disponibilidade de água para a cultura)				
Condutividade elétrica (CE)	dS/m	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0
Sólidos dissolvidos totais (SDT)	mg/L	< 450	450 - 2000	> 2000
Permeabilidade (afeta a taxa de infiltração no solo – usar CE e SAR ou adj R _{Na} em conjunto)				
adj R _{Na} = 0 - 3		CE ≥ 0,7	0,7 – 0,2	< 0,2
3 – 6		≥ 1,2	1,2 – 0,3	< 0,3
6 – 12		≥ 1,9	1,9 – 0,5	< 0,5
12 – 20		≥ 2,9	2,9 – 1,3	< 1,3
20 – 40		≥ 5,0	5,0 – 2,9	< 2,9
Toxicidade de íons específicos (afeta culturas sensíveis)				
Sódio (Na)				
Irrigação superficial	SAR	< 3	3 - 9	> 9
Irrigação por aspersão	mg/L	< 70	> 70	
Cloreto (Cl)				
Irrigação superficial	mg/L	< 140	140 - 350	> 350
Irrigação por aspersão	mg/L	< 100	> 100	
Boro (B)	mg/L	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0
Elementos traços	Tabela 13-23 (Metcalf & Eddy) ou 3.9 (Bastos)			
Outros problemas (afeta culturas sensíveis)				
Nitrogênio total (N)	mg/L	< 5	5 - 30	> 30
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻) (sistema de aspersão convencional)	mg/L	< 90	90 - 500	> 500
pH	-	6,5 – 8,4		
Cloro residual (sistema de aspersão convencional)	mg/L	< 1,0	1,0 – 5,0	> 5,0

Com relação à qualidade microbiológica, os esgotos devem passar por tratamento secundário seguido por desinfecção. No caso de contato com culturas comestíveis, o tratamento deverá atingir nível terciário. Esgotos tratados não desinfetados podem ser usados somente em plantações tipo forrageiras ou árvores que não produzam alimentos.

4. OPÇÕES PARA PROTEÇÃO À SAÚDE EM PROJETOS DE IRRIGAÇÃO COM ESGOTOS

As medidas de proteção à saúde pública em projetos de irrigação com esgotos são agrupadas em quatro categorias (WHO, 1989):

1º) Tratamento dos esgotos

A ênfase da Organização Mundial da Saúde é na remoção de organismos patogênicos, especificamente bactérias e ovos de helmintos. Para irrigação irrestrita, as eficiências de remoção devem ser iguais ou superiores a 3 e 4 unidades logarítmicas, respectivamente para ovos de helmintos e bactérias.

As técnicas de tratamento biológico por lodos ativados ou biofiltros não produzem efluente de qualidade biológica compatível a irrigação. A desinfecção com cloro é uma alternativa para inativação de bactérias, mas permite a sobrevivência de ovos de helmintos. A WHO recomenda o uso de lagoas de estabilização em série, especialmente em áreas de clima quente, para produção de efluentes com qualidade biológica adequada para irrigação. A desvantagem deste sistema são os longos tempo de detenção, geralmente, maiores que 11 dias para remoção de ovos e 22 dias para bactérias.

2º) Restrição de cultura

Ainda que o efluente do tratamento não possua qualidade biológica recomendada em termos de bactérias e ovos de helmintos, o uso de esgotos tratados poderá ser feito sem que haja riscos ao consumidor se houver limitações em relação aos tipos de cultura produzidos. Neste sentido, as culturas são agrupadas em três categorias do ponto de vista da proteção à saúde:

Categoria A: proteção requerida somente para trabalhadores dos campos agrícolas: é o caso de culturas para indústrias, tais como algodão, sisal, grãos e florestas. Também são incluídas nesta categoria as culturas comestíveis destinadas à industrialização. Irrigação para culturas desta categoria são denominadas de *irrigação restrita*.

Categoria B: medidas complementares podem ser necessárias em relação à categoria A. Inclui pastagens, forrageiras, vegetais e frutas que são descascadas ou cozidas antes de serem ingeridas.

Categoria C: espécies que requerem atendimento total da qualidade biológica – inclui vegetais, verduras e frutas irrigadas por aspersão, parques e campos de golfe. Irrigação para plantas desta categoria é referida como *irrigação irrestrita*.

A irrigação restrita protege os consumidores, mas não os trabalhadores dos campos. Por isto, deve ser acompanhada de providências complementares, tais como tratamento parcial dos esgotos, controle de aplicação e exposição humana. Na maior parte dos casos, o tratamento para remoção de ovos de helmintos será suficiente para proteção dos trabalhadores.

3º) Métodos de aplicação de esgotos

A aplicação de esgotos pode ser feita através dos seguintes métodos: (1) inundação, (2) sulcos, (3) aspersão, (4) subsuperficial e (5) localizada. O método por inundação é o de menor custo, mas o de maior risco para os trabalhadores. Irrigação subsuperficial é a que assegura maior grau de proteção, além de permitir um uso mais eficiente da água. Porém, é mais cara e requer um maior grau de tratamento dos esgotos para evitar o entupimento dos emissores. Se os esgotos não possuem grau de qualidade biológica, inundação por aspersão não deve ser utilizada, exceto para pastagens e forrageiras.

4º) Controle da exposição humana

Os grupos de pessoas sujeitos a riscos devido ao uso de esgotos na irrigação são: (1) trabalhadores de campo e suas famílias, (2) as pessoas que manipulam as plantas e frutas coletadas, (3) os consumidores e (4) os habitantes das regiões próximas às plantações.

Medidas de proteção aos trabalhadores incluem o uso de calçados apropriados, imunização contra febre tifóide e hepatite A, terapia química para controle de vermes, disponibilidade de instalações médicas. Riscos aos consumidores podem ser reduzidos através do cozimento das verduras e inspeções sanitárias. Os habitantes de áreas próximas aos campos de aplicação devem ser informados e deve haver uma distância mínima de 50-100 m das plantações, especialmente se houver irrigação por aspersão.

Deve-se ressaltar que as recomendações da prática nos Estados Unidos são mais restritas que as da OMS. Por exemplo, os esgotos deverão passar, no mínimo, por tratamento secundário antes de serem utilizados na irrigação. Dependendo do tipo de cultura, poderá haver exigência de tratamento terciário com desinfecção para o uso como irrigação. Também são especificados quais métodos de irrigação são permitidos em função do tipo de cultura (Metcalf & Eddy, 2003). Para se avaliar o grau de riscos à saúde pública em projetos de reuso de esgotos tratados, há uma ênfase na adoção de metodologia para avaliação de riscos. Esta metodologia compreende quatro etapas:

- Identificação do perigo: envolve a identificação de constituintes que apresentam efeitos adversos sobre a saúde;
- Avaliação da exposição: processo pelo qual a substância que causa danos entra em contato com a população exposta;
- Avaliação da dose-resposta: define a relação existente entre a quantidade da substância tóxica e o efeito na saúde associado àquela dose;
- Caracterização do risco: é a etapa final do processo, no qual se chega ao risco associado à exposição. O resultado final é uma probabilidade de que certos efeitos atingirão as pessoas, dadas as condições de dose e exposição prevalentes.

5. ANÁLISE DE VIABILIDADE DE PROJETOS DE IRRIGAÇÃO COM ESGOTOS SANITÁRIOS

O planejamento de projetos de irrigação com esgotos sanitários requer uma análise cuidadosa de viabilidade técnica, econômica, social e ambiental. Os seguintes aspectos são propostos para análise (Hespanhol, 1997):

- Natureza do problema
Qual o volume, características, local de geração e sazonalidade dos esgotos? Quais são as alternativas de disposição dos esgotos?
- Viabilidade legal
Existem leis regulando a aplicação de esgotos na agricultura? Quais são os padrões permitidos? Existem direitos de uso de água? Estes serão afetados pelo uso de esgotos na irrigação?
- Viabilidade técnica
A qualidade dos esgotos tratados é compatível com irrigação restrita ou irrestrita? Qual a área disponível para irrigação? Quais são as características do solo? Que tipos de culturas podem ser produzidas? O volume de esgotos é suficiente para atender as necessidades sazonais de água das plantas? Que técnicas de irrigação serão adotadas? Quais serão os impactos sobre a qualidade das águas subterrâneas? Que riscos associados à saúde pública e meio ambiente estão associados ao projeto proposto?
- Viabilidade política e social
Qual é a percepção do público relativo ao reuso dos esgotos? Houve reações contrárias devido a experiências anteriores? Quais serão os benefícios para a comunidade relativa ao reuso dos esgotos? Quais são os possíveis efeitos negativos sobre a comunidade?
- Viabilidade econômica
Quais são os custos de investimento, operação e manutenção? Qual é a taxa econômica de retorno? Quais são os benefícios econômicos do uso agrícola de esgotos? Qual é a relação benefício-custo do projeto?
- Viabilidade de pessoal
Existe pessoal qualificado para operação e manutenção do sistema de irrigação, tratamento dos esgotos e controle ambiental do projeto? Que programas de treinamento serão requeridos?

6. REUSO DE LODOS NA AGRICULTURA

Métodos de tratamento de esgotos como lodos ativados e filtros biológicos produzem lodos, que constituem suspensões com teores de sólidos variando entre 0,5% até 10%. Estes lodos requerem estabilização antes que se possa dispô-los no ambiente. O método de estabilização mais comum em estações de tratamento de esgotos é a digestão anaeróbia, a qual converte carbono orgânico em metano (CH₄) e carbono inorgânico (CO₂) em reação realizada na ausência de oxigênio molecular. A digestão anaeróbia, realizada em reatores com tempo de detenção de 15 dias e temperatura de 35 a 55°C, promove significativa remoção de organismos patogênicos, apresentando potencial para uso na agricultura como condicionador de solos ou como provedores de nutrientes para as plantas.

O planejamento do uso do chamado biosólido na agricultura deve considerar os seguintes aspectos: (1) presença de metais pesados nos biosólidos; (2) tipo de tratamento dado aos biosólidos; (3) áreas agrícolas onde serão aplicados; (4) taxa de aplicação dos biosólidos no solo; (5) transporte, manuseio, estocagem e aplicação dos biosólidos; (6) monitoramento do solo (Tsutiya, 2002). Existe um mercado para os biosólidos, tendo se tornado um bem com valor econômico e com potencial para geração de lucro (Tavares, 2003).

7. CONCLUSÕES

O crescente aumento na demanda de água provocada pelo crescimento populacional, desenvolvimento industrial e expansão agrícola, tem exercido estresse sobre os recursos hídricos existentes na Terra. Em muitos locais, devido à falta de alternativas, os recursos hídricos têm sido explorados de maneira não sustentável. Neste contexto, o reuso de esgotos é uma alternativa bastante atraente a ser avaliada no contexto da gestão integrada dos recursos hídricos.

A agricultura é o setor com maior demanda de água, utilizando, em média, 65% do volume abstraído dos mananciais de água. Qualquer alternativa que promova um uso mais eficiente da água na agricultura apresenta potencial para trazer benefícios. Neste contexto, a utilização de esgotos tratados para irrigação de culturas pode ser favorável sob os seguintes aspectos: (1) redução do volume de água retirado de mananciais, (2) incorporação de nutrientes presentes nos esgotos às plantas com conseqüente economia no uso de fertilizantes industrializados, (3) conservação do solo, (4) redução da contaminação de águas superficiais.

A utilização de esgotos tratados na agricultura deve ser bem planejada de modo a garantir à saúde dos trabalhadores e dos consumidores, assim como prevenir a deterioração da qualidade do solo devido à salinização e das águas superficiais e subterrâneas por contaminantes químicos e biológicos. Atualmente, já existe acúmulo de conhecimento suficiente para permitir a implantação de projetos de irrigação com o uso de esgotos sanitários tratados. Dois fatores que podem limitar o uso de esgotos na agricultura são o custo para transportar os esgotos das cidades até as áreas agrícolas e a sazonalidade da demanda de água para irrigar as culturas. Estas limitações deverão ser avaliadas no estudo de viabilidade do projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASTOS, R. K. X. (coord.) **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2003. (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico 3 – Esgoto).

BENETTI, A. D. **Subsídios ao diagnóstico ambiental da bacia do rio Santa Maria**: recursos hídricos – demanda e disponibilidade de água. Porto Alegre: FEPAM, 2002.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução N°54, de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável da água. Brasília, DF, 2005a.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N°357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF, 2005b.

HESPANHOL, I. Wastewater as a resource. In: HELMER, R.; HESPANHOL, I. **Water pollution control: a guide to the use of water quality management principles**. Londres: E&FN Spon, 1997. (Published on behalf of United Nations Environment Programme, Water Supply & Sanitation Collaborative Council and World Health Organization)

LANDES, D. S. **The wealth and poverty of nations: why some are so rich and some so poor**. New York: Norton, 1999.

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA R. S. A.; CHRISTOFIDIS D. O uso da irrigação no Brasil. In: FREITAS, M. A. V. (org.). **O Estado das águas no Brasil**: perspectivas de gestão e informação de recursos hídricos. Brasília: ANEEL, MME, MMA/SRH, OMM, PNUD, 1999. p. 73–82.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2003.

POSTEL, S. **Dividing the waters: food security, ecosystem health, and the new politics of scarcity**. Washington, DC: Worldwatch Institute, 1996. (Worldwatch paper 132).

PRESCOTT, L. M.; HARLEY, J. P.; KLEIN, D. A. **Microbiology**. Dubuque, IA: WCB, 1990.

SHUVAL, H. I. (ed.). **Water renovation and reuse**. New York: Academic Press, 1977.

TAVARES, D. Lodo que vira adubo. **Globo Rural**, Rio de Janeiro, p. 57-62, abr. 2003.

TSUTIYA, M. T. Alternativas de disposição final de biosólidos. In: TSUTIYA, M. T. et al (eds.). **Biosólidos na agricultura**. São Paulo: ABES, 2002. Cap. 5, p. 133-180.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI**: enfrentando a escassez. São Carlos, SP: RiMA, 2003.

WORLD BANK. **World development report 1992: development and the environment**. New York: Oxford University Press, 1992.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Health guidelines for use of wastewater in agriculture and aquaculture**. Geneva: WHO, 1989.