

SUZANA SOUZA DOS SANTOS

INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO, VIA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO,
DE ESGOTO SANITÁRIO TRATADO NA CULTURA DO CAFEEIRO E NO
SOLO

Tese apresentada à Universidade Federal
de Viçosa, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação, em
Engenharia Agrícola, para obtenção do
título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2004

SUZANA SOUZA DOS SANTOS

INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO, VIA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO,
DE ESGOTO SANITÁRIO TRATADO NA CULTURA DO CAFEIEIRO E NO
SOLO

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação, em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Aprovada: 26 de fevereiro de 2004.

Prof. Antonio Teixeira de Matos
(Conselheiro)

Prof. Cláudio Mudado Silva

Prof. Mauro Aparecido Martinez

Prof. Brauliro Gonçalves Leal

Prof. Antônio Alves Soares
(Orientador)

A Deus.

Aos meus Pais, Renato (*in memoriam*) e Gildete.

Aos meus irmãos, sobrinhos e cunhados.

AGRADECIMENTO

A Deus, pela saúde, pela fé, pela coragem, pela esperança indispensáveis para vencer os desafios, em fim, por tudo, pois sem Ele nada é possível.

Aos meus Pais Renato Antônio dos Santos (*in memorian*) e Gildete Souza dos Santos, pelo amor, pelo enorme apoio e pelos ensinamentos que norteiam a minha existência.

Aos meus irmãos, sobrinhos e cunhados, pelo incentivo e apoio, que mesmo estando longe sempre acreditaram no meu trabalho.

Ao Ricardo Santos Silva Amorim, companheiro e amigo, pelo apoio, pelo carinho, pela compreensão e valiosa colaboração em todos os momentos desta caminhada.

A toda minha família, parentes e amigos, pelo estímulo, confiança e apoio.

À Universidade Federal de Viçosa, por intermédio do Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do Curso.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA-PNP&D/CAFÉ), pela concessão da bolsa.

Ao Professor Antônio Alves Soares, pela orientação, pelos ensinamentos, pela amizade e confiança em conduzir este trabalho.

Aos Professores Conselheiros, Antonio Teixeiras de Matos e Everardo Chartuni, pela atenção e pela colaboração com valiosas sugestões.

A todos professores do Departamento de Engenharia Agrícola, com que tive oportunidade de me relacionar, pelo apoio e incentivo.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, pelo pronto atendimento a todas as necessidades durante o Curso.

Ao Departamento de Microbiologia do solo da Universidade Federal de Viçosa, por intermédio da Professora Maria Cristina Vanete, pelo apoio, atenção e auxílio na realização das análises microbiológicas do solo.

À engenheira Sandra Parreiras Pereira Fonseca, pelo apoio atenção, ajuda e incentivo.

Ao Gilberto Estanislau, pela competência em operar a estação experimental, pela dedicação e pela amizade.

Aos colegas Rafael, Alfredo, Douglas e Júlio, pela ajuda na coleta de dados, pela paciência e amizade.

Aos Laboratoristas Simão e Brás, pela ajuda no laboratório, pela paciência nos momentos difíceis, pela dedicação e amizade.

A Miranda, Tatiana e Renata, pela amizade, pela acolhida e por toda ajuda recebida.

Aos colegas de curso, pela amizade e pelo incentivo nos momentos mais difíceis.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho e que ficaram no anonimato.

BIOGRAFIA

SUZANA SOUZA DOS SANTOS, filha de Renato Antônio dos Santos e Gildete Souza dos Santos, natural de Igrapiúna – BA.

Em abril de 1994, iniciou o Curso de Engenharia Florestal Universidade Federal do Mato Grosso, concluindo-o em agosto de 1999.

Bolsista do Programa Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento do Café no período de março de 2001 a dezembro de 2003.

Em abril de 2002 iniciou o Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, área de Irrigação e Drenagem, na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1. Características das águas residuárias domésticas brutas	5
2.1.1. Características físicas dos esgotos	6
2.1.2. Características químicas dos esgotos	7
2.1.3. Características biológicas dos esgotos	9
2.2. Microrganismos indicadores de poluição	9
2.3. Histórico do tratamento de água residuária por disposição no solo	12
2.3.1. Processos de tratamento de água residuária urbana	14
2.3.1.1. Disposição de água residuária urbana sobre o solo	14
2.3.1.2. Lagoas de Estabilização	16
2.4. Cafeicultura irrigada	18
2.4.1. Qualidade da água para irrigação	20
2.4.2. Aplicação de águas residuária doméstica na agricultura como fonte complementar de nutrientes	25

3. MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1. Local do experimento	28
3.2. Estação-Piloto de Tratamento de Esgoto – EPTE	28
3.3. Plantio e manejo do cafeeiro	32
3.4. Avaliação da Uniformidade de Distribuição	34
3.5. Delineamento experimental e caracterização dos tratamentos	36
3.6. Caracterização do efluente da lagoa de maturação	36
3.6.1. Amostragem do efluente	36
3.6.2. Análises físicas e químicas do efluente	37
3.6.3. Análises microbiológicas do efluente da lagoa	37
3.7. Análises químicas das folhas do cafeeiro e do solo	38
3.7.1. Análises microbiológicas do solo	39
3.7.2. Análises microbiológicas dos frutos do cafeeiro coletados no chão	39
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1. Caracterização do efluente utilizado	41
4.2. Avaliação do sistema de irrigação	47
4.3. Análise microbiológica do solo	48
4.4. Análise microbiológica dos frutos do cafeeiro caídos no chão	51
4.5. Análise química do solo	51
4.6. Análise química das folhas	55
5. RESUMO E CONCLUSÕES	58
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

RESUMO

SANTOS, Suzana Souza, M.S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2004. **Influência da aplicação, via irrigação por gotejamento, de esgoto sanitário tratado na cultura do cafeeiro e no solo.** Orientador: Antônio Alves Soares. Conselheiros: Antonio Teixeira de Matos e Everardo Chartuni Mantovani.

O uso de águas residuárias na agricultura tem sido uma forma alternativa de minimizar problemas ambientais proporcionados pelo lançamento das mesmas em cursos d'água, além de favorecer um incremento na produtividade agrícola, sendo este incremento dependente de alguns fatores, tais como: cultura, disponibilidade de nutrientes no efluente, demanda nutricional das plantas e manejo adotado. No entanto, a utilização de águas residuárias na agricultura exige o desenvolvimento e aprimoramento de técnicas que visem à minimização dos riscos de contaminação do solo e dos agricultores. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo geral avaliar os aspectos de contaminação do solo e nutricional da cultura do cafeeiro com a aplicação, por gotejamento, de esgoto doméstico tratado por escoamento superficial seguido de lagoa de maturação, no Município de Viçosa – MG. Para alcançar os objetivos propostos, foi montado

um experimento no delineamento inteiramente casualizado, constituído de 5 tratamentos, os quais foram: aplicação de água de represa sem interrupção (T_0) e aplicação do efluente até quatro, três, duas e uma semana antes da colheita dos frutos do cafeeiro (T_4 , T_3 , T_2 e T_1 , respectivamente). Para realizarem-se as análises microbiológicas (coliformes fecais e totais) e análises químicas (fósforo, nitrogênio, potássio e sódio), foram retiradas amostras de solo nas profundidades de 0 - 10, 10 - 20 e 20 - 30 cm. Folhas do cafeeiro foram retiradas na altura mediana da planta, no 3º e 4º par de folhas, para análise foliar (N, P; e K), e coletados frutos do chão, para determinação da presença de coliformes fecais e totais. A análise estatística consistiu de análise de variância e teste de médias, para comparação das variáveis dependentes, avaliadas para os diferentes tratamentos. Os resultados obtidos permitiram concluir que: o efluente gerado na Estação-Piloto de Tratamento de Esgoto do DEA/UFV não apresenta, segundo a legislação ambiental vigente, qualidade para lançamento em curso d'água, devendo a mesma estar associada a tratamento subsequente, ou disposição no solo, sendo a fertirrigação uma das possíveis alternativas; a aplicação do efluente elevou, significativamente, os teores de nitrogênio no solo; a aplicação desse efluente durante todo o ano corresponde a da adubação convencional com uma formula NPK de 15, 16 e 9%, respectivamente; o manejo da aplicação do efluente na cultura não deve ser em função da necessidade hídrica da cultura, tendo em vista dos riscos de contaminação das águas subterrâneas, devido aos elevados valores de Na observados no solo; o estresse hídrico proporcionado no solo foi eficiente no processo de desinfecção de coliformes no solo, quando a aplicação de efluente foi suspensa, pelo menos, duas semanas antes da colheita e não houve contaminação dos frutos “do chão” do cafeeiro, independente da época de suspensão da aplicação do efluente no solo.

ABSTRACT

SANTOS, Suzana Souza, M.S., Universidade Federal de Viçosa, february 2004.
Influence of treated sewage application, via drip irrigation, over the soil and the coffee crop. Orientador: Antônio Alves Soares. Conselheiros: Antonio Teixeira de Matos e Everardo Chartuni Mantovani.

The use of treated sewage in agriculture has been used as an alternative to minimize environmental problems and to increase the crop yield, depending on the crop, the nutrients available in the effluent, the plant nutrition demand and the irrigation management. However, the wastewater has to be carefully used in agriculture, with appropriate techniques, to avoid contamination of the soil and farmers. The objective of this research was to evaluate the soil contamination and the coffee crop nutritional aspects, in a drip irrigation system applying effluent from an overland flow sewage treatment system, for conditions of Viçosa, in the Estate of Minas Gerais – Brazil. A completely random design system with 5 treatments was used: continuous application of fresh water (T_0) and continuous application of treated sewage up to four, three, two and one week before harvesting (T_4 , T_3 , T_2 and T_1 , respectively).

Samples of the soil were collected in the depths of 0-10, 20-30 and 50-60 cm for

the microbiological analysis (total and fecal coliforms-E.coli) and chemical analysis (phosphorous, nitrogen, potassium and sodium). For leaf analysis (N, P; and K) samples were collected at medium height of the plant, in the third and fourth pair of leafs. Coffee grains felt on the ground were collected for total and fecal coliforms-E.coli analysis. The statistical analysis consisted in variance analysis and average tests for the dependable variables for the different treatments. The results showed that: the effluent from the pilot sewage treatment plant of DEA/UFV can not be thrown in the water bodies, according to the actual environment laws, therefore it has to be submitted to subsequent treatment; the sewage application raised significantly the amount of nitrogen in the soil; the sewage application during all the year corresponds to a application of a 15, 16 and 9% NPK formula; the sewage application management can not be a function of the crop water requirement due to the risks of groundwater contamination with sodium, that presented a high concentration in the soil; the deficit of water in the soil was efficient in the process of coliforms soil disinfection, when the sewage application is interrupted at least two weeks before harvesting; and there were no contamination in the grains felt on the ground, independently of the time of interruption of the sewage application.

1. INTRODUÇÃO

A água é considerada uma substância de extrema importância para os ecossistemas e para a humanidade. Entretanto, tem sido um dos principais recursos afetados pela crescente degradação ambiental, causada principalmente pelo crescimento urbano. Grande quantidade de água residuária urbana tem sido, diariamente, lançada nos cursos d'água, causando problemas de poluição, degradação do meio ambiente e, conseqüentemente, escassez dos mananciais de água adequados para o consumo humano.

Segundo LEON e CAVALLINI (1999), cerca de 40 milhões de metros cúbicos de água residuárias eram descarregadas diariamente nos rios, lagos e mares da América Latina e Caribe até o final da década de 1990 e apenas cerca de 10% do volume total coletado de esgoto recebiam tratamento antes de serem lançados nos corpos de água superficial ou antes de serem usados na fertirrigação de áreas cultivadas.

Com a necessidade de se preservar os recursos hídricos, foram desenvolvidas diversas técnicas alternativas de tratamento para minimizar os efeitos adversos ocasionados no meio ambiente pelo lançamento dos esgotos. Dentre estas técnicas de tratamento, a que pode ser conciliada com o aproveitamento agrícola, é a disposição no solo. Dentre os métodos de tratamento

por disposição no solo, pode-se citar o de infiltração-percolação, fertirrigação e de escoamento superficial (MATOS e LO MONACO, 2003).

Embora o processo de tratamento de esgoto por escoamento superficial seja uma alternativa simples e de baixo custo, o efluente resultante ainda apresenta qualidade inadequada para lançamento nos cursos d'água, devido à insatisfatória remoção de patógenos e redução da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e da demanda química de oxigênio (DQO). Para corrigir as deficiências de sistemas de tratamento por disposição no solo, lagoas de maturação se apresentam como uma solução tecnicamente viável, em função de seu baixo custo, simplicidade, estabilidade operacional e elevada eficiência na remoção de organismos patogênicos (MARA e PEARSON, 1987; VON SPERLING, 1996).

A utilização de efluente na agricultura pode se dar na forma de fertirrigação devido o seu elevado teor de nutrientes e matéria orgânica, atuando, desta forma, como uma importante fonte de nutrientes para as plantas, trazendo benefícios diretos à produção das culturas e ao meio ambiente (JIMÉNEZ-CISNEROS, 1995).

Nas duas últimas décadas, verificou-se um expressivo aumento da área fertirrigada com esgoto doméstico, sendo esta prática utilizada para o cultivo de hortaliças, uva, forrageiras, algodão, bosques, entre outros, em vários países da América Latina, E.U.A, Europa, Ásia, Austrália, África e Oriente Médio (ANDRADE NETO, 1991). No Brasil, a prática do uso de esgoto, principalmente para o cultivo de hortaliças e de algumas culturas forrageiras já é, de certa forma, difundida. No Estado do Rio Grande do Norte, são utilizados efluentes de lagoas de estabilização para fertirrigação de milho, melancia, abóbora e capim para o gado (ANDRADE NETO, 1991).

O aproveitamento agrícola de águas residuárias está associado com alguns riscos sanitários, devido à possibilidade da presença de patógenos, tais como, *Escherichia coli*, *Salmonella sp.*, *Shigella sp.*, bem como ovos de nematóides intestinais. Porém, o risco da disseminação de coliformes fecais e outras bactérias pode ser minimizado utilizando-se um manejo adequado do

esgoto doméstico.

Assim, torna-se de grande importância a compreensão e a busca dos mecanismos e processos que venham a causar a morte e a eliminação desses microrganismos indesejáveis ao meio ambiente e que representam riscos sanitários.

A cafeicultura irrigada tem ganhado grande importância no Brasil, principalmente em áreas com estação seca bem definida, como é o caso do cerrado brasileiro, que compreende os Estados de Minas Gerais, Bahia, Goiás, Distrito Federal e outros.

A irrigação localizada por gotejamento tem sido utilizada na cafeicultura irrigada em virtude de algumas vantagens, tais como: a alta uniformidade de aplicação de água; a aplicação de pequenas quantidades de água em volumes de solo limitados, favorecendo, desta forma, a eficiência de aplicação; apresentar perda por percolação desprezível, quando o manejo é eficiente (AL-NAKSHABANDI et al., 1997). Essas vantagens são de grande importância quando se utiliza água residuária. Além disso, este sistema reduz o contato do irrigante com o efluente aplicado por não dispersar aerossóis na atmosfera, diferente do que ocorre com o método de aplicação por aspersão, reduzindo também o contato direto das folhas e frutos dos vegetais com a água residuária, minimizando a contaminação biológica.

A principal desvantagem do sistema de aplicação por gotejamento é a suscetibilidade dos emissores e tubos ao entupimento, o que está frequentemente relacionada à qualidade da água. As causas mais comuns de entupimento são a precipitação de carbonato de cálcio, compostos de fosfato de cálcio, óxido de ferro, crescimento de algas e formação de biofilme de bactérias. (AYERS & WESTCOT, 1985). Outro problema associado ao uso de água residuária tratada por meio de sistemas de aplicação por gotejamento é o acúmulo de sais no solo. Os sais acumulam-se na superfície e ao longo do perfil do solo na periferia do bulbo molhado.

A aplicação de águas residuárias no solo, como forma de tratamento ou reaproveitamento da água e de nutrientes, é relativamente recente no Brasil, sendo, desta forma, de fundamental importância conhecer seus efeitos no solo, nas plantas e nos sistemas de aplicação.

O presente trabalho teve como objetivo geral avaliar os aspectos de contaminação do solo e nutricional da cultura do cafeeiro com a aplicação, por gotejamento, de esgoto doméstico tratado por escoamento superficial seguido de lagoa de maturação, no Município de Viçosa – MG.

Objetivos específicos:

- caracterização do efluente gerado na Estação-Piloto de Tratamento de Esgoto do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG;

- avaliar a concentração de N, P e K no solo e nas folhas do cafeeiro quando fertirrigados com esgoto doméstico tratado;

- avaliar a concentração de Na no solo submetido à aplicação de esgoto doméstico tratado; e

- avaliar a contaminação por coliformes fecais e totais do solo e dos frutos do cafeeiro coletados do chão quando fertirrigado com esgoto doméstico tratado.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Características das águas residuárias domésticas brutas

A água residuária doméstica é aquela que provém, principalmente, de residências, estabelecimentos comerciais, instituições ou quaisquer edificações que dispõem de instalações com banheiros, lavanderias e cozinhas. É constituída por resíduos humanos (fezes e urina) e águas produzidas nas diversas atividades diárias, como asseio corporal, preparo de alimento, lavagem de roupas e utensílios domésticos (VON SPERLING, 1996).

As fezes humanas são compostas por restos alimentares ou pelos próprios alimentos não transformados pela digestão, sendo constituídas por albuminas, gorduras, hidratos de carbono, proteínas, sais e uma infinidade de microorganismos (JORDÃO e PESSOA, 1982).

Na urina são eliminadas algumas substâncias, tais como uréia, resultantes das transformações químicas (metabolismo) de compostos nitrogenados (proteínas).

As fezes, e principalmente, a urina contêm grande porcentagem de água, além de matéria orgânica e inorgânica. Nas fezes estão cerca de 20% de matéria orgânica e na urina 2,5% (JORDÃO e PESSÔA, 1982).

Os microrganismos eliminados nas fezes humanas são de diversos tipos, sendo que os coliformes (*Escherichia coli*, *Aerobacter aerogenes* e o *Aerobacter cloacae*) estão presentes em grande quantidade, podendo atingir um bilhão por grama de fezes (JORDÃO e PESSÔA, 1982).

2.1.1. Características físicas dos esgotos

Segundo JORDÃO e PESSÔA (1982), as principais características físicas ligadas aos esgotos domésticos são: matéria sólida, temperatura, odor, cor e turbidez, além da variação de vazão.

Os esgotos domésticos contêm, aproximadamente, 99,9% de água, e apenas 0,1% de sólidos. É no entanto, devido a esse percentual de sólidos que ocorrem os problemas de poluição das águas, trazendo a necessidade de se tratar os esgotos (JORDÃO e PESSÔA, 1982; TERADA et al., 1985).

A temperatura do esgoto é, em geral, pouco superior à das águas de abastecimento, variando de 20 a 25°C. Nos processos de natureza biológica, a velocidade de decomposição do esgoto é proporcional ao aumento da temperatura, o qual proporciona a diminuição da viscosidade, melhorando as condições de sedimentação do material em suspensão (METCALF e EDDY, 1985; JORDÃO e PESSÔA, 1982).

Os odores característicos do esgoto são causados pelos gases formados no processo de decomposição, assim o odor de mofo (típico do esgoto fresco) e o odor de ovo podre (típico do esgoto velho ou séptico) é devido à presença de gás sulfídrico (JORDÃO e PESSÔA, 1982).

A cor é uma característica decorrente da presença de substâncias dissolvidas sendo, na maioria das vezes, de natureza orgânica; e a turbidez é decorrente da presença de substâncias em suspensão (sólidos suspensos). A cor e

turbidez indicam, de imediato, o estado de decomposição do esgoto. A tonalidade acinzentada acompanhada de alguma turbidez é típica do esgoto fresco e a cor preta é típica do esgoto velho (JORDÃO e PESSÔA, 1982; METCALF e EDDY, 1985; AZEVEDO NETTO, 1987).

A variação de vazão do efluente de um sistema de esgoto doméstico é função dos costumes dos habitantes, sendo que, quanto menor for a comunidade, maior será a variação. A vazão do esgoto doméstico é calculada em função do consumo médio diário de água de um indivíduo, em nível de Brasil, o consumo per capita médio de água é de, aproximadamente, 200 L dia⁻¹. Estima-se que, para cada 100 litros de água consumida, são lançados aproximadamente 80 litros de esgoto na rede coletora, ou seja, 80% (METCALF e EDDY, 1985).

2.1.2. Características químicas dos esgotos

Os sólidos presentes nos esgotos domésticos são de natureza orgânica e inorgânica.

Cerca de 70% dos sólidos no esgoto são de origem orgânica sendo que, geralmente, esses compostos orgânicos são uma combinação de carbono, hidrogênio e oxigênio e, algumas vezes, nitrogênio (SILVA e MARA, 1979).

As substâncias orgânicas presentes nos esgotos são compostas de proteínas (40 a 60%), carboidratos (25 a 50%), gorduras e óleos (10%), surfactantes e fenóis (em menor quantidade).

As proteínas são produtoras de nitrogênio e contém carbono, hidrogênio, oxigênio e, algumas vezes, fósforo, enxofre e ferro. Elas são os principais constituintes dos organismos animais, mas estão presentes, também, em plantas. O gás sulfídrico presente nos esgotos é proveniente do enxofre advindo das proteínas (PAGANINI, 1997).

Os carboidratos contém carbono, hidrogênio e oxigênio e são as principais substâncias a serem destruídas pelas bactérias, com a produção de ácidos orgânicos, por esta razão os esgotos velhos apresentam maior acidez.

As gorduras, também denominadas matéria graxa e óleos, provêm geralmente de manteiga, óleos vegetais e carne, ou derivados de petróleo, sendo sua presença indesejável, em virtude da sua aderência às paredes das canalizações podendo provocar entupimento.

Os surfactantes são constituídos por moléculas orgânicas com a propriedade de formar espumas no corpo receptor ou na estação de tratamento de esgoto.

Os fenóis são compostos orgânicos originados em despejos industriais, podendo causar, mesmo em baixas concentrações, gosto característico à água.

A quantidade de matéria orgânica presente nos esgotos é expressa por dois parâmetros primordiais que indicam o nível de contaminação de um corpo d'água: demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5) e a demanda química de oxigênio (DQO). A DBO é a quantidade de oxigênio dissolvido, necessária aos microrganismos, na estabilização da matéria orgânica em decomposição, sob condições aeróbias. A estabilização completa demora aproximadamente 20 dias. Num efluente, quanto maior a quantidade de matéria orgânica biodegradável maior será a DBO. Normalmente, a DBO dos esgotos domésticos varia entre 100 e 300 $mg L^{-1}$, enquanto em cursos d'água naturais o valor de DBO fica em torno de 10 a 15 $mg L^{-1}$ (NUVOLARI, 2003).

Com a análise da DQO visa-se quantificar o consumo de oxigênio que ocorre durante a oxidação química de parte dos compostos orgânicos e dos inorgânicos presente numa amostra. A oxidação química do material orgânico é obtida por oxidantes fortes como o permanganato ou dicromato de potássio (NUVOLARI, 2003).

Segundo ANDRADE NETO (1997), a matéria inorgânica nos esgotos é formada, principalmente, pela presença de areia e de substâncias minerais dissolvidas. A presença de areia é proveniente das águas de lavagens das ruas e das águas do subsolo.

2.1.3. Características biológicas dos esgotos

Os principais microrganismos encontrados nos esgotos são: bactérias, fungos, protozoários, vírus e algas (JORDÃO e PESSÔA, 1982). Deste grupo, as bactérias são as mais importantes, pois são responsáveis pela decomposição e estabilização da matéria orgânica, tanto na natureza como nas estações de tratamento, sendo algumas patogênicas, isto é, podendo causar doenças (NUVOLARI, 2003).

O aumento de matéria orgânica nos corpos d'água proporciona um ambiente favorável para o desenvolvimento de microrganismos que se alimentam da mesma, aumentando assim a demanda de oxigênio. A quantidade de matéria orgânica presente nos corpos d'água depende dos organismos presentes, dos resíduos de plantas e de animais que são carregados para as águas (AZEVEDO NETTO, 1987).

O lançamento dos efluentes ocasiona a proliferação de algas nos corpos d'água devido aos nutrientes (nitrogênio e fósforo) presentes no esgoto e, às vezes, estes nutrientes são indesejáveis quando em grande quantidade, pois podem causar problemas de eutrofização dos corpos d'água receptor (JORDÃO e PESSÔA, 1982). No caso de usar o efluente para fertirrigação pode ocorrer o contrário, havendo, inclusive, o interesse de se conservar os nutrientes, uma vez que estes poderão substituir os nutrientes de fertilizantes químicos.

2.2. Microrganismos indicadores de poluição

A poluição é considerada como qualquer modificação nas características do meio e ou ambiente, capaz de torná-los nocivos à saúde, à natureza, à segurança e ao bem-estar dos seres vivos, prejudicando o equilíbrio natural. A nocividade da poluição é de caráter passivo, causada pelo agente chamado poluente, por meio da prática irracional e desfavorável, como, por exemplo, o uso excessivo de fertilizantes químicos e o lançamento de águas residuárias em um

corpo d'água receptor. O poluente, por exemplo, água residuária pode conter elementos contaminantes, como seres patogênicos e elementos tóxicos (AZEVEDO NETTO, 1987).

A água é, normalmente, habitat para vários tipos de microrganismos de vida livre e não parasitária, que dela extraem os elementos indispensáveis à sua sobrevivência. Ocasionalmente onde são introduzidos organismos patogênicos, que utilizando a água como veículo, constituem-se em perigo sanitário (AZEVEDO NETTO, 1987).

Há vários microrganismos cuja presença num corpo d'água indicam poluição. Os microrganismos do grupo coliforme são indicativos de poluição de origem fecal por serem típicos do intestino do homem e de outros animais de sangue quente (mamíferos), por estarem presentes nas fezes humanas (100 a 400 bilhões de coliformes/hab.dia) e serem de simples determinação. São adotados, também, como parâmetro bacteriológico básico de referência na definição da qualidade das águas destinadas ao consumo humano, bem como para a caracterização e avaliação da qualidade das águas em geral, além de serem utilizados na estimativa da magnitude da poluição. Seria por demais trabalhoso e antieconômico realizar-se análises para detectar cada organismo patogênico no esgoto, por esta razão, determina-se à presença de coliformes que, com relativa segurança, existe no meio sempre que os demais patogênicos estão presentes (BITTON, 1994; OMS, 1995).

Os coliformes apresentam resistência aproximadamente similar à da maioria das bactérias patogênicas intestinais. Essa característica é importante, pois não seriam bons indicadores de contaminação fecal se morressem mais rapidamente que o agente patogênico. Por outro lado, se a sua taxa de mortalidade fosse menor que a das bactérias patogênicas, também deixariam de ser úteis, uma vez que, sobrevivendo por mais tempo, indicariam suspeitas águas possivelmente já depuradas (CHRISTOVÃO, 1974).

Embora seja usual denominar esses microrganismos como grupo coliformes, é conveniente dividi-los em subgrupos chamados de coliformes totais e coliformes fecais.

De acordo com AZEVEDO NETTO (1987), os coliformes totais e fecais atuam como indicadores de lançamentos orgânicos, sendo expressos em densidade, ou seja, como o "número mais provável (NMP) em cada 100 mL da amostra". O grupo coliforme inclui todos os bacilos aeróbios, anaeróbios ou facultativos, gram negativos, não esporulados (*Escherichia sp*, *Enterobacter sp*, *Citrobacter sp*, *Klebsiella sp.*).

O esgoto bruto contém cerca de 10^8 a 10^{11} NMP/100mL de coliformes totais e de 10^6 a 10^7 NMP/100mL de coliformes fecais (ARCEIVALA, 1981; METCALF e EDDY, 1985).

Os coliformes totais correspondem ao total de microrganismos "gram negativos" encontrados em uma amostra. Este grupo inclui as bactérias aeróbias e anaeróbias facultativas não formadoras de esporos, que fermentam a lactose com produção de gás em 24-48 horas, sob temperatura de 35°C (CAVALCANTI, 1999). Já os coliformes fecais, indicam a quantidade dos microrganismos oriundos de excretas humanos e, portanto, com risco de serem patogênicos. Em laboratório, a diferença entre coliformes totais e fecais é obtida pela incubação das amostras em diferentes temperaturas (os coliformes fecais continuam vivos mesmo a 44°C, enquanto os coliformes totais têm crescimento até 35°C). A presença de coliformes fecais na água permite afirmar que houve contaminação com matéria fecal, embora não exclusivamente humana (AZEVEDO NETTO, 1987).

As técnicas utilizadas para a determinação das bactérias do grupo coliformes são, número mais provável em fermentação em tubos múltiplos ou contagem de unidades formadoras de colônias por membrana filtrante. Uma técnica que pode ser utilizada também para determinação dos coliformes totais e fecais é o método enzimático, considerado um método rápido (períodos de 24 horas) e mais preciso, comparado com o método de fermentação em tubos múltiplos e membrana filtrante (BITTON, 1994)

As bactérias do grupo coliformes também são encontradas no solo e em vegetais, algumas apresentando capacidade de se multiplicar na água com altos teores de nutrientes (AZEVEDO NETTO, 1987).

Em 1995, a Organização Mundial de Saúde (OMS) citou a *Escherichia coli* como a principal bactéria do grupo de coliformes fecais, como indicador de poluição fecal.

CHERNICHARO (1997) comenta que a sobrevivência das bactérias no solo depende de alguns fatores como: umidade, pH, radiação solar, temperatura, concentrações de matéria orgânica e da competição de outros organismos no solo. Algumas bactérias têm um tempo curto de sobrevivência fora do intestino humano, enquanto as bactérias indicadoras como *Escherichia coli* persistem por longos períodos de tempo no solo. O fator determinante para a sobrevivência das bactérias no solo é a umidade. A OMS (1989) relatou que as bactérias do grupo dos coliformes fecais provenientes da aplicação de águas residuárias sobrevivem no solo por um período de até 20 dias, sob temperaturas ambiente de 20 a 30°C, podendo esse tempo se estender por 70 dias, dependendo das condições climáticas, do tipo de solo e da qualidade da água residuária. IBIEBELE e INYANG (1986) encontraram que a presença de coliformes no solo, na profundidade de 0,30 m é bem menor que na superfície do solo e reduz ainda mais em maiores profundidades. O decréscimo do número de microrganismos é função da característica textural do solo, havendo maior remoção quanto mais argilosos forem os solos.

2.3. Histórico do tratamento de água residuária por disposição no solo

A disposição de água residuária no solo é considerada uma prática muito antiga em muitos países do sudeste asiático, principalmente na China. As primeiras cidades européias a adotarem esta prática foram Edinburgo na Escócia, em 1650, e Bunzlau na Alemanha, em 1959 (METCALF e EDDY, 1985).

Com o crescimento das cidades, passou a ficar sério o problema da poluição ambiental causada pelo lançamento de esgotos sanitários sem tratamento, diretamente nos rios. Uma alternativa utilizada para minimizar este impacto foi o transporte do esgoto bruto até as áreas rurais, para disposição e

utilização na agricultura, que ficaram conhecidas como “Fazendas de Esgoto”. As Fazendas de Esgoto, na época, foram implantadas em cidades como Edinburgo, em 1865 e, mais tarde, em Londres, Manchester e outras cidades no Reino Unido. Em 1875, já existiam cerca de 50 fazendas na Grã Bretanha (HARLIN e CURTS, 1979).

Em 1910, em Berlim, na Alemanha, eram tratados cerca de 310.000 m³dia⁻¹ e as principais culturas fertirrigadas eram: centeio, trigo, cevada, aveia, milho, batata, beterraba e cenoura. Também eram cultivadas forrageiras para pastagem do gado bovino. Parte do efluente de sistemas de tratamento por disposição no solo abasteciam tanques de piscicultura que, em 1910, cobriam uma área de 16 ha.

No início do século XX, muitos projetos de Fazendas de Esgotos foram abandonados, devido ao crescimento populacional e a urbanização crescente das cidades que chegavam até as proximidades destas fazendas. Os fatores determinantes do abandono desta prática foram a geração de odores desagradáveis e a preocupação com a saúde pública, devido à transmissão de doenças por vegetais fertirrigados com águas contaminadas. Um outro motivo que contribuiu para esse declínio nas regiões temperadas foi o excesso de chuvas que impedia a aplicação de efluentes em grande parte do ano, fazendo com que os esgotos fossem descarregados em rios e riachos próximos, além da supersaturação dos terrenos fertirrigados e a destruição das culturas (BERNARDES, 1986).

No entanto, com a atual escassez dos recursos hídricos para inúmeras atividades e com o desenvolvimento de técnicas adequadas para sua utilização na agricultura e pesquisas dos riscos sanitários, voltou o interesse de alguns países em utilizar o esgoto na agricultura conciliado com a prática de fertirrigação. Os países que adotaram esta prática foram: África do Sul, Alemanha, Argentina, Arábia Saudita, Austrália, Chile, China, Estados Unidos, Índia, Israel, Kuwait, Peru, México e Tunísia (ANDRADE NETO, 1991). No Brasil, a prática de utilização de esgoto por disposição no solo como forma de tratamento e fonte de nutrientes para as culturas, vem sendo utilizada em alguns estados como, Rio

Grande do Norte, Brasília, São Paulo e Minas Gerais (FREIRE, 1997 e FONSECA, et al., 2000).

2.3.1. Processos de tratamento de água residuária urbana

O tratamento de esgoto tem como objetivo a remoção de material orgânico, de nutrientes e de organismos patogênicos presentes no esgoto bruto e, assim, torná-lo adequado para qualquer uso que se pretenda dar a essa água. Uma maneira de tratar essas águas residuárias, de forma simples e com baixo custo, é a utilização de sistemas de lagoas facultativas e disposição no solo, que são menos sofisticados na manutenção e operação, tendo como desvantagem a necessidade de grandes áreas para sua instalação (NUVOLARI, 2003). Esta desvantagem, no entanto é compensada pela elevada eficiência na remoção de microrganismos patogênicos, a qual não é alcançada por sistemas convencionais de tratamento (BERNARDES, 1986).

Existem várias opções de sistemas biológicos para o tratamento de esgotos e, dentre elas, destacam-se as lagoas de estabilização e o escoamento superficial sobre o solo.

2.3.1.1. Disposição de água residuária urbana sobre o solo

A disposição de água residuária sobre o solo pode ser feita pelos métodos: infiltração rápida, infiltração lenta e escoamento superficial (METCALF e EDDY, 1985).

Para MATOS e LO MONACO (2003), o método de infiltração rápida, melhor denominado infiltração-percolação, tem como objetivo fazer do solo um filtro para as águas residuárias. Este método é caracterizado pela percolação da água residuária para ser purificada pela ação filtrante do meio poroso, constituindo recarga para águas freáticas ou subterrâneas. A água residuária é

disposta em faixas fechadas ou valas de infiltração, construídas em solos arenosos, de alta permeabilidade onde a infiltração-percolação é feita através do perfil do solo. Os fatores que limitam a utilização deste método de tratamento são a capacidade de infiltração de água no solo e a qualidade das águas subterrâneas.

Segundo os mesmos autores, o método infiltração lenta pode ser mais adequadamente denominado de fertirrigação. Neste método, a aplicação das águas residuárias deve ser feita no período de desenvolvimento da cultura onde os nutrientes são necessários em maiores quantidades, geralmente o período de maior crescimento vegetativo. No caso de culturas permanentes, a aplicação pode ser subdividida durante todo o ano. A subdivisão da aplicação do efluente favorece a absorção dos nutrientes pelas plantas e minimiza as possibilidades de contaminação das águas superficiais e subterrâneas. Segundo FIGUEIREDO (1985), este método deve ser aplicado em solos com permeabilidade moderadamente lenta a moderadamente rápida.

O processo de escoamento superficial no solo é simples e econômico. O tratamento é conseguido à medida que o esgoto avança por entre a cobertura vegetal com declividade variando de 2 a 8%. Com o escoamento do efluente através da vegetação, os sólidos em suspensão são retidos e a matéria orgânica oxidada pelas bactérias que se estabeleceram na cobertura vegetal e no solo (FIGUEIREDO, 1985). Neste processo de tratamento, as águas residuárias são aplicadas em taxas superiores à capacidade de infiltração no solo, sobre terrenos declivosos, provocando a ocorrência de escoamento superficial que se desloca na rampa até atingir os canais de coleta. À medida que a água residuária escoar sobre o terreno, parte é evaporada, parte se infiltra e o restante é coletado em canais. Os solos utilizados devem possuir baixa permeabilidade para impedir a percolação do líquido (BERNARDES, 1986).

De forma geral, a aplicação de esgoto no solo pode ser definida como um método de depuração natural, no qual estão envolvidos os processos físicos, químicos e biológicos, comuns na matriz solo-planta-esgoto (FEIGIN et al., 1991). As plantas assumem grande importância neste processo, uma vez que são as responsáveis pela absorção de parte dos nutrientes (nitrogênio e fósforo)

contidos nas águas residuárias; ajudam a manter a permeabilidade dos solos; proporcionam redução da erosão e também servem como suporte para os microrganismos decomporem a matéria orgânica (METCALF e EDDY, 1985).

No sistema de escoamento superficial, a escolha da cobertura vegetal é muito importante, devendo ser escolhido uma cobertura vegetal resistente à umidade, a teores elevados de matéria orgânica e possíveis efeitos tóxicos do efluente (CORAUCCI FILHO, 1992; FIGUEIREDO, 1985; TERADA et al., 1985). O capim Tifton 85 (*Cynodon sp.*) atende a estas exigências, caracterizando-se pela dominância sobre as espécies invasoras, boa remoção de N e P, crescimento rápido proporcionando maior número de cortes, melhor desenvolvimento sob condições de elevado teor de matéria orgânica, fechamento homogêneo e mais denso, maior produção de massa seca e uma recuperação mais rápida após o corte, podendo ser utilizado na alimentação animal (STEFANUTTI et al., 1999; QUEIROZ et al.2000).

Existem alguns fatores limitantes para a aplicação do método por escoamento superficial como, a carga orgânica e a salinidade do solo, bem como, problemas de fitotoxicidade nas plantas por elementos químicos acumulados no solo (MATOS e LO MONACO, 2003).

2.3.1.2 Lagoas de Estabilização

As lagoas de estabilização são definidas como grandes tanques escavados no terreno, delimitados por taludes de terra que recebem águas residuárias brutas ou tratadas e lá permanecem por um certo tempo, entre 10 e 50 dias. A remoção da matéria orgânica é feita, principalmente, por processos biológicos, aeróbios e anaeróbios envolvendo bactérias e algas (VON SPERLING, 1996).

Dependendo da predominância de um ou de outro processo, as lagoas podem ser classificadas como anaeróbias, facultativas ou aeróbias (ou maturação). Quando bem projetadas e dependendo da configuração, lagoas de

estabilização produzem efluentes com qualidade sanitária desejada, porém pode conter ainda elevadas concentrações de nutrientes dissolvidos, além daqueles contidos nas algas e, assim, contribuir com a eutrofização em corpos receptores. A Organização Mundial da Saúde (OMS, 1989) recomenda para países em desenvolvimento, o uso de lagoas de estabilização como um processo de baixo custo e eficiente na remoção de organismos patogênicos. Este tipo de tratamento valoriza a qualidade sanitária desejada e contribui de maneira segura para o bom desenvolvimento de projetos de tratamento de água residuária.

As lagoas facultativas terciárias, também conhecidas como lagoas de maturação ou polimento, possibilitam um pós-tratamento considerado adequado a qualquer efluente de lagoas de estabilização ou mesmo de outros sistemas de tratamento de esgotos (CHERNICHARO, 1997).

Este tipo de lagoa tem como objetivo principal a remoção de organismos patogênicos, além de promover certo decaimento da DBO, visando elevar a qualidade do efluente (PESCOD, 1992). A lagoa de maturação constitui-se, assim, numa opção de desinfecção, bastante eficiente e econômica, quando comparada à opção de desinfecção efetuada com a cloração (NUVOLARI, 2003).

As lagoas de maturação devem ser projetadas de maneira a otimizar os principais mecanismos de eliminação dos patogênicos. Alguns desses mecanismos tornam-se mais efetivos pela simples diminuição da profundidade das lagoas. Por esse motivo, as lagoas de maturação devem ser mais rasas do que as demais lagoas. A maioria dos autores recomenda uma profundidade de 0,80 a 1,20 m (AZEVEDO NETO, 1991).

A baixa profundidade das lagoas permite a aceleração de mecanismos de eliminação dos patogênicos devido à maior penetração da luz solar (radiação ultravioleta), que proporciona maior produção de oxigênio pelas algas, causando a elevação do pH, favorecendo as comunidades aeróbias, mais eficientes na competição por alimentos e nas atividades predadoras (VON SPERLING, 1995).

Devido ao grande número de microrganismos presentes no esgoto (cerca de 10^6 a 10^8 NMP/100 mL), as lagoas de maturação, para que cumpram adequadamente a sua função, devem proporcionar uma elevada eficiência na

remoção dos coliformes, valores acima de 99,99% e menos que 1 ovo de helmintos por litro, condição essencial para atingir os padrões de lançamento nos corpos d'água receptores (VON SPERLING, 1996). Segundo ARCEIVALA (1981), as lagoas de maturação geralmente eliminam totalmente helmintos, cistos e ovos.

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS, 1989), um fator limitante para o uso de efluentes na agricultura é que o mesmo não deve conter mais que um ovo de nematóide por litro, condição essencial para a saúde dos operadores do sistema e dos consumidores de vegetais. Por outro lado, ressalta-se que a utilização de efluente de lagoas de maturação na agricultura ajudariam a fertilizar o solo, melhorar suas características físicas e com as grandes vantagens da economia de água e da redução da poluição dos recursos hídricos.

2.4. Cafeicultura irrigada

A cafeicultura constitui uma das mais importantes atividades agrícola do país, desde o século passado, e até poucos anos atrás foi explorada quase exclusivamente em áreas não irrigadas. As mudanças no perfil da cafeicultura brasileira na última década potencializaram a busca de sistemas altamente tecnificados, que incorporam avanços técnicos e uma gestão empresarial, tanto em nível de pequenos quanto de grandes cafeicultores. Dentre estes avanços, destaca-se a utilização da irrigação, que pode proporcionar menores riscos e maior eficiência na utilização e aplicação de insumos, além de maior produtividade e melhor qualidade do produto (MANTOVANI, 2001).

Não se pode pensar em agricultura irrigada apenas como acréscimo de água ao sistema de produção tradicional. A irrigação modifica o ambiente agrícola, criando um novo sistema de produção que deve ser planejado e tratado de forma diferenciada. O aumento da produtividade só ocorre se houver uma integração entre todos os componentes do sistema de produção.

Durante muito tempo não se considerou a cultura do cafeeiro como dependente da irrigação, pois a área de cultivo não abrangia regiões com deficiências hídricas mais severas. No entanto, devido à expansão da cafeicultura para outras regiões com estação seca bem definida, a irrigação tem ganhado importância na cafeicultura, como é o caso do cerrado brasileiro, que compreende diversos estados do país, tais como, Minas Gerais, Bahia, Goiás, Distrito Federal.

Outro aspecto que possibilitou o avanço da cafeicultura irrigada é a disponibilidade dos sistemas de irrigação que, a cada dia que passa, tornam-se mais modernos (MANTOVANI, 2001).

Vários sistemas de irrigação podem ser utilizados na cafeicultura, a irrigação localizada por gotejamento, irrigação por aspersão convencional, autopropelido, pivô central e sistemas simplificados com mangueiras perfuradas. Dentre os sistemas de irrigação utilizados na cafeicultura, têm-se destacado a irrigação por gotejamento devido à sua alta uniformidade de aplicação de água, podendo alcançar alta eficiência de aplicação, proporcionando de um ano para o outro, alta produtividade e baixa possibilidade de contaminação do aquífero, quando aplicados produtos químicos via água de irrigação (CAMP et al., 1997).

Este sistema é o que melhor se ajusta a irrigação do cafeeiro; normalmente é utilizado distribuindo a tubulação de polietileno ao lado da linha de plantio sobre a superfície do solo. É um sistema que apresenta maior custo por unidade de área e tem como principais vantagens a economia de água, e de mão-de-obra, e a facilidade da fertirrigação (MANTOVANI, 2001).

Quando utiliza águas residuárias, este sistema também apresenta uma grande vantagem, pois pode evitar doenças ligadas à umidade da parte aérea das plantas, do operador do sistema e da vizinhança, reduz a deposição de sais ou resíduos nas partes aéreas e comestíveis dos vegetais (PAGANINI, 1997).

Segundo ORON et al. (1980), um problema que pode ocorrer quando se utiliza a fertirrigação por gotejamento com água residuária é a obstrução dos emissores, que é causada por sedimentos (exigindo uma concentração de sólidos menor que 50 mg L^{-1}), substâncias químicas e organismos biológicos, contidos

nessa águas, que podem reduzir a eficiência dos sistemas de irrigação localizada (Tabela 1).

2.4.1. Qualidade da água para irrigação

A água é essencial para os seres vivos e fator de fundamental importância para produção de alimentos, especialmente sob condições irrigadas. A prática de irrigação, em muitas situações, é a única maneira de garantir a produção agrícola com segurança, principalmente em regiões tropicais de clima quente e seco, onde ocorre déficit hídrico para as plantas devido à taxa de evapotranspiração exceder a de precipitação durante a maior parte do ano (SOUZA et al., 2000).

A adequação da água para irrigação depende tanto de sua própria qualidade quanto de fatores relacionados com as condições de uso (NUVOLARI, 2003). Uma mesma água pode ser considerada perfeitamente adequada para um certo tipo de solo ou cultura, mas ser inadequada para outros (BOUWER, 2000). A qualidade da água de irrigação pode ser considerada como um fator importante, mas nunca deve ser esquecido que ela é tão somente um dos fatores e que não é possível desenvolver um sistema de classificação universal que possa ser utilizado sob todas as circunstâncias (AYRES e WESTCOT, 1991).

A importância dada aos aspectos de qualidade das águas, segundo (AYRES e WESTCOT, 1991) tem sido desprezada pelo fato de, no passado, serem abundantes as águas de boa qualidade e fácil utilização. Porém, essa situação está se alterando devido ao uso intensivo do manancial hídrico, exigindo a utilização de águas de qualidade inferior, tanto nos aspectos físico-químico quanto bacteriológico.

Além dos aspectos físicos e químicos da água, outros fatores devem ser levados em consideração e analisados em conjunto quando de sua avaliação e recomendação de uso para irrigação. Entre esses fatores, podem ser apontados: efeitos no solo e sobre o desenvolvimento da cultura; efeitos sobre os

Tabela 1 - Problemas de obstrução nos sistemas de irrigação localizada causada pela qualidade da água

Problemas	Unidades	Grau de Restrição de Uso		
		Nenhuma	Ligeira a Moderada	Severa
Físicos				
Sólidos em Suspensão	mg/L	<50	50-100	>100
Químicos				
pH	-	<7,0	7,0 – 8,0	>8,0
Sólidos solúveis	mg/L	<500	500 – 2.000	>2.000
Manganês	mg/L	<0,1	0,1 – 1,5	>1,5
Ferro	mg/L	<0,1	0,1 – 1,5	>1,5
Ácido Sulfídrico	mg/L	<0,5	0,5 – 2,0	>0,2
Biológicos				
Populações Bacterianas	Nº máx./mL	<10.000	10.000 – 50.000	>50.000

Fonte: ORON et al. (1980)

equipamentos; efeitos sobre a saúde do irrigante e do consumidor de produtos irrigados (NUVOLARI, 2003).

Segundo BERNARDO (1995), de modo geral, a qualidade da água para irrigação, deve ser analisada com relação a cinco parâmetros básicos: concentração total de sais, proporção relativa de sódio em relação a outros cátions, concentração de carbonatos e bicarbonatos, concentração de elementos tóxicos e aspectos sanitário.

A principal consequência do aumento da concentração de sais solúveis de um solo é a elevação do seu potencial osmótico. Em razão da facilidade e rapidez de determinação, a condutividade elétrica (CE) passou a ser o procedimento padrão, a fim de expressar a concentração total de sais para a classificação e diagnose das águas destinadas à irrigação (BERNARDO, 1995).

O aumento da condutividade elétrica (CE) da solução do solo irrigado utilizando efluente tem sido comum em sistemas agrícolas (LATTEREL et al., 1982; JOHNS & McCONCHIE, 1994; Al-NAKSHABANDI et al., 1997), pastagens

(HORTENSTINE, 1976) e florestas (FALKINER & SMITH, 1997; SPEIR et al., 1999), ocorrendo geralmente na camada superficial do solo (Al-NAKSHABANDI et al., 1997; SPEIR et al., 1999). Esse aumento de salinidade pode ser, segundo Al-NAKSHABANDI et al. (1997), devido a fatores como: perda de água por evaporação na superfície do solo e elevada concentração de sais na água de irrigação.

A concentração de sódio em relação a outros sais pode ser expressa, adequadamente, em termos da razão de adsorção de sódio (RAS). A capacidade de infiltração de um solo cresce com o aumento da salinidade e decresce com o aumento da razão de adsorção de sódio ou decréscimo de sua salinidade. Sendo assim os dois parâmetros, RAS e salinidade, devem ser analisados conjuntamente para poder avaliar corretamente o efeito da água de irrigação na redução da capacidade de infiltração de um solo (BERNARDO, 1995).

Segundo TAYLOR & NEAL (1982), valores de RAS entre 10 e 12 ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1})^{1/2}$ podem ser críticos à estrutura de muitos solos. Esgotos domésticos normalmente possuem RAS da ordem de 2,84 ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1})^{1/2}$, com valores médios de concentração de sódio igual a 6,34 $\text{mmol}_c/100 \text{ mL}$ e de 10,0 $\text{mmol}_c/100\text{mL}$ para cálcio e magnésio juntos.

LATERRELL et al. (1982) verificaram que os teores de Na aumentaram de 3,5 a 25 vezes, em função da taxa de aplicação de efluente de esgoto doméstico tratado. Semelhante a salinidade, os efeitos do aumento do Na trocável, bem como do percentual de sódio trocável, tem sido mais evidente na camada superficial do solo (CROMER et al., 1984).

Segundo CAMPOS (1999), as propriedades físicas dos solos são muito afetadas pelo aumento do percentual de sódio no solo, aumentando sua impermeabilidade, causando drástica redução da sua condutividade hidráulica. Em solos argilosos, a atuação do sódio age na sua desestruturação química, o que pode acelerar, de forma acentuada, o fenômeno de colmatção.

No trabalho de SPEIR et al. (1999), embora o teor de Na tenha aumentado pela aplicação do esgoto tratado, o inverso ocorreu quando a irrigação cessou, devido ao efeito das chuvas de lixiviação desse cátion. Os mesmos autores verificaram que, tanto na camada superficial como no subsolo, a macro e microporosidade e a porosidade total não foram afetadas pela disposição do efluente no solo.

Os elementos encontrados nas águas de irrigação e que mais comumente causam problemas de toxicidade às plantas são os íons de cloro, sódio e boro. A magnitude do problema depende da concentração do íon na água de irrigação, da sensibilidade da cultura ao íon, da demanda evapotranspirométrica da região e do método de irrigação utilizado. Estes íons geralmente acumulam-se nas folhas, onde causam problemas de clorose e queima dos tecidos, reduzindo a produção vegetal, podendo vir a matar a planta quando o seu acúmulo é elevado (BERNARDO, 1995).

O boro é um elemento essencial no desenvolvimento de algumas culturas sendo exigido em concentração em torno de $0,2 \text{ mg L}^{-1}$, no entanto pode ser tóxico quando encontrado em concentrações acima de 1 mg L^{-1} (AYERS e WESTCOT, 1991). Para a cultura do cafeeiro, o boro quando aplicado em excesso pode causar fitotoxicidade com redução de crescimento e produtividade (FURLANI et al., 1976).

O sódio, ao contrário, não é tão essencial para o desenvolvimento de uma planta, sendo que a sua concentração na água de irrigação pode variar de 0-40 $\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$. Quando aplicado em altas concentrações, o sódio pode causar queima nas folhas (AYERS e WESTCOT, 1991).

O cloro é requerido pela planta em tão pouca quantidade que, geralmente, é classificado como não essencial. A sua concentração na água de irrigação pode variar de 0-30 $\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$ (AYERS e WESTCOT, 1991). Para a cultura do cafeeiro, nem sempre altas concentrações induzem ao aparecimento de sintomas de toxicidade visíveis nas folhas e nos frutos. Admite-se que algum efeito deletério do excesso de cloro em detrimento da exuberância do cafeeiro possa ser confundido, também, com

desordens nutricionais causadas por deficiência ou excesso de outros íons (FURLANI et al., 1976).

Nas águas que contêm concentrações elevadas de íons bicarbonatos há tendência para a precipitação do cálcio e do magnésio, sob a forma de carbonatos, reduzindo suas concentrações na solução do solo e, conseqüentemente, aumentando a proporção de sódio, uma vez que a solubilidade do carbonato de sódio é superior à dos carbonatos de cálcio e de magnésio (BERNARDO, 1995).

Um dos problemas quando se utilizam águas com concentrações elevadas de íons bicarbonatos está na deterioração dos equipamentos de irrigação; quando aplicadas por aspersão, as incrustações depositam-se sobre as folhas flores e frutos. Quando aplicados por gotejamento, pode provocar obstruções causadas pelas precipitações químicas de materiais como o carbonato e o sulfato de cálcio. Um método mais eficaz para impedir as obstruções provocadas pela precipitação de CaCO_3 , é controlar o pH da água (AYERS e WESTCOT, 1991).

Quanto aos aspectos sanitários, há três aspectos a considerar em relação ao aproveitamento agrícola de água residuárias no solo: contaminação do irrigante durante a aplicação, a contaminação da comunidade ao redor da área de aplicação e a contaminação do usuário dos produtos fertirrigados (BERNARDO, 1995).

Essa contaminação pode ser causada pela dispersão de aerossóis e pela presença de bactérias, vírus, protozoários e helmintos (ovos), transmitindo doenças às pessoas. Segundo PAGANINI (1997), os microrganismos patogênicos, de maneira geral sobrevivem por um período de tempo menor na superfície das culturas do que no solo e na água, podendo depositar-se em copas, fendas hastes e talos que venham a protegê-los da dessecação, da irradiação, da alta temperatura, mantendo a umidade suficiente para dar condições ideais de sobrevivência, de modo a alcançar o período de colheita, o que possibilita a ingestão, de legumes e verduras que serão consumidos crus, fechando o ciclo de contaminação.

A irrigação localizada é reconhecidamente o método que gera o menor risco de contaminação, protegendo adequadamente a saúde dos consumidores e dos operadores do sistema (LÉON e CAVALLINI, 1999).

2.4.2. Aplicação de águas residuária doméstica na agricultura como fonte complementar de nutrientes

A utilização de águas residuárias na agricultura é, nos dias atuais, viável, devido aos benefícios imediatos que podem ser alcançados, entre eles o de natureza econômico-ambiental. A utilização de águas residuárias na agricultura, além de ser uma forma adequada de disposição final dessas águas, promove maior produtividade das culturas, redução do uso de adubos químicos e preservação da qualidade ambiental, evitando lançamentos das águas residuárias diretamente nos cursos d'água (CAMPOS, 1999).

A agricultura utiliza maior quantidade de água e pode tolerar águas de qualidade mais baixa do que a indústria e o uso doméstico. É, portanto, inevitável a crescente tendência para encontrar na agricultura a solução para os problemas relacionados com a eliminação de efluentes. Entretanto, existem algumas limitações para utilização desses efluentes, sendo a composição química a principal delas. O uso deve ser planejado para controlar em longo prazo, os efeitos da salinidade, sodicidade, nutrientes e oligoelementos sobre os solos e as culturas (AYERS e WESTCOT, 1985).

Segundo CAMPELO (1999), a quantidade de água residuária a ser aplicada na agricultura deve ser função da concentração de nutrientes e dos sais a serem incorporados, para evitar a salinização do solo.

Para o uso de esgotos domésticos, uma das preocupações é com o excesso de nutrientes. Para evitar a adição de nutrientes em quantidades superiores às exigidas pela cultura e, muitas vezes, até superiores à capacidade de retenção do

solo, recomenda-se equacionar a dose de resíduos orgânicos a ser aplicado, tomando-se por base o nutriente, cuja quantidade será satisfeita com a menor dose. Para isto, é necessário quantificar a disponibilidade de nutrientes do solo, a exigência da cultura e a concentração de nutrientes existente na água. Sempre que necessário, deve-se fazer a suplementação com adubos minerais solúveis, de acordo com as recomendações de adubação (SCHERER e BALDISSERA, 1994).

Os principais nutrientes utilizados pelas plantas são o nitrogênio, o fósforo e o potássio, além de outros igualmente importantes como o enxofre, o cálcio e o magnésio que, devido às suas concentrações na planta, são denominados macronutrientes (CAMPOS, 1999).

A presença dos macronutrientes nitrogênio, fósforo e potássio constituem uma das grandes vantagens da utilização de água residuária doméstica tratada na fertirrigação (MARA e PEARSON, 1987; PESCOD, 1992).

A maioria das culturas é tolerante a concentrações de nitrogênio de até 30 mg L⁻¹ de nitrogênio na água residuária (MARA et al., 1992), enquanto para fósforo total e potássio, essa tolerância varia de 6-17 mg L⁻¹ e 10-40 mg L⁻¹ respectivamente (FEIGIN et al., 1991).

No efluente doméstico, o nitrogênio encontra-se combinado com vários complexos orgânicos e inorgânicos estando a maior parte em suas formas reduzidas sendo, cerca de 80% como íon amônio (FEIGIN et al., 1991). As formas iônicas de nitrogênio mais importantes para as plantas são a de nitrato e de amônio.

O fósforo é outro nutriente encontrado nas águas residuárias e que traz grandes benefícios para as culturas. Na água, o fósforo pode ser encontrado em três formas: ortofosfatos, polifosfatos e fósforo orgânico (VON SPERLING, 1996).

O excesso de fósforo pode causar um efeito negativo sobre as plantas e no solo. Em algumas culturas, ele pode causar redução na produtividade, devido ao desbalanço nutricional, pois seu excesso pode reduzir a disponibilidade de nutrientes como o Cu, o Fe e o Zn. Altas concentrações podem aumentar a precipitação do Ca no efluente, e, conseqüentemente, aumentar a RAS (FEIGIN et al., 1991).

A utilização de água residuária urbana tratada como fonte de nutrientes, traz benefícios ao meio ambiente e ao produtor, que irá reduzir seus custos com a aplicação de fertilizantes e, conseqüentemente, aumentar a produtividade das culturas em longo prazo. No trabalho realizado por SHENDE (1985), comparando o rendimento de algumas culturas, mostrou que cultivos fertirrigados com águas residuárias proporcionaram maior rendimento que os cultivos irrigados com águas limpas e fertilizados com adubos químicos, conforme dados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Produtividade média de algumas culturas irrigadas com água limpa e fertirrigada com água residuária de diferentes tipos.

Tipo de água	Trigo	Arroz	Batata	Algodão
Água limpa+adubação com NPK	2,70	2,03	17,16	1,70
Residuária sem tratamento	3,34	2,97	23,11	2,56
Efluente de lagoas de estabilização	3,34	2,94	20,78	2,56

Fonte: SHENDE (1985)

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local do experimento

O experimento foi instalado na Estação-Piloto de Tratamento de Esgoto do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (Figura 1), localizado na cidade de Viçosa - MG, Zona da Mata de Minas Gerais.

3.2 – Estação-Piloto de Tratamento de Esgoto – EPTE

A Estação-Piloto de Tratamento de Esgoto foi dimensionada para uma vazão de aproximadamente $2,0 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$, vazão obtida no horário de maior produção de esgoto doméstico pelo Condomínio Residencial Bosque do Acamari.

A Estação Elevatória de Esgoto é do tipo convencional, executada em poço molhado, equipada por um conjunto motobomba com potência de 15 cv e rotação de 3.500 rpm.

O emissário de recalque foi construído utilizando tubulações em PVC DN 100 mm com extensão de 409 m interligando a Estação Elevatória de Esgoto à Estação-Piloto de Tratamento de Esgoto.

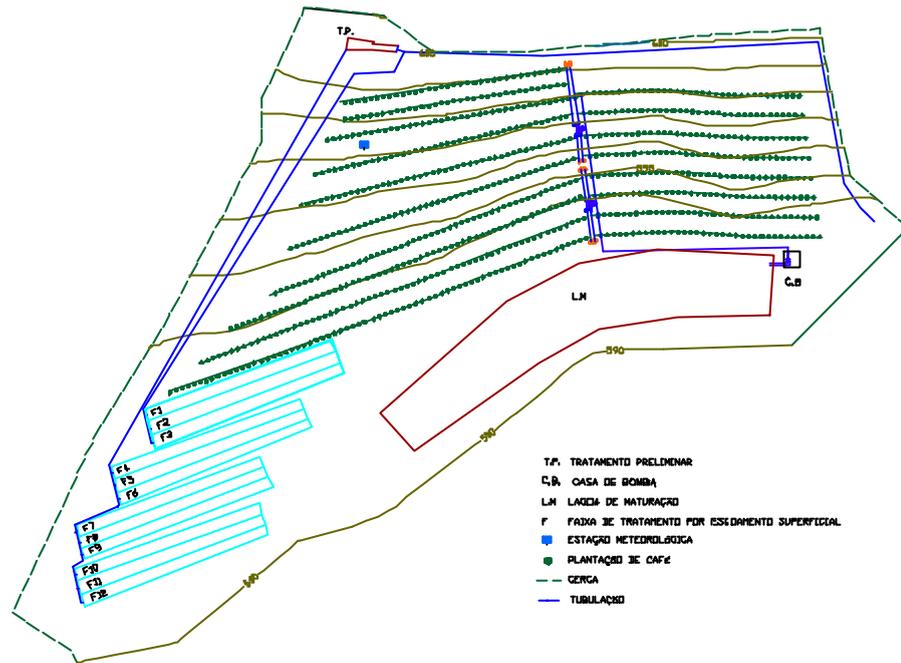


Figura 1 - Croqui da Área da Estação-Piloto de Tratamento de Esgoto.

A Estação-Piloto de Tratamento de Esgoto é constituída pelas seguintes sistemas:

- Tratamento Preliminar: constituído por caixa de areia e gradeamento, para a remoção dos sólidos grosseiros (Figura 2);

- Tratamento Secundário: constituído por sistema de distribuição do afluente do tratamento preliminar nas faixas (Figura 3), com 116 m de comprimento de tubos de PVC de 100 mm de diâmetro; 12 faixas de 1,0x25 m de comprimento, sistematizadas, com declividade de 2%, constituindo as rampas de tratamento por

escoamento superficial; utilizando-se como planta extratora e depuradora do esgoto, o capim Tifton 85 do gênero *Cynodon* spp.; e

- Tratamento Terciário: constituído por lagoa de maturação de 300 m³, de capacidade com 50 m de comprimento, 6 m de largura e 1 m de profundidade (Figura 4), a qual teve como objetivo primordial a remoção de patógenos.



Figura 2 - Vista geral da estrutura para tratamento preliminar.



Figura 3 - Vista geral das rampas para tratamento por escoamento superficial.



Figura 4 - Lagoa de maturação.

3.3. Plantio e manejo do cafeeiro

O solo da área experimental foi classificado como Cambissolo Hálico Tb distrófico Podzólico. Nos Quadros 1 e 2 estão apresentadas as características físicas e químicas do solo, respectivamente. A variedade do cafeeiro utilizada foi a Catuaí, sendo o plantio realizado em covas espaçadas de 2,5 x 0,75 m, nas quais foram aplicados, 48 hs antes do plantio, 250 g de calcário, 200 g de superfosfato simples e 1,0 L de cama de galinha, por cova.

Antes da aplicação do efluente da lagoa de maturação no cafeeiro, foram realizadas 9 fertirrigações, com cloreto de potássio e uréia, totalizando 155 e 164 kg ha⁻¹ de K₂O e N, respectivamente.

Para aplicação do efluente da lagoa de maturação foi utilizado o sistema de irrigação por gotejamento o qual era composto por uma unidade de controle (conjunto motobomba com 3 cv de potência, filtro de membrana auto-limpante automático – 500 mesh e manômetros), uma linha principal, duas linhas de derivação, 18 linhas laterais e por gotejadores com vazão média de 2,55 L h⁻¹ e espaçados de 0,75 metros entre si (Figura 5).

Quadro 1 - Características físicas do solo da área experimental

Horizontes	Profundidade (cm)	Arg. ¹	A.F. ²	A.G. ³	Silte	ρ^4	Classe textural
		-----dag kg ⁻¹ -----				---kg dm ⁻³ ---	
A	0-13	26	25	32	16	1,32	Média
AB	13-26	10	34	26	30	1,33	Arenosa
BA	26-48	24	36	24	16	1,32	Média
B-1	48-75	32	27	19	22	1,35	Média
B-2	75-100	22	42	16	20	1,38	Média
B-3	>100	10	63	19	8		Arenosa

1 - Argila determinada conforme o Método da pipeta (EMBRAPA, 1997); 2 Areia Fina; 3 Areia Grossa; 4 Massa específica do solo determinada pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997).

Quadro 2 - Características químicas do solo da área experimental

Horizonte	PH ¹	P ²	K ²	Ca ³	Mg ³	Al ³	SB	CTC Total	Saturação de Al	M.O. ⁴
		mg dm ⁻³		cmolc dm ⁻³					%	dag kg ⁻¹
A	5,0	4,3	27	0,7	0,3	1,1	1,07	4,13	50,7	2,64
AB	5,0	1,6	9	0,4	0,2	1,0	0,62	3,22	61,7	2,24
BA	5,0	2,9	12	0,4	0,2	0,8	0,63	2,68	55,9	2,12
B-1	5,3	1,6	5	0,7	0,3	0,6	1,01	2,67	37,3	1,77
B-2	4,9	1,9	5	0,4	0,2	0,5	0,61	2,27	45,0	1,66
B-3	4,9	1,6	8	0,4	0,2	0,1	0,62	1,95	13,9	1,55

1 - pH em água - Relação 1:2,5; 2 - P e K = fósforo disponível e potássio trocável, respectivamente, extraídos com Mehlich 1 e determinados conforme o método definido por DEFELIPO e RIBEIRO (1981); 3 - Ca, Mg, e Al = cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, respectivamente, extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ e determinados conforme DEFELIPO e RIBEIRO (1981); e 4 - Determinado pelo método Walkley-Black (DEFELIPO e RIBEIRO, 1981).



Figura 5 - Café fertirrigado por gotejamento

3.4. Avaliação da Uniformidade de Distribuição

Foram realizadas avaliações da distribuição do efluente pelo sistema de irrigação (gotejamento) no início e ao término do experimento. Para tal utilizou-se o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) (KELLER e KARMELI, 1975) e o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) (BERNARDO, 1995), sendo os mesmos determinados segundo à metodologia proposta por KELLER e KARMELI (1975), modificada por DENÍCULI et al. (1980), que consistiu na coleta da vazão de oito gotejadores, ao longo da linha lateral, e em quatro linhas laterais, ao longo da linha de derivação. As linhas laterais selecionadas foram aquelas situadas no início da linha de derivação, a $1/3$ e a $2/3$ da origem da linha de derivação e no final desta. Os gotejadores selecionados na linha lateral foram aqueles localizados ao lado das plantas situadas no início da linha lateral, a $1/7$, $2/7$, $3/7$, $4/7$, $5/7$ e a $6/7$ do comprimento da linha lateral, e aquela situada no final desta, totalizando 32 gotejadores por setor. Na Figura 6 está representado um esquema ilustrativo dos pontos de medição da área molhada.

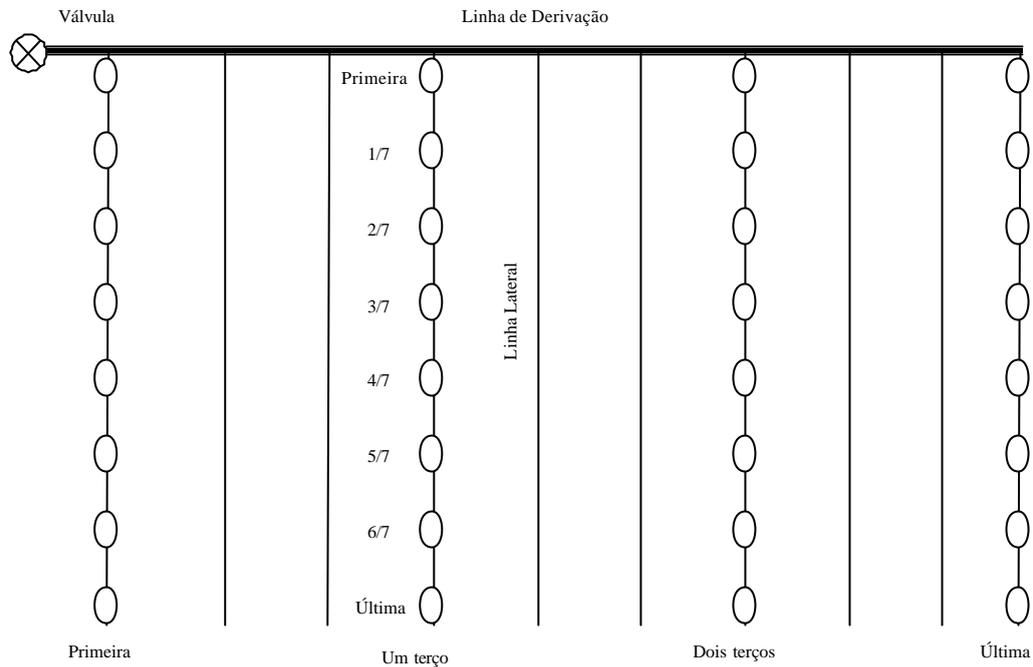


Figura 6 - Esquema dos pontos de coleta do volume de água para determinação da vazão.

Com esses valores de vazão foram calculados os valores de CUD e CUC, utilizando-se as Equações 1 e 2, respectivamente.

$$CUD = 100 \frac{q_{25\%}}{q_m} \quad (1)$$

$$CUC = 100 \left[1 - \frac{\left(\frac{\sum_{i=1}^n q_i - q_m}{\left(\frac{n}{q_n} \right)} \right)}{\left(\frac{n}{q_n} \right)} \right] \quad (2)$$

em que:

CUD = coeficiente de uniformidade de distribuição, %;

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen, %;

$q_{25\%}$ = Média do menor quartil das vazões observadas, $L h^{-1}$;

q_m = Vazão média dos gotejadores, $L h^{-1}$;

q_i = Vazão de cada gotejador, $L h^{-1}$; e

n = número de observações.

3.5. Delineamento experimental e caracterização dos tratamentos

O experimento consistiu de cinco tratamentos com quatro repetições, cada repetição continha quatro linhas de café, das quais as duas externas foram consideradas bordaduras. Os tratamentos impostos, referentes à aplicação do efluente da lagoa de maturação, foram:

- Tratamento T₀: aplicação de água de represa, sem interrupção.
- Tratamento T₄: aplicação do efluente, até quatro semanas antes da colheita.
- Tratamento T₃: aplicação do efluente, até três semanas antes da colheita.

- Tratamento T₂: aplicação do efluente, até duas semanas antes da colheita.
- Tratamento T₁: aplicação do efluente, até uma semana antes da colheita.

O experimento foi montado no delineamento inteiramente casualizado. A análise estatística consistiu de análise de variância e teste de média para comparação das variáveis dependentes avaliadas (teores de nitrogênio, fósforo e potássio nas folhas do cafeeiro e no solo; e coliformes totais e fecais no solo) para os diferentes tratamentos. Para realização das análises estatísticas foi utilizado o programa estatístico “SAEG 5.0”, desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa.

3.6. Caracterização do efluente da lagoa de maturação

3.6.1. Amostragem do efluente

O efluente proveniente do sistema de tratamento por escoamento superficial foi armazenado na lagoa de maturação, em cujo final, local onde se fazia a captação para aplicação do efluente na lavoura de cafeeiro, eram coletas as amostras para as análises físicas, químicas e microbiológicas.

As amostras foram coletadas a cada intervalo de duas horas, durante o período de 8:00 e 16:00 horas, sendo devidamente acondicionadas em caixas de isopor com gelo e transportadas ao Laboratório de Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Agrícola onde, imediatamente (intervalo máximo de uma hora), eram realizadas as análises físicas, químicas e bacteriológicas.

3.6.2. Análises físicas e químicas do efluente

As amostras do efluente coletadas na lagoa foram misturadas, formando amostras compostas, para determinação do pH, pelo método eletrométrico, utilizando um medidor de pH portátil – Orion 250 A, a condutividade elétrica (CE) utilizando-se um condutivímetro portátil, a temperatura com um termômetro de mercúrio, precisão $\pm 1^\circ\text{C}$, a demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5) pelo método Iodométrico, a demanda química de oxigênio (DQO) pelo método oxidimétrico em refluxo aberto, a concentração de fósforo por espectrofotometria, as concentrações de potássio e de sódio por fotometria de chama e de nitrogênio total pelo método Kjeldhal. As análises do efluente foram realizadas de acordo com o especificado no AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA (1995 e 1998)

3.6.3. Análises microbiológicas do efluente da lagoa

As amostras do efluente da lagoa a serem utilizadas para análises de coliformes fecais (*E coli*) e totais, foram coletadas às 8:00 e 16:00 hs. As amostras simples, foram coletadas na lagoa, acondicionadas em caixas de isopor com gelo e, em seguida, levadas ao Laboratório de Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Agrícola para realização das análises no intervalo máximo de uma hora.

O método usado para quantificar os coliformes fecais e totais foi o cromogênico (substrato Colilert), para a determinação do número mais provável de

Escherichia coli em 100 mL da amostra, sendo essa bactéria a mais representativa da contaminação fecal dentro do grupo de coliformes fecais (OMS, 1995).

As análises laboratoriais das amostras do efluente para determinação de coliformes fecais (*E coli*) e totais foram realizadas de acordo com o especificado no AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA (1998).

3.7. Análises químicas das folhas do cafeeiro e do solo

A coleta das folhas foi realizada um dia antes da colheita dos frutos do cafeeiro, na altura mediana e no 3º e 4º par de folhas das plantas centrais de cada parcela (área útil). Em seguida, as amostras foram transportadas para o Laboratório de Água e Solo do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) da UFV, onde foram colocadas em estufa com circulação forçada de ar, sob temperatura de 65°C, por um período de 72 horas, para pré-secagem. Após este período, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Fitotecnia (DFT), da UFV, onde se procedeu à moagem das folhas, em moinho tipo Willey, que foram guardadas em recipientes de vidro até realização das análises químicas. Para determinação do teor de matéria seca foram retiradas 3 g de cada amostra moída para secagem em estufa, a 105°C.

Para análise do N_{total} , o material vegetal foi submetido à digestão sulfúrica, e determinação pelo método Kjeldhal. A determinação das concentrações de fósforo e de potássio foi feita mediante digestão nítrico-perclórico e leitura por espectrofotometria e fotometria de emissão de chama, respectivamente, segundo técnicas descritas pela EMBRAPA (1999).

As amostras de solo foram coletadas entre plantas na linha de plantio nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, colocadas em sacos plásticos e encaminhadas ao Laboratório de Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) da UFV.

Para determinação do N_{total} , o solo foi submetido à digestão com ácido sulfúrico, sendo a determinação feita pelo método Kjeldhal. O fósforo disponível foi determinado pelo método de colorimétrico e potássio trocável e o sódio por fotometria de emissão de chama, ambos utilizando extrator Mehlich 1, segundo técnicas descritas pela EMBRAPA (1997).

3.7.1. Análises microbiológicas do solo

As amostras de solo foram coletadas entre plantas na linha de plantio dentro da área útil de cada parcela um dia antes da colheita dos frutos do cafeeiro. A coleta foi realizada nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm e encaminhadas para o Laboratório de Microbiologia do Solo para serem feitas as análises de coliformes fecais (*E. coli*) e totais. As amostras de solo foram pesadas (10g), colocadas em frascos de vidro com 90mL de solução salina a 8,5% (NaCl), completando um volume de 100 mL, agitadas manualmente (20 vezes), e em seguida, foi retirada uma alíquota de 1 mL do material que foi colocada no meio de cultura (placas de petrifilm). As placas de petrifilm foram colocadas para incubar em estufa, sob temperatura controlada de 37°C, por 48 horas. Após este período, as placas de petrifilm foram retiradas da estufa e levadas para serem feitas às contagens das colônias de coliformes fecais (*E. coli*) e totais utilizando-se uma lupa.

3.7.2. Análises microbiológicas dos frutos do cafeeiro coletados no chão

Os frutos do cafeeiro coletados no chão foram colocados em sacos plásticos e encaminhados ao Laboratório de Microbiologia do Solo onde foram feitas as análises de coliformes fecais (*E. coli*) e totais. Após pesados, 10 g de frutos foram triturados, colocados em uma solução salina a 8,5% (NaCl). Em seguida foi retirada

uma alíquota de 1 mL, colocada no meio de cultura (placas de petrifilm), levadas à estufa, sob temperatura controlada a 37°C, por 48 horas. Após este período, as placas de petrifilm foram retiradas da estufa e a contagem, com o auxílio de uma lupa, das colônias de coliformes fecais (*E. coli*) e totais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização do efluente utilizado

Os resultados das análises físicas, químicas e microbiológicas do efluente estão apresentados no Quadro 3. O valor médio do pH foi de 8,97, indicando que o efluente utilizado é alcalino.

O aumento do pH na lagoa de maturação está associado à atividade fotossintética das algas, as quais, após utilizarem o CO₂ livre na água, passam a utilizar o dióxido de carbono proveniente da hidrólise dos íons carbonato e bicarbonato, liberando íons de hidroxila, o que acarreta o aumento de pH. O valor encontrado está dentro da faixa de valores permissíveis (5 – 9) para lançamento de águas residuárias nos corpos hídricos, segundo as Normas da Resolução nº 20/86 do CONAMA (SANTIAGO, 2000), no entanto, apresenta severa restrição para utilização na irrigação, segundo AYERS e WESTCOT (1991), os quais declaram que efluentes com pH superior a 8,3 não devem ser utilizados para irrigação, tendo em vista que pH elevado causa redução na disponibilidade de nutrientes, solubilidade de elementos potencialmente tóxicos e problemas à estrutura do solo. Elevados valores

de pH são importantes no processo de desinfecção de águas poluídas, tendo em vista que os coliformes fecais e totais não sobrevivem em ambientes com valores de pH > 8,5 (MARA e PEARSON, 1998).

A eficiência na remoção de DBO e DQO na lagoa de maturação foi, em média, 33 e 44 %, respectivamente. Estes valores podem ser considerados satisfatórios, tendo em vista que, segundo ANDRADE NETO, (1997), a eficiência comum para lagoas de maturação está em torno de 10 a 25%. Já a eficiência de remoção de coliformes totais e fecais, foi, em média, 63 e 80%, respectivamente. Estes valores de eficiência na remoção de coliformes são baixos, uma vez que, segundo SPERLING (1996), as lagoas de maturação devem apresentar eficiência de remoção de coliformes de 99,9 ou 99,99%, para que possam cumprir os padrões para utilização do efluente na irrigação.

Quadro 3 - Caracterização física, química e microbiológica do efluente da lagoa de maturação.

Parâmetros	Início da lagoa				Final da lagoa			
	Maio	Junho	Julho	Média	Maio	Junho	Julho	Média
PH	10,61	8,08	7,50	8,73	10,60	8,82	7,50	8,97
DQO (mg L ⁻¹)	67	386	257	237	47	249	99	132
DBO (mg L ⁻¹)	21	178	114	104	13	108	87	69
N _{total} (mg L ⁻¹)	10,99	9,10	19,38	13,16	7,23	37,52	15,34	20,03
P (mg L ⁻¹)	2,30	7,29	8,80	6,13	2,30	5,01	7,50	4,94
K (mg L ⁻¹)	18,90	9,75	10,50	13,05	15,90	11,20	9,50	12,20
Na (mg L ⁻¹)	-	-	-	-	34,90	22,25	35,00	30,72
Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺ (mmol _e L ⁻¹)	-	-	-	-	-	-	-	0,68
RAS (mmol _e L ⁻¹) ^{1/2}	-	-	-	-	-	-	-	2,28
CE (dS m ⁻¹)	-	-	-	-	0,166	0,222	0,383	0,26
SST (mg L ⁻¹)	24,00	22,00	76	40,67	38	24	106	56,00
Coliforme Fecal (NMP/100 mL)	4,35 x 10 ⁴	7,9 x 10 ⁴	6,7 x 10 ⁴	6,30 x 10 ⁴	0,93 x 10 ⁴	2,66 x 10 ⁴	1,00 x 10 ³	1,23 x 10 ⁴
Coliforme Total (NMP/100 mL)	2,40 x 10 ⁵	9,85 x 10 ⁵	2,65 x 10 ⁵	5,00 x 10 ⁵	0,86 x 10 ⁵	3,22 x 10 ⁵	1,46 x 10 ⁵	1,85 x 10 ⁵

Observa-se que os valores médios de DBO, DQO e coliformes fecais estão acima dos valores limites para lançamento de efluentes nos cursos d'água, segundo a Deliberação Normativa nº 10/86 do COPAM (CAMPOS, 1998), a qual delibera limites de 60 e 90 mg L⁻¹ para DBO e DQO, respectivamente, e de 1000 NMP/100mL para coliformes fecais. Isto indica que, na forma como está sendo operado o sistema de tratamento por escoamento superficial, o efluente da ETE não pode ser lançado em corpos hídricos.

A fertirrigação de culturas agrícolas passa a ser uma das possíveis alternativas, para disposição final do efluente da lagoa de maturação, tendo em vista o elevado potencial fertilizante do mesmo, tal como pode ser verificado pelos valores de N, P e K apresentados no Quadro 3, embora a água residuária tenha apresentado um elevado pH, no entanto, pode-se recorrer a técnicas para redução do pH da mesma antes de sua aplicação no solo.

Em relação a potenciais problemas relacionados com a qualidade da água de irrigação, o efluente pode ser classificado como médio, quanto à sua concentração de N, segundo tabela apresentada por VIEIRA e RAMOS (1999), a qual classifica como nível médio de dano toda água que apresentar concentração de N_{total} de 5 – 30 mg L⁻¹. Embora não exista uma recomendação dos níveis de P e K para lançamento de efluentes de esgoto tratado em cursos d'água e nem para utilização na irrigação, as concentrações P e K no efluente utilizado neste trabalho podem ser considerados baixos, enquanto a concentração de N pode ser considerado média, segundo Tabela 3 contendo uma caracterização típica de efluente secundário de esgoto tratado apresentada por FONSECA (2001).

A maior parte do nitrogênio presente em águas residuárias está na forma orgânica, que pode ser mineralizada, após sua disposição no solo, por meio de hidrólise enzimática produzida pela atividade da microbiota do solo e outros processos de degradação do material orgânico. A mineralização dos constituintes nitrogenados libera para a solução do solo íons inorgânicos do nitrogênio,

principalmente NH_4^+ e NO_3^- . Desta forma, a aplicação de águas residuárias em solos agricultáveis deve ser feita de maneira criteriosa, tendo em vista os riscos que a disponibilização de nitrato no solo proporciona. O nitrato, por se um ânion, apresenta grande mobilidade em solos predominantemente eletronegativos, podendo, dessa forma, ser lixiviado com água em percolação (irrigação ou chuvas) e contaminar águas subterrâneas (HARMSEN e KOLENBRANDER, 1965).

Com relação às concentrações de Na e Ca + Mg do efluente utilizado, segundo esta mesma tabela, podem ser consideradas baixas.

A condutividade elétrica se enquadra na classe média, segundo valores apresentados na tabela de valores máximos recomendados em águas para uso em irrigação apresentada por FONSECA (2000), a qual classifica como classe média águas com CE na faixa de 0,25-0,75. Segundo diagrama para classificação da água para irrigação do U.S. Salinity Laboratory Staff, o efluente utilizado se enquadra na classe C_2S_1 , a qual refere-se a um efluente que pode ser utilizado para irrigação sempre que houver um grau moderado de lixiviação, apresentando baixa concentração de sódio e com pequenas possibilidades de alcançar níveis perigosos de sódio trocável.

Segundo FERREIRA (1998), para utilização de águas com certo grau de risco de salinização do solo, deve-se observar algumas condições: utilização de

Tabela 3 - Características típicas do efluente secundário de esgoto tratado no mundo.

Constituintes	Varição (mg L ⁻¹)
Sólidos totais	400-1200
Sólidos suspensos	10-100
Sólidos dissolvidos	400-1100
DBO (demanda bioquímica de oxigênio)	10-80
DQO (demanda química de oxigênio)	30-160
Carbono orgânico total	10-30
N-total	10-50
N-NO ₃	0-10
N-NH ₄	1-40
P-total	6-17
Cl	40-200
Alcalinidade (como CaCO ₃)	200-700
Na	50-250
K	10-40
Ca	20-120
Mg	10-50
B	0-1
Concentração total de sais	100-800
pH	7,8-8,1
RAS (Razão de adsorção de sódio), em (mmol _c L ⁻¹) ^{1/2}	4,5-7,9

Fonte: FONSECA (2001).

culturas cuja tolerância aos sais seja de razoável a alta; solo com drenagem adequada, além disso, promover a lixiviação dos sais acumulados no solo. No entanto, em função do risco de contaminação de águas subterrâneas pelo processo de lixiviação dos sais, é recomendado que seja associado um sistema de drenagem da área à qual será aplicado o efluente, a fim de se reduzir o risco de contaminação da água subterrânea.

Quanto à concentração de sólidos suspensos totais encontrada no efluente em estudo, pode ser considerada média, segundo dados apresentados na tabela apresentada por FONSECA (2001). Quanto ao risco de obstrução do sistema de irrigação localizada, se enquadra dentro da classe de ligeira a moderada, segundo a Tabela 1 de classificação apresentada por ORON et al. (1980).

4.2. Avaliação do sistema de irrigação

No Quadro 4 estão apresentados os valores de CUD e CUC, determinados antes e após o término do experimento. Pode-se observar que os valores de CUD e de CUC apresentados pelo sistema de irrigação se encontram na faixa de uniformidade excelente (acima de 90%), segundo a classificação proposta por MERRIAM e KELLER (1978), mesmo após a aplicação da água residuária durante o período experimental. No entanto, os valores de CUD e CUC apresentaram ligeiro decréscimo da ordem de 4 e 2%, respectivamente, após o período de 148 dias de aplicação da água residuária. As condições adequadas de operação, de condução e de manutenção do sistema de irrigação podem ser a razão para os bons resultados encontrados. Porém, para uma afirmação mais precisa quanto aos efeitos da aplicação do efluente sobre a uniformidade de distribuição do sistema, é necessário o acompanhamento por um maior período de tempo de funcionamento do sistema com a aplicação de água residuária.

Quadro 4 - Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC)

Período	Pressão de serviço (mca)	Vazão (L h ⁻¹)	CUD (%)	CUC (%)
Início*	13,5	2,6	95	97
Final**	13,5	2,5	91	95

* 09 de maio de 2003; ** 01 de outubro de 2003

4.3. Análise microbiológica do solo

No Quadro 5 estão apresentados os números de unidades formadoras de colônias (UFC) de coliformes fecais e totais presentes em amostras de solo coletadas em três profundidades do solo, nas diferentes parcelas experimentais.

Com relação aos coliformes totais no solo, observa-se um aumento significativo nos tratamentos T₄ (aplicação do efluente, até quatro semanas antes da colheita), T₃ (aplicação do efluente, até três semanas antes da colheita), T₂ (aplicação do efluente até 2 semanas antes da colheita), T₁ (aplicação do efluente até 1 semana antes da colheita) em relação a T₀ (aplicação água de represa sem interrupção) nas profundidades de 0-10, 10-20 e nos tratamentos T₃, T₂ e T₁ na profundidade de 20-30 cm. Pode-se observar, ainda, que na testemunha foi verificado maior quantidade de coliformes totais nas profundidades de 0-10 e 10-20, quando comparado T₄. Isto se deve ao fato de haver abundância de tais organismos no meio ambiente.

Os resultados mostram que os tratamentos T₄, T₃ e T₂, que ficaram quatro, três e duas semanas, respectivamente, sem aplicar o efluente da lagoa, até o dia da colheita, não apresentaram nenhum organismo do grupo dos coliformes fecais, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm. No tratamento T₁, no qual houve

Quadro 5 - Número de unidade formadoras de colônias (UFC) de coliformes fecal e total presente em três profundidades do solo para os diferentes tratamentos estudados

Tratamentos	Profundidade (cm)		
	0 – 10	10 – 20	20 – 30
Coliformes fecais (UFC g ⁻¹)			
T ₀	0,00 Aa	0,00 Aa	0,00 Aa
T ₄	0,00 Aa	0,00 Aa	0,00 Aa
T ₃	0,00 Aa	0,00 Aa	0,00 Aa
T ₂	0,00 Aa	0,00 Aa	0,00 Aa
T ₁	3,66 Ba	1,49 Aab	0,00 Ab
Coliformes totais (UFC g ⁻¹)			
T ₀	2,12 Aa	1,49 Aa	0,00 Aa
T ₄	0,00 Ba	0,00 Ba	0,00 Aa
T ₃	3,59 Ba	1,49 Ba	3,66 Ba
T ₂	27,29 Ba	33,35 Ba	16,61 Ba
T ₁	49,87 Ba	40,68 Ba	24,28 Ba

Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem significativamente do tratamento T₀, em nível de 5 % de probabilidade, pelo teste de Dunnet e médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem significativamente, entre profundidades (na linha), em nível de 5 % de probabilidade, pelo teste de Tukey.

suspensão da aplicação de efluente 1 semana antes da colheita, foi verificada a presença de coliformes fecais nas camadas de 0-10 e 10-20 cm.

Essa ausência de organismos do grupo de coliformes fecais nos tratamentos T₀, T₂, T₃ e T₄ deve-se à existência de condições desfavoráveis a esses microrganismos após a interrupção da aplicação do efluente, mostrando que a desidratação é um importante fator na eliminação de patógenos, indicando poder utilizá-la como condição a ser monitorada para controle da descontaminação do solo em que houve a aplicação de efluentes. A sobrevivência desses microrganismos é menor sob altas temperaturas, baixas

umidades do solo, ou quando expostos a maior incidência da luz solar (BITTON e GERBA, 1984). Segundo LÉON e CAVALLINI (1999), os microrganismos podem sobreviver por períodos mais longos no solo do que nas superfícies das culturas, sendo que o tempo de sobrevivência dos coliformes fecais no solo, em clima quente (temperatura entre 20 e 30°C), pode variar de 20 a 70 dias, enquanto que nas culturas podem variar de 15 a 30 dias.

Os resultados obtidos no tratamento T₁ (aplicação do efluente, até uma semana antes da colheita) indicaram a presença de coliformes fecais (*E. coli*) de 3,66 UFC g⁻¹ (Unidade Formadora de Colônia), na camada de 0-10 cm. Esses resultados são considerados muito baixos, embora se saiba que a presença dos microrganismos indicadores de poluição fecal e organismos patogênicos, mesmo em níveis baixos, podem colocar em risco a saúde dos trabalhadores, podendo causar enfermidades diarréicas, febre tifóide e a hepatite A (LEON e CAVALLINI, 1999). A presença de coliformes fecais no solo que recebeu mesmo tratamento pode ter ocorrido devido ao menor tempo de exposição do solo à incidência de luz solar e à maior umidade neste solo, condições essas essenciais para a sobrevivência dos microrganismos patogênicos no solo.

Os resultados encontrados mostram que a aplicação do efluente de lagoa de maturação na fertirrigação do cafeeiro deve ser suspensa duas semanas antes da colheita dos frutos, eliminando-se com isso, o risco de contaminação do operador do sistema com microrganismos patogênicos presentes no solo.

Os resultados obtidos neste experimento são indicativos de que, para as condições climáticas reinantes durante a condução do experimento, o tempo de sobrevivência relatado por outros autores pode ser considerado excessivamente alto, tendo havido mais rápido decréscimo no número de organismos coliformes fecais, do que os reportados na literatura.

4.4. Análise microbiológica dos frutos do cafeeiro caídos no chão

Com relação à análise microbiológica dos frutos, não foi observada, em nenhum dos tratamentos adotados, a presença de coliformes fecais e totais nos frutos do cafeeiro coletados do chão. Provavelmente, isto ocorreu devido ao fato dos frutos estarem mais expostos à ação germicida do sol e sua superfície lisa dificultar a aderência dos microrganismos. Segundo MOTA (2000), as bactérias sobrevivem por mais tempo nas folhagens do que em superfícies lisas.

4.5. Análise química do solo

No Quadro 6 estão apresentados os valores de concentração de nitrogênio total, fósforo disponível, potássio e sódio trocável no solo, além das concentrações de nutrientes aplicadas na cultura do cafeeiro para cada tratamento, durante o período de experimentação. Observa-se neste quadro que a aplicação do efluente não influenciou, de forma significativa, as concentrações dos nutrientes fósforo disponível e potássio trocável no solo, quando comparados aos valores obtidos na testemunha (T_0). A concentração de nitrogênio, no entanto, foi significativamente superior em todos os tratamentos de aplicação do efluente, quando comparados com a testemunha que recebeu água de represa, nas três profundidades analisadas. A não existência de diferença significativa na concentração de fósforo disponível e potássio trocável entre as parcelas em que se aplicou água de represa e efluente da lagoa de maturação deve-se, provavelmente, ao fato do solo da área experimental apresentar concentrações relativamente altas destes nutrientes provenientes da adubação de plantio e fertirrigações com adubos químicos de N, P e K em períodos anteriores à aplicação da água residuária, bem como às concentrações relativamente baixas de P e K no efluente utilizado (Quadro 3). A diferença significativa apenas para os teores de N no solo, deve-se, possivelmente, ao fato deste nutriente apresentar-se em elevadas concentrações no efluente.

Quadro 6 - Concentração de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e sódio (Na) presente em três profundidades do solo, para os diferentes tratamentos estudados.

Tratamentos	Lâmina aplicada	Quantidade	Profundidade (cm)		
	(mm)	aplicada (kg h ⁻¹)	0 – 10	10 – 20	20 – 30
Nitrogênio total (g dm ⁻³)					
T ₀	0	0,00	10,79 Aa	0,77 Aa	0,75 Aa
T ₄	163,53	26,06	1,59 Ba	1,65 Ba	1,65 Ba
T ₃	170,77	28,78	1,64 Ba	1,61 Ba	1,57 Ba
T ₂	176,2	29,61	1,72 Ba	1,67 Ba	1,60 Ba
T ₁	181,63	30,44	1,73 Ba	1,66 Ba	1,67 Ba
Fósforo disponível (mg dm ⁻³)					
T ₀	0	0,00	4,56 Aa	2,23 Aa	3,88 Aa
T ₄	163,53	5,03	4,62 Aa	5,76 Aa	3,91 Aa
T ₃	170,77	5,40	4,71 Aa	6,16 Aa	4,61 Aa
T ₂	176,2	5,80	4,84 Aa	6,77 Aa	6,43 Aa
T ₁	181,63	6,21	5,51 Aa	9,45 Aa	8,28 Aa
Potássio trocável (mg dm ⁻³)					
T ₀	0	0,00	68,26 Aa	50,93 Aa	43,98 Aa
T ₄	163,53	23,79	72,84 Aa	56,78 Aa	47,89 Aa
T ₃	170,77	24,60	88,36 Aa	60,49 Aab	51,09 Ab
T ₂	176,2	25,12	99,86 Aa	66,79 Aab	57,02 Ab
T ₁	181,63	25,63	120,55 Aa	82,10 Aab	60,95 Ab
Sódio trocável (mg dm ⁻³)					
T ₀	0	0,00	87,00 Aa	82,88 Aa	57,39 Aa
T ₄	163,53	51,13	110,27 Aa	84,72 Aa	73,69 Aa
T ₃	170,77	52,74	114,26 Aa	90,18 Aa	74,27 Ab
T ₂	176,2	54,64	114,56 Aa	96,30 Aa	85,54 Aa
T ₁	181,63	56,54	135,62 Aa	103,57 Aa	95,34 Ba

Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem significativamente do tratamento T₀, em nível de 5 % de probabilidade, pelo teste de Dunnet e médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem significativamente, entre profundidades (na linha), em nível de 5 % de probabilidade, pelo teste de Tukey.

De acordo com as concentrações médias de P disponível observadas no perfil do solo após o período experimental, o mesmo passou a se enquadrar na classe de fertilidade muito baixa, para todas as parcelas, independente do tratamento. Quanto à concentração de potássio, o mesmo é classificado como de baixa fertilidade nas parcelas submetidas aos tratamentos T₀ e T₄ e média fertilidade nas parcelas submetidas aos tratamentos T₃, T₂ e T₁.

Com relação à concentração do sódio, verifica-se que houve diferença significativa somente na profundidade de 20-30 cm, quando se compara o tratamento T₁ (aplicação do efluente até 1 semana antes da colheita) com a testemunha (T₀). Nesta avaliação da aplicação de água residuária na fertirrigação da cultura do cafeeiro, o aumento da concentração de Na no solo mostra-se fator agravante, tendo em vista o risco de salinização do solo. A adsorção dos íons de sódio às partículas do solo pode levar à dispersão coloidal, com a conseqüente redução da porosidade do solo. No entanto, este efeito maléfico do sódio apenas ocorrerá caso o teor de Na seja bem superior aos de Ca⁺⁺ e Mg⁺⁺ e a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo seja muito baixa. Fazendo uma análise da caracterização do efluente aplicado (Quadro 3), pôde-se observar que o mesmo apresenta um valor de RAS baixa, desta forma, efeitos maléficos do sódio não devem, pelo menos em curto prazo, ocorrer no solo.

Os resultados de concentração de sódio no solo, apresentados no Quadro 6, contrariam informações apresentados existentes na literatura, as quais tem mostrado aumento da concentração de sódio no solo da ordem 3,5 a 25 vezes, quando aplicado efluente de esgoto tratado por um período de cinco anos (LATTERELL et al., 1982). Os resultados obtidos neste experimento foram advindos de um período de aplicação muito curto (3 meses) de tal forma que, para uma avaliação mais consistente do efeito da aplicação de água residuária no solo, torna-se necessário que seja feito um monitoramento por um período mais prolongado de aplicação do efluente, tendo em vista o efeito acumulativo deste elemento no solo, sendo esta observação válida para os demais nutrientes avaliados neste estudo.

De forma geral, não foram observadas diferenças estatísticas nas concentrações dos nutrientes entre as diferentes profundidades, com exceção do potássio trocável e sódio, sendo observado diferença significativa da concentração de potássio entre as profundidades de 0-10 e de 20-30 cm nos tratamentos T₃, T₂ e T₁ e sódio no tratamento T₃. Indicando que os nutrientes aplicados, via água residuária, foram distribuídos igualmente no perfil do solo, mostrando um potencial risco de salinização do mesmo, principalmente pela elevada concentração de sódio. Desta forma, há necessidade de utilização de sistemas de irrigação, tal como o gotejamento, que se mostra mais adequado quando a água para irrigação apresenta certo grau de salinidade, visando minimizar este problema (BERNSTEIN e FRANCOIS, 1975; PAPADOPOULOS e STYLIANOU, 1991).

Pode-se observar que, embora os resultados apresentados sejam referentes a um período de aplicação do efluente de três meses, pela análise microbiológica do solo, o efluente pode ser plenamente utilizado para fazer a fertirrigação da cultura do cafeeiro sem maiores problemas de contaminação do solo e do operador do sistema. Ressalta-se, no entanto, a necessidade de suspensão da sua aplicação em, no mínimo, duas semanas antes da colheita. Entretanto pelas análises químicas do solo, a sua aplicação fica limitada devido ao elevado acúmulo de Na no solo.

A fertirrigação com o efluente de lagoa de maturação mostrou ser prática viável para dar um fim a essas águas, já que elas não apresentaram padrão de qualidade satisfatório para lançamento em cursos d'água. Além disso, deve ser considerado que, com seu aproveitamento, pode-se minimizar os custos de produção agrícola.

Embora em simulações realizadas, tenha-se verificado que a aplicação deste efluente, durante todo ano, objetivando suprir as necessidades hídricas da cultura estaria atendendo às exigências dos nutrientes nitrogênio, fósforo e potássio em cerca de 15, 16 e 9 %, respectivamente, é fundamental ressaltar que as concentrações de Na no solo pode atingir valores tais que podem, em médio prazo, inviabilizar o cultivo na área.

4.6. Análise química das folhas

No Quadro 7 estão apresentadas as concentrações dos nutrientes nitrogênio, fósforo e potássio nas folhas. Pode-se observar que a concentração de fósforo nas folhas foi, significativamente, menor no tratamento testemunha, quando comparados aos demais tratamentos.

Com relação às concentrações dos nutrientes nitrogênio e potássio, foi observado que apenas o tratamento T₁ proporcionou aumento nos teores de N e K nas folhas do cafeeiro. No caso do P, entretanto, verifica-se aumento significativo nos teores das folhas do cafeeiro em que foi aplicado o efluente.

As faixas de N observados nas folhas do cafeeiro (2,53 – 2,91 g kg⁻¹) estão dentre os valores da faixa crítica recomendadas por MARTINEZ et al. (2003), para condições de Viçosa – MG, (Tabela 4) atendendo também às recomendações de outros autores (WILLSON, 1985; REUTER e ROBINSON, 1988; MALAVOLTA, 1993; MILLS e JONES Jr., 1986) (Tabela 5). No entanto, está inferior aos da faixa recomendada por MALAVOLTA et al. (1997) e MATIELLO (1997). Já as concentrações médias de P nas folhas, estão dentre os valores críticos recomendados por todos os autores citados anteriormente. A concentração média de K encontrada no experimento foi inferior às determinadas por MARTINEZ et al. (2003), WILLSON (1985), REUTER e ROBINSON (1988), MALAVOLTA (1993), MILLS e JONES Jr. (1986), MALAVOLTA et al. (1997) e MATIELLO (1997).

Fazendo uma comparação dos resultados da análise foliar de cafeeiro fertirrigado com adubo químico, obtidos por ANTUNES et al. (2003), pode-se observar que os resultados encontrados neste trabalho apresentaram, em média, concentrações de potássio semelhantes. No entanto, a concentração de fósforo obtida no presente trabalho foi cerca 40% superior e a concentração de nitrogênio

Quadro 7 - Concentração de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) nas folhas do cafeeiro cultivadas sob diferentes condições de manejo do sistema de fertirrigação.

Tratamentos	N	P	K
T ₀	25,7 A	1,35 A	15,93 A
T ₄	25,5 A	1,68 B	16,00 A
T ₃	25,4 A	1,87 B	17,03 A
T ₂	25,3 A	2,03 B	17,75 A
T ₁	29,1 B	2,33 B	19,65 B

Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem significativamente do tratamento T₀, em nível de 5 % de probabilidade, pelo teste de Dunnet.

Tabela 4 - Faixas críticas de macro e de micronutrientes em folhas de cafeeiro, estabelecidas com base nas concentrações foliares apresentadas por lavouras com produtividade médias superior a 30 sacas de café beneficiado por hectare.

Nutrientes	Viçosa	
	Faixa	Média
N	2,47 – 3,15	2,81
P	0,15 – 0,19	0,17
K	2,13 - 2,89	2,51
Ca	0,92 – 1,20	1,06
Mg	0,35 - 0,56	0,46
S	0,16 – 0,22	0,19
Cu	13,0 – 29,0	21,0
Fe	57 – 94,0	75,0
Zn	6,0 – 12,0	9,0
Mn	115,0 – 286,0	201,0
B	29,0 – 52,0	40,0

Fonte: Martinez (2003).

Tabela 5 - Faixas críticas dos teores de nutrientes em folhas de cafeeiro, segundo alguns autores.

Tratamentos	Autores					
	1	2	3	4	5	6
	-----dag kg ⁻¹ -----					
N	2,60 – 3,40	2,5 – 3,00	2,70 – 3,20	2,30 – 3,00	2,90 – 3,20	3,00 – 3,50
P	0,15 – 0,20	0,15 – 0,20	0,15 – 0,20	0,12 – 0,20	0,16 – 0,19	0,12 – 0,20
K	2,10 – 2,50	2,10 – 2,60	1,90 – 2,40	2,00 – 2,50	2,20 – 2,50	1,80 – 2,50
Ca	0,75 – 1,50	0,75 – 1,50	1,00 – 1,40	1,00 – 2,50	1,30 – 1,50	1,00 – 1,50
Mg	0,25 – 0,40	0,25 – 0,40	0,31 – 0,36	0,25 – 0,40	0,40 – 0,45	0,35 – 0,50
S	0,15 – 0,25	0,02 – 0,10	0,15 – 0,20	0,10 – 0,20	0,15 – 0,20	0,15 – 0,20

Fonte: 1. Wilson (1985), 2.Reuter e Robinson (1988), 3. Malavolta (1993), 4. Molls e Jones Jr. (1996), 5. Malavolta et al. (1997), 6. Matiello (1997).

cerca 13,74% inferior aos valores encontrados por ANTUNES et al. (2003) em cafeeiros adubados quimicamente. De acordo com os valores de nutrientes nas folhas do cafeeiro considerados adequados apresentados por MALAVOLTA (2000), os valores de concentração de N e K obtidos neste estudo mostraram-se adequados apenas nas parcelas submetidas ao tratamento T₁, já para as concentrações de P, observa-se que apenas o tratamento T₀ não apresenta valores que se enquadra dentro da faixa de valores adequados para a cultura do cafeeiro.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

A preocupação com a disponibilidade mundial de água vem exigindo de todos uma nova consciência em relação à utilização desse recurso. Assim, o uso de águas de baixa qualidade torna-se fator relevante para minimizar esta problemática. O uso de águas residuárias na agricultura tem sido uma forma alternativa de minimizar problemas ambientais, além de poder propiciar incrementos na produção agrícola. Os incrementos na produção agrícola dependem de alguns fatores, tais como tipo da cultura, disponibilidade de nutrientes no esgoto, da demanda nutricional das plantas e do manejo adotado. O presente trabalho teve como objetivo geral avaliar os aspectos de contaminação do solo e nutricional da cultura do cafeeiro com a aplicação, por gotejamento, de esgoto doméstico tratado por escoamento superficial seguido de lagoa de maturação, no Município de Viçosa – MG.

Objetivos específicos:

- caracterização do efluente gerado na Estação-Piloto de Tratamento de Esgoto do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG;
- avaliar a concentração de N, P e K no solo e nas folhas do cafeeiro quando fertirrigados com esgoto doméstico tratado;

- avaliar a concentração de Na no solo submetido à aplicação de esgoto doméstico tratado; e

- avaliar a contaminação por coliformes fecais e totais do solo e dos frutos do cafeeiro coletados do chão quando fertirrigado com esgoto doméstico tratado.

Para o cumprimento dos objetivos, foi montado um experimento na Estação-Piloto de Tratamento de Esgoto do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, localizado na cidade de Viçosa, Zona da Mata de Minas Gerais. O experimento foi montado no delineamento inteiramente casualizado, o qual consistiu na aplicação do efluente, da lagoa de maturação, estabelecendo-se os seguintes tratamentos: aplicação de água de represa sem interrupção (T_0) e aplicação do efluente até quatro, três, duas e uma semana antes da colheita dos frutos do cafeeiro (T_4 , T_3 , T_2 e T_1 , respectivamente). Foram retiradas amostras de solo nas profundidades de 0 - 10, 10 - 20 e 20 - 30 cm, para realizar análises microbiológicas (coliformes fecais e totais) e análises químicas (concentração de fósforo disponível, nitrogênio total e potássio e sódio trocáveis). Foram retiradas folhas do cafeeiro na altura mediana da planta, no 3º e 4º par de folhas para análise foliar (N, P; e K) e coletados frutos do chão para determinação da presença de coliformes fecais e totais.

A análise estatística consistiu de análise de var iância e teste de médias, para comparação das variáveis dependentes avaliadas para os tratamentos com aplicação de efluente e a testemunha absoluta (aplicação de água de represa).

Os resultados obtidos permitiram concluir que:

- o efluente gerado na Estação-Piloto de Tratamento de Esgoto do DEA/UFV, em que o tratamento por disposição no solo foi operado com taxas de aplicação de 0,4; 0,6 e 0,8 $L s^{-1} m^{-1}$ não apresentou efluentes com padrão de qualidade para lançamento em curso d'água, devendo a mesma estar associada a outra forma de disposição final do efluente gerado na EPTE.

- a aplicação do efluente elevou, significativamente, a concentração de nitrogênio no solo, fato que deve ser levado em consideração no estabelecimento das taxas a serem aplicadas, a fim de se minimizar os riscos de contaminação de

águas subterrâneas com nitrato;

- a aplicação desse efluente durante todo o ano pode atender cerca de 15, 16 e 9% das exigências de nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente;

- não é recomendável a aplicação do efluente seguindo-se critérios de restabelecimento das necessidades hídricas do cafeeiro, em vista dos riscos que esta forma de manejo do efluente trará em médio prazo para o sistema solo-planta e, principalmente para a qualidade das águas subterrâneas, devido aos elevados valores Na observados no solo, sendo uma alternativa de manejo viável a aplicação da água residuária em função das exigências nutricionais da cultura;

- o estresse hídrico no solo foi suficiente no controle do número de coliformes fecais no solo, sendo verificado que a aplicação de efluente deve ser suspensa pelo menos duas semanas antes da colheita para minimizar o risco de contaminação do operador do sistema com organismos do grupo coliformes fecais presentes no solo; e

- os frutos do cafeeiro que estavam no chão não foram contaminados, independentemente do período de suspensão da aplicação do efluente antes da colheita.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-NAKSHABANDI, G.A., SAQQAR, M.M., SHATANAWI, M.R., FAYYAD, M., AL-HORANI, H. Some environmental problems associated with the use of treated wastewater for irrigation in Jordan. **Agricultural Water Management**, v.34, p.81-94, 1997.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19. ed. Washington. D.C.:APHA s.n.p. 1995.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20. ed. Washington. D.C.: APHA s.n.p. 1998.

ANDRADE NETO, C.O. **Sistemas simples para tratamento de esgotos sanitários: experiências brasileiras**. Rio de Janeiro, RJ: ABES, 1997. 301p.

ANDRADE NETO, C.O. Uso de esgoto sanitário e efluentes tratados na irrigação. In CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 9, 1991, Natal. **Anais...**Natal, RGN: CONIRD, 1991. p.1961-2006.

ANTUNES, R. C. B., MANTOVANI, E. C, SOARES, A. R., RENA, A. B., BONOMO, R. Área de observação e pesquisa em cafeicultura irrigada na região das vertentes de Minas Gerais – Resultados de 1998/2000. In.: **Irrigação do cafeeiro – Informações Técnicas e Coletânea de Trabalhos**. Viçosa, 2003. pg. 255-260.

ARCEIVALA, S.J. **Wastewater Treatment and Disposal**. New York, arcel Dekker, New York, 1981, 892p.

AYERS, R.S, WESTCOT, D.S. **Water quality for agriculture**. Rome: FAO, 1985. 174p. (Irrigation and Drainage Paper, 29)

AYERS, R.S, WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. João Pessoa: UFPB, 1991. p.218.

AZEVEDO NETTO, J.M. **Técnica de abastecimento e tratamento de água**. 2.ed. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1987. 549p.

AZEVEDO NETTO, J.M., BOTELHO, M.H.C., **Manual de saneamento de cidades e edificações**. São Paulo: Pini, 1991. 229p.

BALKS M.R., BOND, W.J., SMITH, C.J. Effects of sodium accumulation on soil physical properties under na effluent-irrigated plantation. **Australian Journal or Soil Research**, v.36, p.821-830, 1998.

BERNARDES, R.S. Estabilização de poluentes por disposição no solo. **Rev. DAE**, v.46, n.145, p.129-148, 1986.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**, 6ª ed. Viçosa: UFV, Impr. Uni., 1995.

BERNSTEIN, L., FRANCOIS, L. E. Effect of frequency of sprinkling with saline water compared with daily drip irrigation. **Agronomy Journal**, n. 67, pg. 185-190, 1975.

BITTON, G. **Wastewater microbiology**. New York: Willey-liss, 1994. 478p.

BITTON, G., GERBA, C. P. **Groundwater pollution microbiology**. New York: John Wiley e Sons, 1984. 379p.

BOUWER, H. Integrated water management: emerging issues and challenges. **Agricultural Water Management**, v.45, p.217-228, 2000.

CAMP, C.R., SADLER, E.J., BUSSCHER, W.J. A comparison of uniformity measures for drip irrigation systems. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.40, n.4, p.1013-1020, 1997.

CAMPELO, P.L.G. **Influência da aplicação de águas residuárias de suinocultura nas características físico-hídricas e químicas de um solo Podzólico Vermelho-Amarelo**. Viçosa: UFV, 1999. 55p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1999.

CAMPOS, J.R. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Cap.14, 1º ed., Rio de Janeiro: ABES, 1999, 435p.

CAMPOS, L.P.R. et al. (Org.). **Licenciamento ambiental: coletânea de legislação**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), 1998. 379p.

CAVALCANTI, T.B.G. **Técnicas para o controle bacteriológico da água**. São Paulo, FATEC – SP, monografia para o Curso de Especialização em Tecnologias Ambientais, da Faculdade de Tecnologia de São Paulo, 1999, 41p.

CHERNICHARO, C.A.L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias** v.5, (Tratamento Anaeróbios) DESA - UFMG, 1997. 246p.

CHRISTOVÃO, D.A. Padrões bacteriológicos, caracterização bacteriológica de poluição e contaminação. In: CETESB. **Água. Qualidade, padrões de potabilidade e poluição**. São Paulo. p. 57-119, 1974.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação**. RIBEIRO, A. C., GUIMARÃES, P. T. G., ALVAREZ V., V. H. (eds.), Viçosa (MG), 1999, 359 p.

CORAUCCI FILHO, B. **Tratamento de esgoto doméstico no solo pelo método do escoamento superficial**. São Paulo, 1992. 1367p. Doutorado. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 1992.

CROMER , R.N., TOMPKINS, D., BARR, N.J., HOPMANS, P. Irrigation of Monterey pine with wastewater: effect on soil chemistry and groundwater composition. **Journal of Environmental Quality**, v.13, p.539-542, 1984.

DELFELIPO, B. V., RIBEIRO, A. C. **Análise química do solo (metodologia)**. Viçosa, MG: UFV, Imp. Univ., 1981. 17p. (Boletim de Extensão, 29).

DENÍCULI, W., BERNARDO, S., THÉBAUT, J. T. L., SEDIYAMA, G. C. 1980. Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo num sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 27, n. 150, p. 155-162.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manual de métodos de análise de solo**, 2ª ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

FALKINER, R.A., SMITH, C.J. Changes in soil chemistry in effluent-irrigated *Pinus radiata* and *Eucalyptus grandis*. **Australian Journal of soil Research**, v.35, p.131-147, 1997.

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

FERREIRA, P. A. **Manejo de água – planta em solos salinos**. Viçosa, MG: UFV, 96p. 1998 (Apostila do curso de pós-graduação em Engenharia Agrícola).

FIGUEIREDO, R.F. Tratamento de esgoto pelo processo de escoamento superficial do solo, **Revista DAE**, 45 (140): 62-66, 1985.

FONSECA, A.F. **Disponibilidade de nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e do milho pela aplicação de efluente de esgoto tratado.** Piracicaba, SP: ESALQ/USP, Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2001, 110 p.

FONSECA, S.P.P., SOARES, A.A., CHERNICHARO, C.L., VIANNA, M.R., MATOS, A.T. Eficiência de um sistema de escoamento superficial aplicado ao tratamento de esgotos brutos do condomínio Bosque do Acamari em Viçosa/MG. **In Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27, 2000. Anais...** Porto Alegre: 2000.

FREIRE, A.O. Wasterwater recycling in Minas Gerais – Brasil: case studies in Roças e Canabrava. In: **BENEFICIAL REUSE OF WATER AND BIOSOLIDS, Málaga, Espanha. Anais...** Málaga, Espanha: WATER ENVIRONMENT FEDERATION-WEF, 1997. (CD-ROM).

FURLANI, A.M.C., MORAES, F.R.P., FRANCO, C.M. Efeitos da aplicação de cloreto e sulfato de potássio na nutrição de cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v.35, n.29, p.349-364, 1976.

HARLIN, Jr., CURTS, C. “Land Treatment Methods In Perspective”. **Prog. Wat. Tech.**, Oxford, Grã-Bretanha, 11 (4/5): 1-14, Oct., 1979.

HARMSSEN, G. W., KOLENBRANDER, G. J. Soil inorganic nitrogen. In **SOIL NITROGEN. USA: American Society of agronomy, Inc.**, 1965. p. 43-92.

HORTENSTINE, C.C. Chemical changes in the soil solution from a Spodosol irrigated with secondary-treated sewage effluent. **Journal of Environmental Quality**, v.5, p.335-338, 1976.

JIMÉNEZ-CISNEROS, B. Wastewater reuse to increase soil productivity. **Journal Water Science Technologic**. n. 32, v. 12, p. 173-180, 1995.

JOHNS, G.G., McCONCHIE, D.M. Irrigation of bananas with secondary treated sewage effluent. II. Effect on plant nutrients, additional elements and pesticide residues in plants, soil and leachate using drainage lysimeters. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.45, p.1619-1638, 1994.

JORDÃO, E.P., PESSÔA, C.A. **Tratamento de esgotos domésticos**. Rio de Janeiro: ABES, v.1, p.9-28, 1982.

KELLER, J., KARMELI, D.. **Trickle irrigation design**. [S.l.]: Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 1975, 133 p.

LATTERELL, J.J., DOWDY, R.H., CLAPP, C.E., LARSON, W.E., LINDEN, D.R. Distribution of phosphorus in soils irrigated with municipal waste-water effluent: a 5-year study. **Journal of Environmental Quality**, v.11, p.124-128, 1982.

LÉON SUEMATSU, G., CAVALLINI, J. M. **Tratamento e uso de águas residuárias**. Campina Grande: UFPB, 1999. 109p.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro**: colheitas máximas econômicas. Editora Agronômica Ceres, 1993. 210 p.

MALAVOLTA, E., VITTI, G. C., OLIVEIRA, S. **Avaliação do estado nutricional das plantas-princípios e aplicações**. 2. ed. ABPPF, 1997. 238 p.

MANTOVANI, E.C. **A Irrigação do Cafeeiro**. Anais do IV Simpósio Brasileiro de Pesquisa em Cafeicultura Irrigada, Araguari, MG. Março de 2001.

MANTOVANI, E.C. **Manual do Manejo** Viçosa-MG, 2003, 63p.

MARA, D.D., PEARSON, H.W. (1998). **Design Manual for Waste Stabilization Ponds in Mediterranean** Countries, Leeds, England

MARA, D.D., PEARSON, H.W. Sequential batch-fed effluent storage reservoirs: a new concept of wastewater treatment prior to unrestricted crop irrigation. **Wat. Sci. Tech**, Great Britain, v. 26, n.7-8, p.1459-1464, 1992

MARA, D.D., PEARSON, H.W. **Waster Stabilization Pond – Design Manual for Mediterranean Europe** World Health Organization, Copenhagen, 1987.

MARTINEZ, H. E. P., NEVES, Y. P., ZABINI, A. V. Diagnóstico do estado nutricional do cafeeiro. In.:Produção integrada de café. ZAMBOLIM, L. (ed.), Viçosa-MG: UFV, DFP. p. 397-442, 2003.

MATIELO, J. B. G. **Gosto do meu cafezal**. Publicações Globo Rural, 1997,. 139 p.

MATOS, A.T., LO MONACO, P.A. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos e líquidos da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro**. Viçosa: associação dos Engenheiros Agrícolas do Estado de Minas Gerais. 2003. 68 p. (Boletim Técnico no.7).

MERRIAM, J. L., KELLER, J. **Farm irrigation evaluation: a guide for management**. Logan: Utah State University, 1978, 271 p.

METCALF e EDDY, INC. **Ingeniería sanitaria**, tratamiento, evacuacion y reutilización de aguas residuales. 2.ed. Barcelona: Labor, 1985. 908p.

Mills, H. A., JONES JR, J. B. **Plant analysis handbook II**. 2. ed., Athens: Micro-Macro-Publishing, 1996. 422 p.

MOTA, S. **Aplicação de esgoto doméstico em irrigação**. In: Reuso de águas: a experiência da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, pg. 17-30, 2000.

NUVOLARI, A. **Esgotos Sanitários – Coleta Transporte tratamento e Reuso Agrícola**. São Paulo, FATEC – SP, Ed. Edgar Blucher, 2003, 519p.

ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD – OMS. **Directrices sanitárias sobre el uso de água residuales em agricultura y acuicultura**. Genebra: OMS, 1989. 93p. (Séries de Informes Técnicos, 778).

ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD – OMS. **Guías para la calidad del água potable**. 2. ed. v.1, Genebra: OMS, 1995. 195p.

ORON, G., SHELEF, G., TURZYNSKI, B. **Trickle Irrigation Using Treated Waste waters**. Journal of the Irrigation and Drainage Division, v.105, n.2, junho, 1980.

PAGANINI, W.S. **Disposição de esgotos no solo (escoamento superficial)**. São Paulo: Fundo Editorial AESABESP, 1997. 232p.

PAPADOPOULOS, I., STYLIANOU, Y. Trickle irrigation of sunflower with municipal wastewater. **Agricultural Water Management**, n. 19, pg. 67-75, 1991.

PESCOD, M.B. **Wastewater treatment and use in agriculture**. Rome: FAO, 1992. 125p. (Irrigation and Drainage Paper, 47).

QUEIROZ, F. M. **Avaliação de gramíneas forrageiras para o tratamento de águas residuárias da suinocultura**. Viçosa, MG: UFV, 2000.91 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2000.

REUTER, D. J., ROBSON, J. B. **Plant analysis: an interpretation manual**. Inkata Press, 1988, 218p.

SANTIAGO, R. G. Avaliação da qualidade do efluente final do sistema de lagoas de estabilização do sidi, visando ao uso na agricultura. **In: Reuso de águas: a experiência da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza**, pg. 157-194, 2000.

SCHERER, E.E., BALDISSERA, I.T. Aproveitamento dos dejetos de suínos como fertilizantes. **DIA DE CAMPO SOBRE MANEJO E UTILIZAÇÃO DE DEJETOS SUÍNOS**. 1994, Concórdia-SC. 1994. Concórdia: EMBRAPA-CNPS, 1994, p.33-38 (documentos 32).

SHENDE, G.B. **Status of wastewater treatment and agricultural reuse with special reference to Indian experience and research and development needs**. In: FAO Regional Seminar on the Treatment and Use of Sewage Irrigation. Rome: FAO. p. 157-182, 1985.

SILVA, S.A., MARA, D.D. **Tratamentos biológicos de águas residuárias – Lagoas de estabilização**. Rio de Janeiro: ABES, 1979. v.1, 44p.

SOUZA, L.C.de, QUEIROZ, J.E. & GHEYI, H.R. Variabilidade Espacial da Salinidade de um Solo Aluvial no Semi-Árido Paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.1, p.35-40, Campina Grande, PB, DEAg/UFPB, 2000.

SPEIR, T. W., VAN SCHAIK, A.P., KETTLES, H.A., VICENT, K.W., CAMPBELL, D.L. Soil and stream-water impacts of sewage effluent irrigation onto steeply sloping land. **Journal of Environmental Quality**, v.28, p.1105-1114, 1999.

STEFANUTTI, S., MATTIAZZO, M.E., CORAUCCI FILHO, B., NOUR, E.A.A., FIGUEIREDO, R.F., Comportamento de duas forrageiras sob diferentes taxas de aplicação de esgotos sanitários utilizando o método do escoamento superficial. (*Compact disc*): **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**, 28, Pelotas, 1999. Pelotas, 1999.

TAYLOR, G.L., NEAL, L.A. **Land Treatment of waste as na Industrial Siting Advantage**. Proceedings of the 37th Industrial Waste Conference, Purdue Univ., p.233-238, May 11, 12 and 13, 1982.

TERADA, M., ZUCCOLO, A.C.F., PAGANINI, W. DA SILVA. Tratamento de Esgotos Domésticos por Disposição no Solo com Utilização de Gramíneas. **Revista DAE** – Edição: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP – São Paulo – SP, v.45, n. 142, p. 249 – 254, 1985.

VAN BUUREN, J. J. L., FRIJNS, J. A. G. e LETTINGA, G. **Wastewater treatment and reuse in developing countries**. Wageningen Agricultural University. 1995.

VIEIRA, R. F., RAMOS, M. M. Fertirrigação. In.: **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (5ª aproximação)**. RIBEIRO, A. C., GUIMARÃES, P. T. G., ALVAREZ, V. H.V. (Eds.). Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1999. p. 11-131.

VON SPERLIG. **Lagoas de Estabilização**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG, 1995.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: UFMG, 1996. 243p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 1).

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Health guidelines for use of wastewater in agriculture and aquaculture**. Technical Report Series. 778. Geneva, 1989.

WILLSON, K. C. Mineral nutrition and fertilizer needs. In.: CLIFORD, N. N., WILLSON, K. C. (Eds.). **Coffee botany, biochemistry and production of beans and beverage**. Croom Helm, 1985. part 6, p. 135-156.