

Capítulo 6

Sistemas biológicos simplificados aplicados ao Saneamento Básico Rural

Wilson Tadeu Lopes da Silva

1. Introdução

No Brasil, a oferta de serviços de saneamento básico ainda é considerada insuficiente para atender à demanda da população. Conseqüentemente, há prejuízos à qualidade de vida, devido às doenças de veiculação hídrica ou feco-orais, além da contaminação das águas superficiais e subterrâneas. Em relação aos serviços de coleta, transporte e tratamento de esgoto, tem-se que em 55,2% dos municípios brasileiros há redes coletoras e apenas 28,5% realizam algum tipo de tratamento de esgoto (IBGE, 2010). Vale ressaltar que nas áreas rurais esse cenário é mais crítico, onde ainda é bastante comum o emprego de fossas rudimentares como forma de disposição dos efluentes. No entanto, tal prática oferece potencial risco de contaminação e proliferação de doenças.

Diante desse panorama, a Embrapa desenvolveu dois sistemas destinados especificamente para a área rural, a Fossa Séptica Biodigestora e o Jardim Filtrante, a custos acessíveis e de fácil operação por parte dos próprios agricultores. A Fossa Séptica Biodigestora, que trata dos efluentes provenientes dos aparelhos sanitários, viabiliza o tratamento de esgoto por meio da digestão anaeróbia, resultando em um efluente que pode ser utilizado nas atividades agrícolas como adubo orgânico, diminuindo a necessidade de insumos (água e fertilizantes químicos). O Jardim Filtrante é uma área alagada artificial, na qual são inseridas macrófitas aquáticas e plantas ornamentais. O objetivo desse sistema é complementar o tratamento, uma vez que a Fossa Séptica não trata a água cinza (proveniente de pias, tanques e chuveiros).

Dessa forma, o presente capítulo tratará dos detalhes técnicos e científicos relativos às duas tecnologias, incluindo o uso do efluente tratado como fertilizante agrícola.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 *Tratamento de Esgoto*

O cenário brasileiro atual, referente ao saneamento básico, mostra-se insuficiente para garantir à população condições adequadas de infraestrutura. De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico realizada em 2008 e divulgada pelo IBGE em 2010, em apenas 28,5% dos municípios brasileiros havia tratamento de esgoto. Na região Sudeste, embora 95,1% dos municípios possuíssem coleta de esgoto, somente 48,4% faziam algum tipo de tratamento.

Esgoto é o termo utilizado para caracterizar os despejos provenientes dos diversos usos da água, tais como doméstico, comercial, industrial, agrícola, estabelecimentos públicos, etc. Os esgotos domésticos – a parcela mais significativa dos esgotos sanitários – provêm, principalmente, de residências públicas e comerciais que concentram aparelhos sanitários, lavanderias e cozinhas, compondo-se basicamente de águas de banho, urina, fezes, restos de comida, sabões, detergentes e águas de lavagem (UEHARA; VIDAL, 1989 citado por PARESCHI, 2004).

Sendo assim, os esgotos sanitários contêm diversas substâncias em sua composição, como matéria orgânica, nutrientes (principalmente nitrogênio e fósforo), óleos e graxas, microrganismos patogênicos, dentre outros. Tais características conferem aos esgotos sanitários o potencial de causar poluição nos corpos d'água superficiais e subterrâneos, quando lançados sem tratamento em rios e córregos ou dispostos inadequadamente no solo. A característica do esgoto se dá em função dos usos aos quais a água foi submetida, que variam com o clima, situação social e econômica e hábitos da população (VON SPERLING, 2005).

Conforme Espíndola e Brigante (2009), a falta de saneamento traz diversas consequências negativas, como aumento das despesas do governo com saúde pública e aumento da poluição e comprometimento dos recursos hídricos, implicando em maiores gastos com o tratamento da água usada para consumo humano.

Em geral, o tratamento de esgoto pode ser feito por combinação de processos físicos, químicos e biológicos, que reduzem a carga orgânica do esgoto antes de seu lançamento em corpos d'água. São considerados como tratados os esgotos sanitários que recebem, antes de serem lançados nos corpos d'água receptores, pelo menos o tratamento secundário, com a

remoção do material grosseiro, da matéria orgânica particulada e de parte da matéria orgânica dissolvida do efluente. Considera-se como forma de tratamento do esgoto sistemas como filtro biológico, o lodo ativado, as lagoas aeróbia, facultativa, de estabilização, aerada, mista e de maturação, o vale de oxidação, a fossa séptica e o reator anaeróbio (IBGE, 2010).

Assim, pode-se considerar que o tratamento dos esgotos sanitários é feito por meio de uma combinação de operações físicas, que visam à separação da fase líquida da fase sólida (ex: gradeamento, floculação, sedimentação, flotação, filtração), processos químicos, nos quais a remoção ou conversão de contaminantes ocorre devido às reações químicas (ex: precipitação, adsorção, desinfecção) e processos biológicos, nos quais a remoção de contaminantes se dá por meio de atividades biológicas (ex: remoção da matéria orgânica, nitrificação, desnitrificação) (VON SPERLING, 2005).

2.1.1 Tratamento de Esgoto na Área Rural

Segundo a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e o Abastecimento (FAO), a agricultura de base familiar reúne 14 milhões de pessoas, mais de 60% do total de agricultores, e detém 75% dos estabelecimentos agrícolas no Brasil. No entanto, verifica-se que nessas comunidades é comum a utilização de fossas rudimentares, as quais apresentam potencial risco de contaminação das águas subterrâneas e da própria população.

O esgoto gerado na residência é depositado na fossa, que consiste de uma simples escavação feita no solo, sem qualquer revestimento interno de suas paredes. No interior da fossa, ocorrem reações na matéria orgânica presente nas fezes, em virtude da intensa atividade microbiana, com a liberação de um líquido de odor desagradável e também com altas concentrações de nitrato (NO_3^-) e coliformes termotolerantes, denominado chorume. Este líquido se infiltra nas paredes da fossa e penetra no solo, podendo atingir e contaminar as águas subterrâneas (FAUSTINO, 2007).

Quanto à saúde pública, o principal risco associado à disposição inadequada dos efluentes domésticos é a possibilidade de transmissão de doenças pelos organismos patogênicos presentes no esgoto, que incluem bactérias, vírus, protozoários e helmintos. Tais doenças são chamadas de “doenças de veiculação hídrica” ou “doenças de transmissão feco-oral”, relacionadas com a ingestão do organismo patogênico presente na água contaminada. Alguns exemplos são a cólera, a giardíase, a febre tifoide, a leptospirose, a amebíase, e a ascaridíase, dentre outras (VON SPERLING, 2005).

Verifica-se que tais problemas relacionados à disposição final do esgoto doméstico podem ser evitados ou minimizados se forem adotadas alternativas mais eficientes, de baixo custo e de fácil construção e manutenção pelo próprio agricultor, tais como a Fossa Séptica Biodigestora.

2.1.2 *Biodigestão anaeróbia aplicada aos processos biológicos de tratamento de esgoto*

Os processos biológicos de tratamento de esgoto visam principalmente à remoção de matéria orgânica, sendo realizados por uma grande variedade de microrganismos, incluindo bactérias, protozoários, fungos e outros. A base de todo processo biológico é o contato efetivo entre os organismos e o material orgânico contido nos esgotos, de tal forma que esse possa ser utilizado como alimento pelos microrganismos. Estes convertem a matéria orgânica em gás carbônico, água e material celular (crescimento e reprodução), havendo também a produção de metano em condições anaeróbias (VON SPERLING, 2005).

Ainda segundo Faustino (2007), os processos biológicos usados em tratamento de esgoto são aqueles em que os microrganismos utilizam a matéria orgânica biodegradável em um reator biológico para obtenção de energia para as suas atividades e como fonte de matéria-prima para a sua reprodução. Nestes processos, duas reações principais ocorrem: a respiração, em que os microrganismos utilizam a matéria orgânica para a obtenção de energia, gerando os chamados produtos finais da respiração (CO_2 e H_2O), e a reação de síntese e reprodução dos microrganismos. Ainda, pode-se considerar que na falta de uma fonte externa de matéria orgânica, os microrganismos consomem matéria orgânica de sua própria composição, através de uma reação denominada respiração endógena.

De acordo com Alem Sobrinho (2001) citado por Faustino (2007), no processo biológico, as reações de respiração podem ser pela via aeróbia, quando os microrganismos utilizam oxigênio dissolvido (OD) para converter a matéria orgânica biodegradável em dióxido de carbono e água. Na ausência de OD, porém com a presença de nitrato (N-NO_3), em uma condição denominada anóxica, este pode ser utilizado em substituição ao OD para a reação de respiração, resultando também, como produtos finais da respiração dióxido de carbono e água e liberação de N-gasoso, em uma reação denominada de desnitrificação. Na ausência de OD e de N-NO_3 , a reação de respiração é anaeróbia e tem como produtos finais principais o dióxido de carbono e o metano.

De acordo com Campos (1999), a digestão anaeróbia é um processo biológico no qual um consórcio de diferentes tipos de microrganismos, na ausência de oxigênio, promove a transformação de compostos orgânicos complexos (carboidratos, proteínas e lipídios) em produtos mais simples, como metano e gás carbônico. No ambiente anaeróbio, acontecem processos fermentativos que se caracterizam pela transformação do material orgânico sem este ser mineralizado (oxidado), sendo transferido para a fase gasosa por meio da produção de biogás.

Ainda segundo Faustino (2007), devido à robustez e à alta eficiência, a digestão anaeróbia está presente desde simples fossas sépticas domésticas até estações completamente automatizadas que servem a grandes regiões metropolitanas. Dentre os objetivos do processo anaeróbio estão as seguintes funções:

- Redução substancial dos sólidos voláteis;
- Redução significativa dos organismos patogênicos;
- Estabilização de substâncias instáveis presentes no esgoto.

O processo de biodigestão anaeróbia ocorre por meio da ação de diversos grupos de microrganismos, de forma sequencial, onde o produto da síntese de um grupo é utilizado por outra categoria de microrganismos. A Figura 1 apresenta as principais etapas que a matéria orgânica pode sofrer em um sistema anaeróbio.

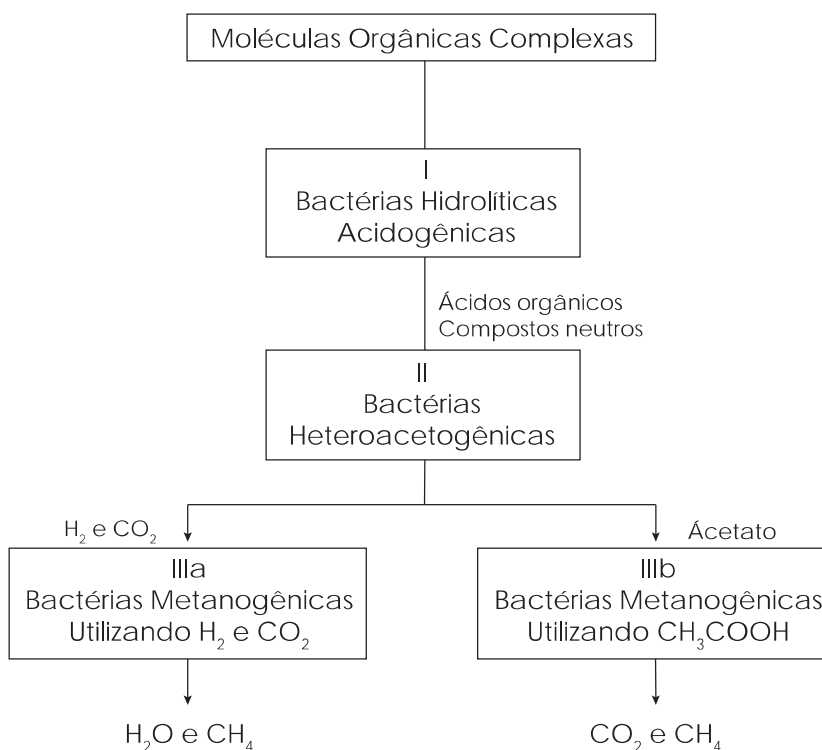


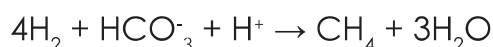
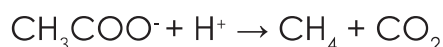
Figura 1. Esquema da via de degradação anaeróbia da matéria orgânica (FAUSTINO; NOVAES; SILVA, 2007).

Abaixo, segue a descrição das etapas que ocorrem durante a digestão anaeróbia, conforme o descrito por Campos (1999):

- Hidrólise: nesta etapa, o material orgânico particulado é convertido em compostos dissolvidos de menor peso molecular pelas exoenzimas

excretadas pelas bactérias fermentativas. Nesta etapa, por exemplo, polissacarídeos e proteínas são convertidos em estruturas mais simples, como açúcares e aminoácidos, respectivamente, bem como estruturas de massa molecular intermediária, denominadas de oligômeros. Derivados proteicos são geralmente utilizados no crescimento da biomassa microbiana. Os açúcares são os principais produtos utilizados na acidogênese.

- Acidogênese: os compostos dissolvidos, gerados no processo de hidrólise, são absorvidos pelas bactérias fermentativas e, após a acidogênese, excretados como substâncias orgânicas simples, como ácidos graxos, alcoóis, ácido lático e compostos minerais. Algumas bactérias fermentativas acidogênicas são anaeróbias facultativas, e removem o oxigênio dissolvido eventualmente presente no sistema, que poderia ser tóxico para as metanogênicas.
- Acetogênese: esta etapa consiste na conversão dos produtos da acidogênese em compostos que formam os substratos para a produção de metano: acetato, hidrogênio e dióxido de carbono.
- Metanogênese: o metano é produzido através de duas vias: pelas bactérias acetotróficas a partir da redução do ácido acético, ou pelas bactérias hidrogenotróficas a partir da redução do dióxido de carbono, havendo o consumo de hidrogênio neste último processo. As seguintes reações ocorrem:



A presença de enxofre no efluente pode resultar na formação de gás sulfídrico, que é corrosivo e confere odor desagradável tanto à fase líquida como ao biogás, além de ser tóxico para o processo de metanogênese.

2.1.3 Áreas alagadas construídas (*Wetlands*)

Segundo Pareschi (2004), as áreas alagadas são ecossistemas que recebem diversas denominações como áreas alagáveis, alagados, áreas inundáveis, áreas úmidas, brejos ou *wetlands* (termo em inglês). Área alagada é um termo abrangente usado para definir qualquer área coberta de rasa camada de água durante pelo menos uma parte do ano. A vegetação típica dos alagados é composta principalmente por macrófitas emergentes como *Typha* (popularmente conhecida como Taboa), *Scirpus* e *Phragmites* (popularmente conhecida como Caniço), podendo em alguns casos haver plantas flutuantes ou submersas. Muitas dessas plantas possuem grande capacidade de absorção

de nitrogênio, fósforo, elementos tóxicos e alguns poluentes como o pentaclorofenol (SABESP/GEOTEC, 1998 citado por PARESCHI, 2004).

As áreas alagadas construídas são ecossistemas artificiais, realizadas por diferentes tecnologias que utilizam os mesmos princípios básicos de modificação da qualidade da água das áreas alagáveis naturais, diferindo destas principalmente pelo regime hidrológico, o qual é controlado (PARESCHI, 2004). Segundo Rosa (2013)¹, em apresentação oral, além dos termos utilizados no subtítulo, existem diversas outras denominações para este tipo de tecnologia de tratamento de esgoto: zona de raízes, alagados construídos, áreas alagadas artificiais, Jardins Filtrantes, jardins plantados, leitões cultivados, sistemas de tratamentos biológicos, sistemas de tratamentos com plantas, sistemas de tratamento de esgoto alternativo e biorretenção. Todos, de uma forma mais restrita ou mais ampla, versam sobre o uso de meios filtrantes mesclados com plantas aquáticas.

As áreas alagadas construídas podem ser divididas em dois grandes grupos:

- a) **Fluxo superficial:** assemelham-se a áreas alagadas naturais em aparência, contendo plantas aquáticas flutuantes e/ou enraizadas (emergentes e submersas) e apresentando lâmina d'água aparente (VON SPERLING, 2005), com predomínio do fluxo horizontal, conforme Figuras 2 e 3 abaixo:

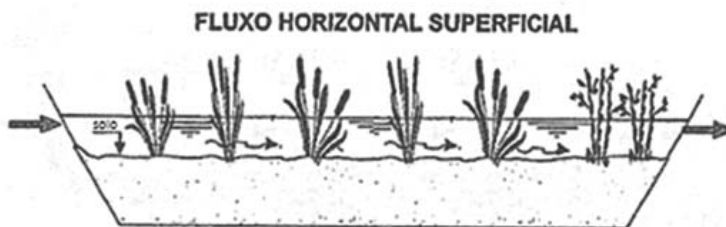


Figura 2. Sistema com macrófitas emergentes com fluxo superficial (VON SPERLING, 2005).



Figura 3. Sistema com macrófitas flutuantes com fluxo superficial (PARESCHI, 2004).

¹ Título da apresentação: Sistemas de tratamento por zona de raiz (Wetlands) – Princípios fundamentais e exemplos – Altair Rosa – PUC/Paraná – 31/10/2013. Curso de Saneamento Básico Rural. Embrapa Instrumentação (30/10 a 1/11/2013).

b) **Fluxo subsuperficial:** contém um leito composto de pequenas pedras, cascalho, areia ou solo, dando suporte ao crescimento de plantas aquáticas (macrófitas emergentes). O nível da água permanece abaixo da superfície do leito, e os efluentes fluem em contato com as raízes das plantas (VON SPERLING, 2005). O fluxo da água pode ser tanto horizontal (quando a água atravessa o substrato horizontalmente – Figura 4) como vertical (quando há a presença de um meio filtrante constituído por areia ou cascalho – Figura 5) (PARESCHI, 2004; VON SPERLING, 2005).

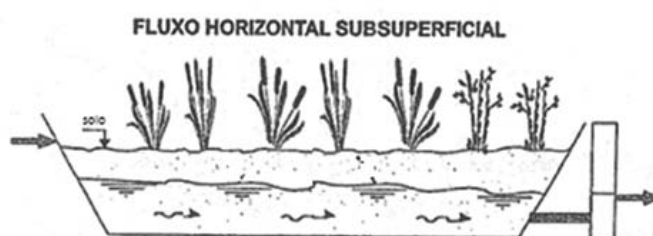


Figura 4. Sistema com macrófitas emergentes com fluxo subsuperficial horizontal (VON SPERLING, 2005).

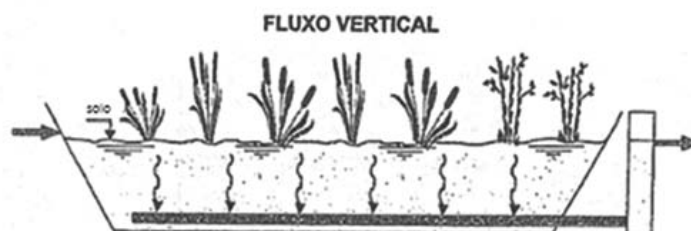


Figura 5. Sistema com macrófitas emergentes com fluxo subsuperficial vertical (VON SPERLING, 2005).

De acordo com Pareschi (2004), nesses sistemas de áreas alagadas construídas, a alta taxa de remoção é causada pela sedimentação de sólidos suspensos e por rápidos processos de decomposição na água e nas camadas superiores dos sedimentos. As bactérias aderidas aos caules das plantas e aos depósitos de húmus são as principais responsáveis pela diminuição da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Na Tabela 1 é apresentado um resumo dos processos gerais que ocorrem em *wetlands* construídas para tratamento de efluentes e, na Tabela 2, os mecanismos de remoção baseados em sistemas de tratamento utilizando macrófitas.

A utilização de alagados artificiais como tratamento de águas residuais tem se intensificado. Segundo Kadlec e Knight (1996), o principal objetivo da utilização desses sistemas é a melhoria da qualidade da água, seguida por objetivos secundários, tais como produção fotossintética, produção de energia, podendo também ser utilizados recreacionalmente, comercialmente e para educação humana (PARESCHI, 2004).

Tabela 1. Processos em áreas alagadas construídas para tratamento de efluentes.

| Processo | Comentário |
|-------------------------------|--|
| Conversão bacteriana | As conversões tanto aeróbias como anaeróbias são os processos de transformação de componentes mais importantes em <i>wetlands</i> construídas. |
| Gás absorção/dessorção | O processo onde um gás é capturado por um líquido é a absorção, isto se dá, por exemplo, quando o oxigênio contido na água está abaixo da concentração de saturação; a dessorção é quando o valor de saturação é excedido. |
| Sedimentação | A sedimentação é acentuada pela flocculação e obstruída pela turbulência. Em algumas <i>wetlands</i> , a turbulência é suficiente para distribuir os sólidos em suspensão por toda sua extensão. |
| Decaimento natural | Ocorrem decaimentos por uma variedade de razões, morte de microrganismos, fotoxidação de certos constituintes orgânicos. |
| Adsorção | Muitos constituintes químicos de águas residuais tendem a se atar aos sólidos em suspensão, isto associado ao assentamento resulta na remoção da coluna de água destas substâncias. |
| Volatilização | É o processo onde líquidos e sólidos vaporizam e escapam para a atmosfera. Componentes orgânicos que prontamente volatilizam são conhecidos como VOCs. |
| Reações Químicas | Importantes reações químicas que ocorrem nas <i>wetlands</i> incluem hidrólise, reações fotoquímicas e de oxidação/redução. Reações de hidrólise ocorrem entre a água e contaminantes. A radiação solar é conhecida como um gatilho para reações químicas. A radiação próxima do UV causa quebras em ampla variedade de compostos orgânicos. |

Fonte: (PARESCHI, 2004).

Ainda segundo Bastian e Hammer (1993) citado por Pareschi (2004), as áreas alagadas construídas, em geral, são de baixo custo de implantação, apresentando alta eficiência de melhoria dos parâmetros que caracterizam os recursos hídricos e com grande produção de biomassa que pode ser utilizada na produção de ração animal, energia e biofertilizantes. Assim, o grande interesse nesse tipo de tecnologia é devido ao uso de processos ecológicos de baixa demanda energética e menor uso de processos químicos intensivos.

Tabela 2. Mecanismos de remoção baseados em sistemas de tratamento utilizando macrófitas.

| Constituintes das águas residuais | Mecanismo de remoção |
|-----------------------------------|--|
| Sólidos em suspensão | Sedimentação/Filtração |
| DBO | Degradação microbiana (aeróbia e anaeróbia) Sedimentação (acumulação de matéria orgânica/lama na superfície dos sedimentos) |
| Nitrogênio | Amonificação seguida pela nitrificação e desnitrificação microbiana Captura pelas macrófitas Volatilização da amônia |
| Fósforo | Sorção ao solo (adsorção-precipitação com Al, Fe, Ca e argilominerais) Captura pelas macrófitas |
| Patógenos | Sedimentação/Filtração Morte natural Radiação UV Excreção de antibióticos a partir de raízes de certas macrófitas |

Fonte: Brix (1993) citado por Parechi (2004).

2.2 Efeitos da adição de resíduos orgânicos nas características físico-químicas do solo e reúso de água

Diante da crescente demanda por recursos hídricos, especialmente requeridos pelas práticas agrícolas, aliada à deterioração de sua qualidade devido à disposição inadequada de efluentes, a reutilização dos esgotos sanitários como fonte de água e nutrientes para as atividades agrícolas tem sido apontada como alternativa interessante.

No Brasil, estudos envolvendo o uso de biodigestores têm sido utilizados em duas principais vertentes: tratamento de efluentes e uso energético

do biogás. Existe uma terceira vertente importante relacionada ao uso do efluente para melhorar a fertilidade do solo e, com isso, aumentar a sustentabilidade do sistema produtivo. Assim, o esgoto tratado tem um papel fundamental no planejamento e na gestão sustentável dos recursos hídricos como um substituto para o uso de águas destinadas a fins agrícolas e de irrigação. O uso de biodigestores anaeróbios possibilita esta visão, pois é bastante eficiente, desde que seja bem manejado (DA SILVA et al., 2011).

Ainda conforme os autores, os trabalhos científicos sobre a utilização de esgotos tratados em práticas agrícolas têm demonstrado que sua disposição no solo adiciona uma série de substâncias que podem alterar suas propriedades físicas, químicas e biológicas, afetando, em geral, o desenvolvimento das plantas. Os resíduos de esgotos gerados após tratamento são constituídos essencialmente de água com a presença de minerais e matéria orgânica (MO) suspensa ou dissolvida. Entretanto, em alguns casos, a quantidade relativamente grande de nutrientes, como fosfatos, nitratos e amônio, favorece a eutrofização de corpos d'água, comprometendo a qualidade das águas superficiais e limitando a disposição do efluente tratado no local. A principal vantagem da utilização de efluentes na agricultura reside na recuperação de um recurso de grande importância para a agricultura – a água; além disso, os constituintes desses efluentes são produtos que podem aumentar a fertilidade dos solos por conterem nutrientes essenciais às plantas, em virtude da MO que lhe é adicionada, como a consequente formação de húmus.

Assim, de acordo com Bastos (2003), resumidamente, pode-se inferir que os benefícios da utilização controlada de esgotos sanitários na agricultura são:

- Reciclagem da água, permitindo alívio na demanda e preservação da oferta de água para outros usos;
- Reciclagem dos nutrientes presentes no esgoto sanitário, permitindo economia de insumos (os esgotos sanitários possuem elevada concentração de matéria orgânica e macronutrientes);
- Aumento da produção de alimentos, recuperação de áreas improdutivas e ampliação de áreas irrigadas;
- Minimização do lançamento de esgotos em cursos d'água.

No entanto, como aspectos negativos, a utilização de esgotos sanitários na agricultura se dá por meio da fertirrigação, que consiste no fornecimento conjunto de água e nutrientes às plantas, sendo necessária a compatibilização das taxas de aplicação dos líquidos provenientes de esgotos com as boas práticas agrícolas, o que dificulta por vezes o balanço de nutrientes (BASTOS, 2003; DA SILVA et al., 2012). Outra limitação do uso de efluentes na

agricultura está relacionada com a presença de elevados teores de sais e sólidos inorgânicos dissolvidos, que conferem salinidade à água. Os sais contidos na água podem se acumular na solução do solo em torno da zona radicular, comprometendo a absorção de água pelas plantas. Além disso, elevados teores de sódio podem ocasionar a dissolução dos minerais do solo, notadamente o cálcio, o que provoca a dispersão de minerais de argila e a obstrução dos poros do solo, diminuindo a sua permeabilidade (BASTOS, 2003). Desta forma, fica claro que o uso no solo do efluente tratado em sistemas biodigestores deve ocorrer de forma dosada, devendo ser, portanto, tratado como um fertilizante agrícola (para melhorar a fertilidade do solo), e não como água de irrigação (cuja única função seria repor a umidade ao solo). Nesse caso, a dosagem deve ocorrer pela quantidade de nitrogênio, que é o elemento nutritivo presente em maior quantidade no efluente tratado em biodigestor (DA SILVA et al., 2012).

2.3 Tecnologias para saneamento básico rural desenvolvidas na Embrapa

2.3.1 Jardim Filtrante

O sistema consiste em uma área alagada artificial (*wetland*), o qual representa ecossistemas artificiais com tecnologias que utilizam os princípios básicos da qualidade de água das áreas alagadas naturais, com a finalidade de depurar a água cinza. Esse sistema foi adaptado pelo núcleo de pesquisas da Embrapa a fim de complementar o tratamento de esgotos nas áreas rurais, uma vez que a Fossa Séptica Biodigestora não trata a água cinza.

As áreas alagadas construídas são utilizadas por suas propriedades de remoção e retenção de nutrientes, processamento da matéria orgânica e de resíduos químicos, e redução das cargas de sedimentos descartados nos corpos receptores.

O Jardim Filtrante apresenta como vantagens a facilidade de operação, o baixo custo de implantação e manutenção, além da ausência de gastos com energia elétrica. A biomassa gerada pelas plantas pode ser destinada para alimentação, ração de animais, fertilizantes de solo, construção civil e para outros fins. Uma das desvantagens do sistema é a necessidade de manejo rotineiro das macrófitas (plantas superiores utilizadas na depuração da água).

Conforme Pareschi (2004), áreas alagadas é um termo abrangente usado para definir qualquer área coberta de rasa camada de água durante pelo menos uma parte do ano. O autor constatou em seu estudo a alta eficiência de remoção de nitrogênio, fósforo, DBO, coliformes totais e termotolerantes. As bactérias aderidas aos caules das plantas e aos depósitos de húmus

são as principais responsáveis pela diminuição da DBO. Já as plantas típicas dos alagados (macrófitas emergentes, como *Typha*, *Scirpus* e *Phragmites*) devido à grande capacidade de absorção são responsáveis pela remoção de nitrogênio, fósforo, metais pesados e alguns poluentes como o pentaclorofenol.

O Jardim Filtrante desenvolvido na Embrapa é do tipo de fluxo horizontal subsuperficial. Trata-se de um pequeno lago, impermeabilizado com uma geomembrana de EPDM ou PVC (protegido por uma membrana geotêxtil, do tipo “Bidin”), para evitar que o líquido em tratamento entre em contato direto com solo. As dimensões mínimas do Jardim Filtrante, proposto para uma residência com até cinco moradores, é dada por uma cova com 5 m de comprimento, 2 m de largura e 0,5 m de profundidade. As laterais da cova onde será montado o Jardim Filtrante devem possuir um corte com ângulo 45° (Figura 6). Caso o sistema precise ser redimensionado para atender um número maior de pessoas, deve-se aumentar a área superficial em, pelo menos, 2 m² por habitante, sem alterar a profundidade.

As conexões de entrada e saída ocorrem nas extremidades opostas do Jardim Filtrante, utilizando tubos de esgoto de 100 mm com flanges adaptadas para uso em geomembranas. A entrada ocorre na parte superior do jardim e a saída na parte inferior. Para controlar o nível da água no interior do jardim, recomenda-se o uso de um arranjo de tubos em formato de cachimbo, conhecido popularmente como “monge” (Figura 7), bastante utilizado em tanques escavados para produção de peixe.

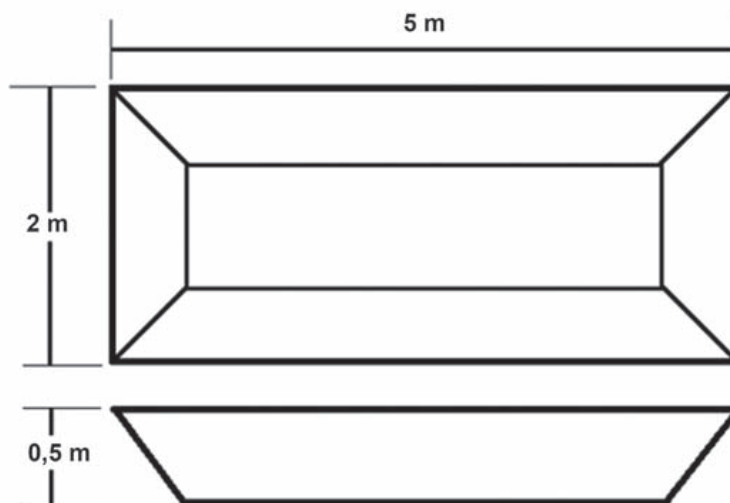


Figura 6. Dimensões propostas para um Jardim Filtrante para residência com até cinco moradores.

A cova, devidamente impermeabilizada com a geomembrana, é então completada com uma camada de 25 cm de altura com pedra britada nº 2. Sobre a pedra britada é colocado uma tela de mosquiteiro e, sobre esta, uma camada de areia grossa de aproximadamente 20 cm. O nível da água no interior do Jardim Filtrante deve ficar de 2 cm a 4 cm abaixo do nível da areia, sendo controlado pela altura do “monge” na saída do sistema (Figura 7A).

Finalizada a instalação do meio filtrante e acertado o nível da água no interior do Jardim Filtrante, serão incorporadas as plantas. São colocadas plantas macrófitas aquáticas utilizadas em paisagismo, para que o ambiente fique visualmente agradável. As plantas podem ser nativas ou não da região, mas que estejam bem adaptadas ao clima local. No estado de São Paulo, por exemplo, são recomendadas plantas como Papiro (*Cyperus papyrus*), Lírio do Brejo (*Hedychium coronarium*), Taboa (*Typha domingensis*), entre outras que apresentam grande crescimento vegetativo, com outras plantas que vão compor o ambiente como Copo de Leite (*Zantedeschia aethiopica*), Inhame (*Alocasia*), Helicônias (*Heliconiaceae*), entre outras. Com o passar do tempo, o pólen de outras plantas naturalmente será inserido no sistema (vento, pássaros, insetos, etc) e estas deverão ser manejadas ao gosto do usuário. É interessante que exista biodiversidade para que contaminantes e nutrientes sejam melhor absorvidos pelas diferentes plantas. Deve-se notar também que o processo de tratamento não ocorre somente pelas plantas, mas também pelos microrganismos que se multiplicam e que serão mais numerosos em quantidade e variedade, quanto maior for a biodiversidade de plantas.

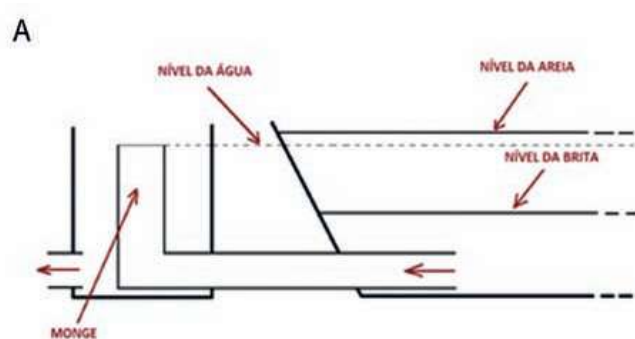


Foto: Wilson T. L. da Silva.

Figura 7. (A) Detalhes da instalação do controlador de nível do Jardim Filtrante (monge) e (B) foto de um sistema instalado.

Antes do esgoto ser inserido no Jardim Filtrante em si, é necessário que seja feito um tratamento prévio para retirada de sólidos decantáveis e gordura. Para isso, são instalados, previamente ao jardim, uma caixa de retenção (decantação) de sólidos, que nada mais é que uma caixa d'água de 100 L, e uma caixa de gordura. Estes dois processos simples melhoram muito a eficiência do Jardim Filtrante, já que retiram boa parte dos sólidos decantáveis e suspensos, além de aumentar consideravelmente o tempo de vida útil do Jardim Filtrante. Tanto a caixa de retenção de sólidos quanto a caixa de gordura devem ser limpas a cada 3 meses para retirada do material retido. Estes materiais sólidos devem ser compostados (CONSELHO..., 2006) ou descartados em coleta de lixo urbano. A Figura 8 apresenta um esquema, e a Figura 9, uma foto de um Jardim Filtrante montado.

As plantas do Jardim Filtrante devem ser manejadas para evitar excesso de proliferação. Isso é importante, pois o excesso de raízes pode entupir os poros do jardim, diminuindo a sua eficiência. O meio filtrante (areia e brita) deverá ser limpo em algum momento, pois com o passar dos anos, ocorre o acúmulo de sólidos, dificultando a passagem do líquido no sistema. Quando isso ocorrer, todo o material deve ser retirado, a brita lavada e a areia substituída, com posterior recolocação dos componentes novamente no sistema. Não será necessária a remoção ou substituição da geomembrana, a não ser que seja observado algum vazamento. Recomenda-se somente a substituição do Bidin colocado logo acima da geomembrana.

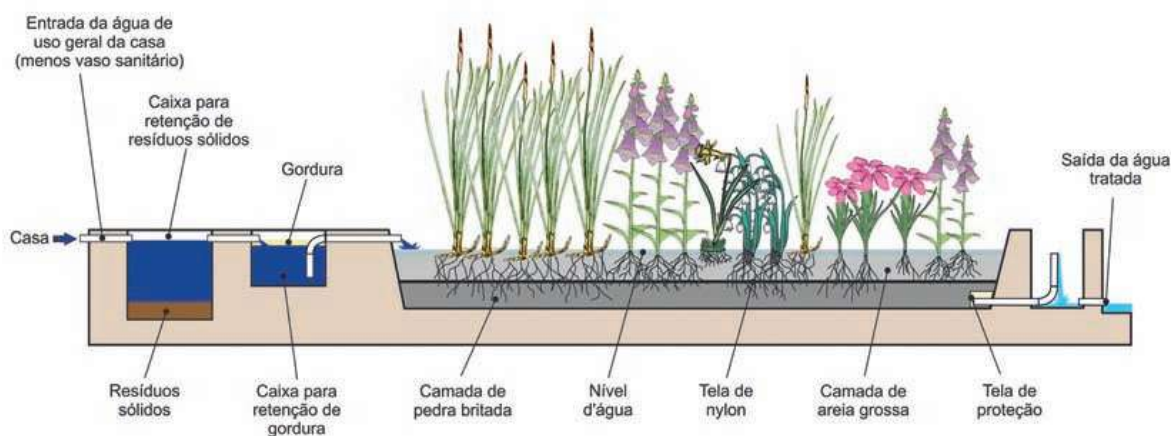


Figura 8. Representação esquemática de um Jardim Filtrante.



Figura 9. Jardim Filtrante instalado no Sítio São João, em São Carlos, SP.

2.3.1.1 *Filtro anaeróbio adjacente ao Jardim Filtrante*

Como o Jardim Filtrante possui uma capacidade volumétrica útil limitada a aproximadamente 20% do volume total da cova, o tempo de permanência da água a ser tratada pode ser muito curto em função de grandes volumes depositados, principalmente no caso de máquinas de lavar roupa. Para equalizar melhor o fluxo, é sugerido no final do sistema, o uso de um filtro anaeróbio, composto basicamente de um pequeno reservatório (70 L a 100 L), preenchido com brita número 1. O fluxo é ascendente, ou seja, o líquido é inserido na parte inferior do sistema e seu descarte na parte superior. Desta forma, bactérias e leveduras se fixam na superfície das pedras, formando um biofilme, que faz a depuração final da água, em um fluxo relativamente constante (VON SPERLING, 2005). A Figura 10 apresenta o esquema do filtro anaeróbio utilizado.

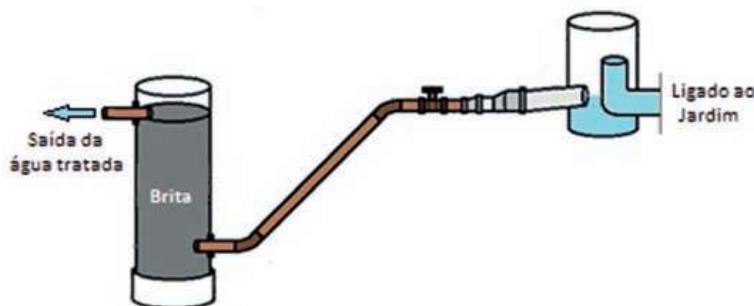


Figura 10. Esquema representativo da instalação de um filtro anaeróbio na saída do Jardim Filtrante.

2.3.1.2 Análise da eficiência do Jardim Filtrante

Visualmente, o efluente tratado é bastante diferente do não tratado. Sua coloração é límpida (Figura 11), sem materiais grosseiros e sem odores desagradáveis. O Jardim Filtrante proposto se mostra bastante eficiente na remoção de parâmetros como turbidez, por exemplo, proporcionando valores relativamente constantes no efluente tratado. A taxa de remoção média de turbidez está em 64,6% na saída do monge (ponto 2) e 70,6 % na saída do filtro anaeróbio (ponto 3), quando comparados com os valores de entrada (ponto 1). A Figura 12 mostra o gráfico com resultados de turbidez em função em diferentes coletas e nos diferentes pontos do Jardim Filtrante.

A água cinza não tratada possui também uma leve acidez, o que faz com que o pH do meio seja menor que 6 na entrada do Jardim Filtrante. O tratamento no Jardim Filtrante corrige o pH para valores mais próximos de 7, em função principalmente da liberação dos exsudatos radiculares das plantas, bem como da atividade microbiana, que tende a quebrar as estruturas ácidas, gerando acetatos e, possivelmente, metano nas condições de anaerobiose em que o líquido se encontra (PARESCHI, 2004). Os resultados mostram que este efeito ocorre no interior do Jardim Filtrante, sendo pouco influenciado pelo filtro anaeróbio. A Figura 13 apresenta os valores de pH encontrados na entrada e saída do sistema.

Foto: Wilson T. L. da Silva.

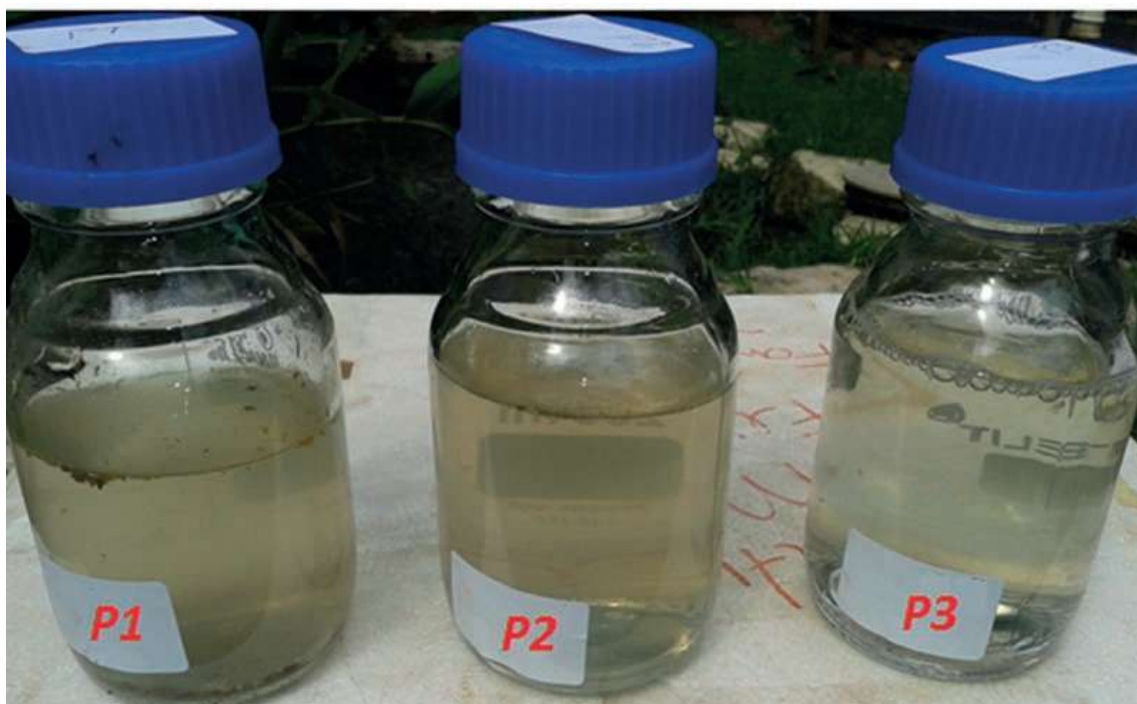


Figura 11. Aspecto visual do líquido nos diferentes pontos do Jardim Filtrante. P1: Caixa de retenção de sólidos (líquido não tratado). P2: Saída do Jardim Filtrante (monge) e P3: Saída do Filtro Anaeróbio.

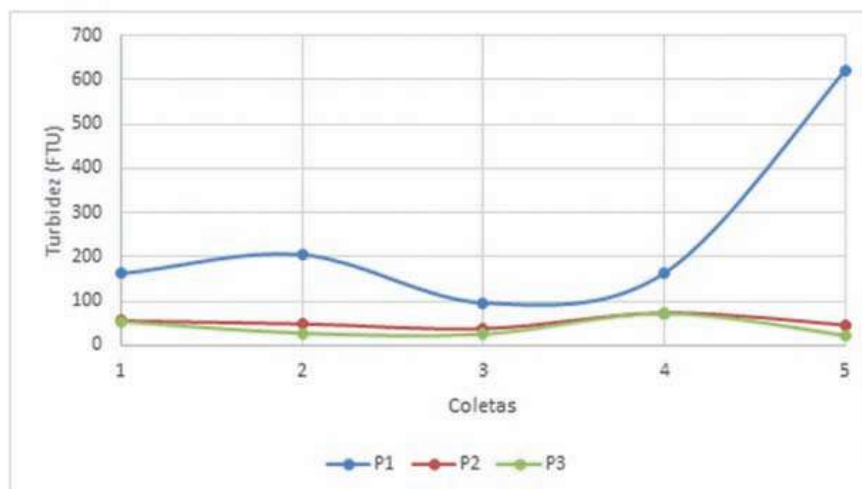


Figura 12. Variação da turbidez nos diferentes coletas e em diferentes pontos. P1: Caixa de retenção de sólidos. P2: Saída do Jardim Filtrante (monge) e P3: Saída do Filtro Anaeróbio.

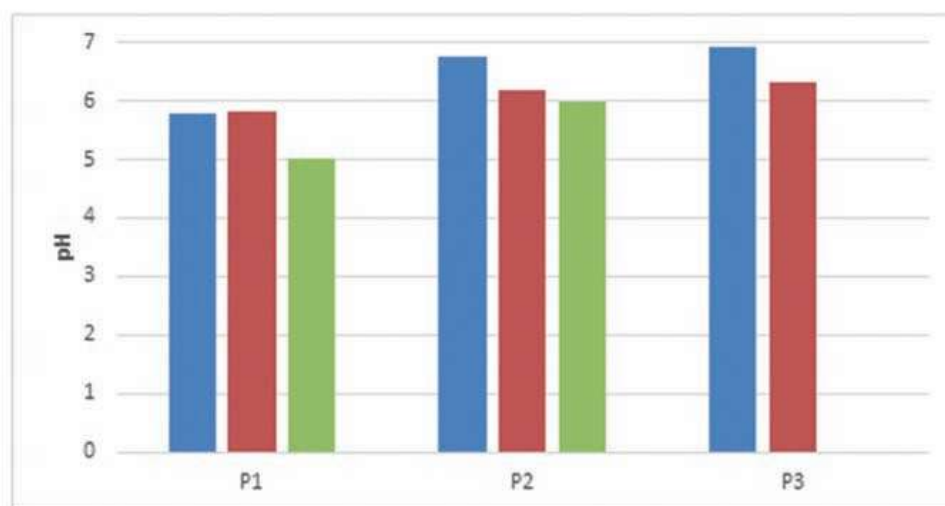


Figura 13. Variação do pH nas diferentes coletas e em diferentes pontos. P1: Caixa de retenção de sólidos. P2: Saída do Jardim Filtrante (monge) e P3: Saída do Filtro Anaeróbio. As diferentes cores indicam os valores médios das coletas em diferentes momentos: azul: Jul. a Dez./ 2013; vermelho: Jan. a Jun./ 2013; verde: Jul. a Dez./ 2012 (neste período, não havia o filtro anaeróbio instalado).

Com relação à presença de coliformes, indicadores da contaminação microbiológica das águas, nota-se uma quantidade relativamente alta na concentração de coliformes totais, que não significam problema de ordem sanitária, mas apenas contato em algum momento com fonte de coliformes, como roupas, banho, etc. O problema maior poderia residir se ocorresse uma quantidade elevada de coliformes termotolerantes, que efetivamente podem transmitir doenças ao homem. Os valores apresentados na Tabela 3 mostram que a quantidade de coliformes termotolerantes na água cinza não tratada já era relativamente pequena, não representando grandes problemas de ordem sanitária. Mesmo assim, o Jardim Filtrante é capaz de reduzir a presença destes patógenos. O filtro anaeróbio também ajuda no processo de remoção de coliformes totais.

A água cinza tratada pelo Jardim Filtrante apresenta quantidades muito baixas de elementos metálicos potencialmente tóxicos (Pb, Cd, Mn, Zn) e sais, além de nitrogênio e fósforo (valores não apresentados), possuindo qualidade para lançamento direto em cursos d'água, conforme preconiza a resolução do Conama nº 430 (CONSELHO..., 2011). Os resultados apresentados neste capítulo mostram que a decisão de separar o esgoto gerado na residência mostrou-se correta, possibilitando reuso futuro da água tratada

Conceitos e aplicações da instrumentação para o avanço da agricultura

para fins menos nobres, como limpeza de áreas comuns e pátios, bem como potencial uso controlado em irrigação.

Tabela 3. Eficiência na remoção bacteriológica da água cinza pelo Jardim Filtrante. P1: Caixa de retenção de sólidos. P2: Saída do Jardim Filtrante (monge) e P3: Saída do Filtro Anaeróbio. As coletas 1 e 2 foram realizadas nos meses de outubro e novembro/2013, respectivamente. Método: placa Petrifilm.

| | Coleta 1 | | Coleta 2 | |
|------------------------------|-------------------|------------|-------------------|------------|
| | Col. Totais | Col. Term. | Col. Totais | Col. Term. |
| Ponto 1 (UFC*/100 mL) | $3,6 \times 10^5$ | 13 | $3,2 \times 10^4$ | 50 |
| Ponto 2 (UFC*/100 mL) | $1,1 \times 10^5$ | 7 | $4,0 \times 10^4$ | 23 |
| Ponto 3 (UFC*/100 mL) | $5,6 \times 10^4$ | 0 | $7,0 \times 10^3$ | 20 |
| Remoção (%) | 84,4 | 100 | 78,3 | 60 |

*UFC= Unidade formadora de colônia

2.3.2 Fossa Séptica Biodigestora

Visto que os sistemas de saneamento básico no Brasil não são suficientes para suprir a demanda da população, especialmente na área rural, além do potencial risco de contaminação de águas subterrâneas e proliferação de doenças, é necessário um método alternativo para viabilizar o tratamento de esgoto doméstico. Assim, foi desenvolvido pela Embrapa Instrumentação, o sistema de Fossa Séptica Biodigestora, o qual possibilita também a produção de efluentes tratado para uso no solo como fertilizante.

Esse sistema consiste em um tratamento biológico do esgoto por ação de digestão fermentativa, utilizando-se de esterco de ruminantes como meio inoculante de bactérias anaeróbias. O sistema evita a proliferação de doenças veiculadas pela água poluída por esgoto doméstico (NOVAES et al., 2002, 2006; FAUSTINO et al.; 2007). A digestão anaeróbia, a qual está presente na Fossa Séptica Biodigestora, é um processo que ocorre na ausência de oxigênio e transforma diversas formas de matéria orgânica complexa (carboidratos, proteínas e lipídios) em produtos mais simples (como dióxido de carbono e metano), bem como matéria orgânica solúvel, pelo metabolismo de um consórcio de diferentes microrganismos.

Segundo Ruiz (1992), o esterco de ruminantes fresco apresenta uma série de bactérias adaptadas às condições anaeróbias. Estas bactérias irão atuar no sentido de degradar resíduos que o nosso trato intestinal não é capaz, como as fibras por exemplo, aumentando a eficiência, principalmente na remoção de sólidos. A Tabela 4 apresenta os principais microrganismos existentes no esterco de bovinos que atuam em simbiose na degradação dos substratos encontrados nas fezes humanas (carboidratos, proteínas, gorduras, entre outros).

O dimensionamento do sistema permite que o material depositado nas caixas fermente por no mínimo 20 dias, período suficiente para uma completa digestão (NOVAES et al., 2006), permitindo que o efluente possa ser utilizado como um adubo orgânico em plantações a custo praticamente zero.

Tabela 4. Bactérias presentes no rúmen bovino.

| Tipo de Bactéria | Nome |
|-------------------------|--|
| Celulolíticas | <i>Bacteroides succinogenes</i> , <i>Ruminococcus flavefaciens</i> , <i>Ruminococcus albus</i> , <i>Ruminococcus</i> , <i>Butyrivibrio fibrisolvens</i> |
| Hemicelulolítica | <i>Butyrivibrio fibrisolvens</i> , <i>Bacteroides ruminicola</i> , <i>Ruminococcus sp</i> |
| Pectinolítica | <i>Butyrivibrio fibrisolvens</i> , <i>Bacteroides ruminicola</i> , <i>Lachnospira multiparus</i> , <i>Succinivibrio dextrinosolvens</i> , <i>Treponema bryantii</i> , <i>Streptococcus bovis</i> |
| Amilolítica | <i>Bacteroide amylophilus</i> , <i>Streptococcus bovis</i> , <i>Succimimonas amylolitica</i> , <i>Bacteroide ruminicola</i> |
| Ureolítica | <i>Succinivibrio dextrinosolvens</i> , <i>Selenomonas sp</i> , <i>Bacteroide ruminicola</i> , <i>Ruminococcus bromii</i> , <i>Butivibrio sp</i> , <i>Treponema sp</i> |

Fonte: Ruiz (1992).

Ainda de acordo com Novaes et al. (2006), conforme a Figura 14, o sistema modular básico, para até cinco residentes, é composto por três caixas em sequência, de cimento amianto ou fibra de vidro de 1.000 litros cada, encontradas no comércio, conectadas exclusivamente ao vaso sanitário (o restante do esgoto da residência não apresenta potencial patogênico, e deverá ser encaminhado para o Jardim Filtrante). As duas primeiras caixas

são denominadas de módulos de fermentação, sendo nestas caixas onde ocorre a fermentação anaeróbia. A última caixa serve para armazenar o efluente tratado, que será posteriormente utilizado na agricultura. Para o redimensionamento do sistema, no caso de um número maior de moradores, o volume total dos módulos de fermentação deve ser calculado como sendo 1 m³ para cada 2,5 moradores. Ou seja, o volume total dos módulos de fermentação para uma residência com 6 ou 7 moradores, deve ser de 3 m³ (três caixas de 1.000 L, além do módulo de armazenamento de 1.000 L); para 8 a 10 moradores, deve ser de 4 m³ (quatro caixas de 1.000 L ou duas caixas de 2.000 L, além do módulo de armazenamento, que pode ser de 1.000 L ou 2.000 L); e assim, proporcionalmente.

Segundo Novaes et al. (2006), o subproduto gerado pelo sistema tem sido utilizado como fonte de adubação orgânica, cuja composição química modifica a fertilidade do solo, sendo esta comparável com o efeito de adubação química inorgânica do tipo NPK. Ainda de acordo com Faustino (2007), após o tratamento, o efluente gerado pode ser disposto em solo. Dentre os principais sistemas de disposição de águas residuais no solo (irrigação, infiltração/percolação e escoamento à superfície) a fertirrigação de culturas tem sido o método mais acessível (FEIGIN et al., 1991 citado por FAUSTINO, 2007) e eficiente (DARWISH et al., 1999 citado por FAUSTINO, 2007), particularmente, nos países em desenvolvimento onde não há uma política para o custo de tratamento das águas residuais (FRIEDEL et al., 2000 citado por FAUSTINO, 2007).

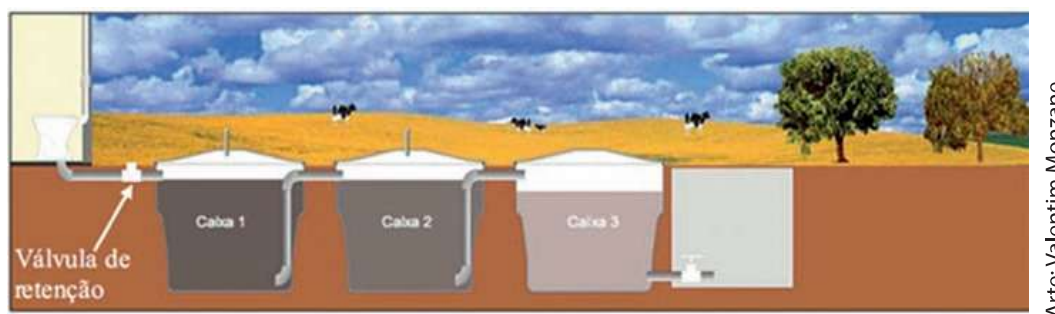


Figura 14. Esquema do sistema de Fossa Séptica Biodigestora (FAUSTINO, 2007).

2.3.2.1 Análise da eficiência da Fossa Séptica Biodigestora

Diversas são as análises recomendadas para avaliação da eficiência de um biodigestor (DA SILVA et al., 2011), sendo somente apresentadas algumas neste capítulo, para que o leitor possa observar alguns critérios de eficiência da Fossa Séptica Biodigestora.

Na Tabela 5 seguem os resultados referentes às determinações do pH das amostras de líquido coletados na primeira e última caixas do sistema.

Tabela 5. Valores de pH nos pontos de amostragem da Fossa Séptica Biodigestora.

| Coleta | pH | |
|--------|-----|-----|
| | P1 | P2 |
| 1 | 8,2 | 8,1 |
| 2 | 8,1 | 8,0 |

Nota: As coletas ocorreram no primeiro semestre do ano de 2013.

Percebe-se que os valores de pH no ponto 1 (primeira caixa) são muito similares aos valores que ocorrem no ponto 2 (última caixa). De modo geral, verifica-se que o pH varia pouco entre cada ponto de amostragem, apresentando características ligeiramente alcalinas.

Geralmente, os valores de pH em um biodigestor gira em torno de 7. No caso do líquido da Fossa Séptica Biodigestora, provavelmente pela concentração de íon amônio (NH_4^+) proveniente da degradação biológica da ureia contida na urina, tem esta característica alcalina. Alguns outros sais de ácidos fracos (acetato, formiato, propionato, etc.) também podem colaborar para esta característica. Este é um aspecto interessante porque o efluente tratado, quando aplicado no solo como fertilizante, irá atuar corrigindo ligeiramente a acidez do solo, melhorando, desta forma, seus aspectos agrícolas.

A turbidez é outro parâmetro muito importante a ser analisado, pois tem uma relação direta com os sólidos suspensos e coloides presentes no efluente. Analisando-se o ponto 1 (primeira caixa do sistema), nota-se que os valores variaram entre coletas diferentes (Figura 15). Essas variações observadas na primeira caixa são coerentes, uma vez que o afluente é o esgoto bruto do aparelho sanitário da residência, além de receber esterco bovino fresco a cada mês. Assim, é previsível que haja flutuações nos valores de turbidez nesse ponto. Percebe-se que no ponto 2 (última caixa do sistema), há um comportamento semelhante quanto à turbidez, sendo que praticamente não há variação nos valores desse parâmetro, mostrando que o sistema funciona de forma bastante estável.

Comparando-se ambos os pontos, pode-se inferir que o sistema está estabilizado, uma vez que, embora haja variações nos valores de turbidez no ponto 1 (entrada do sistema), quando se analisa o ponto 2 (saída do sistema), percebe-se que as variações são menores. Na Tabela 6, são apresentados os valores de eficiências de remoção de turbidez da Fossa Séptica Biodigestora, os quais corroboram a estabilidade do sistema.

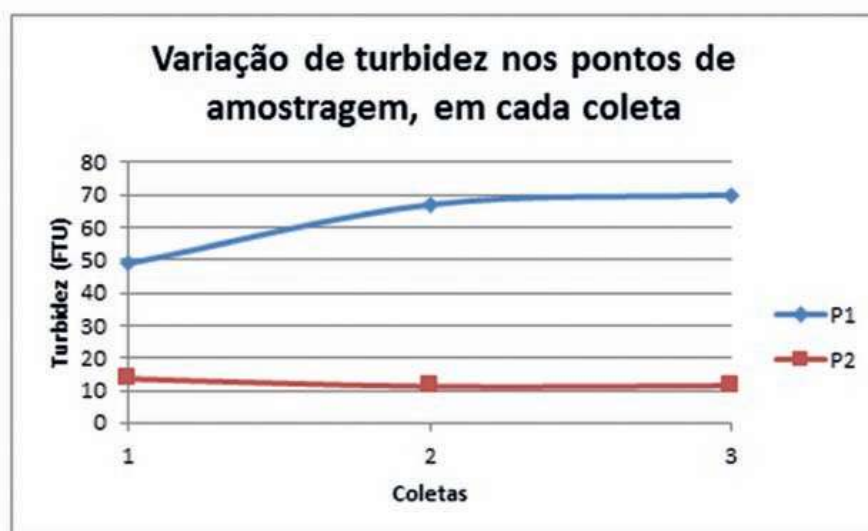


Figura 15. Variação de turbidez nos pontos de amostragem (P1 e P2) em cada coleta.

Tabela 6. Valores de eficiência de remoção de turbidez da Fossa Séptica Biodigestora.

| Coleta | Eficiência (%) |
|--------------|----------------|
| | Fossa |
| 1 | 72,21 |
| 2 | 83,18 |
| 3 | 83,56 |
| Média | 79,65 |

Nota-se que a eficiência média na remoção da turbidez obtida pela Fossa Séptica Biodigestora é bastante elevada (79,65%) e, de certa forma, não variou muito em cada coleta analisada. É importante frisar que o efluente tratado pela Fossa Séptica Biodigestora, apesar de possuir baixa turbidez, possui uma cor característica castanho-amarelada, proveniente, principalmente da matéria orgânica solúvel presente no líquido. A Figura 16 mostra uma imagem referente à coloração dos pontos de amostragem da Fossa.

A condutividade elétrica (CE) é outro parâmetro importante de analisar, principalmente do ponto de vista da reciclagem da água. Este é um parâmetro que está relacionado de forma direta com a concentração de sais dissolvidos no meio. Segundo a resolução número 357 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONSELHO..., 2005), que classifica a qualidade das águas, uma água é considerada doce se a concentração de sais estiver

abaixo de $0,5 \text{ g kg}^{-1}$, salobra se a salinidade estiver entre $0,5$ e 30 g kg^{-1} , e salgada se for maior que 30 g kg^{-1} .



Figura 16. Coloração das amostras da Fossa Séptica Biodigestora nos pontos de amostragem (P1 e P2, respectivamente).

A Tabela 7 apresenta resultados de condutividade elétrica de amostras coletadas no primeiro semestre de 2013. Os valores de salinidade foram obtidos utilizando o método da Unidade Prática de Escala (*Practical Salinity Scale – 1978* ou PSS-78), escala esta que relaciona a CE com a concentração de sais de um meio (UNESCO, 1981). Para obter a salinidade a partir do valor da condutividade medida, é usada a seguinte equação empírica:

$$S = 0,0080 - 0,1692 K_{15}^{1/2} + 25,3851 K_{15} + 14,0941 K_{15}^{3/2} - 7,0261 K_{15}^2 + 2,7081 K_{15}^{5/2} \quad (1)$$

Onde K_{15} é a razão da CE da amostra pela CE de uma solução de cloreto de potássio contendo $32,4356 \text{ g kg}^{-1}$ a uma temperatura de 15°C e pressão de 1 atm . Nestas condições, o valor aproximado da solução padrão de cloreto de potássio é 50 mS cm^{-1} . Quando K_{15} é igual a 1 , então $S = 35$, que é o valor médio da salinidade da água oceânica.

Tabela 7. Valores de Condutividade Elétrica e Salinidade aproximada no líquido contido na primeira (P1) ou última (P2) caixas da Fossa Séptica Biodigestora.

| Coleta | Condutividade Elétrica (mS cm ⁻¹) | | Salinidade (g kg ⁻¹) | |
|--------|---|------|----------------------------------|------|
| | P1 | P2 | P1 | P2 |
| 1 | 2,65 | 2,67 | 1,47 | 1,48 |
| 2 | 2,16 | 2,72 | 1,18 | 1,51 |
| 3 | 2,49 | 2,51 | 1,37 | 1,39 |

Os resultados de condutividade elétrica e salinidade mostram que o efluente tratado da Fossa Séptica Biodigestora possui características de água salobra. Os valores de salinidade não variam muito, comparando-se os pontos 1 e 2 de amostragem. Isso mostra que a Fossa Séptica Biodigestora não é um bom sistema para retirada de sais, fato que já é esperado para um biodigestor (DA SILVA et al., 2011). Os sais presentes no líquido são oriundos das excretas humanas e esse fato limita o uso do efluente tratado do ponto de vista agrícola. A água salobra não pode ser utilizada indiscriminadamente como água de irrigação, pois o excesso de sais pode, além de salinizar, desestabilizar os colóides de argila e entupir os poros do solo, causando degradação (DA SILVA et al., 2012). Entretanto, a salinidade observada não pode ser considerada excessiva, fato que mostra que o uso dosado, como fertilizante, não trará problemas tanto do ponto de vista sanitário, quanto no uso e preservação do solo.

O melhor indicador de eficiência de um sistema de tratamento de esgoto, sem dúvida, é a avaliação de coliformes termotolerantes. Através desta análise é possível avaliar se a Fossa Séptica Biodigestora está funcionando de maneira adequada do ponto de vista de descontaminação microbiológica. A Tabela 8 mostra os resultados para avaliação de redução de coliformes totais e coliformes termotolerantes, comparando-se o início e o final do processo de biodigestão.

Os resultados mostram que a Fossa Séptica Biodigestora não elimina por completo os coliformes presentes no esgoto, apesar de reduzir de forma bastante considerável este número. A presença de coliformes termotolerantes pode implicar em alguma patogenicidade do líquido tratado, caso não seja corretamente manejado. Também impede que o líquido tratado seja descartado diretamente em cursos d'água sem passar por um processo complementar de depuração, como uma cloração, por exemplo. Fica claro, portanto, a necessidade de luvas no manuseio do efluente para evitar algum risco de contaminação, mesmo que este seja considerado baixo.

Tabela 8. Variação da concentração de coliformes no início e no final da Fossa Séptica Biodigestora e do Jardim Filtrante
Método: Placa Petrifilm.

| | Coliformes Totais (UFC/ 100 mL) | | | |
|---------------------------|--|---------------------|-------------------|-------------------|
| Ponto de Coleta | Coleta 1 | Coleta 2 | Coleta 3 | Coleta 4 |
| 1 | $6,4 \times 10^6$ | $6,6 \times 10^5$ | $9,5 \times 10^5$ | $8,0 \times 10^6$ |
| 2 | $< 1,5 \times 10^4$ | $< 1,5 \times 10^3$ | $7,8 \times 10^3$ | $3,8 \times 10^4$ |
| Eficiência na remoção (%) | > 99,8 | > 97,7 | 99,2 | 99,5 |
| | Coliformes Termotolerantes (UFC/100mL) | | | |
| | Coleta 1 | Coleta 2 | Coleta 3 | Coleta 4 |
| 1 | $5,5 \times 10^6$ | $1,0 \times 10^5$ | $1,2 \times 10^5$ | $5,3 \times 10^6$ |
| 2 | $< 1,5 \times 10^4$ | $< 1,5 \times 10^3$ | $4,4 \times 10^3$ | $2,5 \times 10^4$ |
| Eficiência na remoção (%) | > 99,7 | > 98,5 | 96,3 | 99,5 |

Os coliformes que ainda restaram no efluente tratado serão eliminados quando o líquido for utilizado como biofertilizante no solo. Esta propriedade é bastante conhecida pela engenharia sanitária, sendo o solo um meio considerado adequado para a depuração (tratamento terciário) da água oriunda de tratamentos de esgoto (HAIG, 2011). Assim, a recomendação do uso do efluente tratado pela Fossa Séptica Biodigestora alia dois aspectos importantes que são a depuração do líquido pelo solo com o uso dos nutrientes contidos para fins de fertilidade agrícola, conforme será apresentado na sequência.

2.3.2.2 *Uso do efluente tratado como fertilizante agrícola*

Conforme já descrito anteriormente, o uso do líquido tratado pela Fossa Séptica Biodigestora no solo para fins agrícolas é um complemento do tratamento realizado pelo biodigestor, sendo, do ponto de vista sanitário, considerado uma etapa terciária no tratamento (HAIG, 2011). Até o momento da publicação deste livro, não existe uma norma brasileira que trate do uso agrícola de efluente de esgoto tratado (EET) em irrigação ou fertilização de solo. Apesar disso, é possível a recomendação de uso segundo algumas premissas, calcadas em resultados de projetos realizados no Brasil. Alguns técnicos, de forma errônea, utilizam a resolução do Conama nº 430/2011 (CONSELHO...

2011), como referência para uso agrícola do efluente tratado. Entretanto, os parâmetros desta resolução são válidos para o controle da qualidade do efluente o para uso direto de cursos d'água para irrigação, fato que não ocorre quando da aplicação no solo.

O mais importante documento brasileiro que trata da reciclagem agrícola do EET foi elaborado pelo Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (Prosab), financiado pela Finep, cujos objetivos principais visavam não só melhorias nos sistemas de coleta, tratamento e disposição de resíduos sólidos e esgoto, mas também propostas sobre como reciclar estes resíduos. Um dos documentos apresentados discute justamente a reciclagem do EET para fins agrícolas (FLORÊNCIO et al., 2006), sendo utilizado como referência no trabalho de reciclagem agrícola do efluente tratado pela Fossa Séptica Biodigestora.

Segundo as diretrizes do Prosab, dependendo das características do efluente tratado, o líquido pode ser utilizado em (i) irrigação irrestrita, com uso em qualquer tipo de cultura ou (ii) irrigação restrita, pela qual o efluente apresenta características remanescentes de contaminação microbiana, podendo assim ser utilizado em irrigação superficial ou por aspersão de qualquer cultura que não seja ingerida crua, incluindo culturas alimentícias ou não alimentícias, forrageiras, pastagens e árvores. Na irrigação restrita, o efluente deve ter uma quantidade de coliformes termotolerantes igual ou inferior a 10^4 UFC/ 100 mL e até um ovo viável de helminto por litro de efluente tratado. Parâmetros como Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Sólidos Suspensos Totais (SST) não têm valores limites para uso do líquido como fertilizante.

O efluente tratado que sai da Fossa Séptica Biodigestora possui uma quantidade de coliformes totais média com valor abaixo de 10^4 UFC/ 100 mL, que a torna viável para uso em irrigação restrita, conforme proposto pelo PROSAB. Entretanto, recomendações adicionais são feitas no manejo do líquido, em função das suas características físico-químicas, evitando-se desta maneira efeitos indesejáveis:

- 1-Devido às suas características de salinidade, EET pela Fossa Séptica Biodigestora não deve ser utilizado como água de irrigação, mas sim como fertilizante,
- 2-O uso deve ocorrer de maneira dosada, respeitando a necessidade da cultura, geralmente pela quantidade de nitrogênio, elemento nutritivo presente em maior quantidade,
- 3-O EET não deve ser a única fonte de água para a cultura,
- 4-O uso do efluente tratado como fertilizante deve ocorrer somente no solo,
- 5-Não usar o efluente tratado em fertilização foliar,

- 6- Não usar sistema de aspersão na irrigação, para evitar a dissipação de aerossóis,
- 7- Não utilizar o efluente tratado em hortaliças ou outras culturas que sejam ingeridas cruas,
- 8- Não usar o efluente em áreas de preservação permanente,
- 9- O manuseio do efluente deve ocorrer com o uso de luvas, calças e calçados fechados.

De maneira geral, o efluente tratado pela Fossa Séptica Biodigestora possui, do ponto de vista do uso agrícola, as características gerais citadas na Tabela 9.

Tabela 9. Características gerais médias do efluente de esgoto tratado pela Fossa Séptica Biodigestora, para fins de fertilidade no solo (valores aproximados*).

| | |
|---|-----|
| pH | 8,0 |
| Nitrogênio Total (mg L⁻¹) | 500 |
| Fósforo Total (mg L⁻¹) | 50 |
| Potássio (mg L⁻¹) | 100 |
| Carbono (mg L⁻¹) | 240 |

* Os valores irão variar em função do número de usuários, temperatura, quantidade de esterco fresco no sistema etc.

A dosagem recomendada de uso do EET pela Fossa Séptica Biodigestora dependerá de alguns aspectos, como a necessidade nutricional da cultura, a fertilidade do solo, o período vegetativo da cultura, entre outros. Um engenheiro agrônomo pode recomendar o uso de maneira adequada.

O uso do efluente tratado, no médio e longo prazo, irá beneficiar a fertilidade do solo segundo diversos critérios. O primeiro efeito está relacionado à acidez do solo. Como o efluente possui característica ligeiramente alcalina (Tabela 9), seu uso continuado tenderá a aumentar o valor do pH dos solos ácidos, muito comuns no Brasil e regiões de clima tropical. Estudos mostram que o uso do efluente pode aumentar em até duas unidades o pH do solo (FAUSTINO, 2007). Geralmente, o pH se estabiliza em valores próximos de 6, dependendo das características do solo e da taxa de aplicação. Assim, o uso do EET pela Fossa Séptica Biodigestora possibilita dois efeitos importantes, a correção do pH do solo e a maior absorção de fósforo pela planta, devido justamente à esta correção (MELO et al., 2009). Entretanto, o efeito corretivo do pH não é durável como o que ocorre quando da aplicação de calcário, sendo perdido caso ocorra descontinuidade de aplicação.

O efluente tratado possui também uma quantidade não desprezível de matéria orgânica solúvel (MOS), que confere a cor amarronzada do líquido, e possui propriedades interessantes como condicionadora de solo. Esta MOS não pode ser considerada húmus, pois ainda se encontra em processo de estabilização química e microbiana. Este fato é benéfico, pois a MOS vem acompanhada de elementos nutritivos metálicos, bem como fósforo e nitrogênio, que serão liberados ao solo quando da degradação da matéria orgânica, tornando-os assim disponíveis para as plantas. O material orgânico que não for degradado será então incorporado ao húmus do solo (MARTINETO et al., 2009).

O mais importante papel fertilizante do EET pela Fossa Séptica Biodigestora é devido aos nutrientes contidos no líquido. Além de nitrogênio, fósforo e potássio, cujas quantidades estão descritas na Tabela 9, o líquido tratado apresenta também uma série de micronutrientes como cobre, manganês, magnésio, zinco etc., conforme apresentado na Tabela 10.

Tabela 10. Composição média de elementos nutrientes e sódio presentes no efluente tratado pela Fossa Séptica Biodigestora.

| Elemento | Concentração |
|--------------------------|--------------|
| K (mg L ⁻¹) | 123,0 ± 5,0 |
| P (mg L ⁻¹) | 50,1 ± 2,5 |
| Ca (mg L ⁻¹) | 28,5 ± 1,6 |
| Mg (mg L ⁻¹) | 10,6 ± 0,4 |
| Fe (µg L ⁻¹) | 466 ± 106 |
| Mn (µg L ⁻¹) | 77 ± 3 |
| Zn (µg L ⁻¹) | 190 ± 23 |
| Cu (µg L ⁻¹) | 70 ± 13 |
| Na (mg L ⁻¹) | 231,0 ± 12,0 |

Fonte: Faustino (2007).

Com a aplicação controlada do EET, ocorrerá o aumento da fertilidade do solo, sendo este efeito mais visível quanto mais empobrecido for o solo em termos nutricionais. Solos com características mais arenosas ou de textura média, com baixa capacidade natural de retenção de nutrientes, tenderão a fornecer respostas mais rápidas ao uso do efluente tratado, entretanto, da mesma forma, perderão com facilidade os nutrientes incorporados, seja por

lixiviação pela água da chuva ou mesmo pelo excesso de aplicação do líquido. Solos com características argilosas tenderão a oferecer respostas mais lentas e duradouras. A planta trará em pouco tempo uma resposta visual de boa saúde nutricional, com folhas mais verdes e homogêneas. Como exemplo, a Figura 17 mostra o aspecto visual de bananeira fertilizada ou não, exclusivamente com o efluente tratado pela Fossa Séptica Biodigestora.



Foto: Wilson T. L. da Silva.

Figura 17. Comparação do aspecto visual de uma planta fertilizada com o EET da Fossa Séptica Biodigestora (esquerda) com uma não fertilizada (direita). As plantas possuem a mesma idade. A planta fertilizada recebeu uma dose de 50 L de efluente tratado a cada mês e a não fertilizada a mesma quantidade em água.

Entretanto, deve ser controlada a dose de aplicação para evitar contaminação. Em solos arenosos, um grande volume de aplicação pode acarretar em lixiviação do excesso de líquido para camadas mais profundas do solo, podendo levar a um arraste de nutrientes para o lençol freático. Solos mais argilosos, por outro lado, com a aplicação em excesso de efluente podem sofrer um acúmulo de sais, principalmente derivados do sódio que está presente em quantidade relativamente grande no líquido (Tabela 10), levando a um processo conhecido como sodização (DA SILVA et al., 2012). A salinização de solos pode ocorrer em outros casos, principalmente quando

do manejo inadequado da irrigação, comprometendo a produtividade. Entretanto, o uso controlado e dosado do efluente tratado pela Fossa Séptica Biodigestora tem levado a uma série de benefícios de fertilidade e produtividade, não tendo sido relatados efeitos adversos ou de contaminação do solo.

3. Considerações finais

A instalação dos sistemas de saneamento básico na área rural (Fossa Séptica Biodigestora e Jardim Filtrante) deve ser incentivada, visando à melhoria das condições de saneamento básico da área rural brasileira. A simplicidade de instalação e manutenção atrelada a custos relativamente acessíveis são fatores que favorecem a adoção por parte da população, mesmo em regiões mais isoladas.

Devido à quantidade relativamente elevada de nitrogênio e fósforo, o descarte do efluente tratado da Fossa diretamente em cursos d'água não é recomendado, tendo como alternativa o uso agrícola como fertilizante para o solo. A principal vantagem da utilização de efluentes na agricultura reside na recuperação de um recurso de grande importância para a agricultura – a água; além disso, os constituintes desses efluentes são produtos que podem aumentar a fertilidade do solo por conterem nutrientes essenciais às plantas, bem como matéria orgânica presente, cuja degradação proporcionará a disponibilização mais controlada de nutrientes.

O efluente do Jardim Filtrante apresenta concentrações bem inferiores de N e P em comparação ao efluente da Fossa Séptica Biodigestora. Ainda, conforme os limites estabelecidos pela Resolução Conama 430/2011, a qual dispõe sobre os padrões de lançamento de efluentes, a concentração de N no efluente tratado pelo Jardim Filtrante está adequada. Além disso, apresenta pH levemente ácido, tendendo à neutralidade, turbidez relativamente baixa e concentrações de metais inferiores às aquelas da Resolução. No Brasil ainda não há uma normalização específica para os sistemas de reúso de água. O que tem sido praticado é a adoção dos padrões internacionais ou a adoção de orientações técnicas produzidas por instituições privadas (CREA – PR, 2010). Assim, neste momento, a recomendação feita é o reúso da água para fins menos nobres, como limpeza de galpões ou áreas de uso comum.

A Embrapa Instrumentação tem feito um trabalho bastante intenso no sentido de divulgar e treinar multiplicadores. O resultado que se espera é a universalização do saneamento básico na área rural no médio prazo. Para isso, agentes públicos, privados, e do terceiro setor têm se envolvido, e até a publicação deste capítulo, mais de 6.000 unidades de Fossa Séptica

Biodigestora já haviam sido instaladas em praticamente todo o território brasileiro.

Referências

BASTOS, R. K. X. **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. Rio de Janeiro: ABES, 2003. 267 p.

CAMPOS, J. R. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 464 p. Projeto Prosab.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, n. 053, p. 58-63, 2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. **Diário Oficial da União, Brasília**, n. 167, p. 141-146, 2006.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - Conama. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2011.

DA SILVA, W. T. L.; MARTELLI, L. F. A.; ALMEIDA, T. L.; MILORI, D. M. B. P.; MARTIN-NETO, L. Contaminação do solo: aspectos gerais e contextualização na Química Ambiental. In: ROSA, A. H.; FRACETO, L. F.; MOSCHINI-CARLOS, V. (Org.) **Meio ambiente e sustentabilidade**. Porto Alegre: Bookman, 2012. p. 67-87.

DA SILVA, W. T. L.; NOVAES, A. P.; KUROKI, V.; MARTELLI, L. F. A.; MAGNONI JÚNIOR, L. Avaliação físico-química de efluente gerado em biodigestor anaeróbio para fins de avaliação de eficiência e aplicação como fertilizante agrícola. **Química Nova**, São Paulo, v. 35, p. 35-40, 2011.

ESPÍNDOLA, E. L. G.; BRIGANTE, J. **Projeto Mogi-Guaçu**: desenvolvendo ações socioambientais. São Carlos: RiMa, 2009. 382 p.

FAUSTINO, A. S. **Estudos físico-químicos do efluente produzido por Fossa Séptica Biodigestora e o impacto do seu uso no solo**. 2007. 120 p. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.

FAUSTINO, A. S.; NOVAES, A. P.; SILVA, W. T. L. de. **Eficiência do Processo de Biodigestão em Fossa Séptica Biodigestora Inoculada com Esterco de Ovino**.

Conceitos e aplicações da instrumentação para o avanço da agricultura

São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2007. 20 p. (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Documentos Embrapa, 34).

FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. **Reúso das águas de esgoto sanitário inclusive desenvolvimento de tecnologias de tratamento para esse fim**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 427 p.

HAIG, N. Onsite Sewage Treatment Program Staff. **Manual for Septic System Professionals in Minnesota, Section 3: Sewage Treatment Utilizing Soil**. 2. ed. University of Minnesota: St. Paul, MN, 2011. p. 3-1-3-40.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – 2008**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2013.

KADLEC, R. H.; KNIGHT, R. L. **Treatment wetlands**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1996. 893p.

MARTIN-NETO, L.; MILORI, D. M. B. P.; DA SILVA, W. T. L.; SIMOES, M. L. EPR, FTIR, Raman, UV-visible light absorption and fluorescence spectroscopies in studies of humic substances. In: SENESI, N.; XING, B.; HUANG, P. M. (Org.). **Biophysico-Chemical Processes Involving Natural Organic Matter in Environmental Systems**. Hoboken: Wiley IUPAC Series, 2009, p. 651-728.

MELO, V. F.; CASTILHOS, R. M. V.; PINTO, L. F. S. Reserva Mineral do Solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Org.) **Química e Mineralogia do Solo**. Viçosa: SBCS, 2009, p. 251-332.

NOVAES, A. P.; SIMÕES, M. L.; MARTIN NETO, L.; CRUVINEL, P. E.; SANTANA, A.; NOVOTNY, E. H.; SANTIAGO, G.; NOGUEIRA, A. R. A. **Utilização de uma Fossa Séptica Biodigestora para a melhoria do saneamento rural e desenvolvimento da agricultura orgânica**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2002. 5 p. (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Comunicado Técnico, 46).

NOVAES, A. P.; SIMOES, M. L.; INAMASU, R. Y.; JESUS, E. A. P.; MARTIN-NETO, L.; SANTIAGO, G.; DA SILVA, W. T. L. Saneamento Básico na Área Rural. In: SPADOTTO, C.; RIBEIRO, W. (Org.). **Gestão de Resíduos na agricultura e na agroindústria**. Botucatu: FEPAF, 2006, p. 262-275.

PARESCI, D. C. **Caracterização da fauna rotífera em área alagada construída para tratamento de esgoto doméstico – Piracicaba (SP)**. 2004. 180 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

RUIZ, R. L. **Microbiologia Zootécnica**. São Paulo: Livraria Roca, 1992. 314 p.

UNESCO. Escala práctica de salinidad 1978 y la Ecuación Internacional de estado del agua de mar 1980. **Tech. Pap. Mar. Sci.**, [s. l.] v. 36, p. 25, 1981.

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.