

## Utilização de esgotos sanitários para produção de alimentos para animais: aspectos sanitários e produtivos

Paula Dias Bevilacqua<sup>1</sup>, Rafael Kopschitz Xavier Bastos<sup>2</sup>

### RESUMO

As questões relacionadas com o tratamento e disposição final das águas residuárias são cada vez mais importantes, como foco de preocupação das sociedades contemporâneas. A possibilidade de utilização desses recursos para fins produtivos ainda é objeto de muito debate, principalmente no que diz respeito à adequada proteção da saúde humana. A utilização de águas residuárias como água de irrigação traz importantes vantagens, como a economia de recursos hídricos e de insumos agrícolas. Neste sentido, a produção de pastagens e forrageiras, irrigadas com água residuária, para consumo animal, tem se configurado como uma possibilidade, integrando o tratamento de esgotos e a produção agropecuária. Entretanto, aspectos relacionados com a qualidade dos efluentes, considerada segura do ponto de vista da proteção da saúde da população animal, ou dos consumidores dos produtos de origem animal, ainda são pouco investigados. Outro aspecto importante são as questões relacionadas com a produtividade e à qualidade bromatológica das culturas irrigadas. Diferentes estudos realizados no Brasil apontam a possibilidade de produção de forrageira irrigada com esgotos sanitários, porém, apesar de representarem avanços importantes, são ainda necessários estudos complementares ou mais aprofundados que discutam a complexidade desse tema, de forma a que a prática do reúso para fins agropecuários seja revestida da adequada segurança sanitária e de aceitação pública.

**Palavras-chave:** esgotos sanitários, reúso, produção animal.

### ABSTRACT

#### Wastewater use for animal food production: sanitary and production aspects

Wastewater treatment and adequate disposal are issues of increasing concern in modern societies; however wastewater reuse is still a subject of much debate, especially regarding human health protection. The use of wastewater or treated effluents in agriculture presents several advantages, such as water resource and agricultural input saving. Irrigation of pasture and fodder crops is an interesting possibility as it could serve the dual purpose of wastewater treatment and reuse. However, information on the effluent quality which could be safely used in terms of animal and human (those who consume animal products) health risks are yet scarce. Other important aspects are the yield and bromatological quality of wastewater-irrigated fodder crops. Notwithstanding the fact that a few studies conducted in Brazil have suggested that wastewater irrigation of forage crops is entirely possible, further research is still needed in order to take full account of such a complex subject, to demonstrate that it is a safe practice and to gain public acceptance.

**Key words:** Wastewater, reuse, animal production.

Recebido para publicação em março de 2009 e aprovado em maio de 2009

<sup>1</sup> Departamento de Veterinária, Universidade Federal de Viçosa, Campus Universitário, Viçosa-MG, CEP: 36.570-000. Tel: (31) 3899-1467. Fax: (31) 3899-2317. paula@ufv.br

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa.

## INTRODUÇÃO

A preocupação com o destino das águas residuárias<sup>3</sup> é tema cada vez mais significativo, presente na pauta de discussões e de atenção de diferentes segmentos da sociedade, e não perde atualidade, com o passar do tempo. Duas questões podem ser colocadas como centrais, quando da discussão sobre a importância do destino adequado das águas residuárias. Uma diz respeito à proteção da saúde de populações humanas e, a outra, relacionadas com o meio ambiente. No primeiro caso, sabe-se que o lançamento ou disposição inadequada no ambiente pode expor pessoas ou populações a diferentes tipos de patógenos ou a substâncias químicas, dependendo das características da água residuária, implicando em riscos para a saúde humana e, eventualmente, ocorrência de casos de doenças ou agravos. Com relação ao meio ambiente, também são notórios os impactos advindos do lançamento de águas residuárias, sem tratamento, em cursos d'água ou no solo. Como exemplos, citam-se o comprometimento da vida aquática e de potenciais usos múltiplos da água, a salinização e o comprometimento da aptidão agrícola de solos ou, ainda, a contaminação de aquíferos.

Uma das possibilidades que se tem apresentado como promissoras é o aproveitamento dos esgotos sanitários<sup>3</sup> em atividades produtivas, especificamente, na produção agropecuária, incluídos aqui, os produtos para consumo humano ou animal, com significativos benefícios sociais, econômicos e ambientais. O aproveitamento dos esgotos em atividades produtivas pode constituir, em si, técnica de tratamento, além de permitir a reciclagem de nutrientes e implicar em considerável economia de água. Sob esse último aspecto, em regiões onde os recursos hídricos são escassos ou inexistentes, o aproveitamento de águas residuárias acaba sendo imperativo.

No presente artigo, com base em revisão bibliográfica, levantam-se alguns pontos de discussão sobre o tema, tendo como principal enfoque a utilização de esgotos sanitários para produção de alimentos para animais, respectivos potenciais e limitações, desde o ponto de vista produtivo e sanitário, além da necessária regulamentação dessa prática.

## ESGOTOS SANITÁRIOS: POTENCIAIS E LIMITAÇÕES DE UTILIZAÇÃO NA AGROPECUÁRIA

A disposição no solo é uma das formas mais antigas de destino final, reciclagem ou tratamento de esgotos sanitários. Entretanto, como destacado por Bastos *et al.* (2003a), é preciso ter claro que esses são objetivos distintos, que requerem manejo diferenciado e que nem sempre são compatíveis entre si. No primeiro caso, o que se pretende é a infiltração, envolvendo taxas de aplicação elevadas em solos com características adequadas para tal, geralmente sem cobertura vegetal. A irrigação é a forma, pressupostamente controlada, de reúso da água e reciclagem de nutrientes, em que as taxas de aplicação devem ser compatibilizadas com as boas práticas agrícolas, ou seja, com o atendimento da demanda hídrica da cultura irrigada, com a técnica de irrigação utilizada, com as características climáticas e do solo. Quando o objetivo é o tratamento dos esgotos, pressupõe-se a produção de efluente tratado com características adequadas para o lançamento em corpos d'água ou para a irrigação. Entretanto, como uma das principais formas de tratamento de esgotos por disposição no solo, o escoamento superficial, envolve a produção de biomassa vegetal, ela pode ser entendida como um processo integrado de tratamento e reúso<sup>4</sup>; porém, como, em geral, o objetivo principal não é o da produção ótima ou controlada de biomassa, as taxas de aplicação não obedecem necessariamente a princípios agronômicos.

Como exemplos dessa prática, citam-se as 'fazendas de esgotos', experiências iniciadas na Inglaterra, no início do século XIX, e que se disseminaram pela Europa e Estados Unidos. O exemplo mais notório é o de Werribee Sewage Farm, na Austrália. Nessa área, de aproximadamente 110 km<sup>2</sup>, um sistema de tratamento, em operação desde 1897, recebe 52% do esgoto produzido na cidade de Melbourne (em torno de 485 milhões L/dia). Atualmente, o efluente do tratamento de esgotos em lagoas é utilizado para irrigar 85 Km<sup>2</sup> de pastagens, que alimentam rebanhos de 15.000 bovinos e 40.000 ovinos; o efluente também é utilizado para produção de hortaliças, irrigação de campos de esporte, parques e jardins (Bastos *et al.*, 2003a)<sup>5</sup>.

<sup>3</sup> O termo esgoto sanitário diz respeito ao esgoto composto pela água de banho, excretas, papel higiênico, restos de comida, sabão, detergentes e águas de lavagem. Essa expressão tem sido utilizada na literatura para se referir tanto aos esgotos domésticos, como de forma mais ampla, aos esgotos urbanos, incluindo, nesse caso, os efluentes produzidos em residências, estabelecimentos comerciais (por vezes industriais), instituições ou quaisquer edificações que dispõem de instalações de banheiros, lavanderias e cozinhas. O termo água residuária engloba, além do esgoto sanitário, outros tipos de efluentes, com características específicas e inerentes à(s) atividade(s) que os geraram, assim, têm-se os efluentes industriais (compreendendo variado grupo), os efluentes de abatedouros de animais, os efluentes de laticínios, os efluentes da produção pecuária (por exemplo, confinamento de bovinos, suinocultura, estábulo leiteiro), os efluentes da produção agrícola (por exemplo, do descascamento/despolpa dos frutos do caféiro), dentre outros. Em qualquer caso, pode-se pensar no aproveitamento da água e dos constituintes da água residuária, entretanto, o presente artigo tem foco dirigido aos esgotos sanitários.

<sup>4</sup> A literatura nacional e internacional por vezes faz uso do termo reúso de águas residuárias/esgotos (*wastewater reuse*). Entretanto, rigorosamente, o correto seria referir-se a reúso da água ou utilização (uso) de esgotos, sendo esse o sentido adotado no emprego desses termos no presente artigo.

<sup>5</sup> <http://www.melbournewater.com.au/>

Basicamente, no escoamento superficial, os efluentes são distribuídos na parte superior de rampas ou terrenos com certa declividade, por onde escoam, até serem coletados na parte inferior. A cobertura vegetal, usualmente gramínea, é parte integrante e importante do processo de tratamento, o qual se dá por mecanismos físico-químicos e biológicos no solo e na interface do sistema solo-planta, onde se forma um biofilme.

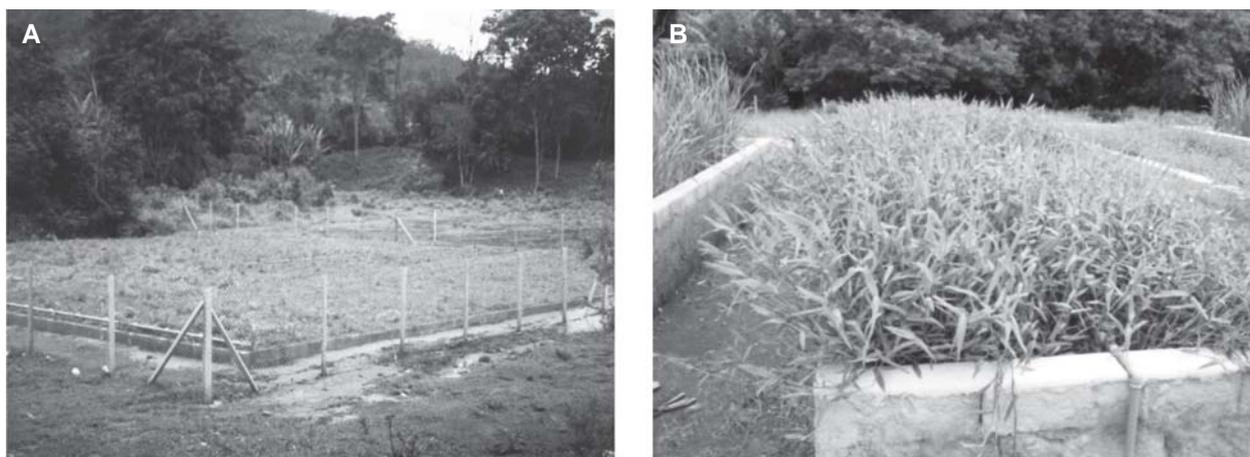
Outro processo de tratamento de esgotos, não exatamente de disposição no solo, mas que também envolve a produção de biomassa, constitui as *wetlands* (terras húmidas) construídas: sistemas artificialmente projetados e constituídos de canais preenchidos por meio poroso (usualmente cascalho, areia grossa ou brita), o qual dá suporte ao crescimento microbiológico e de macrófitas (USEPA, 2000; Chernicharo *et al.*, 2006). Em ambos os casos, a vegetação que cresce no solo (escoamento superficial) ou no meio suporte (*wetlands*), pode constituir biomassa para alimentação animal, caracterizando, assim, o reúso para fins agropecuários<sup>6</sup>.

A Figura 1 mostra sistemas, em escala piloto, de tratamento de esgotos sanitários por disposição no solo e de *wetlands* construídas, utilizados em experimentos de produção de forrageira para alimentação animal, em Viçosa-MG.

A prática do reúso apresenta diferentes aspectos positivos, tais como: (i) a substituição da fonte de água; considerando a agropecuária praticada nas proximidades do perímetro urbano, pode-se supor uma proporção substancial, se não de 100%, de substituição da água utilizada por água residuária<sup>7</sup>, preservando recursos hídricos para outros usos, como o abastecimento humano e animal; (ii)

economia de insumos de produção, já que as águas residuárias apresentam, em sua composição nutrientes importantes para as plantas (nitrogênio, fósforo, potássio, dentre outros); (iii) reciclagem de nutrientes; (iv) preservação da fração orgânica do solo; (v) menores custos de tratamento dos esgotos, quando comparados ao tratamento necessário para o lançamento de efluentes em corpos receptores; (vi) produção de alimentos e (vii) proteção dos corpos d'água, resultando, por conseguinte, na redução dos gastos com processos de potabilização da água (Mara & Cairncross, 1989; Strauss, 2001; Bastos *et al.*, 2003a; Coraucci Filho *et al.*, 2003).

Por outro lado, também devem ser ponderadas as limitações que podem envolver a prática do reúso agropecuário, tais como: (i) aspectos financeiros relacionados com o transporte do esgoto sanitário aos locais de utilização, pois, em geral, as propriedades onde a prática do reúso poderia ser aplicada estão localizadas distantes dos centros urbanos, locais de produção dos maiores volumes de águas residuárias; (ii) uso inapropriado, relacionado com a não observância de recomendações de manejo apropriado à prática do reúso em irrigação e piscicultura; (iii) aspectos de saúde pública, implicando a exposição de grupos populacionais a diferentes riscos para a saúde; (iv) aspectos de saúde animal, pois as águas residuárias, utilizadas para a produção de animais (piscicultura) ou de produtos para alimentação animal, podem alterar os perfis sanitários dos rebanhos, implicando em custos ou prejuízos na produção animal; (v) existência de componentes, nas águas residuárias, que podem ser tóxicos para as plantas (por exemplo, sódio, cloretos, boro) e para os peixes (por exemplo, amônia); (v) contaminação



**Figura 1.** Instalações piloto de tratamento de esgotos sanitários e produção de *Brachiaria arrecta* utilizada em experimentos de produção animal (bovinos e caprinos), Viçosa-MG. (A) disposição no solo por escoamento superficial. (B) *wetlands* construídas.

<sup>6</sup> A Resolução nº 54/2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) define as seguintes modalidades de reúso da água: (i) reúso para fins agrícolas e florestais; (ii) reúso para fins urbanos; (iii) reúso para fins ambientais; (iv) reúso para fins industriais; (v) reúso na aquíicultura (BRASIL, 2005). No entanto, para efeito de destaque da aplicação específica enfocada nesse artigo, utilizar-se-á a expressão 'reúso para fins agropecuários' ou 'reúso agropecuário'.

<sup>7</sup> Conforme Bastos *et al.* (2003a), considerando a contribuição *per capita* de esgotos de 150-200 L/hab.dia e a demanda genérica de água para irrigação e piscicultura de, respectivamente, 1,0-2,0 m<sup>3</sup>/ano (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.ano) e 10 L/s.ha, constata-se que as águas residuárias produzidas por pessoa seriam suficientes para irrigar 30-70 m<sup>2</sup> e para suprir uma área de cultivo de peixes de 1,7-2,3 m<sup>2</sup>. Ou seja, uma população de 10.000 habitantes produziria "água" para irrigar cerca de 50 ha e para o cultivo de peixes em 2 ha.

química e microbiológica dos mananciais subterrâneos; (vi) alteração das características do solo (salinização, redução da permeabilidade e da aeração) e (vii) aspectos culturais, relacionados com a rejeição do consumo de alimentos produzidos com esgotos sanitários (Dulac, 2001; Scott *et al.*, 2004; Faruqi, 2006).

## REÚSO AGROPECUÁRIO E ASPECTOS SANITÁRIOS

Os esgotos sanitários podem conter os mais variados micro-organismos patogênicos, incluindo diferentes espécies e gêneros de bactérias, protozoários, ovos de helmintos e vírus, conforme resumo apresentado na Tabela 1. Nesse sentido, é importante que se ponderem os riscos à saúde advindos da prática do reúso para fins agropecuários.

A utilização de esgotos sanitários para a produção agrícola e animal somente resultará em risco real de doença se as seguintes premissas forem satisfeitas: (a) o organismo patogênico excretado alcançar o meio ambiente em quantidades correspondentes à sua dose infectante, ou o patógeno multiplicar-se no meio ambiente e atingir a dose infectante; (b) a dose infectante alcançar um hospedeiro humano ou animal; (c) o hospedeiro infectar-se; (d) a infecção resultar em doença ou transmissão posterior (casos secundários).

As três primeiras premissas (a, b e c) constituem o que é convencionalmente denominado 'risco potencial (ou 'perigo') e a última premissa (d) constitui o 'risco real' (ou simplesmente 'risco') à saúde, ou seja, a probabilidade de ocorrência de casos de doença. A existência de risco potencial não implica necessariamente em ocorrência de casos de doença; assim se esses não ocorrerem, o risco à saúde permanece apenas como potencial.

Segundo o modelo utilizado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), na elaboração das recomendações para irrigação com esgotos sanitários, o risco à saúde pública (humana) pode ser dividido em três grandes categorias: (i) aquele relacionado aos consumidores de alimentos produzidos com esgotos, incluindo os consumidores e as pessoas envolvidas na comercialização e no processamento do produto (risco do consumidor); (ii) aquele relacionado com

os agricultores e trabalhadores, os quais estão expostos aos esgotos (risco do trabalhador ou risco ocupacional); (iii) o risco relacionado com a população que habita ou circula por áreas vizinhas às áreas onde se pratica a irrigação com esgotos (risco da população vizinha) (Blumenthal *et al.*, 2000a; Blumenthal *et al.*, 2000b; Strauss, 2001). Somado a essas categorias, acrescenta-se o risco relacionado com a população animal, uma vez que esgotos sanitários podem conter micro-organismos com potencial zoonótico, conforme os citados na Tabela 2. Adicionalmente, se a água residual utilizada é proveniente de explorações animais, qualquer organismo patogênico potencialmente presente tem significado epidemiológico.

Nesse sentido, as recomendações para irrigação com esgotos sanitários têm sido discutidas e elaboradas pelos diferentes países e setores afeitos o tema, considerando o uso de três abordagens: (i) a ausência de riscos potenciais (perigos), caracterizada pela ausência de organismos indicadores ou, patogênicos no efluente; (ii) a medida de risco atribuível à utilização de esgotos, no meio de uma população exposta; (iii) a estimativa do risco atribuível, mediante o emprego de modelos probabilísticos.

A primeira abordagem, também conhecida como abordagem do 'risco nulo', é criticada por sua fragilidade em termos de fundamentação epidemiológica, uma vez que, mesmo em realidades em que o reúso não é praticado, a população é exposta aos micro-organismos existentes no esgoto, por exemplo, pelo consumo de água e alimentos, ou devido ao contato com esgoto não tratado, implicando casos de doença (Blumenthal *et al.*, 2000b, Carr & von Sperling, 2005). Nesse sentido, não seria necessário utilizar efluentes com ausência de organismos patogênicos ou indicadores quando da prática do reúso.

Nas duas abordagens seguintes, a medida ou a estimativa do risco são comparadas ao 'nível de risco tolerável'. Para o estabelecimento de uma 'medida do risco' (por exemplo: risco relativo, risco atribuível), parte-se de dados epidemiológicos que evidenciem a existência de associação entre a prática do reúso e a ocorrência de doenças na população. Entretanto, essa abordagem apresenta dificuldades práticas, por depender de um eficiente serviço de vigilância epidemiológica ou de complexos estudos epidemiológicos (Bastos *et al.*, 2008).

Quando se utiliza a abordagem de estimativa de risco, uma probabilidade de risco é calculada a partir do uso de modelos probabilísticos, por meio da aplicação da Metodologia de Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM). Resumidamente, a partir da construção de um cenário de exposição, pode-se estimar o risco de infecção em base populacional e temporal, mediante o emprego de modelos probabilísticos, os quais levam em consideração informações de dose-resposta de um de-

**Tabela 1.** Concentrações usuais de organismos patogênicos e indicadores de contaminação em esgotos sanitários

Microrganismo	Densidade
<i>Escherichia coli</i>	$10^6 - 10^8/100\text{mL}^{(1)}$
<i>Salmonella</i> spp.	$10^2 - 10^3/100\text{mL}^{(1)}$
Cistos de <i>Giardia</i> spp.	$10^2 - 10^4/\text{L}^{(2)}$
Oocistos de <i>Cryptosporidium</i> spp.	$10^1 - 10^2/\text{L}^{(2)}$
Ovos de helmintos	$10^1 - 10^3/\text{L}^{(3)}$
Vírus	$10^2 - 10^5/\text{L}^{(3)}$

FONTE: Bastos *et al.* (2003b).

**Tabela 2.** Organismos patogênicos existentes em esgoto sanitário com potencial zoonótico e hospedeiros animais

Agente etiológico	Espécie animal de interesse zootécnico
<b>Bactérias</b>	
<i>Clostridium perfringens</i>	Suína, bovina, ovina, caprina, aves
<i>Campylobacter jejuni</i>	Bovina, ovina, aves
<i>Campylobacter coli</i> <sup>(1)</sup>	Suína
<i>Escherichia coli</i>	Mamíferos em geral e aves
<i>Listeria monocytogenes</i>	Bovina, ovina, caprina, suína, aves
<i>Salmonella</i> spp	Mamíferos em geral e aves
<i>Shigella</i> spp.	Aves
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Mamíferos em geral
<i>Yersinia pseudotuberculosis</i>	Mamíferos em geral e aves
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	Mamíferos em geral
<i>Mycobacterium avium</i> subsp. <i>paratuberculosis</i> <sup>(2)</sup>	Bovina
<i>Klebsiella pneumoniae</i> <sup>(3)</sup>	Bovina
<i>Enterobacter aerogenes</i> <sup>(3)</sup>	Bovina e suína
<i>Serratia</i> <sup>(3)</sup>	Bovina
<i>Edwardsiella</i> <sup>(3)</sup>	Várias espécies animais
<b>Vírus</b>	
Rotavírus <sup>(4)</sup>	Bovina, suína, ovina, caprina, aves
Vírus da hepatite E	Suínos
<b>Protozoários</b>	
<i>Giardia</i> spp.	Várias espécies animais
<i>Cryptosporidium</i> spp.	Bovina, suína, ovina e caprina
<i>Sarcocystis</i> spp.	Bovina e suína
<i>Toxoplasma gondii</i> <sup>(6)</sup>	Ovina e outros mamíferos
<b>Helmintos</b>	
<i>Taenia</i> spp.	Suína e bovina
<i>Fasciola hepatica</i>	Bovina, ovina, caprina, suína

Fonte: Adaptado de Bevilacqua *et al.* (2006).

terminado patógeno. Inversamente, estabelecido o 'risco tolerável', pode-se estimar a concentração admissível de organismos patogênicos no efluente tratado e, por conseguinte, o grau de tratamento requerido (WHO, 2006a; Bastos *et al.*, 2008).

Essas têm sido as bases teóricas em que se apoiam, atualmente, a discussão e reflexão sobre os riscos para a saúde humana, relacionados com a prática do reúso. A AQRM, inclusive, tem sido incorporada nas recentes publicações da OMS sobre o uso de água residuária na agricultura e na piscicultura (WHO 2006a; 2006b). Entretanto, considerando a saúde animal poucos são os trabalhos dedicados ao tema.

Nas diretrizes da OMS, a irrigação de pastagens e forrageiras estaria incluída na categoria 'irrigação restrita' (irrigação de culturas alimentícias não ingeridas cruas e culturas não-alimentícias), para a qual são recomendados critérios de qualidade para o esgoto tratado, com vista à mitigação de riscos ocupacionais à saúde humana: < 10<sup>4</sup> E.coli/100 mL (para o cenário mais desfavorável – agricultura com mão de obra intensiva e baixo nível de proteção à saúde do trabalhador) e < 1 ovo de nematóides intestinais humanos por litro (WHO, 2006a).

Nas normas dos EUA, a irrigação de pastagens e forrageiras para rebanhos de leite é considerada em conjunto com outras culturas alimentícias (por exemplo, cereais, fibras e grãos), para as quais são estabelecidos critérios de tratamento dos esgotos (incluindo a desinfecção) e de qualidade dos efluentes bastante rigorosos: ≤ 200 coliformes termotolerantes por 100 mL e > 1mg/L de cloro residual (USEPA, 2004). Entretanto, aqui, também, o foco central é a proteção da saúde humana.

Com relação a evidências de transmissão de patógenos a animais alimentados com pastagens e alimentos, produzidos com irrigação de esgotos sanitários ou efluentes tratados, alguns dados sugerem que, no caso de *Salmonella*, isso ocorra somente em situações de contato prolongado com material altamente contaminado. As evidências de infecção humana secundária são também escassas, muito embora, em pelo menos uma ocasião, tenha sido registrada a transmissão por meio de leite não pasteurizado (Pike, 1986; Jones, 1986). Com respeito à cisticercose, as evidências de infecção animal são mais nítidas, associadas principalmente à aplicação de esgotos e lodo de esgoto não tratados (Nansen & Henriksen, 1986). Mais recentemente, atenção especial tem sido

dedicada aos riscos de transmissão de protozoários, a exemplo da criptosporidiose, haja vista tratar-se de zoonose de importância epidemiológica inquestionável (Crockett & Haas, 1997; FAO, 1997).

Por outro lado, experimentos de produção de forrageira irrigada com esgotos sanitários, para alimentação animal (bovinos e caprinos), apontam para a viabilidade e a segurança sanitária dessa prática, mesmo simulando-se condições bastante desfavoráveis, em termos de qualidade da água de irrigação (efluente com  $10^5$ - $10^6$  *E. coli* e *Salmonella* spp./100 mL) (Bevilacqua *et al.*, 2003; Bevilacqua *et al.*, 2006). Esses estudos também reportam o fato de que a qualidade sanitária dos produtos de origem animal (para a carne bovina a presença de cisticercos e a contagem de salmonela; para o leite de caprinos, a contagem de coliformes, de mesófilos e de salmonela) esteve adequada, não significando risco à saúde dos consumidores (Bevilacqua *et al.*, 2003; Bevilacqua *et al.*, 2006). A partir desses resultados, os(as) autores(as) questionam critérios mais exigentes de qualidade de efluentes para a irrigação de forrageiras e pastagens para rebanho de leite, a exemplo dos critérios norte-americanos ( $\leq 200$  coliformes termotolerantes/100 mL - USEPA, 2004) e sugerem que um padrão de qualidade em torno de  $10^4$  *E. coli*/100 mL estaria revestido da segurança à saúde animal. Outros estudos também apontam resultados semelhantes aos estudos citados anteriormente, incorporando, ainda, informações sobre a transmissão de *Cryptosporidium* a caprinos alimentados com forrageira irrigada com efluente tratado (Bevilacqua *et al.*, 2008<sup>8</sup>).

Apesar dos dados acima relatados, considerando-se o contexto da saúde animal, a discussão envolvendo os riscos potenciais e reais de transmissão de patógenos, a partir do uso de forrageira/pastagens irrigadas com esgoto sanitários ou efluentes tratados, é escassa. Nesse sentido, da mesma forma que para saúde humana, a abordagem envolvendo o conceito de 'risco nulo' também não é a mais adequada à saúde animal, uma vez que, no ambiente de produção, os animais podem entrar em contato com diferentes patógenos, ou seja, existe exposição. Entretanto, é importante ponderar que o reúso para fins agropecuários pode levar à 'introdução' de patógenos não existentes no rebanho, se o cuidado sanitário necessário ao manejo dessa prática não for adotado.

Também a abordagem envolvendo a utilização de medidas de risco seria pouco aplicável à saúde animal, uma vez que seriam necessários dados sobre casos de doença/infecção em rebanhos ou, ainda, estudos epidemiológicos analíticos, em que a medida de risco pudesse ser determinada. Assim, de forma semelhante ao ponderado para a saúde humana, o paradigma da AQRM configura-

se como uma ferramenta aplicável aos estudos do risco de transmissão de patógenos a rebanhos animais, em cenários de reúso agropecuário, como também sugerido, ainda que de forma incipiente, por Othmani (2008).

## ASPECTOS PRODUTIVOS DE FORRAGEIRAS IRRIGADAS COM ESGOTOS SANITÁRIOS

Não há dúvida que as águas residuárias apresentam grande potencial de uso, como água de irrigação para diferentes culturas. Os esgotos sanitários são ricos em nutrientes, como o nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, essenciais para o adequado desenvolvimento das plantas, atestando sua qualidade como fertilizantes. Além disso, e de igual importância, a matéria orgânica presente em sua composição atua como condicionante do solo e fonte de reposição de húmus, condições essas não garantidas com o uso de fertilizantes químicos (Bevilacqua *et al.*, 2006).

A elevada demanda de macronutrientes (N, Ca, P, K, Mg, S, Na e Cl) de várias forrageiras e gramíneas faz dessas culturas uma das melhores opções para o tratamento de águas residuárias por disposição no solo, resultando em remoção considerável, particularmente, de nitrogênio e fósforo. Por outro lado, quando o objetivo também é a utilização da biomassa produzida para alimentação animal, além dos aspectos ambientais e sanitários, a adequada produtividade e a qualidade nutricional da forrageira devem ser consideradas, uma vez que o componente nutricional, na produção animal, é um dos mais complexos e significativos (Bevilacqua *et al.*, 2006).

Estudos demonstram a viabilidade de produção de forrageira irrigada com esgotos sanitários. No Rio Grande do Norte, a irrigação de capim elefante (*Pennisetum purpureum*) cv Roxo Botucatu com efluente de filtro anaeróbio alcançou produtividade de 75 e 93 t MV/ha, quando o capim foi semeado em solo com 30 cm e 60 cm de espessura, respectivamente. A irrigação de milho forrageiro e sorgo (IPA-467-4-2) também foi avaliada com o mesmo tipo de efluente; a produtividade verificada foi  $\approx 20$  kg MV/m e  $\approx 7$  kg MV/kg de semente, para o milho hidropônico, e 73 t MV/ha, para o sorgo em solo de 30 cm de espessura (Bevilacqua *et al.*, 2003; Melo *et al.*, 2003).

Outros autores também registram o potencial de utilização de esgotos sanitários para a produção de forrageira, como Santos (1997), que em estudos de irrigação de capim-elefante com efluentes de lagoas de estabilização, na Paraíba, obteve produtividade da ordem de 28 t MS/ha.

Os valores verificados são próximos das referências nacionais, que atestam o potencial de produção de culturas forrageiras no Brasil, como por exemplo: milho (9-15 t MS/ha; 8-11 kg MV/kg de semente e 20 kg MV/m<sup>2</sup>); sorgo

<sup>8</sup> Dados ainda não publicados.

(8-27 t MS/ha) e capim elefante (10-80 t MS/ha), dependendo das condições de manejo, como época do ano e número de cortes (Oliveira *et al.*, 1998; Faria, 1986; EMATER, 2001).

Segundo Bevilacqua *et al.* (2006), em Viçosa-MG, a produção de milho forrageiro com efluente de sistema reator anaeróbio-biofiltro aeróbio alcançou valores médios de massa verde = 111,64 t/ha de matéria seca = 11,75% (período 1: semente de milho híbrido) e massa verde = 101,36 t/ha e matéria seca = 12,11% (período 2: semente de milho de paiol), indicando o significativo potencial produtivo em termos de matéria verde, nas condições adotadas no experimento. Ainda segundo esses autores, os valores de macro e micronutrientes, encontrados na parte aérea das amostras do milho forrageiro, foram compatíveis com aqueles recomendados na literatura, ressaltando que apenas o macronutriente potássio apresentou valores abaixo dos valores de referência. Concluem que o milho forrageiro apresentou, de forma geral, adequada composição para suprir as exigências dos animais alimentados (caprinos), na situação de manutenção.

Em outro experimento, no qual braquiária para alimentação de caprinos foi produzida em sistemas *wetlands* contruídos, Bevilacqua *et al.* (2008)<sup>9</sup> reportam produtividade média de matéria verde de 5,53 t/ha e 5,77 t/ha e matéria seca de 20,64% e 18,74%, em duas unidades *wetlands* diferentes. Com relação à composição bromatológica da braquiária, os autores indicam que foram encontrados valores semelhantes aos dados citados na literatura. Tais resultados também apontam a possibilidade de produção de braquiária, destinada à alimentação animal, utilizando água residuária.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de esgoto sanitário ou de efluentes de tratamento de águas residuárias como água de irrigação é prática já conhecida e utilizada por diferentes comunidades e países. Dados seus atrativos sociais, econômicos e ambientais, recebe atenção continuada e crescente, em vista, particularmente das preocupações mais recentes com a escassez de água. Entretanto, a prática do reúso para fins agropecuários, apesar das inegáveis vantagens, se não for adequadamente planejada e operada, pode colocar em risco a saúde das populações humanas e animais, eventualmente envolvidas. Considerando a possibilidade de transmissão de organismos patogênicos, ainda são necessários estudos que confirmem a segurança do uso dessa prática em determinadas situações. Também são necessários investimentos na elaboração ou aprimoramento de marcos regulatórios, que disciplinem o reúso para

fins agropecuários, tendo em vista a segurança da população animal, dos trabalhadores e dos consumidores finais dos produtos de origem animal. A esse respeito o método de Avaliação de Risco Microbiológico pode se constituir em importante ferramenta para compreensão dos perigos inerentes à prática do reúso agropecuário, além de poder subsidiar a definição de padrões de qualidade de águas para fins de reúso.

## REFERÊNCIAS

- Bastos RKX, Andrade Neto CO, Coraucci Filho B & Marques MO (2003a) Introdução In: Bastos RKX (Org.). Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura. São Carlos, RiMa Artes e Texto. p. 1-22. (Projeto PROSAB).
- Bastos RKX, Bevilacqua PD, Andrade Neto CO & von Sperling M (2003b) Utilização de esgotos tratados em irrigação: aspectos sanitários. In: Bastos RKX (Org.). Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura. São Carlos, RiMa Artes e Texto. p. 23-60. (Projeto PROSAB).
- Bastos RKX, Kiperstok A, Chernicharo CAL, Florêncio L, Monteggia LO, von Sperling M, Aisse MM, Bevilacqua PD & Piveli RP (2008) Subsídios à regulamentação do reúso da água no Brasil: utilização de esgotos sanitários para fins agrícolas, urbanos e piscicultura. Revista DAE, 177: 50-62.
- Bevilacqua PD, Bastos RKX, Coraucci Filho B, Melo HNS, Andrade Neto CO & Stefanutti, R (2003) Alimentação animal com produtos irrigados com esgotos sanitários. In: Bastos RKX (Org.). Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura. São Carlos, RiMa Artes e Texto, 1: 225-246. (Projeto PROSAB).
- Bevilacqua PD, Bastos RKX & Lanna EAT (2006) Uso de esgotos tratados para produção animal. In: Florencio L, Bastos RKX & Aisse MM (Org.). Tratamento e utilização de esgotos sanitários. Rio de Janeiro, ABES, 1: 275-330. (Projeto PROSAB)
- Blumenthal UJ, Mara DD, Peasey A, Ruiz-Palacios G & Stott R (2000a) Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines. Bulletin of the World Health Organization, 78: 1104-1116.
- Blumenthal UJ, Peasey A, Ruiz-Palacios G & Mara DD (2000b) Guidelines for wastewater reuse in agriculture and aquaculture: recommended revisions based on new research evidence. WELL Study, Task n. 68, Part I. London, WELL. 67p.
- Carr R & von Sperling M (2005) An overview of the WHO 2005 guidelines for the safe use of wastewater in agriculture. In: 1º Workshop Uso e Reúso de Águas de Qualidade Inferior: Realidades e Perspectivas, Campina Grande. Anais, Universidade Federal de Campina Grande. CD-ROM.
- Chernicharo CAL, Florencio L, Bastos RKX, Piveli RP, von Sperling M & Monteggia LO (2006) Tratamento de esgotos e produção de efluentes adequados a diversas modalidades de reúso da água In: Florencio L, Bastos RKX & Aisse MM. (Org.). Tratamento e utilização de esgotos sanitários. Rio de Janeiro, ABES. p. 63-110. (Projeto PROSAB).
- Coraucci Filho B, Andrade Neto CO, Kato MT, Cartaxo MFS, Figueiredo RF, Stefanutti R & Silva VP (2003) Disposição no solo. In: Gonçalves RF (Coord.) Desinfecção de efluentes sanitários. Rio de Janeiro: ABES, RiMa. p. 337-388. (Projeto PROSAB).
- Crockett CS & Haas CN (1997) Understanding protozoa in your watershed. Journal of American Water Works Association, 89: 62-73.

<sup>9</sup> Dados ainda não publicados.

- Dulac N (2001) Recycling urban organic wastes in agriculture. In: Bruinsma W & Hertog W (Eds.) Annotated bibliography on urban agriculture. The Netherlands: ETC Urban Agriculture Programme. p. 512-553.
- Empresa de Assistência Técnica de Extensão Rural – EMATER (2001) Forragem hidropônica de milho: uma alternativa bem-sucedida. Informe do Instituto de Assistência Técnica e Extensão Rural do Rio Grande do Norte. 24p.
- Faria VP (1986) Técnica de produção de silagem. In: Congresso Brasileiro de Pastagens, Piracicaba. Anais, Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz (FEALQ). p. 119-144
- Faruqui NI (2006) Wastewater treatment and reuse for food and water security. In: van Veenhuizen, R. (Ed.) Cities farming for the future: urban agriculture for green and productive cities. Ottawa, ON: RUAF Foundation, IDRC, IIRR. p. 264-266.
- Food and Agriculture Organization – FAO (1997) Food and Nutrition Division. Animal Feeding and Food Safety. Report of an FAO Expert Consultation. Rome, Italy. 39p.
- Jones PW (1986) Sewage sludge of a vector of salmonellosis. In: Block JC, Havelaar AH & L’Hermite P (Eds.) Epidemiological studies of risks associated with the agriculture use of sewage sludges; knowledge and needs. London, Elsevier Applied Science Publishers. p. 21-33.
- Mara DD & Cairncross S (1989) Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture. Geneva, World Health Organization. 187p.
- Melo HNS, Andrade Neto CO, Mendonça FC, Marques MO & Pivelli, R.P (2003) Uso de esgoto tratado em hidroponia In: Bastos RXX. (Coord.) Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura. Rio de Janeiro, ABES, RiMa. Artes e textos. p. 157-192 (Projeto PROSAB).
- Nansen P & Henriksen SVAA (1986) The epidemiology of bovine cisticercosis (*C. bovis*) in relation to sewage and sludge application in farmland. In: Block JC, Havelaar AH & L’Hermite P (Eds.) Epidemiological Studies of risks associated with the agriculture use of sewage sludges; knowledge and needs. London, Elsevier Applied Science Publishers. p. 76-82.
- Oliveira ACL, Pereira Neto A & Souza ACR (1998) Alternativas para o desenvolvimento sustentável do agente produtivo. Forragem Hidropônica de Milho. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil S/A. 15p.
- Othmani FG (2008) Development of guidelines for wastewater use for irrigation of fodder crops and pasture: protection of animal health. Dissertation. School of Civil Engineering. University of Leeds, Leeds-UK, 68 p.
- Pike EP (1986) Recent UK research on incidence, transmission and control of salmonella and parasitic ova in sludge. In: Block JC, Havelaar AH & L’Hermite P (Eds.) Epidemiological Studies of risks associated with the agriculture use of sewage sludges; knowledge and needs. London, Elsevier Applied Science Publishers. p. 50-59.
- Santos AV (1997) Rendimento do capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) irrigado com água residuária tratada. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 112 p.
- Scott CA, Faruqui NI & Raschid-Sally L (2004) Wastewater use in irrigated agriculture: management challenges in developing countries. In: Scott CA, Faruqui NI & Raschid-Sally L (Eds.) Wastewater use in irrigated agriculture: coordinating the livelihood and environmental realities. Oxfordshire: CAB International, International Water Management Institute, International Development Research Centre. p. 1-10.
- Strauss M (2001) Reuse of wastewater in urban agriculture. In: Bruinsma W & Hertog W (Eds.) Annotated bibliography on urban agriculture. The Netherlands: ETC Urban Agriculture Programme. p. 479-510.
- United States Environmental Protection Agency - USEPA (2000) Constructed wetlands treatment of municipal wastewater. Cincinnati, Ohio-USA: USEPA, Office of Research and Development, 166p (EPA/625/R-99/010). Disponível em: <http://www.epa.gov/owow/wetlands/watersheds/cwetlands.html>. Acessado em: 20 janeiro 2009.
- United States Environmental Protection Agency – USEPA (2004) Guidelines for water reuse. 2nd ed. Washington DC: USEPA, 2004. (Report No. EPA/625/R-04/108). Disponível em: <http://www.epa.gov/ord/NRMRL/pubs/625r04108/625r04108.pdf>. Acessado em: 23 janeiro 2009.
- World Health Organization - WHO (2006a) Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume 2: Wastewater use in agriculture. Geneva: WHO. 213p. Disponível em: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/wastewater/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/en/). Acessado em: 12 fevereiro 2009.
- World Health Organization – WHO (2006b) Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume 3: Wastewater and excreta use in aquaculture. Geneva: WHO. 149p. Disponível em: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/wastewater/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/en/). Acessado em: 12 fevereiro 2009.