

II-556 - AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA-AMBIENTAL DO USO AGRÔNOMO DO ESGOTO TRATADO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE) AURENY DO MUNICÍPIO DE PALMAS – TO

Marianna Carvalho Sousa⁽¹⁾

Graduando em Engenharia Civil na Fundação Universidade Federal do Tocantins.

Lucas Diego Costa Oliveira⁽²⁾

Graduando em Engenharia Civil na Fundação Universidade Federal do Tocantins.

Lucas Do Ó Oliveira⁽³⁾

Graduando em Engenharia Civil na Fundação Universidade Federal do Tocantins.

Tâmara Lorrane Melo Martins⁽⁴⁾

Graduando em Engenharia Civil na Fundação Universidade Federal do Tocantins.

Tatiana Ferreira Wanderley⁽⁵⁾

Engenheira Ambiental pela Fundação Universidade Federal do Tocantins. Mestre em Ciências do Ambiente pela Fundação Universidade Federal do Tocantins. Professora titular do Curso de Engenharia Civil da Fundação Universidade Federal do Tocantins.

Endereço⁽¹⁾: Quadra 307 Norte Alameda 25, Lote 11 – Plano Diretor Norte - Palmas - TO - CEP: 77001-396 - Brasil - Tel: (63) 98133-7548 - e-mail: mariannaduo@gmail.com

RESUMO

A proposta de reutilização do efluente tratado de esgoto traz à tona a necessidade da manutenção da qualidade dos corpos hídricos. Sabe-se que, mesmo tratado, o esgoto causa impactos negativos onde o efluente é lançado. O município de Palmas – TO faz a captação de água no Ribeirão Taquaruçu, em um ponto em que já se considera área de influência direta do Lago, pouco mais abaixo está a ETE Aurenny, que tem como corpo receptor o braço do Lago dentro do Ribeirão Taquaruçu. Logo, reaproveitar esse líquido é também diminuir custos com tratamento de água. A agricultura destaca-se como um dos principais consumidores de água no mundo, sendo este um potencial consumidor de esgoto tratado. Contudo, a utilização desse líquido exige cuidados e tecnologia adequada, além de um rigoroso controle de qualidade dos produtos cultivados. Nesse sentido, este trabalho procurou uma proposta que fizesse o uso do efluente tratado, mas que tenha todo o controle necessário para produzir alimentos de qualidade. A partir de análises, foi colocado que o melhor local para tal seria dentro da área da própria ETE por meio de um programa de agricultura familiar. Na escolha do método de irrigação e produção foi levado em consideração os parâmetros do próprio solo, a qualidade final do esgoto e a existência de população residente nas zonas adjacentes. Por fim, optou-se pela utilização de sulcos na irrigação, justificado pelo seu baixo custo de implantação e manutenção, além de não liberar aerossóis. Outro ponto importante, é a facilidade na separação entre o efluente tratado e o alimento que será consumido. O que foi apresentado nesse documento trata-se de uma análise inicial, sendo necessário para estudos posteriores análises mais profundas *in loco*.

PALAVRAS-CHAVE: Efluente tratado, Irrigação, Agricultura, Alternativas de Reúso, Tratamento de Esgoto, Saúde Pública.

INTRODUÇÃO

A água trata-se de um recurso natural peculiar, tem-se sua renovação através de processos físicos do ciclo hidrológico. Entretanto, pelas suas potencialidades, tem-se um problema: a escassez de tal recurso (VILLIERS, 2002). Resultante do crescimento demográfico, da relação desigual de demanda e oferta de água, do conjunto diversificado de atividades humanas, e do desperdício descontrolado deste recurso vital.

Todos os anos, milhões de pessoas e animais, morrem em decorrência da falta de disponibilidade hídrica, indústrias ficam ociosas, impedidas de evoluir e desenvolver normalmente suas atividades. O aumento exacerbado das populações, das ações agrícolas e industriais resultaram na degradação, surgindo então a necessidade de racionalizar e buscar alternativas para reúso e recuperação da qualidade deste recurso (NUVOLARI, 2014).

É nesse contexto que se lança um dos maiores desafios do século XXI: o reúso da água. A água através do ciclo hidrológico se constitui em um recurso renovável. Quando reciclada através de sistemas naturais, é um recurso passível de utilização, a qual é deteriorada a níveis diferentes de poluição, por meio da atividade humana. Contudo, a água poluída, pode ser recuperada, a partir de tratamentos específicos, e reutilizada para diversos fins (HESPANHOL, 1997).

As legislações pertinentes acerca da temática sobre reúso da água é ainda deficiente no Brasil, tem-se o Projeto de lei nº 5296/05, que institui as diretrizes para os serviços públicos de saneamento básico e a política nacional de saneamento básico, e traz como ponto importante ao tema, o “incentivo ao reúso da água, à reciclagem dos demais constituintes dos esgotos e à eficiência energética, condicionado ao atendimento dos requisitos de saúde pública e de proteção ambiental”. Tem-se ainda a Resolução nº 54/05, que estabelece as diretrizes, modalidades e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água.

Com base na lei nº. 9.433/97 - Política Nacional de Recursos Hídricos, a qual se propõe assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos, tem-se evidenciado a importância da manutenção da qualidade dos corpos d’água. Para tal, é necessário que se atinja a universalização na coleta e tratamento do esgoto, bem como, o atendimento das demandas crescentes, e a implementação de práticas de reúso.

À proporção que a água disponível ao consumo humano vai se tornando escassa, mais se procuram meios para o seu reaproveitamento, sendo o uso agrícola, o principal enfoque, devido a seu alto consumo de água em muitos lugares (NUVOLARI, 2014). A agricultura irrigada é o maior consumidor de água, a qual representa cerca de 70% do uso consuntivo total, tendendo a chegar a 80% no final da década (HESPANHOL, 2008). Uma das alternativas à crescente demanda, trata-se do reúso do efluente gerado nas estações de tratamento de esgoto, o qual, de maneira controlada, pode trazer características benéficas ao solo (MIRANDA *et al.*, 2001). Contudo os solos irrigados com esgoto tratado, podem sofrer um processo de salinização, sendo necessário um sistema de drenagem projetado com a finalidade de minimizar o processo.

Nesse contexto o município de Palmas, capital do Tocantins, tem uma grande potencialidade para o uso do efluente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), pois a cidade conta com o sistema de tratamento que abrange a maioria da população, com 80% da rede coletora construída e interligada (PALMAS, 2016). No entanto, não existe reúso em grande escala na cidade com o efluente oriundo das ETE’s.

Tendo em vista esta realidade, o objetivo geral desta pesquisa é a análise da viabilidade técnica-ambiental do uso agrônomo do esgoto tratado da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Aurenny, mais especificamente os estudos acerca da caracterização físico-química do efluente da ETE, caracterização de solos irrigados com efluentes, levantamentos de efeitos consequentes do uso do esgoto tratado sobre a produtividade e produção de culturas, e o conhecimento dos riscos associados à saúde pública.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa encontra-se em fase inicial, e objetiva o uso agrônomo do esgoto tratado da ETE Aurenny. Nesse sentido, para direcionar a pesquisa adotou-se cinco etapas, a saber:

- Levantamento do referencial bibliográfico, acompanhado da estruturação do aporte teórico: Nesse primeiro momento, a fundamentação teórica traz pesquisas científicas acerca do aproveitamento de efluentes provenientes de estações de tratamento de esgoto. Nesse contexto, tem-se abordagem do cenário atual brasileiro, e a verificação da viabilidade do uso agrícola do esgoto tratado em diversas culturas.

Adekalu e Okunade (2002) constataram em seus estudos que o uso de efluente tratado em lagoas de estabilização, em culturas de quiabo, provocaram aumento na produção com absorção superior de nutrientes. Dentre as variadas proporções de água corrente e efluente testadas, pelo sistema de sulco, a que apresentou melhor resultado foi a com 75% de efluente, aproximadamente o dobro do peso quando comparado a cultura irrigada somente com água corrente.

Em seus estudos Adekalu e Okunade (2002) verificaram ainda que os alimentos tinham quantidade de nutrientes e patógenos dentro de parâmetros aceitáveis. No entanto o uso de esgoto tratado resultou em maior teor de fósforo, potássio, e cobre do solo necessitando sua lixiviação intermitente para impedir a acumulação de cobre e macro nutrientes.

Azevedo e Oliveira (2005), desenvolveram uma pesquisa cujo objetivo foi avaliar técnicas de reutilização de efluentes de esgotos tratados na agricultura. Foi utilizado no estudo a cultura de pepino (*Cucumis sativus L.*) em estufa, irrigada por um sistema subsuperficial que abastecia dois grupos de cultura: um grupo irrigado com efluente de tratamento de esgoto e o outro com água tratada fornecida pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), este último foi utilizado como parâmetro de controle. Os autores avaliaram a produção por planta, a fertilidade do solo e a distribuição dos nutrientes na água do solo.

Os resultados encontrados por Azevedo e Oliveira (2005), mostraram-se satisfatórios para o uso de efluentes domésticos tratados aplicados à cultura de pepino em estufa. A produção da planta irrigada com água tratada foi de 1968,6g, enquanto que a plantação irrigada com efluente produziu 2769,6g de pepino fresco. Em relação ao solo, foi constatado maiores teores de matéria de nitrogênio, nitrogênio amoniacal, nitrato, potássio, cálcio, magnésio, zinco e enxofre. Sendo assim, os autores constataram que a utilização de efluente de esgoto, na irrigação subsuperficial do pepino (*Cucumis sativus L.*) influenciou no aumento da produção das plantas.

Machado *et al.* (2009) também realizaram um estudo sobre reúso de efluentes para irrigação de culturas, a pesquisa avaliou a qualidade de amostras de frutos de melancia produzidos com efluente de esgoto tratado, utilizando como métodos de irrigação sulcos e gotejamento e quatro tratamentos: água do poço e adubação - T1, efluente e adubação - T2, efluente sem adubação - T3 e efluente com 1/2 da adubação - T4. A pesquisa foi feita no período de setembro a dezembro de 2005 no Centro de Pesquisas sobre Tratamento de Esgotos e Reúso de Águas do Ceará, utilizando a melancieira (*Citrullus lanatus*), variedade *Crimson Sweet*. Decorrido o tempo de cultivo, foram colhidas amostras de melancias e avaliadas quanto aos aspectos microbiológicos, físico-químicos e sensoriais.

Nas amostras avaliadas, de acordo com Machado *et al.* (2009), não foi constatada presença de coliformes fecais, nem da bactéria *Salmonella sp.* O teor de sólidos solúveis e a acidez titulável foram influenciados pelos tratamentos empregados e os métodos de irrigação. Em relação ao pH dos frutos cultivados, este manteve-se entre 4,9 e 5,9. Somente as amostras sujeitadas ao tratamento T2 não apresentaram resultados díspares no que se refere ao sabor da hortalixa. Ao fim do estudo, os autores concluíram que o efluente utilizado na irrigação da cultura apresentou-se adequado no que diz respeito aos parâmetros microbiológicos da polpa de melancia. Os parâmetros físico-químicos atenderam parcialmente os limites vigentes na legislação, indicando assim que devem ser feitas algumas mudanças nos valores, já que não ocorreu diminuição na produção das culturas de melancia.

Henrique *et al.* (2005) fizeram uma pesquisa semelhante, sobre cultivo de pimentão (*Capsicum annumL.*) irrigada com efluente de esgoto doméstico tratado. A pesquisa foi realizada com cinco tipos de tratamento diferentes: irrigação com água de poço artesiano - T1, irrigação com água de poço artesiano e solo adubado com fertilizantes minerais - T2, irrigação com água de poço e solo adubado com verme composto - T3, estes comparados com a irrigação com efluente de lagoa de polimento - T4, e irrigação com efluente do reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) - T5. Os trabalhos ocorreram no Sítio Pau D'Arco, no município de Lagoa - Seca - PB nos meses de fevereiro a maio de 2003.

A partir da análise dos resultados, Henrique *et al.* (2005) inferiram que para a cultura do pimentão foi observado a maior área foliar no tratamento com irrigação utilizando água de poço e solo com adubação orgânica. Já a cultura que utilizou o efluente do reator UASB mostrou resultados, de área foliar, similares ao tratamento que fez o uso da irrigação com água de poço e solo com verme composto. Quanto ao pH, o efluente resultante da lagoa de polimento, não apresentou resultados agrônômicos satisfatórios, obteve um valor de pH >9, considerado alto, inibindo a evolução da cultura do pimentão. Por fim os autores concluíram que o elevado rendimento do pimentão irrigado com efluente do reator UASB, deixa claro que propiciar esgotos domésticos devidamente tratados para a produção agrícola, é uma atividade favorável tanto econômica quanto ambientalmente.

- **Caracterização da área de estudo:** A ETE Aureny está localizada na cidade de Palmas – TO no bairro Aureny na zona sul do Plano Diretor, está inserida nas proximidades da ponte sobre o Ribeirão Taquaruçu, e do setor Bertaville.

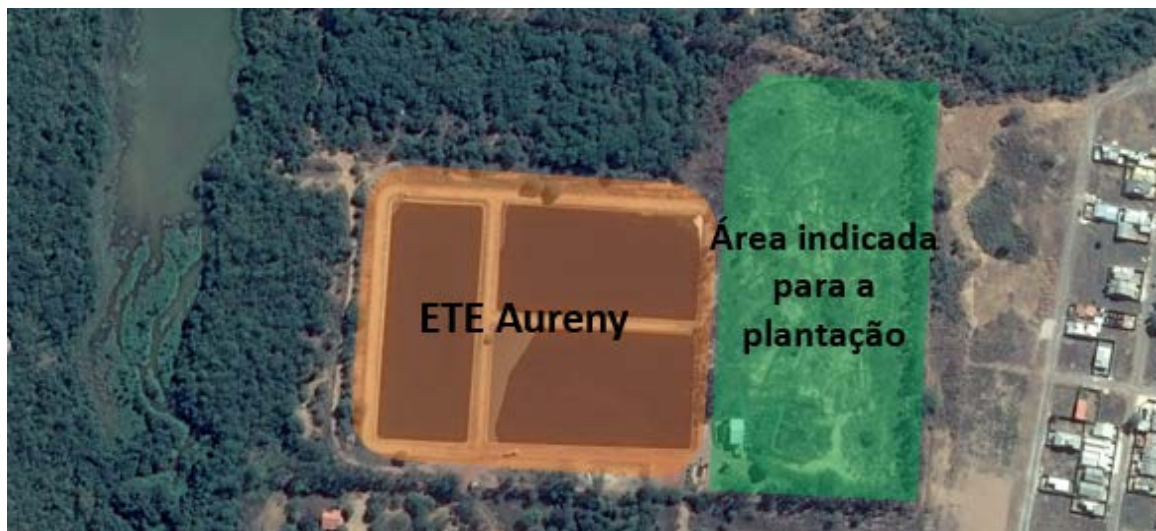


Figura 1: Vista aérea das áreas de estudo

O esgoto doméstico é, de fato, uma fonte natural de nutrientes que aumenta consideravelmente a produção de diversas culturas irrigadas. No entanto, os maiores agravantes da utilização desse esgoto no meio agrícola são os aspectos sanitários, por isso, o esgoto necessita ser devidamente tratado, pois a qualidade sanitária depende diretamente do grau de tratamento (Sousa; Leite, 2003 apud Henrique *et al.*, 2005).

A tecnologia de tratamento da ETE Aureny se dá resumidamente em: tratamento biológico através de lagoas de estabilização em série e tratamento terciário através de flotação. Além do esgoto de parte da região sul, a estação de tratamento de esgoto recebe também para tratamento os esgotos provenientes de caminhões limpa fossa.

O tratamento preliminar (figura 02) de acordo com Von Sperling (1996) consiste na etapa em que ocorre a remoção dos sólidos mais grosseiros. Sendo composta no caso da ETE Aureny por: gradeamento de limpeza manual, o qual pode conter uma ou mais grades e/ou peneiramento; pelo desarenador tipo canal, local onde ocorre remoção da areia através da sedimentação, e pela calha *Parshall*, instrumento medidor de vazão. A matéria orgânica de menor densidade segue para as unidades subsequente.



Figura 02: Tratamento preliminar da ETE Aureny

Após o tratamento preliminar, o esgoto segue então para o tratamento biológico, o qual vai para a lagoa anaeróbia (figura 03), que se caracteriza por receber elevadas cargas de DBO (demanda biológica de oxigênio)

e é recomendada para regiões de clima quente. Essa unidade deve ser com grande profundidade para garantir desenvolvimento de bactérias anaeróbias, tendo uma eficiente em torno de 50% a 70% de remoção da DBO (NUVOLARI, 2014).



Figura 03: Lagoa anaeróbia da ETE Aureny

Von Sperling (2005) aclara que as lagoas facultativas (figura 04) consistem em três zonas de tratamento de esgotos: zona aeróbia, zona facultativa e zona anaeróbia. A degradação da matéria orgânica em suspensão se dá por meio das bactérias aeróbias, os sólidos sedimentáveis constituem-se em lodo de fundo e são decompostos na zona anaeróbia através de microorganismos anaeróbios. E na zona facultativa, coexistem bactérias anaeróbias e aeróbias responsáveis também pela degradação da matéria orgânica.



Figura 04: Lagoa facultativa da ETE Aureny

Em relação às lagoas de maturação (figura 05), referem-se às lagoas de pouca profundidade, nas quais os índices de coliforme são reduzidos por meio da exposição à radiação ultravioleta da luz solar. Nessa etapa, aumenta-se a remoção de DBO_5 , e ocorre a remoção de patogênicos (CINTRA FILHO, 2013; VON SPERLING, 1996).



Figura 05: Lagoa de maturação e recalque do efluente tratado da ETE Aurenly

No que concerne ao tratamento terciário, Araújo (2013) mostra que o sistema de flotação (figura 06) refere-se ao processo no qual ocorre a aglomeração das partículas sólidas, por meio da introdução de um gás na massa líquida por meio de bolhas, estas por sua vez, reduzem a densidade das partículas sólidas que ficam suspensas e em seguida são recolhidas.



Figura 06: Tratamento terciário – sistema de flotação da ETE Aurenly

A área destinada a plantação das culturas, está próxima à estação de tratamento de esgoto, possui uma área total de 43012 m². A proposta é dividir a área em 30 lotes, tendo como área unitária 1430 m² com dimensões de 22x65m, reservando um lote para acesso de caminhões que serão abastecidos por um reservatório apoiado, que também servirá como poço de sucção. Além do reservatório apoiado, projeta-se também um reservatório elevado para fins de armazenamento para a irrigação. No entanto, inicialmente a pesquisa será desenvolvida para teste em uma área de escala menor.

- Caracterização do efluente e do solo utilizados para cultivo: Os dados referentes ao efluente tratado foram obtidos junto a concessionária de água e esgoto, que de modo contínuo verificam e fornecem a qualidade do esgoto tratado. Essa análise físico-química periódica do efluente viabiliza o acompanhamento da eficiência do sistema de tratamento da ETE Aurenly, verificando se será necessário ou não a execução de medidas de correção e/ou de prevenção (SAMAE, s/a). Os dados foram examinados levando em consideração as legislações e normas pertinentes, além de diretrizes preconizadas pela Organização Mundial da Saúde (OMS).

Em relação ao solo, foram realizados estudos acerca de propriedades físico-hídricas de solos que influenciam no seu comportamento no meio ecológico, e no manejo do sistema, bem como no deslocamento de água e solutos, no desenvolvimento das culturas (MOTA; VON SPERLING, 2009). Nesse sentido, foram verificados através de pesquisas e análises de bases de dados, sua capacidade de infiltração original e após o uso do efluente, bem como as concentrações de nutrientes (como os teores de sódio, cálcio, magnésio, fósforo e nitratos), além de avaliar sua condutividade hidráulica.

- Avaliação e determinação do método de irrigação e do tipo de cultura e análise de riscos associados à saúde pública: Nesta etapa realizou-se análises dos tipos de irrigação levando em consideração os aspectos econômicos, de eficiência no uso da água e os aspectos relacionados a saúde pública. O sistema de irrigação deve ser adequado as características das áreas (topografia), características do solo (pedologia) e da altura do lençol freático (hidrogeologia), e evidentemente com a cultura cultivada (MOTA; VON SPERLING, 2009).

Hespanhol (2003) cita alguns métodos básicos de irrigação de culturas com efluente de estações de tratamento de esgoto, entre eles: por inundação, por sulcos, por aspersores, por irrigação subsuperficial e por irrigação localizada.



Figura 07: Diferentes métodos de irrigação existentes

No método de irrigação por inundação, a superfície é totalmente coberta pela água e sua movimentação ocorre ao longo da superfície do solo, ou seja, sem necessariamente através de caminhos preferenciais, ou sulcos. Logo, para esse método, necessita-se de áreas com baixas declividades, que não apresentem ondulações ou desníveis significativos ao longo de sua extensão (BERNARDES, 1986)

A irrigação por sulcos, é caracterizada pela aplicação da água no decorrer de pequenos canais dispostos paralelamente ao alinhamento da cultura cultivada. Com isso, ocorre a infiltração da água por toda a extensão do perímetro molhado, de tal forma que a movimentação lateral e vertical, permite o umedecimento do perfil do solo. O espaçamento entre os sulcos, deve ser tal que, garanta a manutenção da homogeneidade da umidade do solo, esse espaçamento é dependente das características do solo em questão, e esse tipo de método é recomendado para áreas onde as declividades não são significativas (MANTOVANI, 2007 *apud* PLETSCH, 2012 e BERNARDES, 1986)

Em relação ao método por aspersores, este, por sua vez, refere-se, conforme afirma Mattos (2003), ao método em que a aplicação da água no solo ocorre de maneira semelhante a chuva, pois se tem o fracionamento em gotas do jato d'água responsável pela irrigação da cultura. Esse tipo de irrigação, pode ser aplicada em áreas com topografia planas ou irregulares. Azevedo (2004) salienta que esse tipo de sistema de irrigação quando relacionado a efluentes tratados, oferece elevados riscos associados a cultura e aos trabalhadores, pois as partículas são arrastadas pela ação do vento ao longo do ambiente.

Segundo Bernardes (1986) a irrigação subsuperficial, trata-se do método geralmente utilizado em áreas de pequena escala, que consiste na condução da água à zona radicular da planta por meio do escoamento subsuperficial, uma parcela do solo é irrigada e através da porosidade do solo ou através de tubulações perduradas, permite que o subsolo seja saturado.

No que concerne a irrigação localizada, esta refere-se aos métodos de irrigação por exsudação de mangueiras plásticas, gotejamento e *bubbler* (irrigação por borbulhamento), que visa o melhor aproveitamento de água, e sua aplicação se dar de forma individual a cada planta, e a taxa de aplicação pode ser ajustada (BARROSO, *et al* 2011).

Para a seleção do método de irrigação pauta-se alguns fatores, como: o solo, a cultura, a disponibilidade de água, a operação e o manejo do sistema, como também, a viabilidade econômica (OLLITA, 1984 *apud* AZEVEDO, 2004). Todavia, quando se trata de irrigação com efluentes, outros aspectos são relevantes, como: os índices de contaminação das culturas, do ambiente, os aspectos relacionados a saúde pública, bem como os riscos de toxicidade (FAO, 1992).

Os efluentes destinados às práticas de reúso agrícola precisam ser avaliados quanto aos aspectos de sodicidade, salinidade, quantidade de nutrientes e principalmente aspectos sanitários: vírus, bactérias, ovos de helmintos,

cistos de protozoários, dentre outros agentes patógenos, que causam graves problemas para a saúde pública. O esgoto doméstico quando empregado sem tratamento apropriado pode contaminar o ambiente, os agricultores envolvidos no plantio das culturas irrigadas e o consumidor final (Metcalf; Eddy, 2003; Shuval *et al.*, 1997 *apud* Sousa *et al.*, 2005).

Nessa perspectiva, através da caracterização parasitológica do efluente, verificou-se também sua potencialidade referente à contaminação por microorganismos patogênicos por parte dos trabalhadores agrícolas e pelo próprio consumidor. Foram analisadas as concentrações presentes no esgoto tratado dos principais agentes patógenos: bactérias, protozoários, vírus e helmintos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As lagoas de estabilização constituem-se como o sistema de tratamento de esgoto mais adequado para uso conjunto da agricultura e de efluente de estações de tratamento de esgoto, visto que, trata-se de um sistema de alto rendimento na remoção dos componentes biológicos, e ainda apresenta baixa remoção de nutrientes (PIVELI *et al.*, 2008 *apud* DEON *et al.*, 2010). A partir disso verifica-se que o efluente gerado na ETE Aurenly, tem grande potencial de utilização agrônômica.

Tabela 1: Qualidade do efluente na estação de tratamento de esgoto, ETE Aurenly (2011).

| Parâmetros | Unidade | Esgoto Bruto | EL1 (lagoa anaeróbia) | EL2 (lagoa facultativa) | EL3 (lagoa maturação) | Porcentagem de remoção |
|-----------------------------------------|-----------|--------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|
| Temperatura ⁶ | °C | 31,0 | 31,0 | 31,9 | 31,2 | - |
| pH ⁶ | - | 7,21 | 7,87 | 8,32 | 8,35 | - |
| DBO ¹ | mg/L | 440 | 160 | 125 | 13 | 97,16% |
| DQO ² | mg/L | 1161 | 477 | 395 | 198 | 82,95% |
| Óleos e Graxas Totais ³ | mg/L | 184,4 | * | * | 11,1 | 93,98% |
| Sólidos Totais ³ | mg/L | 908 | 650 | 644 | 530 | 41,60% |
| Sólidos Fixos ³ | mg/L | 496 | 366 | 356 | 364 | 26,54% |
| Sólidos Voláteis ³ | mg/L | 412 | 284 | 288 | 165 | 59,90% |
| Sólidos Sedimentáveis ⁴ | mL/L | 6,3 | * | * | 0,2 | 96,80% |
| Sólidos Suspensos Totais ³ | mg/L | 399 | 284 | 229 | 67 | 83,21% |
| Sólidos Suspensos Fixos ³ | mg/L | 70 | 50 | 41 | 12 | 82,86% |
| Sólidos Suspensos Voláteis ³ | mg/L | 329 | 234 | 189 | 56 | 83,13% |
| Nitrogênio Amoniacal ² | mg/L | 59,349 | 68,238 | 60,597 | 58,525 | 1,39% |
| Nitrito ² | mg/L | 0,030 | * | * | 0,080 | -171,19% |
| Nitrato ² | mg/L | 6,2 | * | * | 1,8 | 71,54% |
| Fósforo Total ² | mg/L | 8,440 | 9,401 | 9,237 | 8,315 | 1,48% |
| Coliformes Termotolerantes ⁵ | NMP/100mL | 2,51E+07 | * | * | 3,00E+03 | 99,99% |

Para o efluente tratado na ETE Aurenly, todos os parâmetros analisados atendem aos padrões de lançamento preconizados na Resolução do CONAMA 430/11. A média de eficiência de remoção de DBO para esta estação é de ordem 94% (PALMAS, 2014). Em relação ao pH, tem-se que o valor recomendado deve estar entre 6,5 e 8,4 para as águas de irrigação. A concentração de H⁺ e OH⁻ nessas águas atuam nas propriedades e estrutura do solo, na absorção e disponibilidade de nutrientes das plantas e no sistema de irrigação (AYERS & WESTCOT, 1991 *apud* DUARTE *et al*, 2007).

Embora a prática do reúso seja benéfica tanto ao solo como a cultura implantada, se utilizada sem a técnica adequada, algumas características do solo podem ser afetadas negativamente. As quantidades elevadas de sódio e/ou as baixas concentrações de magnésio e cálcio na água podem ocasionar dispersão e a redução da porosidade do solo, conseqüentemente diminuindo a sua capacidade de infiltração (PEDRERO *et al.*, 2010 *apud* BERTOSSI, 2013). Segundo Johns & McConchie (1994) *apud* Ramos (2006), com a utilização de águas residuárias na irrigação verifica-se que nas camadas mais próximas da superfície do solo as concentrações de cálcio, nitratos e fósforo aumentam. Eles denotam ainda que a concentração de Na⁺ teve acréscimo até as camadas profundas do solo. Em relação ao pH, Magesan *et al* (2000) *apud* Ramos (2006) afirmam que solos irrigados com o efluente oriundo das estações de tratamento, tem seus valores de pH majorados.

No que concerne a qualidade do efluente a OMS (2006) determina os valores máximos permitidos para os parâmetros microbiológicos. Para os coliformes fecais recomenda valores entre 10³ a 10⁶ em 100 ml de *Escherichia coli*, já para os ovos de helmintos valores menores que 1,0 (um) por litro de esgoto tratado, variando de acordo com a cultura implantada. Analisando as características presentes no efluente da ETE Aurenly verifica-se que ele se encontra dentro dos parâmetros determinados pela OMS, exceto pelo número de ovos de helmintos o qual não se tem dados. Em relação aos métodos de irrigação a tabela 2, traz suas principais características e as medidas protetivas necessárias.

Tabela 2: Fatores que afetam a escolha do método de irrigação e medidas protetivas requeridas referentes ao uso agrônomo de esgoto tratado

| Método de irrigação | Fatores que afetam a escolha | Medidas protetivas necessárias |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Inundação | Menores custos. Não é necessário nivelamento preciso do terreno. | Proteção completa para operários agrícolas, consumidores e manuseadores de culturas. |
| Sulcos | Custo baixo. Nivelamento necessário. | Proteção para operários agrícolas. Possivelmente necessária para consumidores e manuseadores de culturas. |
| Aspersores | Eficiência média do uso da água. Não há necessidade desnivelamento. | Algumas culturas da categoria B, principalmente árvores frutíferas, são excluídas. Afastamento mínimo de 100 m de casas e estradas. |
| Subsuperficial ou localizada | Custos elevados. Elevada eficiência do uso da água. Alta produtividade agrícola | Afastamento mínimo de 100 metros de casas e estradas. Filtração para evitar entupimento de orifícios. |

Fonte: MARA & CAIRNCROSS (1989) *apud* BARROSO; WOLFF (2011)

O solo de cultivo refere-se ao tipo latossolo vermelho-escuro (figura 07), que segundo Ker (1991) são solos constituídos por uma variedade de materiais de origem, possuem coloração avermelhada com teores de ferro entre 8 a 18% resultante de ataque sulfúrico.

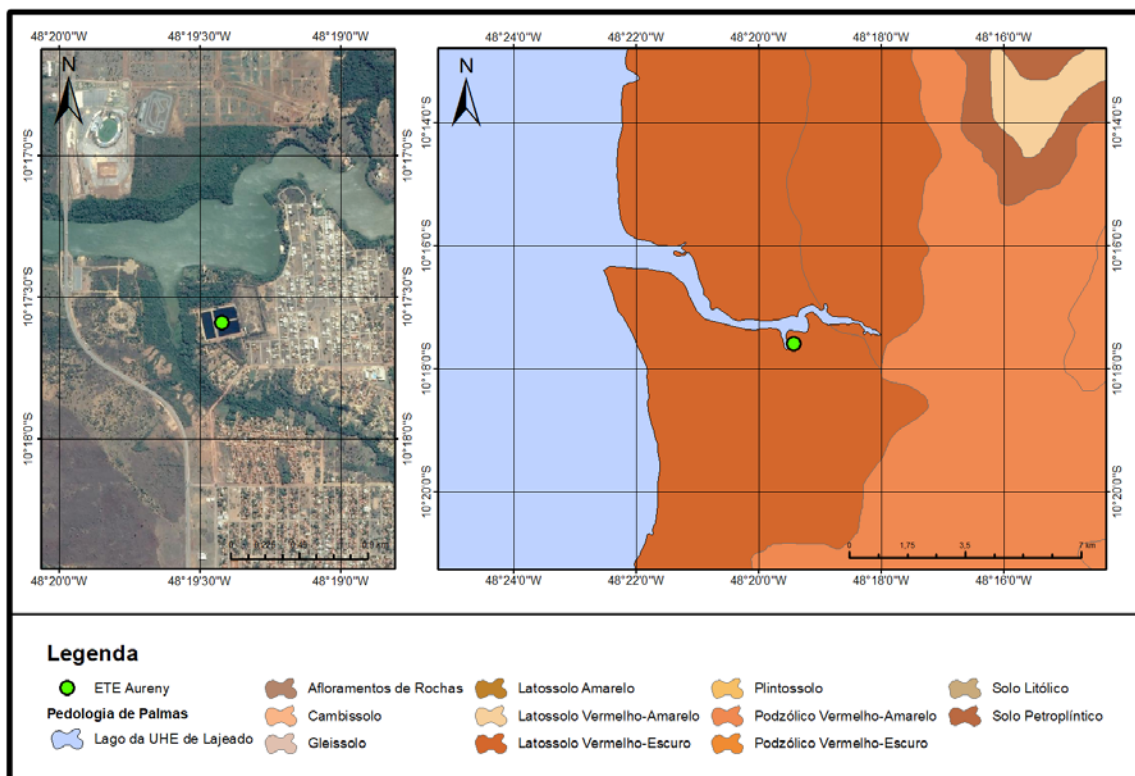


Figura 07: Mapa de caracterização do solo da ETE Aureny

Varallo *et al* (2010) em sua pesquisa de análise de alterações nos atributos no solo latossolo vermelho-amarelo após a aplicação de água de reúso, verificaram que a irrigação com efluentes não altera suas características físicas, e os acréscimos em alguns parâmetros químicos não atingiram índices capazes de provocar danos a determinadas culturas.

Gloaguen (2005) salienta que por ser rico em nutrientes o esgoto tratado quando utilizado como insumo na agricultura através da irrigação, apresenta-se vantajoso pois além de permitir economia de água, permite também economia de adubos. No entanto, a aplicação desse sistema exige cuidados relacionados ao ambiente, pois matéria orgânica e nutrientes em excesso pode poluir e alterar as propriedades físicas, químicas e hídricas do solo.

Nessa perspectiva, Gloaguen (2005) em seu estudo objetivou verificar as consequências da aplicação de efluente tratado em um latossolo, nas suas propriedades físicas e hídricas. Em relação a condutividade hidráulica do solo, os resultados mostraram alterações, verificou-se diminuição significativa de K_{sat} (condutividade hidráulica em meio saturado) e de $K(\theta)$ (condutividade hidráulica do solo não saturado). No que concerne a porosidade do solo irrigado, a irrigação com efluente resultou na diminuição da microporosidade. Além disso, não foi verificada alterações nos parâmetros físicos, como textura, volume de sólidos e macroporos.

A condutividade hidráulica segundo Varallo (2010) refere-se à velocidade com que um líquido permeia um meio poroso. Está relacionada a diversos fatores, como: forma e continuidade do sistema poroso, textura do solo, ou seja, apresenta variações de acordo com o local (CARVALHO, 2002 *apud* GLOAGUEN, 2005). A redução na condutividade hidráulica pode acarretar problemas concernentes a escoamento superficial ou alagamentos, que consequentemente podem resultar em contaminação das águas superficiais e em erosão (VINTEN; MINELGRIN; YARON, 1983 *apud* GLOAGUEN, 2005).

De acordo com Varallo (2010), a porosidade de um solo, refere-se a uma parcela por onde ocorre a circulação da água, ar e nutrientes, além disso relaciona-se diretamente com o comportamento físico-hídrico do solo conforme se distribui o diâmetro de seus poros.

O grau de fertilidade de um solo é dependente de diversos fatores, como: matéria orgânica, potássio, fósforo, potássio, pH (acidez ativa), magnésio, alumínio + hidrogênio (acidez potencial), cálcio, saturação por base, entre outros. Com isso, percebe-se a importância de análises criteriosas e aprofundadas acerca do uso de efluente como fonte de irrigação, visto que, as propriedades físicas e químicas estão expostas a mudanças que podem trazer prejuízos às culturas e aos solos envolvidos nesse sistema (VARALLO, 2010).

A escolha pelo método de irrigação por sulcos é justificada pelo custo reduzido de implantação e aplicação, além de ser um método em que não há liberação de aerossóis no ar, fator bastante relevante quando se trata de uso de esgoto tratado na agricultura (PLETSCH, 2012). O esquema dos sulcos de irrigação descrito na figura 08, trata-se de um sistema de menor valor econômico que objetiva a redução de gastos com a irrigação, possibilitando a inserção de pequenos agricultores aos benefícios da agricultura irrigada de hortaliças, aumentando seu retorno econômico.

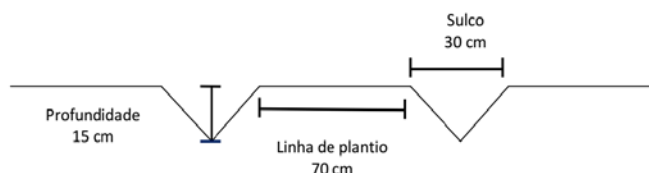


Figura 08: Esquema dos sulcos de irrigação

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A agricultura requer grandes volumes de água e produz resíduos em grandes quantidades. No panorama de escassez da água tornam-se fundamentais medidas de tratamento da água, esgotos, e efluente de toda espécie, bem como o reúso nas atividades agrícolas, ou qualquer outra área que condiz com as características do efluente tratado. É importante que sejam analisados periodicamente os produtos oriundos do tratamento de esgoto. As análises resultantes devem ser compatibilizadas com a legislação vigente, para que se defina sua destinação final, quer seja em corpos d'água, piscicultura ou irrigação agrícola.

O reúso do esgoto tratado possibilita o fornecimento de água para o cultivo e conjuntamente com o solo atua como um sistema de pós-tratamento deste efluente, depurando a carga orgânica residual. Contudo, existem riscos de elevar os íons de sódio e nitrato do solo, e contaminação do lençol freático com patógenos do reúso agrícola do efluente sanitário. Com isso, se denota que a prática do uso sustentável de efluentes e outros resíduos orgânicos em solos, devem receber incentivos, além de receber monitoramento periódico das áreas tratadas. Já a escolha do método de irrigação está diretamente associada as características locais, da qualidade do efluente e do tipo de cultura. A aplicação do método deve proporcionar a garantia sanitária ao cultivo, ao solo e as pessoas envolvidas nos processos, os agricultores e consumidores.

CONCLUSÃO

O reúso do efluente oriundo de estações de tratamento de esgoto trata-se de uma prática ainda não regulamentada, mas observa-se através das produções científicas que tem se difundido bastante, concomitantemente a escassez hídrica e a cobrança do uso da água.

Desde que se tenha um tratamento e manejo adequados o efluente proveniente de estações de tratamento de esgoto configura-se em um grande potencial de uso agrônomico referente a irrigação de diversas culturas. Caso contrário, esse uso do esgoto tratado pode tornar-se um problema de saúde pública e ambiental.

Portanto, evidencia-se a necessidade da potencialização da prática de reúso, a fim de priorizar a qualidade dos corpos d'água receptores de efluentes de estações de tratamento de esgoto, e aliado a isso, promover a institucionalização, a regulamentação, a propagação de conhecimento e desenvolvimento de tecnologias que se enquadrem na realidade cultural, técnica e socioeconômica brasileira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ADEKALU, K. O.; OKUNADE, D. A. **Effects of pond water and sewage effluent treatments on yield an nutrient up take of maize.** Tropical Agriculture, v.79, n.2, p.120-124, 2002.
2. ARAÚJO, José Eduardo. **Processos de tratamento terciário para redução de DQO e cor dos efluentes de uma fábrica integrada de celulose kraft branqueada e papel.** 2013. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.
3. AZEVEDO, Leonardo Pretto de. **Avaliação da qualidade microbiológica e da produção de alface americana (*Lactuca sativa* L.)** sob diferentes sistemas de irrigação, utilizando águas residuárias. 2004. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.
4. _____. **Avaliação da qualidade microbiológica e da produção de alface americana (*Lactuca sativa* L.)** sob diferentes sistemas de irrigação, utilizando águas residuárias. 2004.
5. AZEVEDO, Leonardo P. de; OLIVEIRA, Eduardo L. de. Efeitos da aplicação de efluente de tratamento de esgoto na fertilidade do solo e produtividade de pepino sob irrigação subsuperficial. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p.253-263, abr. 2005.
6. BARROSO, L.B.; WOLFF, D.B. Reúso de esgoto sanitário na irrigação de culturas agrícolas. **Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal**, v. 8, n. 3, p. 225-236, jul./set. 2011.
7. BERNARDES, Ricardo Silveira. **Estabilização de poluentes por disposição no solo.** (Revista DAE) - Sabesp. p: 129-146. São Paulo, julho de 1986.
8. BERTOSSI, Ana Paula A. Influência da aplicação de águas residuárias sobre a infiltração de água no solo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, p. 188-194, 2013.
9. BRASIL. Lei no. 9.433. de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, Brasília, DF.
10. BRASIL. Projeto de Lei Nº 5296/2005 - Institui as diretrizes para os serviços públicos de saneamento básico e a Política Nacional de Saneamento Básico - PNS. Brasília, 2005.
11. BRASIL. Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios para o reúso direto não potável de água, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, v. 3, n. 1, p. 31, 28 nov. 2005a. Seção 1, p. 31-36.
12. BRASIL. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Conselho Nacional do Meio Ambiente: CONAMA, Brasília, DF, maio de 2011.
13. CINTRA FILHO, Orlando Antunes. **Impacto na qualidade da água do lençol freático pela irrigação com efluente de lagoa facultativa em área cultivada com eucalipto.** 2013. 119 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.
14. DEON, M. D. et al. Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 10, p. 1149-1156, 2010.
15. DUARTE, S. A. et al. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 12, n. 3, p. 302-310, 2008.
16. f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.
17. FAO. *Wastewater treatment and use in agriculture.* Irrigation and Drainage Paper no. 47. Roma, Itália: FAO, 1992. 125p.
18. GLOAGUEN, Roberta Alessandra Bruschi Gonçalves. **Efeito da irrigação com efluente de esgoto nas propriedades físico-hídricas de um latossolo.** 2005. 120 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
19. HENRIQUE, Israel Nunes et al. Utilização de Esgotos Tratados no Desenvolvimento da Cultura Pimentão (*Capsicum annum* L.). **In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005, Campo Grande-MS. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.**
20. HESPANHOL, Ivanildo. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Estudos Avançados**, v.22, n.63, p.131-158, 2008.
21. _____. Esgotos como recurso hídrico parte I: dimensões políticas, institucionais, legais, econômico-financeiras e sócio-culturais, Engenharia – **Revista do Instituto de Engenharia**, ano 55, n. 523, 1997 p. 45-48.

22. _____. **Potencial de reúso de água no Brasil:** agricultura, indústria, município recarga de aquíferos. In: MANCUSO, P. C. S. & SANTOS, H. F. (editores). *Reúso de água*. Barueri-SP: Manole, p.37-95, 2003.
23. KER, J. C. **Latossolos do Brasil:** uma revisão. *Geonomos*, v. 15, n. 1, p. 17-40, 1991.
24. MACHADO, Terezinha Feitosa et al. Qualidade de frutos de melancia produzidos com reúso de água de esgoto doméstico tratado. **Tecnologia**, Fortaleza, v. 30, n. 1, p.53-60, jun. 2009. Semestral.
25. MATTOS, Karen Maria da Costa. **Viabilidade da irrigação com água contaminada por esgoto doméstico na produção hortícola**. 2003. 168 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Faculdade de Ciências Agrônômica, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.
26. MIRANDA, R. J. A.; et al. Evolução da salinidade em solo irrigado com esgoto sanitário tratado. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001, João Pessoa – PB. **Anais...** ABES, 2001, p. 1-6.
27. MOTA, S. B.; VON SPERLING, M. (Coordenadores); **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção**. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB 05. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 428p.
28. NUVOLARI, Ariovaldo et al (Org.). **Coleta de esgoto:** coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2014. 565 p.
29. OMS - Organização Mundial da Saúde. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. vol. 1: Policy and regulatory aspects. 2006. Disponível em: <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/78265/1/9241546824_eng.pdf> Acesso em: 28 dez. 2016.
30. PALMAS. Decreto n. 700, de 15 de janeiro de 2014. Institui o Plano Municipal de Saneamento Básico: Água e Esgoto. Lex: coletânea de legislação, Palmas, v. 2.
31. PALMAS. Secretaria de Infraestrutura, Serviços Públicos, Trânsito e Transporte. **Universalização do Saneamento Básico de Palmas**. Palmas: [s.n.], 2016.
32. PLETSCH, Talita Aparecida. **Irrigação de milho por sulcos com efluente de esgoto doméstico tratado**. 2012. 83 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Unesp, Botucatu, 2012.
33. RAMOS, Juliana Mistrioni. O uso da água residuária na adubação: vantagens e limitações. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, Botucatu, v. 10, p.1-20, ago. 2007. Semestral. Disponível em: <http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/EjZUCdIP76xL3HI_2013-4-26-15-52-12.pdf>. Acesso em: 09 jan. 2017.
34. SAMAE (Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto do Município de Caxias do Sul). Apostila do operador de estação de tratamento de água e esgoto. s/a. Disponível em: <<http://samaecaxias.com.br/Concurso/DownloadArquivoConcurso/Apostila%20Operador%ETAE.pdf/>>. Acesso em: 02 jan. 2017.
35. SANEATINS. **Boletim de análises (média)**. Palmas: Saneatins, 2011.
36. SOUSA, José Tavares de et al. Tratamento de esgoto para uso na agricultura do semi-árido nordestino. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 3, p.260-265, set. 2005.
37. VARALLO, Antônio C. T. et al. Alterações nos atributos de um Latossolo Vermelho-amarelo irrigado com água de reúso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** [online]. 2010, vol.14, n.4, pp.372-377. ISSN 1807-1929. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000400005>
38. VILLIERS M. de. *Água*. 1 ed. Editora Ediouro, 2002. 457p.
39. VON SPERLING, M. **Lagoas de estabilização - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte, UFMG. 2 ed. 196 p. 1986
40. _____, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. 3ª ed. Belo Horizonte, 2005.