

Revista Geama Environmental Sciences

A utilização de águas de qualidade inferior na agricultura irrigada

Raquele Mendes de Lira⁽¹⁾, Alexandre Nascimento dos Santos⁽¹⁾, Jucicléia Soares da Silva⁽¹⁾, Janice Maria Coelho Barnabé⁽¹⁾, Marcone da Silva Barros⁽¹⁾, Hammady Ramalho e Soares⁽¹⁾

⁽¹⁾Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil.

*Email: raquele.lira@hotmail.com

ABSTRACT - PORTUGUESE

A água é um recurso natural essencial a vida no planeta, e devido ao aumento populacional e uso desordenado este bem está cada vez mais escasso. O Brasil é um país privilegiado em termos de recursos hídricos, porém sua distribuição é bastante irregular. No Nordeste brasileiro as condições hídricas são desfavoráveis, apresentam altas taxas de evapotranspiração durante todo ano, baixa precipitação, um subsolo em muitos lugares com água salobra ou formação de cristalino e o baixo desenvolvimento econômico-social. Com o crescimento demográfico faz-se necessário intensificar a produção de alimentos e a agricultura é o setor que mais consome água superficial no mundo, logo, é necessário a adoção de práticas alternativas de cultivo. O reuso de águas residuárias para fins agrícolas pode favorecer o desenvolvimento dessa região, trazendo um aumento de área cultivada e produtividade. Portanto, deve-se atentar para a segurança alimentar tendo a consciência da forma de tratamento do esgoto e quais culturas podem ser irrigadas com estes tipos de água.

Palavras-chave: efluente doméstico, escassez hídrica, irrigação.

ABSTRACT

Water is a natural resource essential to life on the planet, and due to population growth and uncontrolled use this well is increasingly scarce. Brazil is a privileged country in terms of water resources, but its distribution is very irregular. In Northeast Brazil the water conditions are unfavorable, have high rates of evapotranspiration throughout the year, low rainfall, a basement in many places with brackish water or formation of crystalline and low economic and social development. With the population growth it is necessary to intensify production of food and agriculture is the sector that most consumes surface water in the world, so the adoption of alternative farming practices is necessary. The reuse of wastewater for agricultural purposes may favor the

development of this region, bringing an increase in cultivated area and productivity. Therefore, attention should be paid to food security in the knowledge of the form of sewage treatment and which crops can be irrigated with these types of water.

Keywords: wastewater, water scarcity, irrigation.

INTRODUCTION

A terra é um planeta constituído pela maior parte de água, em torno de 70% de sua superfície é coberta por este líquido. Tundisi (2009) afirma que, todas as civilizações já dependem e vão depender, cada vez mais, deste bem para sua sobrevivência biológica e econômica. A falta de água é um fator limitante ao desenvolvimento econômico e social de qualquer região, e sua utilização de forma desordenada poderá gerar sérios conflitos.

É bastante sabido que a agricultura é o setor que mais demanda água superficial no mundo (cerca de 70%) (PAZ; TEODORO; MENDONÇA, 2000) e com o crescimento populacional cresce também a necessidade por água para produção de alimentos. De acordo com Augusto et al., (2012), a demanda crescente por água da agricultura é causada não somente pelo maior número de pessoas a serem alimentadas, mas também pelo desejo destas de comer alimentos mais saborosos. Os autores citam que, é necessário o dobro de água para produzir amendoim do que para a mesma quantidade de soja; quatro vezes mais para produzir carne bovina, em comparação com a mesma quantidade de frango e cinco vezes para produzir um copo de suco de laranja do que um de chá.

A grande participação do setor agrícola no consumo de água se explica principalmente pelo uso da água para irrigação. Com a intensificação da prática da irrigação como uma alternativa estratégica para aumentar a oferta de produtos

agrícolas, as áreas irrigadas estão aumentando (CARMO et al., 2007). Christofidis (2002) afirma que 42% dos alimentos consumidos pelo homem advém da irrigação. Os habitantes de regiões de climas temperados, onde chuvas moderadas caem durante todo o ano, não conseguem perceber até que ponto a água é necessária para a agricultura (AUGUSTO et al., 2012). Já em áreas de clima seco a irrigação é responsável pelo consumo de 50 a 85% dos recursos hídricos disponíveis (CAPRA E SCICOLONE, 2004).

O Nordeste Brasileiro é uma região caracterizada por altas taxas de evapotranspiração, baixo índice pluviométrico anual, e clima de semiaridez em grande parte de sua área de abrangência. Diante deste cenário de escassez hídrica superficial e da heterogênea distribuição temporal de chuvas, o desenvolvimento das atividades antrópicas torna-se bastante comprometido, tendo como consequência sérios prejuízos econômicos e sociais. Desta forma, a fixação do homem na região é dificultada em função da redução na qualidade de vida, ocasionada principalmente pela diminuição na produção agrícola e na geração de recursos financeiros.

Diante do exposto, tem-se a necessidade de utilização da água de uma maneira mais racional, podendo-se utilizar águas que são classificadas como de qualidade inferior, no qual, segundo Hespanhol (2002) são: os esgotos de origem doméstica, águas de drenagem agrícola e águas salobras.

Desta forma, a utilização de águas residuárias para irrigação é uma prática bastante estudada e recomendada. Medeiros et al., (2008) afirmam que,

as maiores vantagens do aproveitamento da água residuária são conservação da água disponível, sua grande disponibilidade, possibilidade do aporte e reciclagem de nutrientes (reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos) além de concorrer para a preservação do meio ambiente. Porém, Nuvolari (2003) alerta que, a irrigação com águas residuais pode contaminar o ar, os solos e as plantas da área vizinha aos campos irrigados. A magnitude desta contaminação depende do tratamento destas águas, das condições climáticas predominantes da cultura irrigada e do próprio sistema de irrigação. Contudo, o objetivo geral deste trabalho é o de analisar a importância de se utilizar um tipo de água de qualidade inferior (residuais de esgoto doméstico) na agricultura irrigada.

REVIEW

1. Crise mundial da escassez de água

Em várias regiões do planeta há situações de escassez, que além das condições naturais são causadas pelo mau gerenciamento dos recursos hídricos, contaminação e poluição dos rios e crescimento populacional, entre outros fatores (MARTINS, 2003). Sinais de esgotamento de água são abundantes. Lençóis freáticos estão declinando, lagos estão minguando e as terras inundáveis desaparecendo. Engenheiros se propõem “resolver” os problemas hídricos construindo esquemas cada vez mais gigantescos de desvios de rios, a preços exorbitantes e com efeitos ambientais nocivos. Nos arredores de Pequim, de Nova Deli, de Phoenix e de outras cidades carentes de água está fermentando uma competição entre os moradores urbanos e os agricultores que reivindicam o mesmo suprimento limitado. E as populações do Oriente Médio têm escutado mais de um de seus líderes bradar sobre a

possibilidade de guerra em consequência da escassez de água (POSTEL, 1993).

Cerca de 60% da água doce disponível na Terra está em apenas nove países incluindo: Brasil, Rússia, Canadá, China, Indonésia, África do Sul e Estados Unidos. Por outro lado, 80 países com 40% da população mundial enfrentam escassez de água. As regiões mais afetadas são o Norte da África e o Oriente Médio (PETRELLA, 2002).

Um fator de risco para a preservação dos recursos naturais e para o desenvolvimento sustentável é o crescimento populacional nos países pobres e o padrão de consumo dos ricos, do hemisfério norte, que chega a ser 70 vezes maior do que nos países pobres do sul (HAWKEN et al., 1999). A cada ano, mais 80 milhões de pessoas clamam por seu direito aos recursos hídricos da Terra. Infelizmente, quase todos os 3 bilhões de habitantes que devem ser adicionados à população mundial no próximo meio século nascerão em países que já sofrem de escassez de água. Já nos dias de hoje, muitas pessoas nesses países carecem do líquido para beber, satisfazer suas necessidades higiênicas e produzir alimentos (BROWN, 2001).

O desenvolvimento sustentável, por sua vez, propõe a utilização dos recursos naturais de acordo com os ciclos biológicos de reposição desses recursos. Essa prática pressupõe aumento de produtividade dos recursos naturais, isto é, produzir mais com menos insumos (HAWKEN et al., 1999). Sendo a água insumo para todos os produtos, como por exemplo, para produzir um automóvel são consumidos cerca de 200 mil litros de água e para a produção de uma tonelada de grãos no cerrado brasileiro são necessários cerca de uma tonelada de água, a produção de um quilo de papel pode chegar a exigir 700 quilos de água, e a fabricação de uma

tonelada de aço pode demandar 280 toneladas de água. Casas, apartamentos, pequenos negócios e outras empresas urbanas respondem por menos de um décimo do uso total de água em todo o mundo por isto, é urgente a necessidade do desenvolvimento de equipamentos e técnicas de uso racional da água. Mas suas demandas são concentradas em áreas geográficas relativamente pequenas e, em muitos casos, avolumam-se rapidamente. À medida que as cidades se expandem, elas sujeitam a forte tensão à capacidade das massas de água locais e forçam os técnicos a recorrer a fontes cada vez mais distantes (POSTEL, 1993).

Nos Estados Unidos a quantidade de água captada para abastecimento público, incluindo: uso doméstico (56%), comercial (17%), industrial (12%), termoeleétrica (0,3%) e perdas (15%), foi crescente de 1950 até 1990, quando começou a cair. A proporção de água captada nos mananciais superficiais é de 63% e 37% nos subterrâneos. O uso doméstico, em média, já descontado as perdas, era de 397 litros por habitante por dia, e foi de, 382 litros por habitante por dia em 1995 (SOLLEY et al., 2002).

Na Inglaterra, Alemanha e Países Nórdicos, também se observou uma queda no consumo tributado ao aumento das tarifas, provocado pela imposição de medidas ambientais rígidas de proteção dos mananciais, como por exemplo, a cobrança por volume de água captada, assim como, pela carga poluidora lançada nos rios (BARBIER, 2000).

À medida que aumenta a demanda de água pelas cidades e indústrias da região, ela é atendida pelo desvio da água de irrigação. A perda da capacidade de produção de alimentos é então compensada pela importação de grãos do exterior. É a forma mais eficiente de comprar água, uma vez que 1 tonelada de grãos representa mil toneladas do líquido. O

déficit hídrico mundial cresce a cada ano, tornando-se cada vez mais difícil de administrar. Se decidíssemos subitamente estabilizar todos os lençóis freáticos bombeando menos água, a colheita mundial de grãos cairia em cerca de 160 milhões de toneladas, ou 8%, e os preços dos grãos disparariam. Se o déficit continuar a alargar-se, o ajuste a ser feito será ainda maior. Se os governos dos países carentes de água não adotarem medidas urgentes para estabilizar a população e elevar a produtividade hídrica, esta escassez em pouco tempo se transformará em falta de alimentos (BROWN 2001).

Mesmo nos países com grande disponibilidade hídrica, em algumas regiões ocorrem situações de escassez, como no norte da China, na Califórnia e na África do Sul. No Brasil onde se encontram cerca de 12% da água doce disponível nos mananciais superficiais do mundo, as desigualdades também são muito grandes. A Região Norte com 6,8% da população possui 70% dos recursos hídricos. Já a Região Sudeste que abriga 42,7% da população dispõe de apenas 6% dos recursos hídricos. A Região Nordeste é a que possui a menor proporção dos recursos hídricos no país, 3,30% (AUGUSTO et al., 2012). Nela está localizado o semiárido, que padece de falta de água no período de estiagem, que se estende por dez a onze meses no ano. Nessa região, além da baixa precipitação, há alta evaporação e salinização da água, por causa do alto teor de sódio do solo, tornando a água imprópria para consumo humano.

2. Falta de água no semiárido brasileiro e importância da irrigação

O Brasil é o maior país da América do Sul, ocupando quase metade da superfície do continente. Limita-se ao norte com a Venezuela, Guiana, Suriname, Guiana Francesa e Oceano Atlântico; ao

sul, com o Uruguai; a oeste, com Argentina, Paraguai, Bolívia e Peru e, ao noroeste, com a Colômbia, sendo seu litoral banhado pelo Atlântico. A superfície total é de 8.544.416 km², quinto maior país do mundo, depois da Rússia, China, Canadá e Estados Unidos. Ocorrem no País os seguintes tipos de clima: equatorial, tropical, tropical de altitude, tropical atlântico, semiárido e sub-tropical. São as regiões: Norte, Sudeste, Sul e Centro-Oeste e Nordeste (TUCCI, 2001).

O Norte, a maior região do País, conta com 3,87 milhões de km² (45,3% do território nacional) e abriga uma população de quase 13 milhões de habitantes, é uma região muito rica em água, porém pouco ocupada e pouco desenvolvida industrialmente. A região Sudeste, conta com 927 mil km² (10,9% do território nacional), abrigando a maior parcela da população brasileira (68,4 milhões), é a região mais industrializada e de maior produção agrícola no País. A região Sul, com 577 mil km² (6,8% do território nacional), abrigam uma população de quase 24 milhões de habitantes (14,6% da população brasileira), é a região com melhores índices de desenvolvimento social no Brasil. O Centro-Oeste é a região de expansão da fronteira agrícola no País, com 1,61 milhão de km² (18,9% do território nacional) e quase 11 milhões de habitantes (6,7% da população brasileira). O Nordeste, com 1,56 milhão de km² (18,2% do território nacional), inclui a maior parte da região Semiárida do Brasil. A população da região ultrapassa os 46 milhões de habitantes (28,7% da população do País). As áreas úmidas se restringem à fronteira com a região Norte (Estado do Maranhão) e à faixa litorânea (TUCCI, 2001).

O Nordeste brasileiro apresenta condições hídricas desfavoráveis, que combinam a alta evapotranspiração durante todo ano, a baixa

precipitação, o subsolo desfavorável em muitas regiões (água salobra ou formação cristalina) e o baixo desenvolvimento econômico-social.

Todavia, na zona central da sua região Nordeste a pluviometria média varia entre 500 e 800 mm/ano e tem regime muito irregular. Ademais, a combinação desse quadro meteorológico com o domínio do substrato geológico formado por rochas cristalinas sub aflorantes e praticamente impermeáveis resulta em rios temporários e condições edafoclimáticas de semiaridez sobre cerca de 10% do território nacional (REBOUÇAS, 1997).

Esses valores médios anuais de chuvas podem ocorrer num só mês ou se distribuir de forma irregular, tanto no espaço como no tempo, nos 3-5 meses do período chuvoso dos anos normais. Na prática, o *flagelo da seca* neste contexto decorre da distribuição das chuvas de forma incompatível com as necessidades hídricas das culturas de subsistência da população rural, que, mesmo em anos normais, já vive em condições limite da pobreza (REBOUÇAS, 1997).

Para efeito da política desenvolvimentista da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) a região Nordeste compreende uma área de 1.663.230km², tendo em vista abranger a parte do *Polígono das Secas* que penetra no norte do estado de Minas Gerais. Esta região Nordeste apresenta sub-regiões bem definidas em seus contornos físico-climáticos, ressaltando-se o *Sertão*, cuja área abrange cerca de 55% da extensão regional (SUDENE/ ÁRIDAS, 1994).

Efetivamente, Cruz e Solomon., (2006) afirmam que problemas de abastecimento deverão atingir cerca de 41 milhões de habitantes da região do semiárido e entorno até

2025, preveem pesquisadores da Agência Nacional de Águas (ANA), que estimaram o crescimento da população e a demanda por água em cerca de 1.300 municípios dos nove Estados do Nordeste e do norte de Minas Gerais.

Ao lado da Paraíba, o estado de Pernambuco é campeoníssimo em termos de precariedade de fornecimento de água ao seu povo. De características geológicas semelhantes ao do estado da Paraíba (cerca de 80% do estado possui geologia cristalina), Pernambuco encontra-se em uma situação mais complicada, por não possuir represamentos significativos de água em seu território. O maior açude de Pernambuco está localizado no município de Ibimirim (Açude Poço da Cruz, com volume acumulável de 500 milhões de m³), vem sofrendo problemas de abandono por parte das autoridades. Atualmente, encontra-se com menos de 30% de sua capacidade, havendo a necessidade de reparos constantes em sua estrutura, principalmente em vazamentos existentes nas comportas de descarga de fundo. Essa falha resultou em liberações indesejadas de água da ordem de 20 milhões de m³, em curto espaço de tempo e, o que é pior, numa época de extrema escassez hídrica na região. Entre a segunda quinzena de dezembro de 2001 e o final de janeiro de 2002 a represa havia acumulado 160 milhões de m³, e, em junho de 2003, encontrava-se com 140 milhões de m³ (SUASSUNA,2004).

Entretanto, o primeiro passo para aproveitar os potenciais do Nordeste é compreender sua natureza, identificar com clareza os diversos elementos que interferem na região em geral no semiárido, em particular. Afirmar que chove pouco no Nordeste não é tecnicamente correto. O diagnóstico mais correto é que evapora muito, entre duas e três a altura média das chuvas anuais. Nestas condições, só o manejo

eficiente e integrado da água territorial disponível que é recolhida de formas variadas, que molha o solo, que escoa nos rios temporários, que se acumula nos açudes e nos aquíferos rasos e profundos permitirá à região vencer os desafios de produção e as vantagens comerciais sobre os mercados de outras regiões. Sem ganhar da evaporação intensa, mediante um uso muito eficiente da água disponível, não será possível tirar proveito da série de condições naturais, que, se exploradas adequadamente, poderão proporcionar resultados positivos e convivência equilibrada com o fenômeno climático das secas periódicas (REBOUÇAS, 1997).

Schaer-Barbosa et al. 2014 afirmam que, a falta de água em grande parte do ano no semiárido conduz a implantação de projetos que busque alternativas de convivência com a seca para que haja melhoria nas condições de vida da população.

Com o crescimento populacional, a humanidade se vê compelida a usar com maior intensidade o solo agricultável, o que vem impulsionando o uso da irrigação, não só para complementar as necessidades hídricas das regiões úmidas como, também, para tornar produtivas as áreas áridas e semiáridas do globo, que constituem cerca de 55% de sua área continental total. Atualmente, mais de 50% da população mundial dependem da agricultura irrigada (WERNECK et al., 1999).

Segundo Sentelhas et al., (1999), em locais de clima semiárido, a irrigação é prática indispensável para que a atividade agrícola seja viável, já que possui a maior parte do ano seco.

A irrigação visa a corrigir a distribuição natural das chuvas, constituindo uma técnica que proporciona alcançar a máxima produção, em complementação às demais práticas agrícolas. O aumento do custo da

terra, aliado ao considerável capital necessário à exploração agrícola, não permite mais que a produção final dependa da ocorrência ou não de um regime de precipitação adequado. Assim sendo, a nova tendência do meio empresarial agrícola tem sido a de aumento do interesse pela prática da irrigação, que, além de reduzir riscos, proporciona outras vantagens significativas ao produtor irrigante. A intensificação da prática da irrigação configura uma opção estratégica de grande alcance para aumentar a oferta de produtos destinados ao mercado interno, consolidar a afirmação comercial do Brasil num mercado internacional altamente competitivo e melhorar os níveis de produção, produtividade, renda e emprego no meio rural e nos setores urbano-industriais que se vinculem, direta ou indiretamente, ao complexo de atividades da agricultura irrigada (LIMA et al., 2004)

Considerando que toda a água utilizada no mundo 70 % destina-se à irrigação, é relevante que se evite ao máximo o desperdício desse recurso natural fundamental. Irrigações em excesso ou insuficientes, resultam em decréscimo da produção. Em irrigações insuficientes, o decréscimo do rendimento em relação ao máximo se dá em razão da deficiência hídrica, que em casos mais severos acaba levando as plantas também à deficiência nutricional, enquanto que as irrigações excessivas levam a um maior gasto com água e energia, à degradação física e química do solo e à alteração pronunciada do microclima, favorecendo a ocorrência de doenças fúngicas (SENTELHAS et al., 1999).

A quantidade de água existente na natureza é finita e sua disponibilidade diminui gradativamente devido ao crescimento populacional, à expansão das fronteiras agrícolas e à degradação do meio ambiente. Sendo a água um recurso indispensável à

vida, é de fundamental importância a discussão das relações entre o homem e a água, uma vez que a sobrevivência das gerações futuras depende diretamente das decisões que hoje estão sendo tomadas (LIMA et al., 2004).

É preciso, portanto, ter em conta que quando certos limites da capacidade de suporte são ultrapassados, os retornos do desenvolvimento econômico podem tornar-se minguantes. Isso implica que os planos racionais de utilização da água subterrânea ou de superfície e de outras fontes potenciais – recarga artificial de aquíferos com excedentes de descarga ou de enchentes dos rios, excedentes sazonais de estações de tratamento de águas brutas, reuso, distribuição de água de qualidade diferenciada, dentre outras modalidades – têm de contar com o apoio de medidas concomitantes de conservação e minimização dos desperdícios (REBOUÇAS, 1997).

3. Importância do uso de águas de qualidade inferior

Fatores associados ao crescimento contínuo da população, a crescente demanda de água, a poluição dos recursos hídricos superficiais, subterrâneos e verânicos cada vez mais frequentes pressionam a sociedade a gerenciar os recursos disponíveis de forma mais eficiente e buscar novas fontes de suprimento. Neste cenário, o desenvolvimento de alternativas não convencionais de suprimento, como o reuso, torna-se essencial, principalmente nas regiões onde os recursos disponíveis tornam-se cada vez mais escassos (ANDREOLI et al., 2005)

As águas de qualidade inferior, tais como de drenagem para irrigação, esgotos, particularmente os de origem doméstica, águas salinas e salobras, devem, sempre que possível, serem consideradas como fontes alternativas para usos menos

restritivos. O uso de tecnologias apropriadas para o desenvolvimento dessas fontes, se constituem hoje, em conjunção com a melhoria da eficiência do uso e o controle da demanda, na estratégia básica para a solução do problema da falta universal de água (HESPANHOL, 2008).

Segundo Shuval et al. (1985), pode-se reutilizar as águas residuárias tratadas em diversas atividades, desde que sejam seguidos os padrões recomendados. Feigin et al. (1991), afirma que o reuso de águas residuárias é bastante empregado em: resfriamento de águas nas indústrias, recarga de aquíferos, água potável para uso doméstico, irrigação paisagística e de produtos agrícolas. De uma maneira geral os esgotos tratados podem, no contexto urbano, serem utilizados para fins potáveis e não potáveis, como é explicado a seguir por HESPANHOL, 2008:

□ **Reuso para fins potáveis:** É o reuso para fins de abastecimento humano sendo classificado como reuso direto e indireto. Na a utilização direta ocorre uma conexão direta dos efluentes de uma estação de tratamento de esgotos a uma estação de tratamento de águas e, em seguida ao sistema público de distribuição. É uma alternativa associada a riscos muito elevados, em que, a Organização Mundial de saúde não recomenda. Além disso, os custos dos sistemas de tratamento avançados que seriam necessários, levariam à inviabilidade econômico-financeira do abastecimento público, não havendo, ainda, garantia de proteção adequada da saúde pública dos consumidores.

Entretanto, caso seja imprescindível implementar reuso urbano para fins potáveis, devem ser utilizados apenas sistemas de reuso indireto, em que, o corpo receptor intermediário é um corpo

hídrico não poluído para reduzir a carga poluidora a níveis aceitáveis por meio de diluição adequada.

O reuso para fins potáveis, só pode ser praticado tendo como matéria prima básica esgotos exclusivamente domésticos, devido à impossibilidade de identificação adequada da quantidade de compostos de alto risco, presentes em efluentes líquidos industriais, mananciais que recebem, ou receberam, durante períodos prolongados esses efluentes.

□ **Reuso para fins não potáveis:** Este tipo de reuso envolve riscos menores e devem ser considerados como a primeira opção. Entretanto, cuidados especiais devem ser tomados quando ocorre o contato direto do público como gramados de parques, jardins, hotéis e etc.

A tabela 01 apresenta alguns tipos de reutilização de efluentes com suas respectivas finalidades.

Tabela 1. Tipos de reuso não potável e suas respectivas finalidades (SOUSA e LEITE, 2002).

Tipo de reuso	Finalidades
Agricultura	Irrigação de culturas regionais
	Irrigação de áreas de pastagem
Pecuária	Dessecação de animais
Recreação e público	Irrigação de parques
	Campo esportivo
	Lagoas ornamentais
Indústria	Torre de resfriamento
	Trocador de calor
	Caldeira
Diluição de esgotos	Manutenção de vazões mínimas de curso de água nas condições de lançamento
Doméstico	Descarga sanitária
	Lavagem de carro
	Área verde de condomínio
Aquicultura	Produção de peixes e camarões
	Plantas aquáticas
Recarga de aquíferos	Complementação do nível de aquíferos em região litorânea

De acordo com Abdellah e Ashbolt (2000), nas próximas décadas, existirá uma demanda crescente do reuso de água em várias regiões urbanas do mundo, com intuito de satisfazer as pressões ambientais, econômicas e sociais, visto que em algumas comunidades específicas, em razão de seus recursos hídricos limitados, o reuso de água é constantemente praticado em diversas atividades, inclusive, a irrigação. Nobre et al. (2010), destacam

que o uso da água residuária na agricultura visa promover a sustentabilidade da agricultura irrigada, pois economiza as águas superficiais não poluídas, mantendo a qualidade ambiental e servindo como fonte nutritiva às plantas.

4. Reuso de água para fins agrícolas

Alguns países consideram o tratamento de esgoto como vital para proteger a saúde humana e prevenir a contaminação de lagos e rios (SHAW,1999). Sabendo-se que a agricultura é o setor que mais consome água, aplicar o esgoto em terras agrícolas é uma alternativa mais econômica e mais ecologicamente segura do que a descarga descontrolada de efluentes sanitários e industriais em lagos e rios (EDWARD,1992).

Mancuso e Santos (2007), afirmam que durante as duas últimas décadas, o uso de esgotos para irrigação de culturas aumentou significativamente em razão de: custo elevado de fertilizantes, dificuldade crescente de identificar fontes alternativas para irrigação, os custos elevados dos sistemas de tratamento necessário para descarga de efluentes em corpos receptores e o reconhecimento pelos órgãos gestores de recursos hídricos do valor intrínseco da prática. Winpenny *et al.* 2010 afirmam que, a comprovação da eficiência econômica do reuso agrícola da água requer custos mais baixos que outras soluções que tenham a mesma finalidade. Ou seja, quando considerados os custos de irrigação com outro tipo de água, ou o tratamento convencional de esgotos com o lançamento direto nos corpos d'água, esse sistema apresenta menores valores. O que significa que o custo do metro cúbico do efluente tratado deve ser menor que o custo da água para o irrigante e que o custo para o tratamento de esgotos será menor para a empresa de saneamento

Estudos realizados em diversos países demonstraram que a produtividade agrícola aumenta significativamente em sistemas de irrigação com esgotos adequadamente administrados. A tabela 02 mostra os resultados efetuados em Nagpur, Índia, pelo Instituto Nacional de pesquisas de Engenharia Ambiental (NEERI), que investigou os efeitos da irrigação com esgotos sobre as culturas produzidas (SHENDE, 1985).

Tabela 2. Aumento da produtividade agrícola (t/ha.ano) possibilitada pela irrigação com esgotos domésticos (Shende, 1985).

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

(a) Número de anos para cálculo da produtividade média.

O aumento de produtividade, no entanto, não é o único benefício, uma vez que, torna-se possível ampliar a área irrigada e, quando as condições climáticas permitem, efetuar colheitas múltiplas praticamente ao longo de todo ano (BARTONE E ARLOSOROFF, 1987).

Outras vantagens no reuso de efluentes para agricultura de acordo com Mancuso e Santos (2007), é que proporcionam melhorias ambientais e melhorias de condições de saúde, entre as quais:

- Minimização das descargas de esgotos em corpos de água;
- Preservação de recursos subterrâneos, principalmente em áreas onde a utilização excessiva de aquíferos provoca a intrusão de cunha salina ou subsidência de terrenos;
- Permite a conservação do solo, pela acumulação de húmus, e aumenta a resistência à erosão;

□ Aumenta a concentração de matéria orgânica do solo, possibilitando maior retenção de água;

□ Contribui, principalmente em áreas carentes, para o aumento da produção de alimentos, elevando, assim, os níveis de saúde, qualidade de vida e condições sociais de populações associadas aos esquemas de reúso.

Segundo Snel (2002), não se pode ocultar o fato de existir um efeito negativo potencial da irrigação com esgoto, incluindo-se: A contaminação de aquíferos o que permite a percolação de nitratos, risco a saúde dos irrigadores e comunidades em contato prolongado com esgoto não tratado e que consomem vegetais irrigados com esgoto, criação de habitats propícios à proliferação de vetores transmissores de doença, acúmulo de contaminantes químicos no solo e a eutrofização proveniente do crescimento excessivo de algas e vegetação em canais de distribuição de esgoto.

Embora existam referências à utilização da disposição de esgotos no solo em épocas muito remotas, como é o caso da irrigação com esgotos executada em Atenas antes da Era Cristã, o que influenciou de forma tecnicamente correta a utilização controlada de esgotos para fins agrícolas foram as iniciativas inglesas levadas a efeito por volta de 1850, quando se buscou a despoluição do rio Tâmis, implantando-se o sistema separador absoluto, direcionando as águas de chuvas para os cursos d'água e os esgotos para os land farms (PAGANINI, 1997). Entretanto, com o desenvolvimento de modernos sistemas de tratamento das águas residuárias e da preocupação com a contaminação por microrganismos, houve significativa redução do uso destas águas para fins de irrigação, tornando-se menos popular e, praticamente, desaparecendo por completo logo após

a primeira Guerra Mundial (STEIN e SCWARTZBROD, 1990).

A utilização de esgotos sanitários em irrigação, após tratamento ou “*in natura*”, é uma prática antiga e corrente em diversos países, como Austrália, Israel, Estados Unidos, México e Peru. No Brasil, embora a prática do reúso de águas servidas ainda seja pequena, registram-se vários exemplos de utilização de esgotos sanitários em irrigação, em geral de forma espontânea e não controlada (SOUZA, 2006).

Biswas (1988), afirma que é necessário que haja um planejamento nos programas e projetos de reúso com análise completa de todos os fatores básicos intervenientes, para identificação de características positivas e de restrições, que segundo Bastos (2003), apesar do relatado potencial para o reúso de esgotos sanitários em irrigação, o manejo inadequado pode resultar em sérios problemas à saúde, efeitos deletérios no solo e nas plantas e em impactos ambientais, como a lixiviação de poluentes e a contaminação das águas subterrâneas.

5. Propriedades físico-químicas e biológicas dos esgotos domésticos

Nas atividades econômicas do homem, a qualidade da água é invariavelmente associada ao uso de um bem ou serviço a que ele se destina (CROOK, 1993). Tal necessidade exige conhecimento prévio, não só de suas propriedades, mas também dos efeitos e riscos a saúde e ao meio ambiente (SOUZA, 2006).

A característica dos esgotos é função da utilização à qual a água foi submetida. Esses usos, e a forma com que são exercidos, variam com o clima, situação social e econômica, e hábitos da população.

No projeto de uma estação de tratamento, normalmente não há interesse em se determinar os

diversos compostos dos quais a água residuária é constituída. Isto, não só pela dificuldade em se executar vários testes em laboratório, mas também pelo fato dos resultados em si não serem diretamente utilizáveis como elementos de projeto e operação. Assim, muitas vezes é preferível a utilização de parâmetros que traduzam o caráter ou o potencial poluidor do despejo em questão. Tais parâmetros definem a qualidade do esgoto, podendo ser dividido em três categorias: físicos, químicos e biológicos (VON SPERLING, 2005).

Tabela 3. Principais características físicas dos esgotos domésticos (Qasim, 1985).

Parametro	Descrição
Temperatura	Ligeiramente superior a da água de abastecimento
	Varição conforme as estações do ano (mais estável que a temperatura do ar)
	Influência na atividade microbiana
	Influência na solubilidade dos gases
	Influência na velocidade de reações químicas
Cor	Influência na viscosidade do líquido
	Esgoto fresco: Ligeiramente cinza
Odor	Esgoto séptico: cinza escuro ou preto
	Esgoto fresco: odor oleoso, relativamente desagradável
	Esgoto séptico: odor fétido (desagradável), devido ao gás sulfídrico e a outros produtos da decomposição
Turbidez	Despejos industriais: odores característicos
	Causada por uma grande variedade de sólidos em suspensão
	Esgotos mais frescos ou mais concentrados: geralmente maior turbidez

5.1. Características Físicas

São as características de como se apresentam uma determinada água de esgoto, compreendendo a temperatura, cor, odor e turbidez. A seguir, a tabela 03 apresenta as principais características físicas dos esgotos domésticos.

5.2. Características Químicas

Os compostos químicos potencialmente presentes nos esgotos municipais podem ser classificados em

inorgânicos e orgânicos. Os possíveis prejuízos à saúde associados à ingestão de substâncias inorgânicas por meio da água são relativamente bem conhecidos, inclusive quanto aos teores de risco. Esgotos municipais de origem exclusivamente doméstica geralmente não contêm substâncias inorgânicas em teores que impeçam seu uso para diversas finalidades após um tratamento adequado. Entretanto, a presença de efluentes industriais representa risco da presença de compostos inorgânicos potencialmente tóxicos, como metais pesados, em teores inaceitáveis (CROOK, 1993)

De acordo com Von Sperling (2005), as principais características químicas relativos a esgotos predominantemente domésticos que merecerem destaque especial face à sua importância são: sólidos, matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, pH, alcalinidade, cloretos e óleos e graxas.

□ Sólidos

Os esgotos domésticos contêm aproximadamente 99,9% de água. A fração restante inclui sólidos e microrganismos, é portanto, devido a essa fração de 0,1% que há necessidade de se tratar os esgotos Os sólidos podem ser classificados como suspensos e dissolvidos, voláteis e fixos e, sedimentáveis (VON SPERLING, 2005).

□ Matéria Orgânica

Em geral, a irrigação com esgotos sanitários, traz efeitos benéficos ao solo, com a incorporação de matéria orgânica. Entretanto, este aspecto deve ser monitorado e controlado. Existe uma estreita relação entre matéria orgânica disponível no solo e desnitrificação causando perdas de nitrato (FEIGIN et al., 1991).

A matéria orgânica presente nos corpos d'água e nos esgotos vem sendo a principal causadora de poluição das águas: o consumo do oxigênio dissolvido

pelos microrganismos decompositores nos seus processos metabólicos e estabilização da matéria orgânica. A DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e a DQO (Demanda Química de Oxigênio) retratam, de uma forma indireta, o teor de matéria orgânica nos esgotos ou no corpo d' água, sendo, portanto uma indicação do potencial do consumo do oxigênio dissolvido, e representando parâmetros de maior importância na caracterização do grau de poluição de um corpo d' água (VON SPERLING, 2005).

□ Nitrogênio

Dentro do ciclo do nitrogênio na biosfera, este se alterna entre várias formas e estados de oxidação, como resultado de diversos processos bioquímicos, o mesmo pode apresentar-se como nitrogênio orgânico que é aquele na forma de proteína, aminoácido e uréia. Também pode aparecer na forma de amônia (produzida como primeiro estágio da decomposição do nitrogênio orgânico), na forma de nitrito (estágio intermediário da oxidação da amônia, e é praticamente ausente no esgoto bruto), e na forma de nitrato (Produto final da oxidação da amônia) (VON SPERLING, 2005).

Tratando-se de culturas, o nitrogênio é um elemento importante na síntese de proteína e pode vir a ser um fator limitante na produção de alimentos (PAGANINI, 1997). Segundo Ayres e Westcot (1999), o nitrogênio contido nas águas de irrigação tem o mesmo efeito para as plantas que o nitrogênio aplicado com os fertilizantes. Caso haja aplicação excessiva com a irrigação pode aumentar o crescimento vegetativo, retardar a maturação ou provocar colheitas de baixa qualidade.

Von Sperling (2005), afirma que 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,

também o mesmo é indispensável para o crescimento de microrganismos responsáveis pelo tratamento de esgotos. Em um curso d' água pode-se determinar o estágio de poluição eventualmente ocasionada por algum lançamento de esgotos a montante, se a poluição é recente, o nitrogênio estará basicamente na forma de nitrogênio orgânico ou amônia e, se antiga, basicamente de nitrato.

□ Fósforo

É um nutriente essencial para o crescimento dos microrganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica e, essencial para o crescimento de algas, podendo também além do nitrogênio, em certas condições conduzir a fenômenos de eutrofização de lagos e represas.

O fósforo total nos esgotos domésticos apresenta-se na forma de fosfatos nas seguintes formas (IAWQ, 1995):

□ Inorgânica (polifosfatos e ortofosfatos) – origem principal nos detergentes e outros produtos químicos domésticos

□ Orgânica (ligada a compostos orgânicos) – Origem fisiológica

O fósforo nos detergentes pode representar até 50% da concentração do fósforo total nos esgotos domésticos, e ocorre na água residuária bruta na forma de polifosfatos que são moléculas mais complexas com dois ou mais átomos de fósforo e se transformam em ortofosfatos (são diretamente disponíveis para o metabolismo biológico sem necessidade de conversões a formas mais simples) através da hidrólise (IAWQ, 1995).

□ PH

Potencial hidrogeniônico. Representa a concentração de íons de hidrogênio H⁺ (em escala antilogarítmica), dando uma indicação sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da

água. A faixa de pH é de 0 a 14. É importante em diversas etapas do tratamento de água em que, um pH baixo há um potencial de corrosividade e agressividade nas tubulações e peças das águas de abastecimento, um pH elevado possibilita incrustações nas tubulações e peças das águas de abastecimento, um pH afastado da neutralidade (pH neutro em torno de 7) pode afetar a vida aquática e os microrganismos responsáveis pelo tratamento biológico dos esgotos (VON SPERLING, 2005).

As mudanças de pH no solo, ocasionadas pela água, são bastante lentas. Assim, sendo possível uma correção diretamente na água de irrigação, ou mais comumente a aplicação de corretivos no solo como calcário, enxofre e gesso (AYRES e WESTCOT, 1999).

□ **Alcalinidade**

Representa a quantidade de íons na água que reagirão para neutralizar os íons de hidrogênio. É uma medição da capacidade da água de neutralizar os ácidos (capacidade tampão). Os principais representantes da alcalinidade são: bicarbonatos, carbonatos e os hidróxidos.

□ **Cloretos**

Provenientes da água de abastecimento e dos dejetos humanos, está presente em todas as águas naturais, em maior ou menor escala, contêm íons resultantes da dissolução de minerais. Em grandes concentrações imprime um sabor salgado à água. Os cloretos (Cl⁻) são advindos da dissolução de sais.

□ **Óleos e Graxas**

Fração da matéria orgânica solúvel em hexanos. Nos esgotos domésticos, as fontes são óleos e gorduras utilizados nas comidas (METCALF & EDDY, 1991).

5.3 Características Biológicas

Os microrganismos presentes nos esgotos desempenham diversas funções de fundamental importância, principalmente as relacionadas com as transformações da matéria dentro dos ciclos biogeoquímicos. Os microrganismos encontrados nos esgotos podem ser saprófitas, comensais, simbiontes ou parasitos. Apenas a última categoria é patogênica e capaz de causar doença no homem e nos animais. Os organismos de interesse associado com água ou com as fezes, são: bactérias, vírus, protozoários e helmintos (VON SPERLING, 2005).

A origem destes patógenos nos esgotos é predominantemente humana, refletindo diretamente o nível de saúde da população e as condições de saneamento básico de cada região. Pode ser também de procedência animal, cujos dejetos são eliminados através da rede de esgoto (ex: fezes de cão e gato), ou então pela presença de animais na rede de esgoto, principalmente roedores (SILVA et al, 2001).

A detecção dos agentes patogênicos em uma amostra d' água é extremamente difícil, devido às baixas concentrações, o que demandaria o exame de grandes volumes da amostra para que fossem detectados os poucos seres patogênicos. As razões devem-se aos seguintes fatos (VON SPERLING, 2005): Nas fezes dos habitantes a presença de patógenos pode não ocorrer em elevada proporção e após o lançamento no corpo receptor ou no sistema de esgotos há ainda uma grande diluição do despejo contaminado. Assim sendo é realizado estudo dos chamados organismos indicadores de contaminação fecal, tais organismos dão uma satisfatória indicação de quando uma água apresenta contaminação por fezes humanas ou de animais e, por conseguinte sua potencialidade para transmitir doença.

Os organismos mais comumente utilizados com tal finalidade são as bactérias do grupo coliforme. Os principais indicadores de contaminação fecal são:

- Coliformes totais (CT)
- Coliformes fecais (CF)
- *Escherichia coli* (EC)

No grupo de coliformes totais (CT) não existe uma relação quantificável entre o mesmo e microrganismos patogênicos (THOMANN E MUELLER, 1987). Os coliformes totais são incidentes em águas e solos não contaminados, representando portanto, outros organismos de vida livre, e não intestinal.

Os coliformes fecais (CF) são um grupo de bactérias indicadoras de organismos originários predominantemente do trato intestinal humano e outros animais (WHO, 1993). Essas bactérias também podem ser de vida livre, ou seja, não fecais, sendo chamadas de coliformes termotolerantes, pelo fato de resistirem à elevada temperatura.

A *Escherichia coli* é a principal bactéria do grupo de coliformes fecais, sendo abundante nas fezes humanas e de animais. É encontrada em esgotos, efluentes tratados e água naturais sujeitas a contaminação recente por seres humanos, atividades agropecuárias, animais selvagens e pássaros (WHO, 1993).

Há ainda outros organismos que podem estar presentes nos esgotos domésticos:

- **Estreptococos fecais**- Este grupo compreende dois gêneros: *Enterococcus* e *Streptococcus*. O primeiro apresenta alta tolerância as condições ambientais adversas, e a maioria das espécies é de origem fecal humana, podendo ser também de origem animal. O segundo é mais abundante em fezes de animal e se multiplicam em águas poluídas (WHO, 1993).

- **Bacteriófagos** – São vírus que atacam bactérias, tendo-se como exemplo os colifagos, que atacam *E. coli*. Os colifagos não estão presentes em altos números nas fezes humanas e de animais, mas podem estar presentes em número elevado nas águas residuárias, devido a rapidez com que se reproduzem como resultado do ataque as células bacterianas (CEBALLOS, 2000).

- **Ovos de helmintos** – Os ovos de helmintos são um parâmetro importante ao se avaliar o uso da água ou esgoto para irrigação, na qual os trabalhadores podem ter contato direto com a água contaminada e os consumidores podem ingerir vegetais crus ou com casca (VON SPERLING, 2005).

6. Técnicas de tratamento de esgoto

Uma das práticas mais antigas para destinação final dos esgotos sanitários é a sua aplicação ao solo, porém, o desenvolvimento da microbiologia sanitária e as preocupações crescentes com a saúde pública fizeram com que esta alternativa se tornasse praticamente desaconselhada em meados do século XX (MARA E CAIMCROSS, 1989).

Sabe-se que, com o crescimento da população correspondente há um aumento pela demanda de água, assim sendo, os recursos hídricos são mais explorados e a qualidade dos mesmos vem ficando bastante comprometida, associada à depreciação das águas pelo aumento das atividades cujos resíduos têm como destinação os próprios corpos d'água. Uma medida mitigadora para atual crise é o tratamento dos resíduos.

Frequentemente os mananciais recebem cargas de efluentes muito elevadas para sua vazão e não conseguem se recuperar pela autodepuração, havendo a necessidade da depuração artificial ou tratamento do esgoto. A implantação de uma estação

de tratamento de esgotos tem por objetivo a remoção dos principais poluentes presentes nas águas residuárias, retornando-as ao corpo d'água sem alteração de sua qualidade. O tratamento do efluente pode, inclusive, transformá-lo em água para diversos usos, como a irrigação, por exemplo (BNDES, 1997).

A escolha do tratamento depende das condições mínimas estabelecidas para a qualidade da água dos locais receptores, função de sua utilização (Abastecimento doméstico, irrigação, recreação etc.). Em qualquer projeto é fundamental o estudo das características do esgoto a ser tratado e da qualidade do efluente que se deseja lançar no corpo receptor. (BNDES, 1997).

Segundo Von Sperling (2005), o tratamento dos esgotos é classificado através dos níveis: preliminar, primário, secundário e terciário.

No tratamento Preliminar o objetivo é a remoção dos sólidos grosseiros, enquanto o Tratamento primário visa a remoção dos sólidos sedimentáveis e, em decorrência, parte da matéria orgânica. Em ambos predominam os mecanismos físicos em que, no preliminar utilizam-se grades que impedem a passagem de trapos, papéis, pedaços de madeira, etc, já no primário os esgotos fluem vagarosamente pelos decantadores, permitindo que os sólidos em suspensão de maior densidade sedimentem gradualmente no fundo, formando o lodo primário bruto. Os materiais flutuantes como graxas e óleos, de menor densidade, são removidos na superfície. A eliminação média da DBO é de 30%. No tratamento secundário, predominam processos biológicos, o objetivo é principalmente a remoção de matéria orgânica onde a eliminação de DBO deve alcançar 90%, e eventualmente ocorre a remoção de nutrientes (nitrogênio e fósforo). O tratamento terciário objetiva a remoção de poluentes específicos

(usualmente tóxicos ou compostos não biodegradáveis) ou ainda, a remoção complementar de poluentes não suficientemente removidos no tratamento secundário.

Processos anaeróbios para tratamento de esgotos são bastante eficientes na remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos, em climas tropicais. No nível de tratamento primário, apresentam grandes vantagens: ocupam pequenas áreas; produzem pouco lodo, estabilizado; não consomem energia e não necessitam de equipamentos eletromecânicos (SILVA, 1997). Dentre os processos anaeróbios são bastante utilizados os decanto-digestores com filtro anaeróbio e os reatores UASB.

Andrade Neto (2006) afirma que, os decanto-digestores são reatores muito resistentes e adequados para tratamento de esgotos “jovens”, que chegam na unidade de tratamento com grande parcela de sólidos decantáveis. São conhecidos também como tanques sépticos, e podem ser economicamente aplicados desde a pequenas vazões, até a volumes médios. Além dos inúmeros pequenos sistemas locais, que atendem residências ou conjunto de prédios, tem-se também, no Brasil, um bom número de decanto-digestores de grande porte. Os decanto-digestores produzem um efluente razoável que, no entanto, muitas vezes necessita de um pós tratamento, dependendo do destino. Atualmente, o reator mais utilizado para pós tratamento de tanques sépticos é o filtro anaeróbio.

O filtro anaeróbio consiste, inicialmente, de um tanque contendo material de enchimento, que forma um leito fixo, alimentado com esgoto ou efluente de outra unidade de tratamento. Na superfície do material de enchimento ocorre a fixação e o desenvolvimento de microrganismos, que também se agrupam, na forma de flocos ou grânulos, nos

interstícios deste material (ANDRADE NETO, 2006). Apresentam as vantagens dos reatores anaeróbios com fluxo através do lodo ativo, inclusive na remoção da matéria orgânica dissolvida. Ademais: resistem bem às variações de vazão afluente, com baixa perda dos sólidos biológicos; têm construção e operação muito simples; e podem ser utilizados para esgotos concentrados ou diluídos. Estes filtros podem ter fluxo ascendente ou descendente.

O efluente do decanto-digestor é enviado ao filtro anaeróbio, onde ocorre a remoção parcial da matéria orgânica remanescente. A depuração dos esgotos, em filtros anaeróbios deve-se a retenção de sólidos de pequenas dimensões, por contato com o material suporte recoberto com biofilme, por sedimentação forçada nos interstícios e pela ação metabólica dos microrganismos do biofilme e do lodo retido nos interstícios sobre a matéria dissolvida. Este sistema que pode ser muito vantajoso para tratamento de esgotos sanitários: associa, em série, um reator resistente às variações do afluente com um reator eficiente também sobre a parcela dissolvida dos esgotos; tem operação esporádica e não requer operador especializado; tem partida imediata, com bom funcionamento desde o início; absorve choques tóxicos e de sobrecarga com rápida recuperação; e não perde eficiência a longo prazo (GALVÃO JÚNIOR, 2001).

UASB são reatores de manta de lodo no qual o esgoto afluente entra no fundo do reator e em seu movimento ascendente, atravessa uma camada de lodo biológico que se encontra em sua parte inferior, e passa por um separador de fases alcançando a zona de sedimentação e escoando em direção à superfície (FERNANDES, 2008).

Van Haandel e Lettinga (1994) afirmam que, após entrar e ser distribuída pelo fundo do reator UASB a água residuária, flui pela zona de digestão, onde se encontra o leito de lodo, ocorrendo a mistura do material orgânico nela presente com o lodo. Os sólidos orgânicos suspensos são quebrados, biodegradados e digeridos através de uma transformação anaeróbia, resultando na produção de biogás e no crescimento da biomassa bacteriana. O biogás segue em trajetória ascendente com o líquido, após este ultrapassar a camada de lodo, em direção ao separador de fases.

No separador de fases ocorre redução da velocidade do líquido e aumenta a velocidade de sedimentação das partículas, oriundas dos flocos de lodo arrastados pelas condições hidráulicas ou flotados. Isto possibilita que este material sólido que passa pelas aberturas no separador de fases, alcançando a zona superior do reator, possa se sedimentar sobre a superfície inclinada do separador de fases. Naturalmente que esta condição dependerá das condições hidráulicas do escoamento. Desse modo, o acúmulo sucessivo de sólidos implicará conseqüentemente, no aumento contínuo do peso desse material o qual, em um dado momento, tornar-se-á maior que a força de atrito e, então, deslizarão, voltando para a zona de digestão, na parte inferior do reator. Assim, a presença de uma zona de sedimentação acima do separador de fases resulta na retenção do lodo, permitindo a presença de uma grande massa na zona de digestão, enquanto se descarrega um efluente substancialmente livre de sólidos sedimentáveis (VAN HAANDEL E LETTINGA, 1994).

Outro método de tratamento de esgotos é através de lagoas de estabilização que consiste em corpos de água lânticas de configurações retangulares ou

quadradas, construídas por escavações rasas cercadas de taludes de terra. O tratamento ocorre de forma natural por meio de processos físicos, químicos e biológicos. Os principais microorganismos presentes são bactérias, algas e protozoários, sendo que as bactérias são as principais responsáveis pela decomposição da matéria orgânica solúvel presente no esgoto (SOUSA e LEITE, 2002).

Tsutiya (2001) relata que os sistemas de lagoas de estabilização são a tecnologia mais adequada para tratamento de esgotos para uso agrícola. Podem ser classificados em: anaeróbia, aeróbia, facultativa e de maturação.

As lagoas anaeróbias são projetadas para remover a DBO, primeiro através da remoção e subsequente digestão de matéria orgânica em suspensão, não depende da ação fotossintética de algas e pode ser construída com uma profundidade maior que os outros tipos de lagoas. As Facultativas são as mais simples, porém necessita de longo tempo de detenção para que as reações se completem implicando em grandes requisitos de área. Na lagoa de maturação o objetivo principal é a remoção de organismos patogênicos (SOUZA, 2006).

7. Segurança alimentar x seleção de culturas para irrigação com águas de esgoto

A utilização de efluentes na agricultura cresceu consideravelmente nos últimos anos em muitos países, inclusive no Brasil; no entanto, ainda há muito a ser estudado sobre os aspectos positivos e negativos dessa técnica. É certo que, dentre os principais fatores que vieram a contribuir para que, aumentasse o interesse pela irrigação com efluentes, estão a escassez de recursos hídricos, o avanço do conhecimento técnico-científico, a legislação

ambiental mais rigorosa e atuante, o maior controle da poluição ambiental, com redução de problemas à saúde humana e animal, a diminuição dos custos de tratamento devido à atuação do solo como forma de disposição e fornecimento de nutrientes e matéria orgânica às plantas, reduzindo os custos com fertilizantes químicos comerciais (SANDRI, 2003).

Segundo Nuvolari (2003), a irrigação com águas residuais pode contaminar o ar, os solos e as plantas da área vizinha aos campos irrigados. A magnitude desta contaminação depende do tratamento destas águas, das condições climáticas predominantes da cultura irrigada e do próprio sistema de irrigação.

A NBR 13.969/97 em seu item 5.6.2 afirma que, não é permitido o uso do esgoto tratado mesmo que desifetado para irrigação das hortaliças e frutas de ramas rastejantes (por exemplo, melão e melancia). Admite-se seu reuso para plantações de milho, arroz, trigo, café e outras arvores frutíferas, via escoamento no solo, tomando-se o cuidado de interromper a irrigação pelo menos 10 dias antes da colheita.

Hortaliças principalmente as consumidas cruas, quando irrigadas por tais águas caso não sejam bem tratadas 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. Desta forma o controle sanitário das águas utilizadas para irrigação é de grande importância para a saúde pública. Uma possibilidade para reduzir risco de contaminação das hortaliças é a utilização de sistemas de irrigação que apliquem água sem molhar as partes cosmetíveis das plantas, como o gotejamento, principalmente subsuperficial.

Portanto, a escolha do método de irrigação deve ser considerada, tendo em vista os riscos à saúde dos trabalhadores e consumidores, o tipo de contaminação da cultura, as possíveis obstruções no sistema, os maus odores e a presença de aerossóis, além dos fatores econômicos, natureza do solo e sua Topografia (MATTOS. 2003).

Sandri et al. (2006) estudando o teor de nutrientes em alface irrigada com água residuária tratada por reator anaeróbio seguido de lagoa de estabilização, pode concluir que as plantas obtiveram um bom teor de nutrientes mesmo com sistemas de irrigação diferentes sendo eles: aspersão, gotejamento subterrâneo e gotejamento superficial.

Luiz (2008) afirma que a Organização Mundial da Saúde recomenda tratamentos secundário e terciário quando águas residuárias forem utilizadas na irrigação das culturas para consumo direto, como as hortaliças, e que é necessário só o tratamento primário desses esgotos para torná-los adequados à irrigação de culturas de consumo indireto. Terada et al. (1985) considera que, as premissas básicas para a seleção de um vegetal que irá ser cultivado com água proveniente de esgotos domésticos tratados devem ser, principalmente: grande resistência à poluição e à umidade, requisitos extremamente importantes, já que o lançamento dos esgotos é acumulativo no solo; que seja perene, que tenha raízes profundas; as quais permitam um maior alcance da ação do sistema radicular do vegetal na utilização dos macro e microelementos; capacidade de proporcionar uma maior aeração do solo; ser resistente a longos períodos de imersão; fácil obtenção e manuseio.

Assim sendo, é bastante comum a utilização de águas residuárias para irrigação de seringueira, algodão, forragem, eucalipto, sorgo, mamona etc... Mota (1997) estudando o desempenho do algodão

irrigado com esgoto tratado por lodo ativado com aeração prolongada verificou que o mesmo teve maior desempenho quando comparado ao algodão cultivado com água de abastecimento local, pois obteve-se maior produção por hectare; percentual mais elevado de fibras; maior peso médio do capulho e maior comprimento médio da fibra. Romero (2009) observou um aumento de produtividade de quase 50% em uma plantação experimental de cana-de-açúcar, após a utilização de efluentes de esgoto doméstico tratado na irrigação da cultura.

Medeiros et al. (2008) analisando altura de plantas, área foliar e diâmetro caulinar de mamona irrigada com águas residuárias bombeadas em seu estado lótico pôde obter resultados melhores desta cultura quando comparada sua utilização com água de abastecimento local e com a mistura das duas.

Em entrevista dada ao jornal da Paraíba (2006), o pesquisador Napoleão Beltrão da EMBRAPA algodão colocou que, a grande vantagem em se produzir mamona com água residuária é a redução em 40%, no mínimo, os custos com a produção. Segundo o pesquisador, além de dispensar a utilização de adubos nos plantios de mamona e a água limpa dos reservatórios de abastecimento das cidades, a irrigação com águas residuais oferece melhor destino às águas poluídas que não têm serventia para uso humano ou industrial. Napoleão assegurou que a mamona irrigada com a água residual não acarretará prejuízos à produção do biodiesel. Pelo contrário, o fósforo e nitrogênio encontrados na água residual são responsáveis por uma produção mais volumosa. Beltrão lembra ainda, que a mamona não seria utilizada para consumo humano. Por isso a irrigação com águas residuais pode ser feita sem problemas.

REFERENCES

- ABDELLAH, A. R.; ASHBOLT, N. J. Innovative Production treatment hydroponic farm for primary municipal sewage utilization. *Water Resource*, v. 34, No 3, p. 825-834, 2000.
- ANDRADE NETO, C. O. O uso do filtro anaeróbio para tratamento de esgoto sanitário. *Revista meio filtrante*, Ano IV, n.19, 2006.
- ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S.; TAMANINI, C.R. Parâmetros para normatização do reuso agrícola. In: *Workshop uso e reuso de águas de qualidade inferior. Realidades e Perspectivas*, Campina Grande, 2005, anais... Campina Grande, PB 2005.
- AUGUSTO, L.G.S.; GURGEL, I.G.D.; CÂMARA NETO, H.F.; MELO, C.H.; COSTA, A.M. O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano. *Revista ciência e saúde coletiva*, v. 17, n. 6, p. 1511-1522, 2012.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande: UFPB, p. 97-119, 1999. Tradução de: *Water quality for agriculture*.
- BARBIER, J. M.; CAMBON- GRAU S, Baisse des consommations d'eau: identifications des causes. *Tech Sci Methode*, v.95, n.6, p.46-64, 2000.
- BARTONE, C.R.; ARLOSOROFF, S. Irrigation Reuse of Pond Effluents in Developing Countries. *Wat. Sci.Tech*, v.12, n.19, p.289-97, 1987.
- BASTOS, R.K.X. (Org.) Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura. *PROSAB 3*, Rio de Janeiro: ABES, 2003. 267 p. BISWAS, A.K. "The Role of Wastewater Reuse in Planning and Management". In: Biswas, A.K., Arar, A. (Ed.) *Treatment and Reuse of Wastewater*. Londres, Butterworths, 1988.
- BNDES, Banco Nacional para o Desenvolvimento Econômico e Social. Informe Infra- Estrutura nº16, Tratamento de Esgotos: Tecnologias Existentes. Novembro, 1997. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/conhecimento/Infra/g7416.pdf>. Acesso em: 19 de Junho de 2015.
- BROWN L. R. O desafio das águas – UMA – Universidade Livre da Mata Atlântica 2001. Disponível : www.wwiuma.org.br, consulta em 15/07/15.
- CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Emitter and filter for wastewater reuse by drip irrigation. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v.68, n.2, p.135-149, 2004.
- CARMO, R.L.; OJIMA, A.L.R.O.; OJIMA, R.; NASCIMENTO, T.T. Água virtual, escassez e gestão: O Brasil como grande exportador de água. *Ambiente & sociedade*. Campinas, v.X, n.1, p.83-96, 2007.
- CEBALLOS, B.S.O. (2000). Microbiologia sanitária y ambiental. In: MENDONÇA, S.R. (2000). *Sistemas de lagunas de estabilizacion*. McGraw-Hill, Colombia, p.68-106, 2000.
- CHRISTOFIDIS, D. Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos. *Irrigação e Tecnologia Moderna*, Brasília: ABID, n.54, p. 46-55, 2002.
- CROOK, J. "Critérios de Qualidade da Água de Reúso". Trad. Hilton F. Santos. In: *Revista DAE*, v. 174, p. 10-8, 1993.
- CRUZ, V.; SALOMON, M. Crise de água pode afetar 41 milhões no Semi Árido. Folha de São Paulo publicado em 07/12/2006. Disponível em www.seagri.ba.gov.br/noticias.asp?qact=view¬id=8407, consulta em 04/03/15.

- EDWARDS, P. Reuse of human wastes in aquaculture: A technical Review. World Bank. Washington D.C, 1992.
- FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. Irrigation with treated sewage effluent. Advanced Series in Agricultural Science. Ed. Spring-Verlang. Berlin – Alemanha, 1991, 216p.
- FERNANDES, C. Reatores UASB: Parte 01. 2008. Disponível em: <http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/UASB01.html>. Acesso em: 05 de agosto de 2014.
- GALVÃO JÚNIOR, A.C.; MORENO.J.; MAGALHÃES C.A.C. Avaliação dos sistemas de tratamento por decanto digestores seguidos de filtros anaeróbios, em comunidades atendidas pela unidade de negócio do médio tietê – SABESP. In: Congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental, 21, 2001. João Pessoa. Anais...João Pessoa: abes, 2001.
- HAWKEN P, LOVINS A, LOVINS L H. Capitalismo natural: criando a próxima revolução industrial. São Paulo: Cultrix, 1999.
- HESPANHOL, I. Potencial de reuso de água no Brasil: Agricultura, industria, municípios, recarga de aquíferos. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, V. 7, n.4, p. 75- 95, 2002.
- HESPANHOL, I. Potencial De Reuso De Água No Brasil, Agricultura, Industria, Municípios, Recarga De Aquíferos, 2008. Disponível em: www.aguabolivia.org/situacionaguaX/IIIEncAguas/contenido/trabajos_verde/TC-158.htm. Consulta em: 11/06/15.
- JORNAL DA PARAÍBA. (2006). Águas residuais são utilizadas na irrigação da mamona em Campina Grande. Disponível em: [http://www.biodieselbr.com/noticias/mamona/aguas-residuais-utilizadas-irrigacao-](http://www.biodieselbr.com/noticias/mamona/aguas-residuais-utilizadas-irrigacao-mamona-cg-20-09-06.htm)
- mamona-cg-20-09-06.htm. Acesso em:18 de setembro de 2014.
- LIMA, J. E. F.W.; FERREIRA, R.F.A.; CRISTOFIDIS, D. O uso da irrigação no Brasil, 2004. Disponível em www.cf.org.br/cf2004/irrigacao.doc, consulta em 17/01/15.
- LUIZ, J. Esgoto na irrigação. 2008. Disponível em: <http://jviana.multiply.com/journal/item/24/24>. Acesso: 20 de Setembro de 2014. MANCUSO,P.C.S.; SANTOS,H.F. Reúso de água. Barueri, SP: Manole, 2007, 58 p.
- MARA, D. D.; CAIRNCROSS, S. Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture. Geneva: World Health Organization, 1989, 187 p.
- MARTINS, G. Riscos para a saúde pública e para as empresas de saneamento básico devidos à redução do consumo de água. In:Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23, São Paulo, Anais ... São Paulo, SP, 2003.
- MATTOS, K.M.C. Viabilidade da irrigação com água contaminada por esgoto doméstico na produção hortícola., Botucatu, Tese de Doutorado na área de concentração e drenagem , Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, SP, 2003.
- MEDEIROS, S.S.DE; SOARES, A.A.; FERREIRA, P.A.; NEVES, J.C.L.; SOUZA, J.A.DE. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: Estudo do estado nutricional do cafeeiro. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.12, n.2, p.109-115, 2008.
- METCALF & EDDY. Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse. Metcalf & Eddy, Inc. 3. Ed, 1991, 1334 p.

- MOTA, S.; BEZERRA, F. C.; TOMÉ, L. M. Avaliação do desempenho de culturas irrigadas com esgoto tratado. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 19, Foz do Iguaçu, Anais ... Foz do Iguaçu, PR, 1997.
- NOBRE, R. G.; GHEYI, H.R.; SOARES, F.A.L.; ANDRADE, L.O.; NASCIMENTO, E.C.S. Produção do girassol sob diferentes lâminas com efluentes domésticos e adubação orgânica. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 14, p. 747-754, 2010.
- NUVOLARI, A. Esgoto sanitário: Coleta, transporte, tratamento e resíduo agrícola. Coordenação Ariovaldo Nuvolari. São Paulo: Edgard Blucher, 2003. 520 p.
- PAGANINI, W.S. Disposição de esgotos no solo: escoamento à superfície. São Paulo, Fundo Editorial da SABESP, 1997.
- PAZ, V.P.S.; TEODORO, R.E.F.; MENDONÇA, F.C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, v. 4, n. 3, p.465-473, 2000.
- PETRELLA, R. O manifesto da água: argumentos para um contrato mundial. Petrópolis, RJ: Vozes, 2002.
- POSTEL, S. Enfrentando a escassez de água. In: L. R. Brown, org. Qualidade de vida, 1993: Salve o planeta. p. 47-63. SP, Globo.
- QASIM, S.R. Wastewater treatment plants: planning, design and operation. Holt, Rinehart and Winston, New York, 1985.
- REBOUCAS, ALDO DA C. Água na região Nordeste: desperdício e escassez. Estud. av., Jan./Apr. 1997, vol.11, no.29, p.127-154. ISSN 0103-4014.
- SANDRI, D. Irrigação da cultura da alface com água residuária tratada com leitos cultivados com macrófita. 186 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Água e Solo) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
- SANDRI, D.; MATSURA, E.E.; TESTEZLAF, F. Teores de nutrientes na alface irrigada com água residuária aplicada por sistemas de irrigação. Eng. Agrícola, Jaboticabal, v.26, n.1, p.45-57, 2006.
- SCHAER-BARBOSA, M.; SANTOS, M.E.P.; MEDEIROS, Y.D.P. Viabilidade do reuso de água como elemento mitigador dos efeitos da seca no semiárido da Bahia. Ambiente e sociedade. São Paulo, v.XVII, n.2, p.17-32, 2014.
- SENTELHAS, P.C.; PEREIRA, A.R.; MARIN, F.R. et al. Balanços Hídricos Climatológicos do Brasil. DCE/ ESALQ/ USP, 1999. CD-ROM.
- SHAW, R.(1999). Running water more technical briefs on health, water and sanitation. Intermediate technology publication. London, 1999.
- SHENDE, G.B."Status of Wastewater Treatment and Agricultural Reuse with Special Reference to Indian Experience and Research and Development Needs". In: PESCOD, M.B., ARAR, A. (Ed.). Proceedings of the FAO Seminar on the Treatment and Use of Sewage Effluents for irrigation, Nicosia, Cyprus, 7-9 October, Butterworths, Londres, 1985.
- SHUVAL, H.; ADIN, A.; FATTAL. B.; RAWITZ, E.; YEKUTIEL, P. Health effects of wastewater irrigation and their control in developing countries. The World Bank. Integrated Resource Recovery Project series Number GLO/80/004, 1985, 340p.
- SILVA, L.C.B.; MENDONÇA, W.F.; ANDRADE NETO, C.O. Eficiência na remoção de sólidos em um decanto

- digestor com filtro anaeróbio acoplado, UFRN, Departamento de engenharia civil, 1997. Disponível em: http://www.ufrn.br/sites/producao_ct/sec3_8.html. Acesso: 03 de agosto de 2014.
- SILVA, S.M.C.P., FERNANDES, F., SOCCOL, V.T., MORITA, D.M. Principais contaminantes do lodo. In: ANDREOLI, C.V., VON SPERLING, M., FERNANDES, F. (2001). Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol.6. Lodo de esgotos. Tratamento e disposição final. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR. 484p.
- SNEL, Dr M. Re-use of wastewater – Its advantages and disadvantages specifically from an institutional and socio-cultural perspective. International Water and Sanitation Centre, Delft, The Netherlands. 2002, 7p.
- SOLLEY W B, PIERCE R R, PERLMAN A. Estimated use of water in the United States in 1995. Consultado em www.water.usgs.gov em 11/07/2015.
- SOUSA, J.T.; LEITE, V.D. Tratamento e Utilização de Esgotos Domésticos na Agricultura. Campina Grande: EDUEP, 2002. 84p.
- SOUZA, N.C. Produtividade da mamona irrigada com esgoto doméstico tratado em lagoas de estabilização. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.
- STEIN, J.L.; SCHWARTZBROD, J. Experimental Contamination of vegetables with Helminth Eggs. Water Science and Technology. V. 22, n.9, p.51-57, 1990.
- SUASSUNA, J. O gerenciamento da água no nordeste, publicado em 07/05/2004 – Disponível em: www.reporterbrasil.org.br/exibe.php?id=266, consulta em 21/07/15.
- SUDENE/ÁRIDAS, (1994). Recursos Hídricos do Nordeste Semi-Árido, RH/SEPLAN/PR, Brasília.
- TERADA, M.; ZUCCOLO, A.C.F.; PAGANINI, W.S. Tratamento de esgotos domésticos por disposição no solo com utilização de gramíneas. Revista DAE, v. 45, n. 142, p. 249-54, 1985.
- THOMANN, R.V., MUELLER, J.A. Principles of surface water quality modeling and control. Harper International Edition. 1987, 644 p.
- TSUTIYA, M.T. Uso agrícola dos efluentes das lagoas de estabilização do estado de São Paulo. In: Congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental, 21, 2001, João Pessoa. Anais ... João Pessoa: ABES, 2001.
- TUCCI, C. E. M. Gestão da água no Brasil – Brasília : UNESCO, 2001. 156p.
- TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. A água- Folha explica. Ed. Publifolha. São Paulo. 2a.edição, 2009. 128p.
- VAN HAANDEL, A. C., LETTINGA, G. Tratamento Anaeróbio de Esgotos: Um Manual para Regiões de Clima Quente, Epgraf, Campina Grande, 1994, 240 p.
- VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. Ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005, 452 p.
- WERNECK, J.E.F.L.; FERREIRA, R.S.A.; Christofidis, D. O estado das águas no Brasil. Perspectivas de gestão e informação de recursos hídricos. Geneva: Organização Meteorológica Mundial. 1999, 334p.
- WINPENNY, J.; HEINZ, I.; KOO-OSHIMA, S. The wealth of waste: the economics of wastewater use in agriculture. FAO Water Reports. Roma. 2010.