

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

JULIANA MISTRONI RAMOS

**REVISÃO DE LITERATURA:
O USO DA ÁGUA RESIDUÁRIA NA ADUBAÇÃO: VANTAGENS E
LIMITAÇÕES**

Trabalho apresentado à Disciplina de Fertilidade do Solo, na Universidade Estadual Paulista, como parte integrante dos requisitos.

Docentes: Prof. Dr. Leonardo Theodoro Bull
Prof. Dr. Dirceu Maximino Fernandes

Botucatu – SP
Julho / 2006

O USO DA ÁGUA RESIDUÁRIA NA ADUBAÇÃO: VANTAGENS E LIMITAÇÕES

RESUMO

O crescimento demográfico demanda uma maior exploração e utilização da água, e gera todo o tipo de águas residuárias, as quais são lançadas diretamente nos recursos hídricos, levando a um processo de deterioração deste recurso natural. Em função da escassez de água, associada aos problemas de qualidade da água, torna-se uma alternativa potencial de racionalização desse bem natural a reutilização da água para vários usos, inclusive a irrigação agrícola, que representa aproximadamente 70% do consumo hídrico no mundo. A prática de reuso de água no meio agrícola, além de garantir a recarga do lençol freático, serve para fertirrigação de diversas culturas. Porém, devendo-se atentar para suas limitações sanitárias e ambientais de aplicação. Assim, a técnica de reuso tende a ser um eficiente instrumento para a gestão dos recursos hídricos no Brasil.

Palavras-chave: reuso de água, irrigação, tratamento, esgoto, adubação.

ABSTRACT

The demographic growth demand a bigger exploration and use of the water, and all generates the type of residuary waters, which are launched directly in the resources of water, leading to a process of deterioration of this natural resources. In function of the water scarcity, associate to the problems of quality of the water, becomes a potential alternative of rationalization of this natural good the reuse of the water for some uses, also the agricultural irrigation, that approximately represents 70% of the consumption of water in the world. The practical one of reuse of water in the half agriculturist, beyond guaranteeing the recharge of the underground waters, serves for sewer and fertilization of diverse cultures. However, having itself to attempt against for its sanitary and ambient limitations of application. Thus, the technique of I reuse tends to be an efficient instrument for the management of the resources of water in Brazil.

Keywords: reuse of water, irrigation, treatment, sewer, fertilization.

I – INTRODUÇÃO:

A água é um recurso natural de valor econômico, estratégico e social, essencial à existência e bem estar do homem e à manutenção dos ecossistemas do planeta, é um bem comum a toda a humanidade.

Estima-se em cerca de 1,35 milhões de quilômetros cúbicos o volume total de água na Terra. Sendo esta distribuída da seguinte forma: Oceanos - 97,50%, Geleiras - 1,979%, Águas Subterrâneas - 0,514%, Rios e Lagos - 0,006% e Atmosfera - 0,001%. Dessa forma somente 0,007% do volume total de água do planeta está disponível para uso imediato da população, indústria e agricultura. No entanto, durante milênios a água foi considerada um recurso infinito. A generosidade da natureza fazia crer em inesgotáveis mananciais, abundantes e renováveis. Hoje, o mau uso, aliado à crescente demanda pelo recurso, vem preocupando especialistas e autoridades no assunto, pelo evidente decréscimo da disponibilidade de água limpa em todo o planeta.

O crescimento demográfico demanda uma maior exploração e utilização da água, e gera todo o tipo de águas residuárias, as quais são lançadas diretamente nos recursos hídricos, levando a um processo de deterioração deste recurso natural.

A diminuição da disponibilidade dos recursos hídricos e a deterioração da qualidade das águas superficiais e subterrâneas apontam para a necessidade de um aproveitamento racional desse precioso recurso, com o mínimo de dano ao meio ambiente.

Um primeiro passo seria diminuir a poluição, na tentativa de restabelecer a qualidade da água e, com isto, tornar o recurso reutilizável. Outro passo poderia ser dado no sentido de aumentar a eficiência nas operações de irrigação. O uso racional da água na irrigação é o que buscam muitas pesquisas na área agrícola que estão sendo realizadas atualmente em todo o Brasil, buscando a otimização do uso da água em sistemas agrícolas, com base na racionalização da irrigação, no reuso de água e redução do impacto ambiental.

Em função da escassez de água que atinge várias regiões do Brasil, associada aos problemas de qualidade da água, torna-se uma alternativa potencial de racionalização desse bem natural a reutilização da água para vários usos, inclusive a

irrigação agrícola, que representa aproximadamente 70% do consumo hídrico no mundo.

São vários os benefícios da água de reuso proveniente de tratamento de esgotos na agricultura, podendo-se mencionar a possibilidade de substituição parcial de fertilizantes químicos, com a diminuição do impacto ambiental, em função da redução da contaminação dos cursos d'água; um significativo aumento na produção, tanto qualitativo quanto quantitativo; além da economia da quantidade de água direcionada para a irrigação, que pode ser utilizada para fins mais nobres, como o abastecimento público.

Segundo BREGA FILHO & MANCUSO (2002), a prática de reuso de água no meio agrícola, além de garantir a recarga do lençol freático, serve para fertirrigação de diversas culturas, bem como para fins de dessedentação de animais. A utilização de água proveniente de reuso é diferenciada para irrigação de plantas não comestíveis (silvicultura, pastagens, fibras e sementes) e comestíveis (nas formas cruas e cozidas), necessitando essas de um nível maior de qualidade. Porém, conforme BEEKMAN (1996), grandes volumes de águas servidas podem ser utilizadas em categorias de reuso, como agricultura irrigada e recarga de aquíferos, devendo-se atentar para suas limitações sanitárias e ambientais de aplicação.

Assim, a técnica de reuso tende a ser um eficiente instrumento para a gestão dos recursos hídricos no Brasil.

II - CONTEÚDO

1. Histórico da Irrigação com Efluente

A reutilização ou reuso de água ou, ainda em outra forma de expressão, o uso de águas residuárias, não é um conceito novo e tem sido praticado em todo o mundo há muitos anos. Existem relatos de sua prática na Grécia Antiga, com a disposição de esgotos e sua utilização na irrigação.

O reuso da água na agricultura já acontece em vários países. Segundo Paterniani, o uso de esgoto na irrigação na região do Vale de Mesquital, no México, fez com que a renda agrícola nessa região aumentasse de praticamente zero no início do século passado até cerca de 4 milhões de dólares por hectare em 1990. Estudos feitos na Índia demonstraram um aumento na produção agrícola utilizando água residuária na irrigação, devido aos nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, que essas águas possuem. O professor da Unicamp também conta que existem diversas práticas de aquíicultura fertilizada com esgoto para produção de peixes, em operação em Bangladesh, Índia, Indonésia e Peru.

O uso de esgotos sanitários em irrigação, tratados ou não, é uma prática antiga em países como Austrália, Israel, Estados Unidos, México e Peru. No Brasil o reuso de águas servidas é pequeno, mas registram-se vários exemplos de utilização de esgotos sanitários em irrigação, em geral, de forma espontânea e não controlada (MARQUES et al, 2003, extraído de HUSSAR et al, 2005).

De acordo com Folegatti, no Brasil, a agroindústria canavieira já reutiliza água residuária nos canaviais, e as universidades e centros de pesquisas já desenvolvem trabalhos com água reutilizada para avaliar seu potencial na agricultura irrigada. Entretanto, atualmente, o nosso país apenas engatinha no reuso agrícola se comparado com os países citados acima.

Werneck et al. (1999) relatam que a agricultura irrigada é a atividade humana que demanda maior quantidade total de água. Em termos mundiais, estima-se que esse uso responda por cerca de 80% das derivações de água; no Brasil, este valor supera os 60%. Muito embora a irrigação venha sendo praticada há vários milênios, a qualidade da água só começou a ter importância a partir do início do século XX (extraído de SANTOS et al, 2003).

Os sistemas de tratamento de esgotos geram resíduos como o lodo de esgoto e o efluente de esgoto tratado. O efluente é, geralmente, lançado em cursos d'água causando poluição ambiental. O uso do efluente em diversas atividades humanas tem sido uma alternativa sustentável frente ao quadro de escassez, pois contribui para a preservação da água doce disponibilizando-a para consumos que exigem potabilidade, como o uso doméstico. Sendo a agricultura a atividade que mais consome água doce, o

aproveitamento agrícola de efluentes de esgoto tratado, gerado em lagoas de estabilização, é prática comum em muitos países (SANTOS, 2004).

A utilização controlada de esgotos sanitários apresenta diversas vantagens, dentre as quais: constitui uma prática de reciclagem de água; prática de reciclagem de nutrientes proporcionando uma economia de insumos (fertilizantes); minimiza o lançamento de esgotos em cursos de águas naturais, prevenindo assim a poluição, a contaminação e a eutrofização; favorece a conservação do solo e a recuperação de áreas degradadas (BASTOS et al., 2003, extraído de HUSSAR et al, 2005).

Existem poucas opções sustentáveis para o tratamento e disposição de águas residuárias. Há vários benefícios com a sua disposição em rios que incluem a manutenção de um fluxo ambiental adequado com o aumento do volume de água para consumo a jusante dos rios. Entretanto, a disposição em rios pode acelerar os processos de eutrofização em águas naturais, deste modo, a alternativa de disposição de efluentes no solo tem ganhado popularidade (Bond, 1998; Halliwell et al. 2001, extraído de SANTOS, 2004).

Entretanto, apesar dos benefícios concretos descritos na utilização do efluente na agricultura, a presença de alguns constituintes, como o sódio (Na) e metais pesados, é indesejável. Os metais pesados são motivos de preocupação principalmente na utilização de efluentes industriais ou com o uso de efluentes domésticos por longo período de tempo. O teor de sódio em solos agrícolas pode aumentar com a adição de efluente alterando certas características físicas do solo, devido à dispersão de argilas e características químicas, influenciando direta ou indiretamente o desenvolvimento das plantas (FEIGIN et al, 1991, extraído de SANTOS, 2004).

A principal vantagem da utilização de águas residuárias na irrigação reside na recuperação de um recurso da maior importância na agricultura – a água; além disso, os constituintes das águas residuárias, ou pelo menos sua maioria, são produtos que podem aumentar a fertilidade dos solos por conter nutrientes essenciais à vida das plantas. Por outro lado, melhoram também a aptidão agrícola dos solos, devido à matéria orgânica que se lhes adiciona com a conseqüente formação de húmus. A reutilização de águas residuárias oferece, ainda, vantagens do ponto de vista da proteção do ambiente, na medida em que proporciona a redução ou mesmo a eliminação da poluição dos meios hídricos habitualmente receptores dos efluentes. Paralelamente, dá-se a recarga dos

aquíferos, beneficiada com a melhoria de qualidade da água derivada da depuração proporcionada aos efluentes através da percolação no solo (Miranda, 1995).

As águas residuárias de um modo geral, principalmente as de origem urbana e das atividades pecuárias, apresentam níveis consideráveis de nitrogênio (OLIVEIRA, 1993). O nitrogênio juntamente com o fósforo são nutrientes importantes nos processos fotossintéticos, sendo responsáveis, muitas vezes, pela proliferação de algas nos ambientes aquáticos. No meio aquático, o nitrogênio pode ser encontrado nas seguintes formas: nitrogênio molecular (N_2), escapando para a atmosfera, nitrogênio orgânico (dissolvido em suspensão), amônia (livre – NH_3 e ionizada – NH_4^+), nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-) (MALAVOLTA, 1976; VON SPERLING, 1998).

O nitrogênio é um componente de grande importância em termos de geração e do próprio controle da poluição das águas, devido principalmente aos seguintes aspectos: o nitrogênio é um elemento indispensável para o crescimento de algas, podendo por isso, em certas condições, conduzir a fenômenos de eutrofização de lagos e represas; o nitrogênio, nos processos de conversão da amônia em nitrito e este a nitrato, implicam no consumo de oxigênio dissolvido no corpo d'água receptor; o nitrogênio na forma de amônia livre é diretamente tóxico aos peixes; o nitrogênio na forma de nitrito está associado a doenças como a metahemoglobinemia (VON SPERLING, 1998).

O fósforo na água apresenta-se principalmente nas seguintes formas: ortofosfatos, polifosfatos e fósforo orgânico.

Uma forma de minimizar o impacto causado pelo fósforo e pelo nitrogênio dos efluentes é o seu uso na irrigação de culturas e de áreas de pastagens.

Segundo Mendonça et al. (2003), os métodos utilizados para irrigação com esgotos sanitários podem ser: Inundação, sulcos, aspersões, localizada e superficial. Estes métodos são acompanhados de cuidados em relação à aplicação. Nos sistemas por inundação, sulcos e aspersão, deve-se atentar para a seleção da cultura e proteção dos agricultores envolvidos na aplicação. Na aspersão é necessário ter cuidado com as comunidades circunvizinhas (riscos de aerossóis). Na irrigação localizada e superficial ressalta-se a necessidade de uso de proteção individual para os operadores e pré-tratamento para evitar a obstrução dos emissores.

Segundo Bastos et al. (2003), as águas residuárias podem conter os mais variados microrganismos patogênicos tais como vírus, bactérias, protozoários e helmintos. Desta forma, sua utilização envolve riscos à saúde. A transmissão de doenças pode ocorrer pelo contato direto com a água residuária ou em decorrência do consumo de alimentos contaminados.

Estes organismos patogênicos apresentam períodos de sobrevivência no solo e nas culturas bastante variados. No caso de helmintos, podem sobreviver por muitos meses no solo e entre 30 e 60 dias nas culturas (LEON S; CAVALLINI, 1999).

2. Aspectos Qualitativos e Quantitativos da Água

Segundo Mancuso et al. (1992, extraído de MATTOS, 2003) a demanda mundial por água em 1950 era de $1360 \text{ km}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$, saltando, de forma assustadora para $4130 \text{ km}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ nos anos 90. O maior responsável por esse consumo é a agricultura, com 69% do total, seguida pela indústria com 23% e pelos domésticos com 8%.

A preocupação com relação ao futuro da qualidade e quantidade desse recurso vem se tornando um assunto cada vez mais discutido e destacado junto às autoridades responsáveis, seja em nível mundial, federal, ou mesmo regional, com a definição de normas que buscam a preservação dos recursos disponíveis, tanto pela classe científica que procura soluções técnicas, como por outros setores da sociedade empenhados nos mesmos objetivos.

O gerenciamento de recursos hídricos teve grande impulso no Estado de São Paulo a partir de 1983, quando surgiram as idéias e proposições de criação de Diretorias de Bacias Hidrográficas, efetivadas em 1985, seguindo-se a implantação do Conselho Estadual de Recursos Hídricos em 1987 e conseqüentemente em 1991 com a aprovação do Primeiro Plano Estadual de Recursos Hídricos. Como conseqüência houve a implantação dos Comitês de Bacias Hidrográficas, que contam com representações dos diferentes setores da comunidade.

Estes foram passos importantes objetivando a exploração racional dos recursos hídricos. Além disso, a classe científica que atua nessa linha de estudo, tem participado

efetivamente na busca de soluções e alternativas possíveis na preservação dos recursos hídricos.

A agricultura irrigada depende tanto da quantidade quanto da qualidade da água. O aspecto qualidade tem sido negligenciado devido à presença de fontes de águas abundantes, de boa qualidade e de fácil utilização. O uso intensivo de praticamente todas as águas de boa qualidade implica que, para suprir-se a necessidade da utilização de água, tem-se que recorrer as águas de qualidade inferior.

3. Disposição de Efluentes de Esgoto Tratado no Agrossistema

O solo e plantas atuam como “filtro vivo” absorvendo e retendo poluentes e organismos patogênicos presentes em resíduos e águas residuárias. Esta disposição completa a seqüência de tratamentos de águas residuárias para a redução dos níveis de microorganismos e de vários componentes orgânicos e inorgânicos para níveis aceitáveis (Feigin et al, 1991, extraído de SANTOS, 2004).

A presença de nutrientes às plantas em efluentes de esgoto tratado é um aspecto favorável em se tratando da irrigação de culturas agrícolas e florestais, e indesejável para o lançamento desses resíduos em corpos d’água. Na Tabela 1 é apresentada a constituição dos efluentes de esgoto doméstico secundários.

Tabela 1. Características dos efluentes domésticos secundários.

| Constituintes | Concentração mg L⁻¹ |
|----------------------------|---------------------------------------|
| Sólidos Totais | 400 - 1200 |
| Sólidos Totais Suspensos | 10 - 100 |
| Sólidos Totais Dissolvidos | 400 - 100 |
| DBO | out/80 |
| COD | 30 - 160 |
| Nitrogênio Total | out/50 |
| Nitrogênio - nitrato | 0 - 10 |
| Nitrogênio - amônio | jan/40 |
| Fósforo Total | jun/17 |
| Cloretos | 40 - 200 |
| Carbonato de Cálcio | 200 - 700 |
| Sódio | 50 - 250 |
| Potássio | out/40 |
| Cálcio | 20 - 120 |
| Magnésio | out/50 |
| Boro | 0 - 1 |
| pH | 7,8 - 8,1 |
| RAS | 4,5 - 7,9 |

Fonte: Citado por Feigin et al (1991), extraído de Santos, 2004.

Todas as unidades mg L⁻¹, exceto para os valores de RAS (mmol L⁻¹)^{1/2} e pH.

O uso de águas residuárias na agricultura pode afetar a produtividade de culturas reduzindo a necessidade do uso de fertilização mineral, permitindo um considerável suprimento de nitrogênio, tanto na forma orgânica como mineral (MELI et al, 2002).

4. Resultados Encontrados em Pesquisas com Efluente

Maiores aumentos das concentrações de NO_3^- , Ca^{2+} e P disponível foram observados por Johns & McConchie (1994) em camadas superficiais de solos irrigados com efluente de esgoto do que em solos irrigados com água. Porém, aumentos da concentração de Na^+ foram observados tanto em camadas superficiais quanto profundas em tratamentos de irrigação com efluente ou água. A umidade do solo bem como os valores de pH tem sido aumentados em solos irrigados com efluente de esgoto tratado que apresenta maior relação carbono/ nitrogênio (MAGESAN et al, 2000). Falkiner & Smith (1997) observaram aumento do pH do solo em cerca de 0,7 unidades para tratamento com efluente e 0,3 unidades para tratamento com água em sistema de cultivo florestal após quatro anos de irrigação.

As plantas de bananeiras irrigadas com efluentes contêm teores mais elevados de certos elementos em comparação a planta irrigada com água: 225% a mais de sódio, 81% a mais de boro, 43% a mais de cobre, 26% a mais de cloro, e cerca de 16% a mais de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio (JOHNS & McCONCHIE, 1994).

Após 15 anos de irrigação com efluente de esgoto, Meli et al. (2002) constataram no solo aumento na quantidade de nutrientes disponíveis juntamente à eficiência metabólica da microflora do solo. Por outro lado Ortega-Larrocea et al. (2001, extraído de Santos, 2004) constataram efeito negativo sobre a população de fungos micorrízicos arbusculares no solo (decréscimo da abundância de esporos livres) após 90 anos de irrigação com efluente de esgoto, associando ao acúmulo de fósforo e de metais pesados.

Segundo Kouraa et al (2002), ao contrário do que se tem observado em solos após vários anos sob irrigação com efluente de esgoto tratado, a irrigação num curto período de tempo (meses), não tem alterado características físicas e químicas do solo. Do mesmo modo que para as alterações químicas e físicas, a contaminação bacteriológica do solo não tem sido significativa após curto período de irrigação. Além da prática de irrigação de culturas agrícolas, o efluente de esgoto tem sido empregado com sucesso como solução nutritiva em cultivos hidropônicos.

Hussar et al (2005), avaliando a eficiência do reuso da água residuária do reator anaeróbio compartimentado na irrigação da beterraba concluiu que os resultados mostram que o uso de água residuária sem qualquer tipo de adubação, foi estatisticamente igual ao resultado obtido quando foi utilizada a adubação convencional, evidenciando assim a importância do referido efluente para a agricultura. A água residuária em questão, foi utilizada em caráter experimental, uma vez que apresenta restrições quanto ao seu uso, pois não sofreu qualquer tipo de desinfecção para o decaimento de microrganismos patogênicos, conforme recomendação da Organização Mundial da Saúde (1989).

5. Água Residuária de Suinocultura

Konzen et al. (1997) verificaram que 55 a 60 t de águas residuárias de suinocultura equivalem, com base na quantidade de nutrientes, a uma tonelada de adubo químico (fórmula 9-33-12 + uréia); sendo assim, seriam necessárias 17 a 18 t ha⁻¹ de adubo orgânico, para uma fertilização equivalente à adubação química normalmente recomendada para o milho.

Os valores de pH permaneceram praticamente inalterados com a adição de águas residuárias de suinocultura. Os níveis de P, K, Na, Ca, Mg, Cu e Zn no solo aumentaram com a aplicação de águas residuárias de suinocultura, por se tratar de fonte rica nesses nutrientes. No entanto, deve-se atentar para o risco de salinização e de alteração na capacidade de infiltração da água no solo, relacionada ao aumento da razão de adsorção de sódio. A acidez trocável do solo (Al³⁺) decresceu com a aplicação de águas residuárias devido, provavelmente, ao maior valor de pH dessas águas. O nível de Fe praticamente não foi alterado. Embora as águas residuárias aplicadas fossem ricas em fósforo, ocorreu pequena concentração desse nutriente no lixiviado dos lisímetros, em decorrência de sua baixa mobilidade no solo (FREITAS, et al, 2004).

A água residuária de suinocultura é, sabidamente, fonte rica em diversos nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas e, mesmo aplicada em grandes quantidades na cultura do milho, não resultou em fitotoxicidade capaz de afetar negativamente os componentes de produção, considerando-se apenas um plantio. No

entanto, há de se considerar o elevado potencial de contaminação de águas subterrâneas quando aplicada em doses elevadas (FREITAS, et al, 2004).

6. Desafios para o Uso Agrícola de Efluente de Esgoto Tratado

No contexto da irrigação de culturas agrícolas com efluente de esgoto, é importante considerar que estas águas residuárias apresentam mais impurezas que águas de fontes naturais, podendo ser potencialmente prejudiciais dependendo das características que apresentam e das práticas de manejo adotadas para o seu uso (Vazquez-Montiel et al., 1996, extraído de Santos, 2004). Sérios problemas ambientais como a lixiviação de nitrato, aumento de elementos tóxicos em solos e plantas, riscos à saúde humana devido a microorganismos patogênicos, podem ocorrer (Vazquez-Montiel et al., 1996, Hespanhol, 2002, extraído de Santos, 2004).

Entretanto, diretrizes podem ser adotadas isoladamente ou de forma combinada no uso de águas residuárias na agricultura: tratamento de águas residuárias, restrições a culturas, controle da aplicação de água residuária, controle da exposição humana e promoção da higiene.

Segundo Mattos (2003), as águas superficiais utilizadas para a irrigação de hortaliças, principalmente nos cinturões verdes dos centros urbanos, estão, em geral, severamente contaminadas por patógenos e por metais pesados como o mercúrio, chumbo, etc. As hortaliças consumidas principalmente cruas, quando irrigadas por tais águas podem servir de veículo de transmissão de uma série de doenças aos consumidores, como amebíase, giardíase, cólera, febre tifóide, verminoses, além do acúmulo de elementos nocivos em órgãos como o fígado. Algumas doenças como a esquistossomose, podem ser transmitidas por águas com índices relativamente baixos de contaminação fecal. Portanto, águas contaminadas não deveriam ser utilizadas para irrigação, principalmente de produtos vegetais que são consumidos crus e sem remoção de película. Uma alternativa para reduzir os riscos de contaminação das hortaliças é a utilização de sistemas de irrigação por gotejamento, não atingindo as partes comestíveis das plantas.

A sustentabilidade da irrigação com efluente de esgoto, depende principalmente da qualidade microbiológica do efluente. Organismos patogênicos – vírus, bactérias, protozoários e ovos de helmintos – podem estar associados à transmissão de doenças para pessoas e animais expostos por efluentes por contato físico, inalação de aerossóis na pulverização do efluente, ou consumo de culturas irrigadas com os efluentes. Se a prática da irrigação com efluente não for cuidadosamente manejada, esta poderá resultar na recarga de águas subsuperficiais acompanhada por sais e nitratos, acumulação de outros elementos químicos (sódio e fósforo) no solo e associado aumento do risco de escoamento superficial desses elementos para os cursos d'água (Santos, 2004). Dependendo do efluente, pode se ter acúmulo no solo ou lixiviação para águas subterrâneas, metais pesados e outros componentes tóxicos.

O acúmulo de sódio, cloro ou boro em cultivos sensíveis a altas concentrações desses elementos causa danos às plantas e redução da produtividade (Ayers & Westcot, 1985, extraído de Santos, 2004).

O tratamento de esgotos padrão não remove o cloro do efluente devido à elevada solubilidade dos compostos de cloro. As tecnologias de dessalinização para remover cloro são muito caras. Em geral, os níveis de cloro nos efluentes municipais secundários permanecem abaixo daqueles considerados prejudiciais para a maioria das culturas agrícolas, no entanto, altas concentrações desse elemento no efluente de esgoto, como em outras fontes de água, podem atingir águas subterrâneas (Feigin et al., 1991).

7. Salinização e Sodificação de Solos

Os esgotos sanitários apresentam teores de macro e micronutrientes satisfatórios, para a demanda da maioria das culturas. Porém, a presença de sais e sólidos dissolvidos fixos deve ser vista com atenção, já que tais características podem gerar um efluente salino, impróprio para a irrigação.

A aplicação dos nutrientes contidos nos efluente 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 (CHERNICHARO, 2001).

A aplicação de águas residuárias para o uso agrícola deve seguir as diretrizes sanitária propostas em 1989 pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em conjunto com outras instituições internacionais. No mesmo documento é focado o uso de lagoas de estabilização com tempos de detenção hidráulico de oito a dez dias, como sendo o tratamento mais viável para a eliminação de patógenos (CHERNICHARO, 2001).

Ao contrário dos solos ácidos, nos quais o mecanismo de lixiviação promove a retirada de cátions básicos do perfil do solo, os solos salinos se desenvolvem em consequência do acúmulo de sais e, em particular, de sódio (Raij, 1991). O processo de salinização é comum em regiões de clima árido e semiárido onde as chuvas não são suficientes para remover os sais do solo (Marschner, 1995). A ausência de lixiviação pronunciada possibilita o acúmulo de sais no solo, o que se agrava com a irrigação, uma vez que a água utilizada sempre carrega sais para o solo (Raij, 1991).

Os sais solúveis do solo são constituídos principalmente dos cátions Ca^{+2} e Mg^{+2} e dos ânions Cl^- e SO_4^- . O cátion K e os ânions HCO_3^- , CO_3^- e NO_3^- se encontram geralmente em quantidades menores (Richards, 1954). Os solos afetados por sais podem ser classificados como salinos (apresentam altas concentrações de sais solúveis), sódicos (com altas concentrações de sódio trocável) e salino-sódicos (apresentam altas concentrações de sais e de sódio trocável) (Meurer, 2000). A salinidade e sodicidade do solo são normalmente expressas pela condutividade elétrica (CE), percentual de sódio trocável (PST) e pH, segundo classificação de solos sódicos e salinos elaborada pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos e descritos em Richards (1954):

- *Solo não sódico e não salino* – $\text{CE} < 4 \text{ dS.m}^{-1}$ / $\text{PST} < 15 \%$ / $\text{pH} < 8,5$
- *Solo salino* – $\text{CE} > 4 \text{ dS.m}^{-1}$ / $\text{PST} < 15 \%$ / $\text{pH} < 8,5$
- *Solo sódico* – $\text{CE} < 4 \text{ dS.m}^{-1}$ / $\text{PST} > 15 \%$ / $\text{pH} > 8,5$
- *Solo salino-sódico* – $\text{CE} > 4 \text{ dS.m}^{-1}$ / $\text{PST} > 15 \%$ / $\text{pH} < 8,5$

Sais dissolvidos em águas residuárias interagem com o solo por meio de troca iônica, dispersão e floculação de argilas (Bouwer & Chaney, 1974). Quando presentes no solo ou na água podem reduzir a disponibilidade de água para as culturas afetando o rendimento (Ayers & Westcot, 1985). Maiores concentrações de sais na solução de

percolação no solo podem ocorrer se a quantidade de água residuária adicionada (mais a precipitação) não for muito maior que a evapotranspiração (Bouwer & Chaney, 1974).

Efeito do íon sódio

No que se refere à nutrição de plantas, o sódio pode ser desejável para certas culturas como, por exemplo, para a beterraba açucareira. Em alguns casos, o sódio pode substituir parcialmente o potássio, sobretudo em plantas C4 (Marschner, 1995). Em certas regiões, a aplicação de sódio em adubação de forrageiras tem sido considerada útil, para aumentar o teor do elemento e por melhorar a aceitabilidade da forragem pelo animal, resultando em maior consumo (Raij, 1991).

Considerando a presença do Na^+ no solo, este apresenta comportamento similar ao do potássio e, nas soluções naturais, ocorre como cátion Na^+ trocável. Esse íon é facilmente removido do solo por lixiviação e, em geral, há menos sódio total que potássio em solos de climas úmidos (Raij, 1991). No entanto, solos sódicos ácidos, notadamente caracterizados pelo acúmulo de Na^+ , são encontrados em regiões de alta precipitação (precipitação anual de 550-750 mm) onde cátions básicos como Ca^{+2} e Mg^{+2} são lixiviados e suas concentrações são baixas. Estes solos são altamente intemperizados com CTC geralmente baixa (Rengasamy & Olsson, 1991).

Havendo o acúmulo de Na^+ , efeitos negativos para a estrutura do solo podem ocorrer, caracterizando o processo de sodificação.

Devido ao grande impacto nas propriedades do solo e rendimento das culturas, a determinação dos níveis de Na^+ na água de irrigação é essencial (Feigin et al., 1991). A irrigação com efluente comumente resulta em incremento da sodicidade devido à média-alta salinidade e altas concentrações de sódio de muitos efluentes (Balks et al., 1998). As concentrações de Na^+ no efluente de esgoto variam de 50 a 250 mg L^{-1} . Supondo a aplicação de uma lâmina de 100 mm de efluente no solo, na concentração de 250 mg L^{-1} de Na^+ , há um aporte de 250 kg ha^{-1} de Na^+ .

Os cátions Ca^{+2} e Mg^{+2} são os que predominam da solução do solo e no complexo de troca de cátions do solo. Quando nestes solos passa a haver um acúmulo de sais solúveis, geralmente é o Na^+ que predomina na solução do solo e, desta forma, o

Na^+ pode passar a ser o cátion predominante no complexo de troca devido ao deslocamento de Ca^{+2} e Mg^{+2} e conseqüente precipitação de desses cátions na solução do solo (Richards, 1954).

A grande proporção de Na^+ nos sítios de troca dos minerais de argila reduz a atração entre as partículas do solo ocasionando expansão e dispersão. As partículas dispersas movem-se pelo solo ocupando os espaços porosos (Irvine & Reid, 2001) com conseqüente deterioração da estrutura do solo e das propriedades de infiltração de água e aeração, sendo problema sério em solos alcalinos, afetando o crescimento vegetal (Raij, 1991; Rengasamy & Olsson, 1991).

O grau de expansão e dispersão de argilas do solo depende da natureza do argilomineral predominante. Maior sensibilidade para esses processos é tida para a montmorilonita, sensibilidade moderada para a ilita e menor sensibilidade para a caolinita (Feigin et al., 1991) Em solos que contém minerais de carga variável a floculação pode ser promovida pela interação de superfícies de cargas opostas (Shofield & Samson, 1954) indicando que nesses solos podem ser esperados valores mais baixos de CCF do que em solos montmoriloníticos. Shofield & Samson (1954) demonstraram que a caolinita saturada com Na^+ sofreu o processo de floculação, porém, este mineral quando misturado a pequenas quantidades de montmorilonita ou ilita foi dispersado devido a esses minerais terem sido pequenos suficientemente para neutralizarem as cargas positivas das arestas das caolinitas.

Dentre as espécies químicas encontradas na solução do solo de solos sódicos, Rengasamy & Olsson (1993) consideram que Na^+ , NaHCO_3 , NaSO_4^- , Mg^{+2} , MgSO_4 , MgHCO_3^+ , Ca^{+2} , CaSO_4 , CaHCO_3^+ são as principais espécies que podem afetar a RAS da solução do solo. Em valores de pH entre 7,5 e 8,2 o Ca^{+2} pode precipitar no solo na forma de CaCO_3 ou com o decréscimo do pH o composto precipitado pode ter sua solubilidade aumentada (Bouwer & Chaney, 1974). Em valores de pH abaixo de 8,4 há predominância do íon bicarbonato (HCO_3^-), enquanto acima desse valor predomina o íon carbonato (CO_3^{2-}). O pH do efluente de esgoto é ligeiramente alcalino, porém raramente atinge valores superiores a 8,4. A concentração de HCO_3^-

- no efluente de esgoto é muito superior que na água para abastecimento. A alcalinidade, determinada como CaCO_3 , varia de 200 a 700 mg L^{-1} (Feigin et al., 1991).

Razão de adsorção de sódio (RAS)

O grau de sodificação do solo depende da relação entre as concentrações de sódio e de íons polivalentes na solução do solo, relação que é normalmente medida pela RAS (razão de adsorção de sódio). Na prática, apenas os íons bivalentes são utilizados para calcular a RAS, porém, os íons trivalentes também devem ser considerados quando suas concentrações são significativas como ocorre em solos sódicos ácidos (Rengasamy & Olsson, 1993).

A RAS tem sido utilizada na caracterização de solos sódicos e águas para irrigação e é calculada por meio da concentração de cátions em solução. A RAS é um índice que relaciona as concentrações de Na^+ às concentrações de Ca^{+2} e Mg^{+2} na água de irrigação, em extratos de saturação e extratos aquosos de solos e é calculada a partir da seguinte equação:

As concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} nos efluentes de esgoto tratado normalmente são semelhantes àsquelas encontradas na água de irrigação, sendo que o aumento das concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} abaixa os valores de RAS melhorando a qualidade do efluente e da água de irrigação. Já os íons HCO_3^- e CO_3^{2-} podem aumentar os riscos de sodicidade da água de irrigação por causarem a precipitação de carbonato de cálcio (CaCO_3) (Feigin et al., 1991).

8. Água Residuária de Esgoto Doméstico

Estando comprovada a excelência dos esgotos e/ou efluentes tratados na irrigação e se os riscos sanitários podem ser controlados e eliminados, o não aproveitamento dos mesmos só não ocorre quando não há vontade pública; quando não são necessários por razões climáticas ou econômicas; quando não há sistema de coleta de esgotos ou quando a prática não é aceita por motivos culturais.

9. Referências Bibliográficas

BERNARDI, C.C., **Reuso de água para irrigação**. Monografia apresentada ao ISEA-FGV/ECOBUSINESS SCHOOL como requisito para obtenção de título de Pós-Graduação, em nível de Especialização *Lato Sensu*, modalidade MBA, em Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada – Brasília/DF, 63 páginas, 2003.

BISCARO, G.A., Utilização de Águas Receptoras de Efluentes Urbanos em Sistemas de Irrigação Localizada Superficial e Subsuperficial na Alfaca da Cultura Americana. – Botucatu, 2003, 102p. Tese (Doutorado em Agronomia/ Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

CHERNICHARO, C. A. DE L. **Pós-tratamento de efluentes de reatores** Belo Horizonte, MG: UFMG: Projeto PROSAB; 2001, 544 p.

FEIGIN, A., RAVINA, I., SHALHEVET, J., **Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection**. Berlim: Springer-Verlag, 1991, 224p.

FREITAS, W. da S., OLIVEIRA R. A. de, PINTO F. A., CECON P. R., GALVÃO J. C. **C. Efeito da aplicação de águas residuárias de suinocultura sobre a produção do milho para silagem**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.8, n.1, p.120-125, 2004

HUSSAR, G. J. **Avaliação do desempenho de leitos cultivados no tratamento de águas residuárias de suinocultura**, Campinas: FEAGRI, UNICAMP, 1998, Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas, 2001, 118 p.

HUSSAR, G. J.; PARADELA A. L.; BASTOS M. C.; REIS T. K. B.; JONAS T. C.; SERRA W.; GOMES J. P. **Efeito do uso do efluente de reator anaeróbio compartmentado na fertirrigação da beterraba.** Espírito Santo do Pinhal, v. 2, n. 1, p. 035-045, jan/dez 2005, 11p.

LEOS, S. G., & CAVALINI, J. M. **Tratamento e uso de águas residuárias.** Campina Grande, UFPB, 1999. 151p.

MATTOS, K. M. da C., **Viabilidade da irrigação com água contaminada por esgoto doméstico na produção hortícola.** Tese Doutorado; Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu/SP, 168 páginas, 2003.

SANTOS, A. P. R. dos, **Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado, rico em sódio, em propriedades físicas e químicas de um argissolo vermelho distrófico cultivado com capim – TIFTON 85.** Dissertação Mestrado; Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba/SP, 95 páginas, 2004.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. UFMG, 1996. 243p.