

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**UTILIZAÇÃO DE EFLUENTES SANITÁRIOS TRATADOS PARA O
SUPRIMENTO DE NUTRIENTES À CULTURA DO MILHO E MODIFICAÇÕES
EM PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO**

**Juliana Nichele
(Dissertação)**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**UTILIZAÇÃO DE EFLUENTES SANITÁRIOS TRATADOS PARA O
SUPRIMENTO DE NUTRIENTES À CULTURA DO MILHO E MODIFICAÇÕES
EM PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO**

JULIANA NICHELE
Química (UPF)

Dissertação apresentada como
um dos requisitos à obtenção do
Grau de Mestre em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS) Brasil
Setembro de 2009

CIP - CATALOGAÇÃO INTERNACIONAL NA PUBLICAÇÃO
Biblioteca Setorial da Faculdade de Agronomia da UFRGS

N594u Nichele, Juliana

Utilização de efluentes sanitários tratados para o suprimento de nutrientes à cultura do milho e modificações em propriedades químicas do solo / Juliana Nichele. — Porto Alegre : J.Nichele, 2009.

x., 75f; Il.

Dissertação(Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

1. Solo : Nutrição de planta : Efluente sanitário tratado : Milho. : Propriedades químicas do solo. I. Título.

CDD: 631.4

JULIANA NICHELE
Licenciada em Ciências - Habilitação em Química - UPF

DISSERTAÇÃO


Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

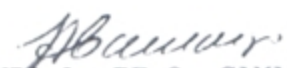
MESTRE EM CIÊNCIA DO SOLO

Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 10.09.2009
Pela Banca Examinadora

Homologado em: 22.12.2009
Por



CARLOS ALBERTO BISSANI
Orientador-PPG Ciência do Solo


FLÁVIO A. DE O. CAMARGO
Coordenador do
Programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo


MARINO JOSÉ TEDESCO
Departamento de Solos/UFRGS


EGON JOSÉ MEURER
Departamento de Solos/UFRGS


LUIZ OLINTO MONTEGGIA
IPH/UFRGS


PEDRO ALBERTO SELBACH
Diretor da Faculdade
de Agronomia

Dedico:

Aos meus pais, Paulo e Mercedes, por terem me ensinado que o conhecimento é a maior riqueza.

Às futuras gerações, a quem temos o dever de entregar um mundo melhor do que recebemos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me proporcionar uma vida maravilhosa, com saúde e liberdade de viver com sabedoria.

Ao Professor Carlos Alberto Bissani, pela orientação, sabedoria, dedicação, incentivo e paciência no desenvolvimento deste trabalho e nos momentos mais difíceis.

Ao Professor Luiz Olinto Monteggia, pela amizade, confiança, ensinamentos e apoio que obtive durante os anos de convivência.

Ao CNPq, através do PROSAB e do IPH/UFRGS, pelo apoio financeiro obtido com a bolsa de pesquisa DTI.

Aos professores e funcionários do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia e do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da UFRGS, pela colaboração e carinho durante as atividades.

Aos amigos do Laboratório de Saneamento do IPH - Viviane, Roberto, Diego A., Saulo, Ronaldo, Alex, Maria Cristina, Larissa, Cecília, Liv, Diego O. e Rodrigo, pela parceria e amizade.

A todos meus colegas e amigos do curso de Mestrado, em especial Daniela, Christina, Liane, Regina, Jean Christian, Sérgio, Marquel, Regilene, João Paulo e Rogério, pelo companheirismo, momentos de estudo e alegria, conhecimentos compartilhados e objetivos atingidos.

Ao Felipe Kich, pela preciosa ajuda e incentivo nos momentos finais.

À minha família, por serem a base da pessoa que sou, abençoada e agraciada com amor, que entenderam os momentos de ausência e me apoiaram nas minhas decisões.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

UTILIZAÇÃO DE EFLUENTES SANITÁRIOS TRATADOS PARA O SUPRIMENTO DE NUTRIENTES À CULTURA DO MILHO E MODIFICAÇÕES EM PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO¹

Autora: Juliana Nichele

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Bissani

RESUMO

A aplicação em solos agrícolas é uma das alternativas de reuso de efluentes sanitários tratados, considerando-se a grande demanda de água na produção agrícola e a contribuição no aporte de nutrientes para as plantas. O objetivo deste trabalho foi estudar o aproveitamento de efluentes sanitários tratados na irrigação e no fornecimento de nutrientes para a cultura do milho (*Zea mays* L.), além de quantificar seus efeitos em propriedades químicas do solo. O experimento foi realizado em área experimental do IPH/UFRGS, junto à Estação de Tratamento de Esgotos São João-Navegantes, em Porto Alegre-RS. O solo da área tinha histórico de aterro com materiais de diversas origens, não sendo possível sua classificação taxonômica. Foram avaliados dois tipos de efluentes tratados: efluente de reator anaeróbico (UASB) e efluente de lagoa de polimento (Lagoa). Como referência, foi também conduzido um tratamento com irrigação com água potável e adubação mineral (AM). As principais determinações constaram de análises físicas e químicas dos efluentes e da água usados na irrigação e da água percolada; físicas e químicas do solo; de composição e acúmulo de nutrientes nas plantas (macro e micronutrientes e sódio em folhas, plantas inteiras e grãos) e da quantificação da produção de matéria seca e de grãos. Nitrogênio, fósforo e potássio foram os nutrientes supridos em maiores quantidades pelos efluentes, principalmente pelo UASB. Os atributos químicos do solo foram pouco influenciados pelos efluentes, que, entretanto, proporcionaram concentrações de nutrientes no tecido vegetal similares ou, às vezes, superiores àquelas obtidas no tratamento AM. O tratamento com o efluente UASB proporcionou valores de produção de matéria seca de plantas e de grãos similares ao tratamento referência (AM), porém estes atributos foram menores no tratamento Lagoa, possivelmente pela limitação em nitrogênio. Os resultados permitem considerar que é promissor o aproveitamento destes efluentes em cultivos agrícolas, de modo a otimizar o uso e a proteção de recursos hídricos e a reciclagem de nutrientes.

¹ Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre (RS). (76 p.). Setembro, 2009. Trabalho realizado com apoio do CNPq e do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

UTILIZATION OF TREATED SANITARY EFFLUENTS FOR NUTRIENT SUPPLY TO CORN CROP AND MODIFICATIONS IN SOIL CHEMICAL PROPERTIES¹

Author: Juliana Nichele

Adviser: Prof. Dr. Carlos Alberto Bissani

ABSTRACT

Application on agricultural soils is one of the alternatives of reuse of treated sanitary effluents considering the huge amount of water required by plant crops and its contribution for plant nutrient supply. The objective of this work was to study the utilization of treated sanitary effluents for irrigation and nutrient supply to a corn crop (*Zea mays* L.), besides evaluating their effects on soil chemical properties. The experiment was carried out in the IPH/UFRGS experimental area, close to the São João-Navegantes Wastewater Treatment Plant in Porto Alegre, RS, Brazil. The soil in the area had a history of being used as a landfill for materials from diverse origins making it impossible to determine its taxonomical classification. Two types of treated effluents were used: anaerobic reactor effluent (UASB) and polishing lagoon effluent (Lagoa). A reference treatment using tap water for irrigation and mineral fertilization (AM) was also conducted. Major determinations were: physical and chemical attributes of effluents and water used for the irrigation, and also of the percolated water; soil physical e chemical properties; composition and accumulation of nutrients in the plants (macro and micronutrients and sodium in leaves, whole plants and grains) and quantification of plant production of dry matter and grain yield. Nitrogen, phosphorus and potassium were the nutrients supplied in higher amounts by the effluents, mainly by UASB. Soil chemical characteristics underwent little influence from effluents. However, nutrient concentrations in vegetal tissue were similar or even higher than those found in plants from AM treatment. Treatment with UASB effluent resulted in dry matter and grain productions in values similar to those obtained in the reference treatment (AM). However, such values were lower in the Lagoon treatment, possibly due to the limitation of nitrogen supply. The results allow to consider that the utilization of these effluents in agricultural soils is a very promising alternative, in such a way to optimize the usage and protection of water resources and the nutrient recycling.

¹ M.Sc. Dissertation in Soil Science. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, Brazil. (76 p.). September, 2009. Research work supported by CNPq and Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 – Uso de água e geração de resíduos	4
2.2 – Processos de tratamento e a qualidade de efluentes para utilização na irrigação	6
2.3 – Reuso de água na irrigação	12
2.3.1 – Situação internacional da utilização de efluentes para fins agrícolas	13
2.3.2 – Situação brasileira	15
2.3.3 – Aspectos sanitários.....	16
2.4 – Reciclagem de nutrientes.....	17
2.5 – Problemas relacionados à aplicação de resíduos em solos.....	19
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 – Descrição da área experimental.....	20
3.2 – Tratamentos	23
3.3 – Unidades experimentais.....	23
3.4 – Preparo e correção do solo	25
3.5 – Instalação e condução do experimento.....	26
3.6 – Avaliações e determinações	27
3.6.1 – Solo	27
3.6.2 – Plantas.....	28
3.6.3 – Efluentes de irrigação (águas de reuso e potável) e percolados	30
3.7 – Análise estatística	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1 – Caracterização das águas de irrigação e de percolação.....	32
4.2 – Aporte de nutrientes pelos tratamentos.....	36
4.3 – Caracterização do solo.....	38
4.3.1 – Características físicas.....	38
4.3.2 – Características químicas	39
4.4 – Estado nutricional das plantas	42
4.5 – Produção de matéria seca e rendimento de grãos.....	44
4.6 – Concentração e acúmulo de nutrientes nas plantas.....	46
4.7 – Concentração e acúmulo de nutrientes nos grãos	50
5. CONCLUSÕES.....	52
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
8. APÊNDICES	60
9. RESUMO BIOGRÁFICO.....	76

RELAÇÃO DE TABELAS

Página

1 – Caracterização de efluentes de esgotos para o uso agrícola	10
2 – Concentrações máximas de elementos químicos recomendáveis em águas para irrigação.....	11
3 – Exemplos de países que utilizam efluentes de esgotos para fins agrícolas.	14
4 – Exigências de alguns nutrientes das principais culturas	18
5 – Volume de água e de efluentes aplicados ao solo no período de cultivo em função dos tratamentos	27
6 – Caracterização das águas de irrigação e de percolação no período de 11/2007 a 02/2008 (médias de avaliações semanais)	34
7 – Quantidades de nutrientes, de carbono orgânico e de sódio adicionadas ao solo no período de cultivo em função dos tratamentos	37
8 – Caracterização física e granulométrica do solo (camada de 0-20 cm)	39
9 – Caracterização química do solo antes e após o cultivo	41
10 – Concentrações de nutrientes e de sódio nas folhas de milho na época do pendoamento (médias de doze repetições)	42
11 – Produção de matéria seca total da parte aérea (planta inteira), na época de maturação fisiológica, e de grãos, na época da colheita, e rendimento de grãos de milho (13% de umidade) (médias de doze repetições).....	45
12 – Concentrações de nutrientes e de sódio no colmo+folhas e na espiga inteira em função dos tratamentos (médias de doze repetições)	47
13 – Quantidades de nutrientes e de sódio acumulados na parte área das plantas (colmo+folhas, espiga e planta inteira) em função dos tratamentos (médias de doze repetições)	49
14 – Concentrações de nutrientes nos grãos de milho (base seca) (médias de doze repetições)	50
15 – Quantidades de nutrientes acumuladas nos grãos de milho (base seca) (médias de doze repetições)	51

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1 – Representação esquemática do reator UASB	21
2 – Representação esquemática da lagoa de polimento em operação na ETE piloto	22
3 – Distribuição das parcelas e do sistema de irrigação na área experimental.....	24
4 – Vista de uma parcela, com destaque para o sistema de irrigação por sulcos	25
5 – Valores de altura de planta de milho no período de crescimento em função dos tratamentos	45

RELAÇÃO DE APÊNDICES

Página

1 – Caracterização da água utilizada no tratamento adubação mineral (AM) na irrigação do cultivo	61
2 – Caracterização do efluente UASB no período de irrigação do cultivo	62
3 – Caracterização do efluente Lagoa no período de irrigação do cultivo	63
4 – Caracterização do percolado do tratamento adubação mineral (AM) no período de irrigação do cultivo	64
5 – Caracterização do percolado do tratamento UASB no período de irrigação do cultivo	65
6 – Caracterização do percolado do tratamento Lagoa no período de período de irrigação do cultivo	66
7 – Valores máximos permitidos de padrões para lançamento de efluentes – artigo 34 do § 5º da Legislação CONAMA 357	67
8 – Concentrações de nutrientes e de sódio nas folhas do milho para os tratamentos AM, UASB e Lagoa, na época do pendoamento	68
9 – Massa seca da parte aérea (espiga inteira, colmo + folhas e total) dos tratamentos AM, UASB e Lagoa	69
10 – Massa seca de grãos de milho nos tratamentos AM, UASB e Lagoa.....	70
11 – Rendimento de grãos de milho dos tratamentos AM, UASB e Lagoa, com umidade corrigida para 13%.....	71
12 – Concentrações de nutrientes na espiga inteira dos tratamentos AM, UASB e Lagoa	72
13 – Concentrações de nutrientes em colmo+folhas dos tratamentos AM, UASB e Lagoa	73
14 – Concentrações de nutrientes nos grãos de milho dos tratamentos AM, UASB e Lagoa.....	74
15 – Valores de altura de planta e índice de área foliar do milho nos diferentes estádios fenológicos	75

INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água em quantidade e qualidade adequadas é reconhecida atualmente como fator essencial para a sustentabilidade e qualidade de vida do planeta.

Segundo dados da Organização das Nações Unidas (2007), em menos de 50 anos, mais de quatro bilhões de pessoas, em torno de 45% da população mundial, estarão sofrendo com a escassez de água. No Brasil, embora se disponha de 1% das reservas mundiais de água doce, algumas regiões sofrem sistematicamente com a escassez de água.

O crescimento populacional concentrado principalmente em grandes centros urbanos resulta na geração de grandes quantidades de resíduos. Entre os principais resíduos urbanos gerados, destacam-se o lixo e o esgoto domiciliar, que podem apresentar grande potencial poluente. O tratamento desses resíduos não elimina totalmente o problema, sendo gerados novos resíduos. No tratamento do lixo urbano orgânico pela compostagem, é produzido o composto de lixo. Pelo tratamento de esgoto, é gerado outro resíduo, o lodo de esgoto. Dentre as alternativas para a destinação final desses resíduos, podem ser citadas: a disposição em aterros sanitários, a incineração e a utilização em solos agrícolas.

A aplicação de resíduos urbanos em solos agrícolas é crescente em nível mundial, mostrando-se uma opção de disposição final ambiental e economicamente viável. Por suas propriedades físicas, químicas e biológicas, o solo propicia as condições necessárias para a biodegradação de resíduos orgânicos e a retenção de metais pesados e outros contaminantes. Além disso, o material orgânico pode disponibilizar macro e micronutrientes para as plantas e os microrganismos, e melhorar atributos químicos e físicos do solo pela adição de matéria orgânica.

Em relação ao tratamento de esgotos sanitários, o grande volume de efluentes gerados torna necessário o desenvolvimento de técnicas que visem à remoção, a recuperação ou a eliminação de elementos contaminantes, visando o reuso de águas e o aproveitamento de nutrientes, contribuindo desta forma para a preservação dos sistemas naturais.

Dentre os vários tipos de tratamentos de esgotos domésticos, existem os realizados em reatores anaeróbios e também tratamentos aeróbios por lagoas de estabilização ou de polimento. Os efluentes gerados podem ser reusados para vários fins, dentre os quais podem ser citados os agrícolas, paisagísticos, industriais e domésticos.

São vários os benefícios da água de reuso proveniente de tratamento de esgotos na agricultura, podendo-se mencionar: a) a possibilidade de substituição parcial de fertilizantes, pois, além do alto custo destes insumos, pode haver a diminuição do impacto ambiental, viabilizando a reciclagem de nutrientes; b) a probabilidade de significativo aumento na produção vegetal; c) a economia de água destinada à irrigação, que pode ser utilizada para fins mais nobres, como o abastecimento público.

Entretanto, a disposição de efluentes no solo pode aumentar a concentração de elementos e a acumulação destes na cadeia trófica, com possíveis problemas de toxicidade e eutrofização.

A utilização do solo como receptor de resíduos pode ser feita de várias maneiras; por isso, a aplicação segura desses efluentes e o monitoramento do local em que são acondicionados os resíduos são necessários para evitar a contaminação do ambiente.

Em vista disso, o reuso da água tratada visa à economia da água e o aproveitamento econômico de nutrientes em atividades agrícolas.

Diante do exposto, este trabalho teve por base as seguintes hipóteses:

- a) a irrigação com efluentes sanitários tratados contribui para a melhoria das propriedades químicas do solo e o aumento da produtividade da cultura do milho;
- b) a análise e o monitoramento da dinâmica de atributos químicos no sistema solo-água-plantas possibilitam a adequação do manejo da fertilização e da irrigação;

c) a substituição da água de irrigação pelos efluentes proporciona economia na utilização de fertilizantes minerais para a adubação neste cultivo.

O objetivo geral do trabalho foi estudar o aproveitamento de efluentes sanitários tratados na irrigação e no fornecimento de nutrientes para cultivos em solos agrícolas. Os objetivos específicos foram: a) avaliar a cultura do milho sob irrigação com efluentes do tratamento de esgoto, em comparação com adubação mineral e irrigação com água potável; b) monitorar a composição físico-química dos efluentes e percolados de solo durante o período de irrigação; c) quantificar o aporte de macro e micronutrientes ao solo via irrigação com efluentes; d) avaliar modificações nas propriedades químicas do solo pela aplicação dos efluentes.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – Uso de água e geração de resíduos

A água é um recurso natural essencial à vida, seja como componente bioquímico de seres vivos, como meio de vida de várias espécies, como elemento representativo de valores sociais e culturais, além de importante fator de produção no desenvolvimento de diversas atividades econômicas (Folegatti et al., 2005).

Estudando a história do homem, constata-se que os vales fluviais férteis que dispunham de água em abundância foram os sítios iniciais da civilização, onde a maior parte da água utilizada destinava-se à agricultura, enquanto somente uma pequena proporção era consumida pela população (CIRRA, 2002).

Embora a água doce seja um recurso renovável, seu uso inadequado pode afetar o ciclo hidrológico global, tornando-o incapaz de satisfazer as necessidades humanas de forma sustentável. Na superfície da Terra, mais de 97% da água é salgada. Dos 2,5% de água doce, 77% estão congelados e 22% são de águas subterrâneas, restando 1% em rios e lagos (Corson, 2002).

Entre os usos múltiplos da água pode-se destacar: na agricultura, pelo papel essencial que a água assume como fator de produção nas atividades agrícolas; na produção de energia, no que se refere aos aproveitamentos hidroelétricos; na pesca, pela utilização da água na atividade pesqueira e no turismo, pela importância das utilizações recreativas da água (Setti et al., 2001).

Segundo Mancuso e Santos (2003), o crescimento populacional demandou maior captação de água para o contínuo desenvolvimento das atividades humanas, provocando uma queda na qualidade deste recurso em suas fontes naturais. A oferta de água no mundo tem relação estreita com a

segurança alimentar, a qualidade de vida das pessoas, o crescimento industrial e agrícola e a sustentabilidade ambiental.

O crescimento das populações urbanas e a crescente industrialização das cidades têm propiciado a geração de grandes quantidades de resíduos, principalmente nas grandes cidades e em seus arredores. O esgoto e o lixo urbano são dois grandes problemas ambientais a serem resolvidos no século XXI (Kray, 2005; Souza, 2009).

O termo esgoto é usado para águas que, após a utilização humana, apresentam as suas características naturais alteradas. Conforme o uso predominante, comercial, industrial ou doméstico, essas águas apresentarão características diferentes e são genericamente designadas de águas residuárias.

Dados do IBGE indicaram que no ano de 2007, 57,4% do esgoto produzido em cidades brasileiras foi coletado, sendo que 22% da população rural reside em domicílios que ainda não têm nenhum tipo de sistema de coleta de esgoto. 54,3% da população urbana recorrem a soluções não adequadas para o esgoto doméstico, como fossas rudimentares, valas e despejo do esgoto diretamente nos rios, lagos e mares, o que representa uma ameaça à saúde da população. No Estado do Rio Grande do Sul, dados do Departamento Municipal de Águas e Esgoto (DMAE, 2008), da Prefeitura Municipal de Porto Alegre, indicam que a capacidade de tratamento do esgoto coletado é de aproximadamente 27%; entretanto, a quantidade realmente tratada é de 20%. Esses dados revelam que aproximadamente 80% do esgoto produzido é despejado “in natura” nos cursos d’água. No entanto, a Prefeitura Municipal prevê o aumento no tratamento do esgoto nos próximos anos para valores acima de 80%, com os objetivos de recuperar a balneabilidade do Lago Guaíba e de melhorar a qualidade da água captada. Conseqüentemente, com a ampliação do tratamento do esgoto, tem-se um aumento da produção de lodo e de efluentes que necessitam de opções para destinação final (Souza, 2009).

Assim, o grande volume de esgoto produzido e o descarte sem tratamento nos corpos receptores causam a poluição do ambiente. A contaminação dos corpos receptores deve-se à presença de macro e de micronutrientes, agentes patogênicos, matéria orgânica, metais pesados e elevadas DQO (demanda bioquímica de oxigênio) e DBO (demanda biológica

de oxigênio). Desta forma, o tratamento dos esgotos é prática indispensável para a preservação dos recursos hídricos (Von Sperling, 1996).

2.2 – Processos de tratamento e a qualidade de efluentes para utilização na irrigação

Efluentes são geralmente produtos líquidos ou gasosos produzidos por indústrias ou resultantes dos esgotos domésticos urbanos, que são lançados no meio ambiente. Cabe aos órgãos ambientais a determinação e a fiscalização dos parâmetros e limites de emissão de efluentes industriais, agrícolas e domésticos. Para isso, é necessária a implantação de um sistema de monitoramento confiável.

Os processos de tratamento de efluentes visam reduzir a emissão de substâncias poluentes na atmosfera, solo ou corpos d'água. A qualidade sanitária de um efluente depende do grau de tratamento efetuado e da exigência para seu uso.

O processo de tratamento dos esgotos normalmente é classificado em preliminar, primário, secundário e terciário, conforme o nível de tratamento implantado. Para os tratamentos preliminar e primário predominam processos físicos de remoção de componentes, enquanto nos tratamentos secundário e terciário predominam os processos biológicos.

O tratamento preliminar destina-se basicamente à remoção de sólidos grosseiros e areia. Seu processo é composto pelas seguintes unidades: grade, desarenadores e peneiramento.

O tratamento primário visa à remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica. O esgoto, após passar pelo tratamento preliminar, contém ainda sólidos em suspensão não grosseiros e sólidos flutuantes, os quais são removidos no tratamento primário por meio de decantadores.

O principal objetivo do tratamento secundário é a eliminação biológica da matéria orgânica dissolvida e da matéria orgânica em suspensão. O processo tem como finalidade acelerar os mecanismos de degradação, que ocorrem naturalmente na natureza. Esta decomposição biológica pode ser por processo aeróbio ou anaeróbio. Existe uma grande variedade de métodos de tratamento para o nível secundário, sendo que os mais comuns são: lagoas de

polimento e de estabilização; lodos ativados; filtro biológico e tratamento anaeróbio.

O tratamento terciário objetiva a remoção de componentes específicos e complementa a remoção de componentes pelo tratamento secundário, podendo utilizar lagoa de maturação, cloração, ozonização, sistema “wetlands”, etc. Os principais componentes removidos pelo processo terciário são: compostos não biodegradáveis; organismos patogênicos; metais pesados; sólidos inorgânicos dissolvidos e sólidos em suspensão remanescentes (CETESB, 2009).

Dois tipos de processos microbianos, no tratamento secundário, podem ser usados para a remoção da matéria orgânica das águas residuárias em tratamento: o anaeróbico de fermentação, realizado por bactérias anaeróbicas e anaeróbicas facultativas, em reatores anaeróbios, por exemplo, e o aeróbico, feito por microrganismos aeróbicos, que promovem a oxidação da matéria orgânica por respiração, sendo realizada em lagoas, por exemplo. A digestão anaeróbica da matéria orgânica gera vários produtos metabólicos, incluindo o acetato e gases (hidrogênio, gás carbônico e metano). O processo aeróbio necessita de suprimento de oxigênio para que os microrganismos possam degradar a matéria orgânica em gás carbônico, água e compostos minerais. Esses processos, isolados ou combinados, representam a fase biológica do tratamento de esgoto (Hagler, 2005).

O efluente de reator anaeróbio de manta de lodo, designado também por reator UASB (up flow anaerobic sludge blanket) apresenta baixa concentração de material orgânico; conseqüentemente, tem baixa turbidez e, portanto, quando submetido a pós-tratamento em lagoa de polimento, produz reduzida quantidade de CO₂. Além deste fato, em regiões tropicais, a alta insolação sobre a superfície da água acumulada em lagoas promove intensa atividade fotossintética, aumentando o consumo de gás carbônico, o que eleva o pH no meio, favorecendo o decaimento de bactérias patogênicas e indicadoras (Cavalcanti et al., 2000; Van Haandel e Lettinga, 1994). A utilização de lagoas - após tratamento anaeróbio – ainda é um dos melhores métodos de tratamento secundário para esgoto sanitário, quando se objetiva produzir efluentes com padrões adequados para uso irrestrito na agricultura (WHO, 1989). A configuração e a geometria desses sistemas e o elevado tempo de

detenção hidráulica permitem a ação bactericida dos fatores ambientais adversos ao crescimento dos microrganismos presentes, responsáveis pela produção de efluentes de boa qualidade para a irrigação irrestrita, com base nos principais indicadores da Organização Mundial de Saúde, coliformes termotolerantes e ovos de helmintos (Cavalcanti, 2003).

As características químicas, físicas e biológicas das águas residuárias provenientes dos esgotos domésticos refletem os usos aos quais foram submetidas, que variam com o clima, situação econômica e hábitos da população (Von Sperling, 1996).

No Brasil, ainda não existe uma legislação referente à disposição de efluentes tratados para reuso agrícola. A Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Brasil, 2005) cita que “a disposição de efluentes no solo (....) não poderá causar poluição” e ainda estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes nos corpos d’água. A Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006 (Brasil, 2006), define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário, mas não de efluentes.

A reutilização de água pode ser indireta ou direta, decorrente de ações planejadas ou não, conforme segue:

- a) reuso indireto não planejado da água: ocorre quando a água, utilizada em alguma atividade humana, é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada; sendo encaminhada até o ponto de captação para o novo usuário, a mesma está sujeita às ações naturais do ciclo hidrológico;
- b) reuso indireto planejado de água: ocorre quando os efluentes, depois de tratados, são descarregados de forma planejada nos corpos de águas superficiais ou subterrâneas para serem utilizados à jusante, no atendimento de algum uso benéfico; pressupõe que exista também um controle sobre as eventuais novas descargas de efluentes no caminho, garantindo assim que o efluente tratado estará sujeito apenas a misturas com outros efluentes que também atendam ao requisito de qualidade do reuso objetivado;

- c) reuso direto planejado das águas: ocorre quando os efluentes, após tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reuso, não sendo descarregados no meio ambiente. É o caso com maior ocorrência, destinando-se a uso em indústria ou irrigação.

A qualidade da água é de grande importância para a irrigação, pois a agricultura irrigada depende tanto deste fator, quanto da quantidade de água utilizada. Segundo Ayres e Westcot (1999), no passado, pela existência de fontes de água abundantes e de boa qualidade, o fator qualidade não era considerado prioridade. O uso intensivo das águas de boa qualidade implicou na diminuição ou falta deste recurso natural, fazendo com que muitos usuários passassem a utilizar águas de qualidade inferior.

A aplicação de efluentes no solo não deve ser feita de forma indiscriminada, sem nenhum controle. Conforme Coraucci Filho (1998), deve existir um elo perfeito entre os critérios de projetos da engenharia sanitária e os da engenharia de irrigação, de forma que o efluente possa ser aplicado e tratado no solo sem que haja sua contaminação e sua saturação por nutrientes.

No contexto do reuso agrícola, é imprescindível destacar o conteúdo dos elementos minerais presentes em efluentes urbanos brutos, destacando a presença de macronutrientes, como N, P e K, bem como Cu, Mo e Zn, necessários ao desenvolvimento vegetal, e elementos potencialmente tóxicos, como As, Cd, Cr, Hg, Ni e Pb (Guidolin, 2000).

Na Tabela 1, são apresentados valores típicos para várias características do esgoto bruto, de efluente primário, de efluente secundário e de efluente de lagoa de estabilização, confirmando a relevante presença de macro e micronutrientes.

Quanto aos macronutrientes, destacam-se as concentrações de N, K, Ca e Mg, e entre os micronutrientes, Cl, Cu e Zn. É importante mencionar que pode haver ampla variação na composição química dos efluentes, dependendo da composição dos materiais de origem e dos processos de tratamento.

Tabela 1. Caracterização de efluentes de esgotos para o uso agrícola

Parâmetro	Esgoto Bruto	Efluente primário	Efluente secundário	Efluente de lagoa de estabilização
pH	7,0	6,8	6,6	8,2
N total (mg L ⁻¹)	35 - 70	47,4	34,9	30,2
P total (mg L ⁻¹)	5 - 25	10,9	14,0	14,6
K (mg L ⁻¹)	-	31,4	32,7	36,8
Ca (mg L ⁻¹)	-	54,6	55,6	74,0
Mg (mg L ⁻¹)	-	34,5	34,9	32,2
Cu (mg L ⁻¹)	-	<10-100	<10-100	30
Mn (mg L ⁻¹)	-	-	-	13,2
Mo (mg L ⁻¹)	-	<2,0-3,1	<2,0-2,7	-
Cl (mg L ⁻¹)	20 - 50	155	155	166,9
Zn (mg L ⁻¹)	-	20	30	60-570
B (mg L ⁻¹)	-	1,1	1,2	1,5

Fonte: Adaptado de Bastos (1999)

As concentrações de macro e micronutrientes presentes nos efluentes de reatores anaeróbios normalmente são mais altas do que nos efluentes de lagoas de estabilização. As lagoas possuem pH um pouco mais alto em decorrência da atividade fotossintética de algas e a sua estrutura geométrica e a incidência solar favorecem o decaimento de organismos patogênicos (Van Haandel e Lettinga, 1994).

As concentrações máximas de elementos químicos recomendáveis em águas para irrigação são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Concentrações máximas de elementos químicos recomendáveis em águas para irrigação

Elemento	Concentração máxima (mg L ⁻¹)	Observação
Al	5,0	Pode causar toxidez em solos ácidos (pH<5,5), mas em solos menos ácidos (pH>5,5) a atividade do íon Al ³⁺ é nula.
As	0,1	A toxicidade para plantas varia amplamente situando-se entre 12 mg L ⁻¹ para pastagens até 0,5 mg L ⁻¹ para arroz.
Cd	0,01	Tóxico para feijão, beterraba e nabo em concentrações tão pequenas quanto 0,1 mg L ⁻¹ em solução nutritiva.
Co	0,05	Tóxico para plantações de tomate em concentrações maiores que 0,1 mg L ⁻¹ em solução nutritiva. Sua toxicidade tende a ser anulada em solos neutros ou alcalinos.
Cr ⁺³	1,0	Elemento estável no solo, mas em solo mantido com umidade natural pode ser oxidado a Cr ⁶⁺ .
Cr ⁺⁶	0,1	Devido sua maior solubilidade, o Cr ⁶⁺ apresenta maior toxicidade do que o Cr ³⁺ . Os efeitos tóxicos nas plantas são causados por alterações no conteúdo de nutrientes essenciais e decréscimo da taxa de fotossíntese.
Cu	0,2	Tóxico para várias plantas em concentrações variando de 0,1 mg L ⁻¹ até 1,0 mg L ⁻¹ em solução nutritiva.
F	1,0	Inativo em solos neutros ou alcalinos.
Fe	5,0	Não tóxico em solos arejados, mas pode contribuir para acidificação e perda da disponibilidade de fósforo e molibdênio. Se a irrigação for por aspersão, os equipamentos e a plantação podem adquirir má aparência.
Li	2,5	Tolerado por várias plantações para concentrações acima de 5 mg L ⁻¹ . Tóxico para plantas cítricas em níveis inferiores a 0,075 mg L ⁻¹ . Atua similarmente ao boro.
Mn	0,2	Tóxico para várias plantas a partir de pequenas concentrações, mas usualmente em solos ácidos.
Ni	0,2	Tóxico para várias plantas em concentrações de 0,5 mg L ⁻¹ a 1,0 mg L ⁻¹ , tendo sua toxicidade reduzida em pH alcalino ou neutro.
Pb	5,0	Em altas concentrações pode inibir o crescimento de células vegetais.
Zn	2,0	Tóxico para algumas plantas em várias concentrações. Toxicidade reduzida em solos com pH>6,0 e em solos argilosos ou orgânicos.

Fonte: Adaptado de Metcalf e Eddy (1991).

2.3 – Reuso de água na irrigação

O reuso de água pode ser definido como o aproveitamento de águas previamente utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para suprir as necessidades de outros usos benéficos, inclusive o original (Mancuso, 2003). Pode decorrer de ações planejadas ou não planejadas.

Mancuso (2003) classifica o reuso de água em duas grandes categorias: potável e não potável. Por sua praticidade e facilidade, essa classificação foi adotada pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES). O reuso potável pode ser direto ou indireto. Dentro do reuso não potável, podem ser citados os fins agrícolas, recreacionais, industriais e domésticos.

Tundisi (2003) comenta que existe um mercado potencial muito grande para a água a ser reutilizada. O reuso é uma possibilidade muito importante de economia da água e de eliminação de desperdício.

O aumento da extensão de terras áridas e a escassez de fertilizantes, em âmbito mundial, apontam para o aproveitamento dos nutrientes contidos nos resíduos de diversas origens, incluindo os esgotos, em vez de sua simples rejeição e destinação inadequada. A disposição de esgoto doméstico no solo é uma das práticas mais antigas de tratamento de esgotos. Atenas foi uma das primeiras cidades da antiguidade a beneficiar-se do sistema. O método foi aplicado em um sistema de irrigação na Alemanha por mais de trezentos anos e tornou-se uma prática comum em fazendas da Inglaterra no final do século passado. Em Melbourne, na Austrália, este tipo alternativo de tratamento de esgoto foi adotado inicialmente em 1897, em uma fazenda com mais de 10 mil hectares (Mehnert, 2003).

Outro exemplo de aplicação do sistema é relatado por Landa et al. (1997), no Vale do Mezquital, à jusante da cidade do México, o qual abriga uma população de 21 milhões de habitantes e que produz cerca de $40 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de esgoto. Este volume de efluentes tem sido utilizado para irrigar cerca de 85.000 ha de culturas de milho, arroz, tomate, forragem de aveia e alfafa há mais de um século. A aplicação destes efluentes tem proporcionado aumento de produção das culturas que são cultivadas em solo de baixa fertilidade, com reduzidos teores de matéria orgânica, fósforo e nitrogênio.

A vantagem do reuso agrícola de efluentes de tratamento de esgotos está na minimização da poluição hídrica nos mananciais, propiciando o uso sustentável dos recursos hídricos pela utilização racional de águas de boa qualidade. Segundo Beekmam (1996), os benefícios do reuso podem ser estimados com o aumento da produtividade da agricultura, controle de erosão e redução de danos ambientais.

A substituição de água de melhor qualidade por águas de qualidade inferior, em atividades onde isto é possível, permite a economia de água, aumentando assim a disponibilidade de recursos hídricos para finalidades que requerem padrões de qualidade mais exigentes.

2.3.1 – Situação internacional da utilização de efluentes para fins agrícolas

O reuso agrícola é praticado tanto em países desenvolvidos, como os Estados Unidos, Alemanha, Israel e Austrália, como em países em desenvolvimento como o México, Peru e Índia, como pode-se observar na Tabela 3, que apresenta o levantamento realizado em diversos países que utilizam os efluentes de Estações de Tratamento de Esgotos para o uso agrícola (Tsutiya, 1978). Em vários países, o reuso é regulamentado em legislação específica e faz parte de programas governamentais de irrigação e gestão de recursos hídricos.

Além dos exemplos relacionados na Tabela 3, Bastos (1999) também relaciona outros países que utilizam os efluentes de ETEs na agricultura, destacando-se, a China com 1.330.000 ha; Chile com 16.000 ha; Arábia Saudita com 4.400 ha e Argentina com 3.700 ha de área irrigada .

Na América Latina, Peru e Chile apresentam também exemplos significativos de reuso. No Chile, todo o esgoto da cidade de Santiago (aproximadamente 5 milhões de habitantes) é usado para irrigação em áreas periféricas. Em épocas de estiagem, normalmente se pratica o reuso direto para irrigação maciça de hortaliças.

Tabela 3. Exemplos de países que utilizam efluentes de esgotos para fins agrícolas

Local	Cultivo	Tratamento	Área irrigada (ha)
América Latina			
• México Mexicali	Hortaliças	Sistema australiano	250.000
• Peru ICA San Juan (Lima)	Algodão, uva, hortaliças	Lagoas facultativas Lagoas facultativa e de maturação	4.300
EUA			
• Muskegon, Michigan Lubbock, Texas	Vários Algodão	Lagoa aerada e de maturação Tratamento primário, secundário e desinfecção	14.000
Europa			
• Alemanha	Hortaliças	Tratamento primário, secundário e desinfecção	28.000
• Israel	Vários	Lagoa anaeróbia, facultativa e maturação	10.000
Ásia			
• Índia Calcutá	Vários	Lagoas	73.000
Austrália			
• Melbourne	Forragens	Lagoas	10.000
África e Oriente Médio			
• Tunísia	Vários	Lagoas	7.350
• Kuwait	Vários	Tratamento primário, secundário e desinfecção	12.000
• Sudão	Bosques	Tratamento primário e secundário	2.800

Fonte: Adaptado de Bastos (1999).

O Peru é um dos exemplos de utilização de águas residuárias, estimando-se a área em 4.022 ha irrigados, produzindo mais de 126.000 t anuais de produtos variados, sendo 92 % com cultivo de hortaliças; para o cultivo de culturas industriais, como mamona, algodão, forrageiras, milho e alfafa, não há necessidades de efluentes de alta qualidade. A irrigação da cana-de-açúcar com águas residuárias brutas é de pouco risco, por se tratar de um produto industrializado a não ser para os trabalhadores. O maior risco de

uso de águas residuárias não tratadas é a irrigação de hortaliças, como é o caso dos 3.078 ha situados em Lima (León Suematsu e Cavallini, 1999).

No Brasil, pouco ou quase nada se tem registrado sobre reuso direto de efluentes, tratados ou não, o que não quer dizer que não ocorra e de forma indiscriminada e sem controle. Mas o reuso indireto é com certeza prática corrente, haja vista a quase inexistência de tratamento de esgotos e somente 10% do volume total de esgotos coletados no país são submetidos a algum tipo de tratamento. Além disso, vários estudos sobre a qualidade de águas de irrigação ou de hortaliças comercializadas em diversas regiões do país reforçam os indícios da prática disseminada de irrigação com esgotos, ao menos de forma indireta (Bastos, 1999).

2.3.2 – Situação brasileira

No Brasil, ainda não há uma legislação específica para utilização de efluentes tratados em cultivos agrícolas, porém existem vários estudos em relação à disposição de lodos de esgoto no solo.

Diversos trabalhos têm demonstrado o efeito benéfico da aplicação de resíduos orgânicos em cultivos agrícolas, com o aumento de rendimento sendo variável em funções das doses utilizadas e da periodicidade de aplicação. A dosagem adequada varia conforme as características do solo, do clima, da cultura e, principalmente, do resíduo utilizado. Em geral, o aumento de rendimento está diretamente relacionado à disponibilidade de nutrientes do resíduo e da fertilidade natural do solo (Sena, 1985).

Em pesquisa com resíduos, incluindo lodo de esgoto de tratamento anaeróbico, em solos do RS, Kray (2005) e Souza (2009) expõem que o solo fornece condições para a biodegradação do lodo e para retenção dos metais pesados e outros compostos com potencial poluente, atuando como um filtro biológico, reciclando o lodo e não apenas servindo como um depósito de poluentes. Essa prática considera o resíduo como um insumo potencial, que, se bem manejado, beneficia as propriedades dos solos, como por exemplo, o suprimento de nitrogênio para as plantas.

Segatto (2001), trabalhando com resíduos orgânicos de origem industrial, recomenda a adubação fosfatada suplementar quando estes resíduos são adicionados aos solos com fins agrícolas. Eventual

suplementação com algum nutriente em nível limitante é essencial para obter-se o máximo aproveitamento dos demais nutrientes presentes nos resíduos.

Tem sido observado também que em solos ácidos pode haver a redução do rendimento das plantas com o aumento das doses do lodo aplicado. Tal fato pode ser devido à acidificação do solo a partir das transformações do nitrogênio orgânico e amoniacal, implicando em aumento da toxidez de Al e, eventualmente, de metais pesados (Souza, 2009).

Conforme Kabata-Pendias e Pendias (1986), o intervalo entre os limites de eficiência e de excesso de micronutrientes para as plantas é pequeno, sendo, portanto, necessário o monitoramento destes elementos para evitar sua deficiência ou toxicidade em áreas com adição de resíduos.

Quanto a efluentes líquidos, trabalho analisando as propriedades químicas e o efeito depurador do solo em função da aplicação de efluente sanitário tratado mostrou aumento nos teores de fósforo no solo no decorrer de cultivos com milho e aveia e também excelente capacidade de depuração do solo, podendo contribuir positivamente para a melhoria da qualidade do solo, em especial em solos pobres neste nutriente (Nichele et al., 2007).

2.3.3 – Aspectos sanitários

A Organização Mundial da Saúde (OMS) destaca a importância da qualidade biológica dos efluentes utilizados na irrigação, para ser diminuída a probabilidade de doenças transmitidas por bactérias, protozoários, vermes e vírus.

Segundo a OMS, podem ser projetados programas de reuso de esgotos que não apresentem riscos de saúde pública. Isto requer que se conheça a epidemiologia de infecções relacionadas ao reuso de esgotos. Estudos epidemiológicos sobre irrigação com esgotos permitiram à OMS concluir que a aplicação de esgotos não tratados em culturas agrícolas resulta em alto risco de aquisição de doenças intestinais por vermes e bactérias, sendo baixo, contudo, o risco com relação aos vírus.

Baseada nesta informação, a OMS estabeleceu as seguintes recomendações para a qualidade microbiológica de esgotos tratados a serem utilizados em irrigação:

- irrigação restrita ou irrestrita: menos de 1 ovo de helminto por litro;

- irrigação irrestrita: menos de 1000 coliformes fecais por 100 mililitros.

Irrigação restrita é definida como aquela usada para culturas comestíveis, parques públicos e campos de esporte; irrigação irrestrita refere-se aquela destinada a plantações de árvores, forrageiras, pastagens, cultivos industriais e árvores frutíferas (WHO, 2006).

2.4 – Reciclagem de nutrientes

O potencial agronômico dos efluentes tratados está relacionado a apreciáveis quantidades de nutrientes que possuem, necessários ao desenvolvimento vegetal. Dentre estes nutrientes, pode-se destacar os macronutrientes N, P, K, Ca e Mg.

Na agricultura, a irrigação é fundamental para eliminar o risco de deficiência hídrica nos cultivos, aumentar a produtividade, garantir a produção de alimentos e intensificar o uso da terra (Andreolli et al. 2005).

O reuso de água em irrigação, do ponto de vista agronômico, é uma alternativa que além de suprimento para a demanda hídrica das culturas, possibilita a reciclagem integral dos nutrientes e matéria orgânica dos efluentes, economizando, assim, o uso de adubos, visto que os efluentes sanitários são potenciais fornecedores de nutrientes.

Conforme Malavolta et al. (1997), as exigências de alguns nutrientes para as principais culturas são apresentadas na Tabela 4.

O nitrogênio está presente nos resíduos gerados pelo tratamento de efluentes tratados e é um macronutriente exigido em grande quantidade para o desenvolvimento das plantas e o de mais difícil manejo, devido às suas reações no solo (Kray, 2005 e Souza, 2009). Amônio, nitrito e nitrato constituem a maior parte do N mineral encontrado nas plantas. Os teores destes íons podem variar desde frações até vários milhares de mg kg^{-1} dependendo do estado nutricional e condições de metabolismo das plantas (Tedesco et al., 1995).

Tabela 4. Exigências de alguns nutrientes de algumas culturas

Cultura	Parte	Colheita	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
		t ha ⁻¹	----- kg ha ⁻¹ -----				----- g ha ⁻¹ -----				
Milho	grãos	6,4	122	24	30	0,4	10	25	160	53	178
	total	-	305	56	257	36	48	181	1874	767	544
Soja	vagens	3	200	26	57	10	10	-	-	-	-
	ramos	6	100	14	58	60	25	-	-	-	-
	total	9	300	40	115	70	35	100	1700	600	200
Trigo	grãos	3	75	15	12	3	9	-	190	140	120
	palha	9	50	7	80	13	5	-	500	320	80
	total	8	125	22	92	16	14	-	690	460	200

Fonte: Malavolta et al. (1997).

O fósforo também é um nutriente limitante à produção vegetal no Brasil, visto que, embora seja exigido em menor quantidade em comparação à maior parte dos demais macronutrientes, encontra-se em baixa disponibilidade (Novais e Smyth, 1999). É destacada a importância do P na interação com outros nutrientes, afetando a disponibilidade dos demais elementos na nutrição vegetal (Blevins, 1999).

O potássio é um nutriente muito móvel na planta, e está presente na maioria dos processos biológicos (Brady e Weil, 2002). Sabe-se que o mesmo exerce funções primordiais para o desenvolvimento da plantas, com destaque na melhor eficiência de uso de água e maior tolerância a doenças (Kilmer et al., 1968).

O cálcio tem muitos efeitos no crescimento e desenvolvimento da planta: favorece o amadurecimento, melhora a qualidade dos frutos, altera a fotossíntese e aumenta o volume celular. O cálcio é essencial para manter a integridade estrutural das membranas e das paredes celulares (Malavolta et al., 1997). A correção da acidez do solo, com aporte de Ca, é realizada pela calagem, que é um processo que consiste na adição de calcário ao solo com a finalidade de aumentar o pH. É prática comum nos solos de regiões tropicais e sub-tropicais que são, em geral, ácidos. Por isso, nos solos do Rio Grande do Sul, a calagem é bastante comum entre as práticas agrícolas.

A função mais conhecida do magnésio na vida da planta refere-se à sua presença na clorofila, além de seu caráter ativador de muitas enzimas

(Malavolta et al., 1997). As plantas absorvem o íon Mg^{2+} . Altas concentrações de cálcio e, principalmente, de potássio no meio podem inibir competitivamente a absorção de Mg^{2+} , causando às vezes sua deficiência (Fonseca e Meurer, 1997).

2.5 – Problemas relacionados à aplicação de resíduos em solos

Embora as quantidades de nutrientes presentes nos resíduos os tornem atrativos para serem utilizados como fertilizantes, aplicações ao solo de certos resíduos têm sido limitadas pela presença de metais pesados, certos compostos químicos orgânicos de alto risco, sais e valores inadequados de pH (Cameron et al., 1997).

Segundo Kray (2005) e Souza (2009), a concentração de resíduos em pequenas áreas apresenta grande potencial para provocar danos ambientais, pois pode haver liberação de lixiviados com concentrações elevadas de elementos tóxicos.

A utilização agrícola de resíduos industriais e urbanos com altos teores de metais pesados tem aumentado a preocupação em determinar quais as concentrações “disponíveis” destes elementos no solo (Borges, 2004).

O uso de efluentes tratados como fonte de água para irrigação pode diferir da água convencional, segundo Bouwer e Chaney (1974), em alguns aspectos: apresentam uma variedade de compostos orgânicos naturais e sintéticos, geralmente não identificados individualmente; o uso municipal causa invariavelmente aumento na concentração de sais inorgânicos solúveis em água, entre eles os íons Na^+ , Cl^- e HCO_3^- ; esses íons geram um aumento no conteúdo total de sais (salinidade) e na sodicidade da água; elementos essenciais ou não às plantas podem estar presentes nos efluentes, principalmente nas águas residuárias industriais; microrganismos patogênicos (bactérias e vírus) estão presentes nas águas residuárias, apesar de suas concentrações nos efluentes serem grandemente reduzidas durante o processo normal de tratamento.

Então, é de fundamental importância conhecer as características físicas, químicas e biológicas dos efluentes, de modo a possibilitar seu uso com segurança, pelo fato dos processos que controlam a dinâmica dos resíduos no sistema solo-água-plantas serem pouco conhecidos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho constou de experimento de campo, com a aplicação de efluentes e cultivo de milho, na safra 2007/2008, e de análises laboratoriais de efluentes, água, solo, plantas e grãos. As análises de solo, plantas e grãos foram realizadas nos Laboratórios de Química e de Fertilidade do Solo, do Departamento de Solos, da Faculdade de Agronomia, e as de água e efluentes, no Laboratório de Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), ambos da UFRGS.

3.1 – Descrição da área experimental

O experimento foi realizado em parcelas, em área da Estação Piloto de Tratamento de Esgoto do Instituto de Pesquisas Hidráulicas, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, instalada junto à Estação de Tratamento de Esgoto São João-Navegantes do Departamento Municipal de Água e Esgotos de Porto Alegre (DMAE), no município de Porto Alegre, RS, empregando-se como efluentes tratados o efluente de reator anaeróbio (UASB) e o efluente de lagoa de polimento.

O reator tipo UASB (reator anaeróbio de fluxo ascendente através do leito do lodo) é constituído por placas de fibra de vidro, apresentando formato cilíndrico. O separador de fases tem forma cônica invertida, conforme apresentado na Figura 1.

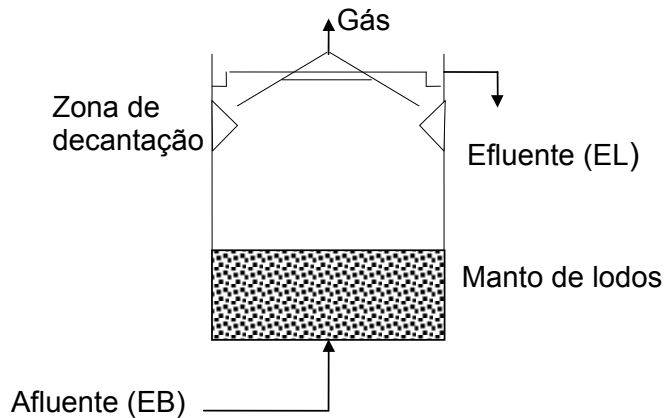


Figura 1. Representação esquemática do reator UASB.

O reator UASB configura baixo consumo de energia no processo, baixa demanda de área, tolerância a elevadas cargas orgânicas, menor produção de lodo e a alta concentração de nutrientes presentes no efluente gerado. A desvantagem é a possibilidade de apresentar concentrações de coliformes totais e fecais na ordem de $7 \cdot 10^6$ e $2 \cdot 10^6$ NMP 100 mL^{-1} , respectivamente, assim como ovos de helmintos.

Após o processo anaeróbico no reator UASB, o efluente foi canalizado e armazenado em 2 reservatórios de 5 m^3 , com comunicação entre si e controle com válvula de bóia para a irrigação do tratamento UASB.

No processo de tratamento, o esgoto pré-tratado (após gradeamento e desarenação) é bombeado continuamente a uma vazão de $1 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, desde a entrada dos tanques de aeração da ETE São João-Navegantes para o reator UASB por uma tubulação em PEAD, usando uma bomba helicoidal de 1 HP (Netsch). Do reator, o esgoto flui por gravidade ($h = 4 \text{ m}$) para a lagoa, onde percorre os 60 m até ser descarregado por um vertedor tipo sifão em um tanque de fibra de vidro ($0,5 \text{ m}^3$). Deste tanque, o efluente é normalmente descarregado diretamente na rede pluvial, até o Rio Guaíba, mas no presente estudo o efluente é utilizado na irrigação do tratamento Lagoa.

A lagoa foi dimensionada para garantir tempo de detenção hidráulico de 12 dias. Apresenta formato retangular, com fundo e laterais impermeabilizadas por uma lona de PEAD (polietileno de alta densidade). A representação esquemática da lagoa pode ser visualizada na Figura 2.

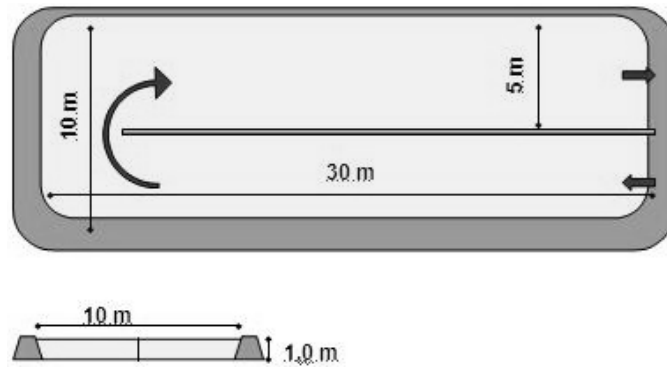


Figura 2. Representação esquemática da lagoa de estabilização em operação na ETE piloto.

Apesar da lagoa de polimento apresentar desvantagens, como o consumo de energia com o uso de bombas de recirculação, a exigência de mão-de-obra especializada para operação e manutenção de equipamento e a exigência de disponibilidade de uma área maior para a instalação da mesma; a utilização combinada do reator UASB com este sistema pode aumentar a eficiência na remoção de sólidos dissolvidos não removidos no reator e ainda ser eficaz na remoção de organismos patogênicos, minimizando a concentração de coliformes para até uma média de $3 \cdot 10^5$ e $6 \cdot 10^4$ NMP 100 mL^{-1} de coliformes totais e fecais, respectivamente. Este efluente ainda possui macro e micronutrientes importantes na fertiirrigação.

O solo da área do experimento tinha um histórico de aterro com materiais e resíduos de diversas origens, destacando-se aqueles gerados pela construção civil. Possuía pH alto e textura arenosa e cascalhenta, não sendo possível a classificação taxonômica do mesmo como solo por ser considerado uma mistura de substratos. Na preparação da área, houve a remoção de camada de 70 cm deste solo para impermeabilização do local por exigência do DMAE, e a sua posterior mistura para recolocação nas parcelas. As características físicas e químicas do solo antes do início do experimento são apresentadas nas Tabelas 6 e 7, respectivamente.

3.2 – Tratamentos

Visando avaliar os efeitos dos efluentes tratados, foram implantados os seguintes tratamentos, em um sistema de irrigação por sulcos, com cultivo em camalhões: a) irrigação com efluente de reator anaeróbio (UASB); b) irrigação com efluente de lagoa de polimento (Lagoa); c) irrigação com água potável + adubação mineral (AM).

Optou-se por utilizar os dois efluentes como tratamentos a serem testados na irrigação devido sua diferença quanto aos atributos físico-químicos, especialmente em termos de macronutrientes de plantas.

O tratamento com adubação mineral, adotado como testemunha, recebeu fertilizantes de base e de cobertura nas doses recomendadas para a cultura do milho pelo Manual de Adubação e de Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2004).

Não foi realizada nenhuma aplicação de outros fertilizantes nos tratamentos com efluentes, devido à composição em nutrientes presentes nos mesmos.

De forma a manter a umidade do solo próximo à capacidade de campo (CC), todas as parcelas experimentais com os tratamentos foram monitoradas por tensiômetros.

3.3 – Unidades experimentais

As unidades experimentais consistiram de parcelas, com doze repetições por tratamento. Visando adequar a distribuição dos tratamentos e a condução do experimento ao sistema de armazenamento, distribuição e medição dos efluentes disponível no local, cada um dos três tratamentos foi alocado em blocos de 21 m x 15 m (315 m²), sendo a área total ocupada pelo experimento de 945 m², conforme ilustrado na Figura 3.

Cada bloco, contendo um tratamento, contou com quatro parcelas (canteiros) de 4,5 m de largura por 15 m de comprimento, com faixas de 1,0 m entre elas. Cada parcela continha oito camalhões, espaçados em 0,5 m, sobre os quais foram implantadas as fileiras de milho. Para as avaliações de plantas, cada parcela foi dividida em três sub-parcelas, cada uma constituindo uma repetição, tendo-se então as doze repetições por tratamento.

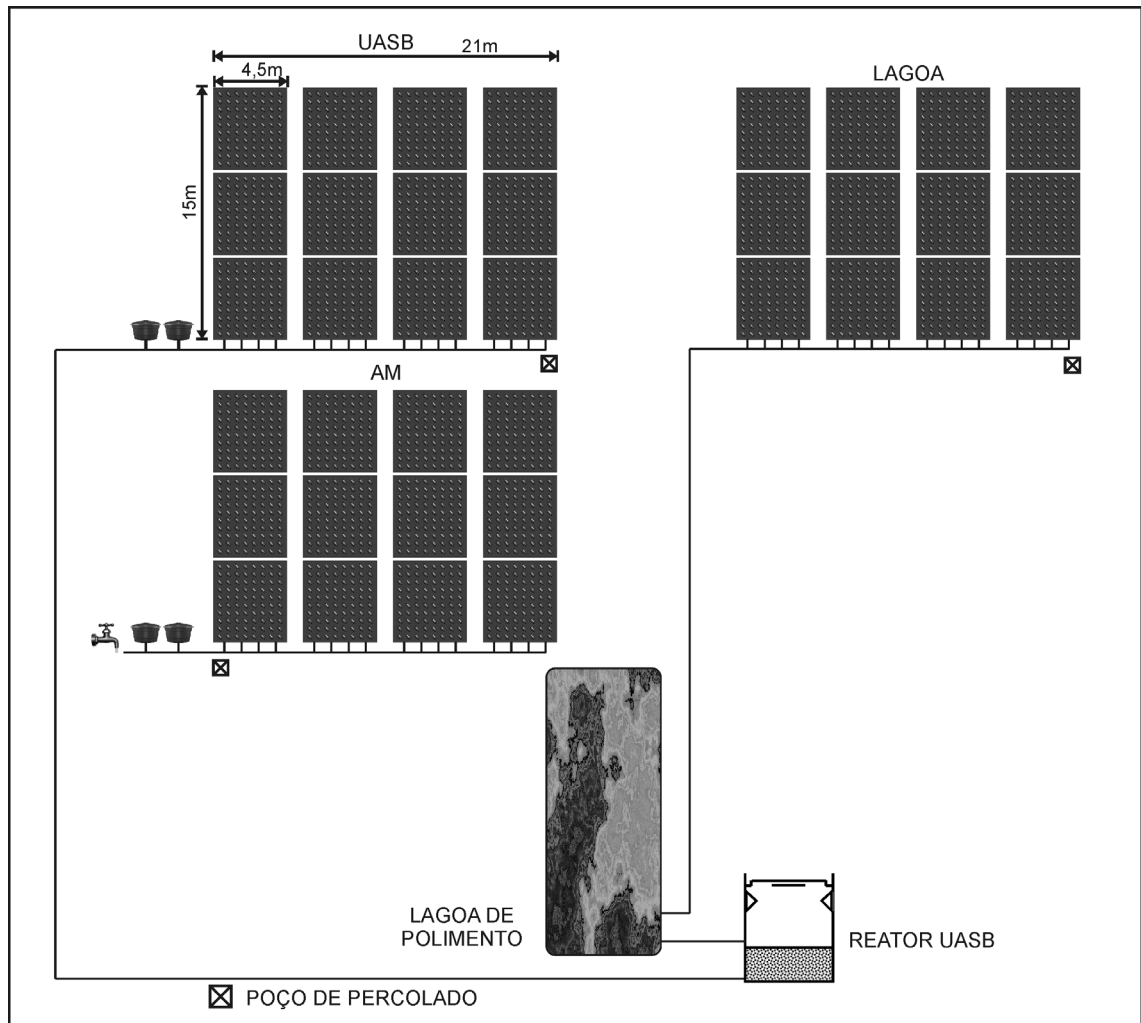


Figura 3. Distribuição das parcelas e do sistema de irrigação na área experimental.

Os tratamentos de irrigação eram aplicados nos sulcos existentes entre os camalhões. O sistema dispunha de canalizações para o efluente do reator UASB até dois reservatórios de 5 m³ e destes reservatórios para as parcelas. A água tratada que abastecia o tratamento AM também foi armazenada em dois reservatórios de 5 m³ até a irrigação nas parcelas. O efluente da Lagoa era conduzido por gravidade diretamente para as parcelas. A cada aplicação eram instalados hidrômetros nas extremidades das tubulações que abasteciam os sulcos (Figura 4). Dispunha também de canalizações apropriadas com “poços” para a coleta de percolados provenientes do solo, os quais também foram analisados.



Figura 4. Vista de uma parcela, com destaque para o sistema de irrigação por sulcos.

3.4 – Preparo e correção do solo

Visando evitar possível contaminação no lençol freático, foi realizada a impermeabilização sub-superficial de cada um dos blocos (315 m²) onde, posteriormente, foram alocadas as parcelas experimentais. Para tanto, na gleba correspondente a cada bloco, foi removida a camada de 0 a 70 cm de solo e instalados a geomembrana para impermeabilização e os drenos com brita, visando à coleta de percolados, havendo um poço de coleta para cada tratamento. Após breve homogeneização, o solo foi recolocado nas respectivas glebas.

Com o uso de trado calador, foi feita a coleta de amostras solo de cada bloco, na camada de 0-20 cm, para análise de parâmetros físicos e nas camadas de 0-20 e de 20-40 cm para os parâmetros químicos previamente à aplicação dos tratamentos.

A seguir, foram implantados os camalhões, no espaçamento de 0,5 m, com o auxílio de trator e sulcador.

Previamente ao experimento, no inverno de 2007, foi realizado o cultivo de aveia preta (*Avena strigosa*) nas parcelas experimentais, visando alguns ensaios prévios de campo, como testes de infiltração e de avanço da água nos sulcos, e provimento de cobertura vegetal ao solo.

Segundo as análises de solo, não foi necessário corrigir a acidez do mesmo, pois o pH encontrava-se com valores altos, entre 7,3 e 7,9.

Um dia antes da semeadura foi realizada a adubação na parcela com adubação mineral (AM), conforme as recomendações do Manual de Adubação e de Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2004). Foram aplicadas em sulcos, abertos sobre os camalhões, doses de N, P₂O₅ e K₂O equivalentes a 30, 60 e 120 kg ha⁻¹ na forma dos adubos uréia, superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente.

3.5 – Instalação e condução do experimento

Como planta teste foi cultivado o milho (*Zea mays* L.), com semeadura no dia 02 de outubro de 2007, sem o revolvimento do solo, diretamente sobre a palhada da aveia. Utilizou-se sementes híbridas da cultivar Pioneer 30F53, tratadas com Cruiser 350 FS (Tiametoxan 35%). As sementes foram distribuídas manualmente, em pequenas covas abertas no topo dos camalhões, e enterradas a uma profundidade de 5 a 7 cm, tendo-se então o espaçamento de 0,5 m entre linhas e 0,33 m entre as covas na linha. Em média, foram distribuídas duas sementes por cova, deixando-se apenas uma planta por ocasião do desbaste. Assim, obteve-se uma população aproximada de 60.600 plantas ha⁻¹. Após a semeadura, foi feita a aplicação do herbicida atrazina.

Em todos os tratamentos, durante o período de cultivo, os volumes de água ou efluentes aplicados foram determinados a partir da disponibilidade hídrica do solo, monitorada por tensiômetros, sendo a aplicação controlada por hidrômetros (Figura 4). Na Tabela 5, constam os volumes totais aplicados aos três tratamentos no decorrer do cultivo.

Tabela 5. Volume de água e de efluentes aplicados ao solo no período de cultivo em função dos tratamentos

Tratamento	Volume	Lâmina
	$m^3 ha^{-1}$	mm
AM	4.111	411,1
UASB	3.963	396,3
Lagoa	4.045	404,5

Na parcela com adubação mineral (AM), durante o cultivo, nos estádios V4, V8 e V12, foram feitas, a lanço, três aplicações de $58 kg ha^{-1}$ de N ($130 kg ha^{-1}$ de uréia).

A colheita do milho foi realizada aos 139 dias após semeadura, em 18 de fevereiro de 2008.

3.6 – Avaliações e determinações

3.6.1 – Solo

Antes da confecção dos camalhões, no dia 25 de setembro de 2007 e após o cultivo, no dia 26 de fevereiro de 2008, foram coletadas em cada bloco (tratamento) três amostras indeformadas para análises físicas. Os atributos físicos determinados foram a densidade do solo, porosidade total e umidade gravimétrica pelo método de anéis volumétricos e a granulometria do solo, pelo método do densímetro.

Para a caracterização química, foram coletadas, com uso de trado calador, subamostras no sentido transversal às linhas de semeadura, nas profundidades de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm, em cinco pontos em cada bloco, antes da construção dos camalhões e da adubação do bloco com adubação mineral (AM) e também após o cultivo. Estas subamostras foram misturadas e homogeneizadas, obtendo-se então uma amostra composta por bloco. As amostras de solo foram acondicionadas em potes plásticos e secas em estufa a $40-45^{\circ} C$, moídas e armazenadas para posterior análise.

Nas amostras de solo, o pH foi determinado em água na relação 1:1; a matéria orgânica por digestão úmida e a CTC a pH 7, pela soma de cátions.

O N total foi determinado pelo método de Kjeldahl, com destilação por arraste de vapor.

O K e P disponíveis foram extraídos com o extrator Mehlich-1. A determinação do K nos extratos foi realizada por fotometria de chama (Digimed, NK 2000) e a do P, por espectrofotometria de absorção (UV 1600 Spectrophotometer). O P também foi determinado com o uso de resinas de troca em lâminas. Após a extração com as resinas, a determinação foi realizada por espectrofotometria de absorção (UV 1600 Spectrophotometer).

Os cátions trocáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , Mn^{2+} e Na^+ foram extraídos com solução de KCl 1 mol L⁻¹. As determinações de Ca, Mg e Mn foram realizadas por espectrofotometria de absorção atômica (Perkin Elmer, 2380), de Na por fotometria de chama (Digimed, NK 2000) e de Al, por titulação com NaOH.

O Zn e o Cu foram extraídos com HCl 0,1 mol L⁻¹ e determinados por espectrofotometria de absorção atômica (Perkin Elmer, 2380).

O S foi determinado por turbidimetria com BaCl₂ e a condutividade elétrica foi determinada em água na relação 1:1 por condutometria.

Todas as determinações de atributos químicos foram realizadas utilizando-se as metodologias descritas por Tedesco et al. (1995).

3.6.2 – Plantas

A avaliação das plantas de milho constou das seguintes determinações: altura e área foliar de plantas; produção de matéria seca e concentração de nutrientes em plantas inteiras; concentração de nutrientes em folhas indicadoras; e rendimento e concentração de nutrientes nos grãos.

Determinou-se altura das plantas e área foliar com base na fenologia, em uma planta por parcela, totalizando quatro plantas por tratamento.

Para avaliação do estado nutricional das plantas na época do florescimento, quando 50% das plantas estavam pendoadas, foi coletada a folha oposta e abaixo da primeira espiga de 15 plantas por parcela, sendo cinco por repetição (sub-parcela), compondo um conjunto de 60 folhas por tratamento, das quais separou-se o terço médio para compor a amostra de tecido vegetal para posterior análise, conforme as recomendações da CQFS-RS/SC (2004).

Visando avaliar a produção de matéria seca e a concentração e acúmulo de nutrientes na parte aérea, no período de maturação fisiológica, em

06 de fevereiro de 2008, foram coletadas, por corte rente ao solo, três plantas por repetição, compondo 36 plantas inteiras por tratamento. As plantas de cada repetição foram separadas em amostras de colmos+folhas e espigas, que foram avaliadas separadamente. Da mesma forma que as amostras de folhas, antes mencionadas, estes materiais foram postos a secar a 65°C, até peso constante, em estufa com circulação de ar. Após a secagem, as amostras de cada repetição foram pesadas e moídas em moinho de facas de aço inoxidável e armazenadas em potes plásticos para posterior análise química.

Para avaliação do rendimento de grãos, aos 139 dias após semeadura, em 18 de fevereiro de 2008, foram colhidas as espigas de três plantas por repetição, totalizando 36 plantas por tratamento, cujos grãos foram misturados para compor uma amostra (repetição). As amostras foram secas até peso constante, pesadas e ajustadas para o rendimento de grãos na umidade de 13%. Após, as amostras de grãos foram moídas em moinho de facas e armazenadas em potes plásticos para posterior análise.

Em todos os materiais vegetais (folhas, colmos+folhas, espigas e grãos) foram determinadas as concentrações de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg) e micronutrientes (Cu, Zn, Fe e Mn). Nos grãos, foi também determinada a concentração de S. Foram utilizadas as digestões sulfúrica ($H_2SO_4 + H_2O_2 +$ mistura de digestão) e nítrico-perclórica ($HNO_3 + HClO_4$), em bloco digestor, conforme os procedimentos descritos por Tedesco et al. (1995). Nos extratos de digestão, o N foi determinado por destilação com arraste de vapor; o P, por espectrofotometria de absorção (UV 1600, Spectrophotometer), após adição de molibdato de amônio e ácido aminonaftolsulfônico aos extratos; o K, por fotometria de chama (Digimed, NK 2000); e Ca, Mg, Cu, Zn, Fe e Mn, por espectrofotometria de absorção atômica (Perkin Elmer, 2380). O S foi determinado por turbidimetria com $BaCl_2$.

Foram calculadas as quantidades de nutrientes acumuladas pelas plantas inteiras e grãos, utilizando-se os rendimentos de matéria seca e as concentrações dos nutrientes nos tecidos.

3.6.3 – Efluentes de irrigação (águas de reuso e potável) e percolados

As análises físicas e químicas dos efluentes e água de irrigação e do percolado constaram de: pH, alcalinidade, condutividade elétrica (CE), demanda biológica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), carbono orgânico total (COT), nitrogênio total de Kjeldahl (NTK), nitrogênio amoniacal (N-NH_4^+), nitrato (N-NO_3^-), fósforo total, potássio, cálcio, magnésio, cobre, zinco, manganês e sódio, conforme metodologia descrita no Standard Methods (Eaton et al., 2005).

A frequência de coleta dos efluentes, da água e do percolado de cada bloco foi semanal, durante todo o período em que ocorreu a irrigação. O efluente do tratamento UASB era coletado na saída do reator, o efluente do tratamento Lagoa na parte final do tempo de detenção da lagoa de polimento, a água potável do tratamento AM na torneira de saída do reservatório que abastecia a irrigação deste tratamento e o percolado, ou seja, a água lixiviada do solo, no poço de coleta de cada tratamento. As amostras coletadas foram acondicionadas em garrafas de plástico de 2 L e transportadas até o Laboratório de Saneamento do IPH. As determinações de pH, alcalinidade e DBO eram iniciadas imediatamente após a chegada das amostras no laboratório e logo a seguir as outras determinações foram preparadas, com digestões, neutralizações e filtrações, conforme cada metodologia. A preservação das amostras, para o caso de haver necessidade de repetir alguma determinação, foi feita conforme técnicas recomendadas pelo Standard Methods (2005).

O pH foi determinado por potenciômetro (Digimed, DMPH 2) e a condutividade elétrica (CE), por condutivímetro (Elgin, YSI Model 33). A alcalinidade foi determinada por titulação com ácido forte.

A determinação do N total foi feita pelo método de Kjeldahl, onde o N da amostra é oxidado pela digestão com H_2SO_4 concentrado. O N-NH_4^+ nos extratos de digestão, bem como o N amoniacal das amostras *in natura*, foi determinado por método titulométrico, após destilação por arraste de vapor.

O P foi determinado por método colorimétrico, com uso do molibdato de amônio e cloreto estânico, com leitura em espectrofotômetro (Varian, Cary E1).

Para a determinação das concentrações de Ca, Mg, Cu, Zn, Fe e Mn, as amostras foram digeridas com HNO_3 , determinando-se estes nutrientes por espectrofotometria de absorção atômica (Varian, AA 175). As concentrações de K e Na, na mesma digestão, foram determinadas por fotometria de chama (Varian, AA 175).

Para a determinação da DQO, as amostras foram oxidadas com dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) e ácido sulfúrico (H_2SO_4), com posterior determinação por titulação com sulfato ferroso.

Para a determinação da DBO, foi medida a quantidade de oxigênio requerida por bactérias heterotróficas para oxidar a matéria orgânica presente nas amostras, em condições aeróbias, utilizando o método da DBO_5 .

Para a determinação do carbono orgânico dissolvido, as amostras foram filtradas e acidificadas com H_3PO_4 até pH 2 e borbulhadas com O_2 para eliminação do carbono inorgânico e analisadas no Analisador de Carbono Orgânico Total (COT - Semi-Automatic Benchtop StarToc), o qual oxida o carbono orgânico a CO_2 com $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ sob a energia de uma fonte de UV.

Para a determinação de NO_3^- foi utilizado o método do salicilato de sódio, onde a amostra foi digerida com o salicilato com posterior determinação em espectrofotômetro (Varian, AA 175).

Com base nas concentrações de nutrientes e volumes aplicados, estimou-se as quantidades totais de C, N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn e Na aportadas pelos efluentes e pela água durante o período de irrigação.

3.7 – Análise estatística

A análise estatística foi realizada com base em delineamento experimental inteiramente casualizado, sendo consideradas doze repetições por tratamento.

Para contraste de médias das variáveis significativas pelo teste F, utilizou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade para os efeitos dos tratamentos e dos atributos de planta que foram avaliados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Caracterização das águas de irrigação e de percolação

A Tabela 6 apresenta a caracterização das águas de irrigação e percoladas durante o cultivo. Os valores são médias de avaliações semanais, realizadas no período de novembro de 2007 a fevereiro de 2008. Os valores determinados semanalmente são apresentados nos Apêndices 1, 2, 3, 4, 5 e 6. A observação dos valores de coeficiente de variação indica que enquanto alguns atributos, como pH, fósforo, N total e nitrato, apresentaram baixa variação, outros, como C orgânico, alcalinidade e, principalmente, condutividade elétrica, tiveram grande variação ao longo do período de avaliação.

Comparando os atributos determinados antes de sua aplicação no solo e após os fenômenos de infiltração, redistribuição e percolação, observou-se em geral amplas variações. Para alguns atributos, constatou-se a tendência de diminuição, pela ação de remoção de “impurezas” dos efluentes ao longo do perfil do solo. Tal magnitude de remoção é dependente das características físicas, químicas e biológicas do substrato. Entretanto, os valores de alguns atributos aumentaram nos percolados, tanto da água como dos efluentes, influenciados pela composição química original do solo, como discutido a seguir.

Observando-se as características da águas de irrigação, constatou-se valores de pH mais básicos, maiores concentrações de nitrogênio orgânico e amoniacal, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e sódio e maiores valores de DQO nos efluentes UASB e Lagoa, sendo que cobre, ferro e zinco não foram detectados no efluente Lagoa. Merecem destaque os altos valores de pH, em média de 8,37, no efluente Lagoa. Segundo Ayers e Westcot (1991), considera-se adequado em águas de irrigação um valor de pH entre 6,5 e 8,4,

pois valores fora desta faixa podem causar desequilíbrio nutricional das culturas irrigadas. Entretanto, tal desequilíbrio pode depender não somente do valor do pH, mas também do volume de água aplicado, da cultura e do tipo de solo, este principalmente em função do poder tampão da reação.

Ao se observar os atributos avaliados nas águas utilizadas na irrigação, verifica-se a grande diferença na composição da água potável (tratamento AM, testemunha) em comparação aos efluentes (UASB e Lagoa), os quais possuem maiores valores em todos os atributos analisados, inclusive nas concentrações dos nutrientes. Já na água de percolação, os valores foram mais homogêneos entre os três tratamentos, evidenciando o efeito depurador do solo.

Quanto aos percolados, observou-se a diminuição das concentrações de fósforo, nitrogênio e potássio, comparativamente aos efluentes aplicados, indicando a grande vantagem da aplicação de efluente sobre o solo no que se refere à proteção das águas subterrâneas. A diminuição destes nutrientes nos percolados certamente também é efeito de sua absorção e acúmulo pela cultura do milho durante o período de cultivo.

A concentração de carbono orgânico e os valores de DBO_5 e DQO diminuíram na água percolada dos tratamentos UASB (65, 47 e 65%) e Lagoa (83, 59 e 83%), evidenciando que o solo atuou como um filtro que reteve a matéria orgânica dos efluentes usados na irrigação. Esta matéria orgânica retida funcionaria no solo como condicionador, melhorando suas características físicas, químicas e biológicas, além de suprir nutrientes às plantas. No tratamento AM, entretanto, estes atributos aumentaram, provavelmente porque a água atuou como um agente lixiviador do carbono orgânico existente no solo. Resultados similares foram também observados por Araújo et al. (1999).

Tabela 6. Caracterização das águas de irrigação e de percolação no período de 11/2007 a 02/2008 (médias de avaliações semanais)

Parâmetros	AM	UASB	Lagoa	AM	UASB	Lagoa
	-----Irrigação-----			-----Percolação-----		
Alcalinidade (mg L ⁻¹)	32,1	168,5	113,5	322,7	631,0	500,7
CV (%)	78,7	39,6	28,5	170,6	143,9	50,2
CE (µS cm ⁻¹)	120	690	528	940	1344	1149
CV (%)	16,9	149,5	73,4	288,9	420,9	275,7
pH	6,74	7,25	8,37	7,90	7,50	7,49
CV (%)	0,4	0,3	0,7	0,2	0,2	0,3
Carbono Orgânico (mg L ⁻¹)	5,9	58,2	90,0	25,3	20,2	15,0
CV (%)	6,8	35,8	34,1	24,7	12,4	8,8
DBO ₅ (mg L ⁻¹)	ND*	92	96	25	49	39
CV (%)	-	38	37	5	19	12
DQO (mg L ⁻¹)	14,7	145,6	224,9	52,7	50,5	37,4
CV (%)	16,9	89,4	85,3	61,0	31,0	21,9
Amônio (mg L ⁻¹)	<LD**	20,0	6,9	<LD**	1,4	<LD**
CV (%)	-	5,1	3,2	-	2,4	-
Nitrato (mg L ⁻¹)	0,47	<LD	<LD	1,10	0,20	0,14
CV (%)	0,1	-	-	2,0	0,1	0,2
N-NTK (mg L ⁻¹)	1,0	27,0	14,8	1,3	3,5	0,8
CV (%)	1,2	4,9	3,7	1,6	3,3	0,7
Fósforo total (mg L ⁻¹)	<LD**	4,6	3,9	0,3	0,6	0,3
CV (%)	-	1,5	0,7	0,2	0,7	0,3
Potássio (mg L ⁻¹)	5,9	26,4	26,7	12,2	18,0	12,9
CV (%)	1,3	2,0	2,9	2,2	3,4	2,4
Cálcio (mg L ⁻¹)	6,5	14,3	14,2	113,2	181,2	157,0
CV (%)	1,1	3,0	1,8	33,3	62,0	45,2
Magnésio (mg L ⁻¹)	3,2	7,9	6,4	28,2	63,5	44,9
CV (%)	0,9	1,0	2,0	17,0	25,5	13,1
Cobre (mg L ⁻¹)	<LD**	0,03	<LD**	<LD**	<LD**	<LD**
CV (%)	-	0,1	-	-	-	-
Ferro (mg L ⁻¹)	<LD**	1,4	<LD**	0,2	3,0	<LD**
CV (%)	-	1,6	-	0,2	3,0	-
Manganês (mg L ⁻¹)	0,2	1,3	0,9	0,8	5,5	2,3
CV (%)	0,3	0,2	0,2	1,1	3,9	1,1
Sódio (mg L ⁻¹)	8,7	53,7	55,1	18,8	31,3	22,3
CV (%)	1,9	12,4	11,2	6,2	7,6	4,5
Zinco (mg L ⁻¹)	<LD**	0,21	<LD**	<LD**	<LD**	0,1
CV (%)	-	0,2	-	-	-	0,04

* ND = não determinado

** LD = limite de detecção

O efeito depurador do solo também foi observado em relação ao sódio, cujas altas concentrações nos efluentes foram reduzidas em 42 e 60% nos percolados dos tratamentos UASB e Lagoa, respectivamente. Entretanto, o teor deste elemento aumentou no percolado do tratamento com água, evidenciando efeito de sua remoção do solo. O monitoramento da concentração de sódio em águas ou efluentes usados em irrigação é fundamental, pois o aumento dos sais pode trazer efeitos deletérios às plantas, caso não haja o manejo adequado de irrigação e de drenagem (Sousa et al., 2006).

Por outro lado, vários atributos aumentaram nos percolados dos três tratamentos, com destaque para alcalinidade, CE, Ca e Mg. Esta situação deve decorrer da composição química original do solo da área experimental, cujas análises mostraram altos valores de pH, Ca e Mg, indicativos de condição de alcalinidade (Tabela 9). Assim, os percolados foram enriquecidos quanto vários componentes durante a movimentação das águas usadas na irrigação. Tais constatações são amparadas pelo aumento de vários atributos, em especial alcalinidade, CE, pH, Ca e Mg, no percolado do tratamento com água tratada, que continha originalmente valores bem inferiores destes atributos em relação aos dois efluentes.

É importante destacar que as observações feitas neste trabalho quanto a vários atributos químicos dos percolados são, a princípio, específicas para as condições do solo utilizado. As análises deste solo antes do experimento indicaram, por exemplo, textura arenosa, valores médios de CTC e altos (>90%) de saturação por bases, havendo, então, impossibilidade de retenção dos cátions adicionados pelas águas de irrigação. O contrário pode ser esperado em solos de textura mais fina, com alta CTC e menor saturação por bases.

Segundo a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), nº 357 de março de 2005, concentrações maiores que $0,03 \text{ mg.L}^{-1}$ de fósforo total podem favorecer o processo de eutrofização em corpos d'água lênticos, portanto, apesar de ter ocorrido a remoção de fósforo promovida pelos tratamentos anaeróbio e aeróbio, os efluentes produzidos não apresentaram padrões de qualidade adequados para o lançamento em corpos d'água, exigindo um pós-tratamento mais eficiente. No entanto, os efluentes

produzidos, a partir deste procedimento, apresentam características tecnicamente viáveis para utilização na agricultura, observando que houve a redução na concentração deste elemento de 87 e 92% nos efluentes UASB e Lagoa, respectivamente, no percolado destes tratamentos.

As concentrações de cobre, ferro, zinco e nitrogênio amoniacal no percolado estão de acordo com os valores máximos permitidos para lançamento de efluentes, conforme a mesma legislação da CONAMA citada anteriormente, confirmando o efeito depurador do solo e a vantagem referente a proteção das águas subterrâneas. Já as concentrações de magnésio e manganês, a não ser no tratamento AM para o último elemento, ultrapassam aos permitidos por esta legislação. Vários atributos físico-químicos determinados dos efluentes e nos percolados deste estudo não são considerados nesta resolução, que inclui as quantidades limites visando o lançamento em corpos d'água (Apêndice 7).

4.2 – Aporte de nutrientes pelos tratamentos

Na Tabela 7, são apresentadas as quantidades totais de macro (N, P, K, Ca e Mg), micronutrientes (Cu, Zn, Fe e Mn) e sódio (Na) aportadas ao solo no período do cultivo, tanto pelos tratamentos de irrigação (água e efluentes) como pela adubação no tratamento AM (testemunha).

Comparando-se a contribuição dos efluentes, em relação ao tratamento com adubação mineral mais irrigação com água potável (AM), adotado como testemunha, observa-se o significativo aporte de macronutrientes, principalmente pelo efluente UASB. Para Ca e Mg, ressalta-se as maiores contribuições dos tratamentos com ambos os efluentes. Assim, referidas às quantidades aportadas pelo tratamento AM, as contribuições dos efluentes UASB e Lagoa foram, respectivamente, para os diversos nutrientes: N, 52 e 21%; P, 35 e 27%; K, 72 e 72%; Ca, 192 e 207%; e Mg, 254 e 227%.

Referente ao nitrogênio, os resultados corroboram o trabalho de Sanches et al. (2007), que verificou que o efluente do reator UASB apresentava maior média de concentração de nitrogênio na sua constituição. No presente trabalho, a menor contribuição de N pelo efluente Lagoa pode ter sido limitante e determinante do menor crescimento das plantas e menor rendimento de grãos neste tratamento.

Tabela 7. Quantidades de nutrientes, de carbono orgânico e de sódio adicionadas ao solo no período de cultivo em função dos tratamentos

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	COD*
----- kg ha ⁻¹ -----						
Água	7,5	0,2	25	27	12	ND
Adubação	204	59	120	ND**	ND	ND
AM (total)	212	59	145	27	12	24
UASB	109	20	105	52	31	258
Lagoa	45	15	104	56	28	365
	Cu	Zn	Fe	Mn	Na	
AM	0,04	0,3	0,2	0,9	37	
UASB	0,10	1,0	6,5	5,1	233	
Lagoa	0,01	0,3	0,5	4,2	231	

* COD = carbono orgânico dissolvido

** ND = não determinado

Cabe comentar que no tratamento AM o adubo mineral forneceu parte do nitrogênio na semeadura, permitindo uma vantagem inicial para as plantas destas parcelas, complementado posteriormente em três aplicações em cobertura, enquanto a irrigação com efluentes forneceu o nitrogênio em doses crescentes ao longo do tempo.

Quanto às contribuições em micronutrientes, comparativamente ao tratamento AM, podem ser destacados os aportes de Zn e Fe pelo efluente UASB e de Mn por ambos os efluentes, do mesmo modo que para o Na.

Os resultados obtidos reforçam a idéia de que a utilização dos efluentes sanitários como fonte de irrigação pode ser uma alternativa interessante para a agricultura, tanto do ponto de vista da demanda de água utilizada levando em conta os conceitos de reuso, bem como pelo fato dos mesmos conterem nutrientes que as plantas necessitam para o seu desenvolvimento. Conforme Chernicharo (2001), a aplicação dos nutrientes contidos nos efluentes tratados pode reduzir ou mesmo eliminar a necessidade de fertilizantes comerciais, além da matéria orgânica contida nos mesmos aumentar a capacidade do solo em reter água.

Uma breve avaliação econômica indica que as quantidades de N, P e K aportadas pelo efluente UASB equivalem a doses de 242 kg ha⁻¹ de uréia, 49

kg ha⁻¹ de superfosfato triplo e 181 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio, representando valores monetários de R\$ 177,00; 39,20 e 176,60, respectivamente, totalizando R\$ 391,80 por hectare. No caso do efluente Lagoa, as contribuições equivalem a doses de 103 kg ha⁻¹ de uréia, 36 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo e 179 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio, com valores de R\$ 75,20; 28,80 e 173,50, respectivamente, totalizando R\$ 277,50 por hectare.

4.3 – Caracterização do solo

4.3.1 – Características físicas

A análise da distribuição granulométrica do solo da área usada no experimento (Tabela 8) indicou o grande predomínio das frações cascalho e areia grossa, permitindo sua classificação na classe textural franco arenosa. Para fins práticos, pode-se considerar que as glebas eram relativamente homogêneas quanto à distribuição granulométrica, com teores similares de fração argila, embora os valores um pouco maior de areia e menor de silte na área do tratamento AM e maiores de cascalho e de silte na área do tratamento Lagoa.

Quanto aos demais atributos físicos determinados, devem ser destacados os altos valores de densidade do solo, principalmente na área do tratamento Lagoa. Em decorrência, constatou-se também valores muito baixos de volume de poros. Estas constatações para o solo da área experimental podem configurar situação de restrição ao adequado desenvolvimento radicular das plantas e ao armazenamento de água, em especial no solo da área do tratamento Lagoa. Em adição, pode-se dizer que tal condição física é pertinente ao tipo de terreno encontrado no local do experimento, constituído basicamente de solo construído a partir de material de aterro.

Devido à similaridade dos valores determinados antes e após a condução do experimento (Tabela 8), pode-se considerar que não houve efeito dos tratamentos sobre os atributos físicos avaliados.

Tabela 8. Caracterização física e granulométrica do solo (camada de 0-20 cm)

Atributo	AM	UASB	Lagoa
	Antes do cultivo		
Densidade (g cm ⁻³)	1,80	1,76	1,87
Porosidade total (%)	29	29	27
Umidade gravimétrica (g kg ⁻¹)	140	140	140
	Pós-cultivo		
Densidade (g cm ⁻³)	1,75	1,75	1,86
Porosidade total (%)	28	31	27
Umidade gravimétrica (g kg ⁻¹)	110	150	110
	Granulometria do solo		
Cascalho (g kg ⁻¹)	275	301	315
Terra fina (< 2 mm) (g kg ⁻¹)	725	699	675
	Granulometria da fração terra fina		
Areia grossa (g kg ⁻¹)	399	366	357
Areia fina (g kg ⁻¹)	234	219	188
Silte (g kg ⁻¹)	295	342	379
Argila (g kg ⁻¹)	72	73	75

Apesar das variações dos teores dos elementos químicos do solo em função dos tratamentos, a literatura tem mostrado que a irrigação com efluente de esgoto tratado, num curto período de tempo (meses), não altera as características físicas do solo, ao contrário do que se tem observado em solos após vários anos sob irrigação com esse efluente (Kouraa et al., 2002).

4.3.2 – Características químicas

A caracterização química do solo, apresentada na Tabela 9, indicou que este apresentava, em sua condição original, valor alto de pH (8,0), não necessitando, então, de aplicação de corretivos; baixo teor de matéria orgânica; teor de P muito alto; teores altos de K, Ca, Mg, Zn e Cu; teor baixo de Mn trocável, possivelmente associado ao alto pH; e valor médio de CTC e alto de saturação por bases, segundo as interpretações da CQFS-RS/SC (2004).

Na avaliação dos atributos químicos ao final do experimento, constatou-se diminuição do pH apenas no tratamento AM, que, entretanto, permaneceu ainda em valor alto (7,0). Tal efeito pode ser atribuído às reações do adubo nitrogenado aplicado a este tratamento, que podem contribuir para a acidificação do solo (Bissani et al., 2006).

De um modo geral, não se determinou diferenças significativas entre os tratamentos quanto aos teores dos nutrientes no solo após o cultivo, cujas interpretações praticamente ficaram as mesmas da condição pré-experimento, acima reportadas. Diferentemente, em trabalho sobre reuso de água residuária na produção de pimentão, Sousa et al. (2006) constataram que, com exceção do fósforo assimilável, os demais nutrientes aumentaram no solo durante o período do ciclo da cultura.

Comparativamente à situação inicial, verificou-se o aumento dos teores de K, Zn e Cu com os três tratamentos, principalmente com o efluente Lagoa. Como os elementos Zn e Cu não foram adicionados no tratamento AM, o aumento verificado pode ser atribuído a circunstâncias de amostragem, em vista da variabilidade do solo da área experimental.

Nesta caracterização, merecem ainda ser destacados os valores de P obtidos pelo método da resina, bem inferiores aos obtidos com o método Mehlich-1, e que, nesta situação, devem representar melhor a disponibilidade deste elemento no solo. Por ser ácido, o extrator Mehlich-1 deve ter solubilizado formas de P pouco solúveis, como fosfatos de cálcio, presentes em situações de pH elevado, como é o presente caso, além da possível presença de outros fosfatos contidos no material usado para o aterro da área. Assim, os valores de P resina são interpretados como médios (CQFS-RS/SC, 2004), sendo o maior teor determinado no solo do tratamento AM, que recebeu uma quantidade maior deste nutriente que os tratamentos com efluentes. Como não foi realizada a análise do P resina no solo antes da adubação e do cultivo, não se pode definir se o solo apresentava consistentemente limitação de disponibilidade de P, o que, em princípio, poderia ser considerado pouco provável devido ao elevado teor de P indicado pelo método Mehlich-1.

Outro atributo a destacar é o maior teor de matéria orgânica no solo do tratamento UASB após o cultivo. Este aumento também pode ser atribuído a questões de variabilidade do terreno e de amostragem, pois esta elevação, duplicando o teor em relação ao início do experimento, não pode ser justificada pela quantidade de C orgânico adicionado ao solo via efluente UASB (Tabela 7).

Tabela 9. Caracterização química do solo antes e após o cultivo

Atributo	Camada (cm)	Antes do cultivo			Pós-cultivo		
		AM	UASB	Lagoa	AM	UASB	Lagoa
pH (H ₂ O)	0 - 20	8,0	7,9	8,3	7,0	8,0	8,1
	20 - 40	8,4	8,1	8,1	7,4	7,9	8,2
Cond. Elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	0 - 20	74	76	89	168	114	114
	20 - 40	111	132	123	163	121	111
Matéria orgânica (g kg^{-1})	0 - 20	7	10	10	9	15	8
	20 - 40	10	6	8	10	10	8
P (Mehlich-1) (mg dm^{-3})	0 - 20	>100	>100	>100	85	87	87
	20 - 40	31	53	>100	>100	80	54
P (Resina) (mg dm^{-3})	0 - 20	ND*	ND	ND	15,3	11	12,1
	20 - 40	ND	ND	ND	ND	ND	ND
K (Mehlich-1) (mg dm^{-3})	0 - 20	81	86	103	96	84	92
	20 - 40	128	103	110	95	88	80
Ca trocável ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	0 - 20	10,6	10,3	11,8	8,9	9,2	10,3
	20 - 40	17,0	14,0	15,1	9,0	10,0	9,5
Mg trocável ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	0 - 20	2,3	2,9	2,7	1,7	2,3	2,2
	20 - 40	2,3	3,1	3,0	1,7	2,3	1,7
S (mg dm^{-3})	0 - 20	6,3	6,5	6,6	8,1	6,8	8,2
	20 - 40	8,6	6,7	8,3	8,3	7,2	6,4
Zn extraível (mg dm^{-3})	0 - 20	16	23	23	37	25	48
	20 - 40	17	26	31	26	25	19
Cu extraível (mg dm^{-3})	0 - 20	6,4	6,6	9,2	8,2	8,3	12
	20 - 40	2,4	37	9,6	6,5	9,6	9,6
Mn trocável (mg dm^{-3})	0 - 20	2	2	1	7	3	2
	20 - 40	1	1	1	4	12	1
Na trocável (mg dm^{-3})	0 - 20	30	30	43	63	50	88
	20 - 40	32	52	50	58	45	68
H+Al ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	0 - 20	0,8	0,9	0,7	0,9	0,8	0,7
	20 - 40	0,6	0,7	0,7	0,9	0,8	0,8
CTC pH 7,0 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	0 - 20	13,9	13,6	15,5	11,7	12,5	13,4
	20 - 40	20,2	18,1	19,1	11,8	13,3	12,2
Saturação por bases (%)	0 - 20	94	94	95	92	94	95
	20 - 40	97	96	96	93	94	94

* ND = não determinado

4.4 – Estado nutricional das plantas

A análise foliar constitui-se em importante prática para o monitoramento do estado nutricional das plantas. Os valores das concentrações de macro e micronutrientes nas folhas das plantas de milho (terço médio da folha oposta e abaixo da espiga), na época do pendoamento, são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Concentrações de nutrientes e de sódio nas folhas de milho na época do pendoamento (médias de doze repetições)

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg
----- g kg ⁻¹ -----					
AM	17,6 a	2,6 b	12,6 a	5,7 a	2,5 a
UASB	17,4 a	3,7 a	11,3 b	4,7 b	2,6 a
Lagoa	14,3 a	2,9 b	10,5 b	4,0 b	2,4 a
CV (%)	23,05	17,03	10,15	13,89	15,61
	Cu	Zn	Fe	Mn	Na
----- mg kg ⁻¹ ----- g kg ⁻¹					
AM	6,2 a	9,2 a	101 a	27,1 a	0,35 a
UASB	6,4 a	8,5 a	100 a	22,6 a	0,36 a
Lagoa	6,1 a	2,0 a	98 a	26,3 a	0,24 b
CV (%)	39,61	117,10	27,10	21,87	24,44

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (p<0,05)

Entre os macronutrientes, foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos quanto aos teores de P, superior no tratamento UASB, e de K e Ca, superiores no tratamento AM. Embora estas diferenças, os teores destes três nutrientes encontram-se dentro das faixas normais de variação de composição elementar de plantas. Para N e Mg, não foram constatadas diferenças de concentração entre os tratamentos.

Segundo os critérios de interpretação de análise foliar sugeridos pela CQFS-RS/SC (2004), os teores de P, Ca e Mg enquadram-se dentro e os de N e K, fora da faixa de suficiência de macronutrientes nas folhas de milho. O N e o K são os nutrientes mais demandados por esta cultura e então tal situação poderia ser devida a um ou mais dos seguintes aspectos: embora os indícios de adequado suprimento de N, em especial no tratamento AM, e alto teor de K no solo, pode ter havido baixa eficiência de absorção pelas plantas (o menor

teor de N no tratamento Lagoa pode ser atribuído ao menor suprimento de N por este efluente, conforme Tabela 7); por não ter havido limitação hídrica durante o ciclo do milho, as plantas tiveram um vigoroso crescimento e produção de matéria seca, implicando em efeito de diluição da concentração destes nutrientes no tecido vegetal. Pode-se considerar que tais observações não configuram necessariamente situação de deficiência nutricional, a qual não foi visualmente observada a campo, pois as plantas apresentavam, na época da amostragem, bom estado de desenvolvimento, principalmente nos tratamentos AM e UASB.

Para os micronutrientes, não foram determinadas diferenças significativas entre os tratamentos para as concentrações dos elementos avaliados (Cu, Zn, Fe e Mn).

Conforme os critérios de interpretação de análise foliar sugeridos pela CQFS-RS/SC (2004), os teores de Cu, Fe e Mn são classificados como suficientes, embora situados próximos aos limites inferiores das respectivas faixas de suficiência nas folhas de milho. Os teores de Zn, entretanto, são classificados como insuficientes, situando-se em abaixo da faixa de suficiência para este elemento. Tais constatações para os micronutrientes nas plantas podem ser atribuídas às condições químicas do solo. Embora nas três áreas os teores destes elementos, em especial o Zn e o Cu, tenham sido classificados como altos pelo método de análise utilizado, verificou-se altos valores de pH no solo dos três tratamentos (Tabela 9), o que implica em menor disponibilidade destes nutrientes às plantas, devido à maior sorção à fase sólida e presença de formas químicas de menor solubilidade na fase líquida (Bissani et al., 2008). Em adição, nesta situação, os elementos metálicos absorvidos tendem a se concentrar no sistema radicular, com menor translocação para a parte aérea. Devido à ausência de um tratamento adequado para fins de comparação, não é possível concluir que o Zn tenha limitado o normal desenvolvimento da cultura, porém não foi observado a campo sintoma visual de deficiência deste nutriente.

Em síntese, a avaliação do estado nutricional das plantas de milho na época do pendoamento permitiu verificar que, de modo geral, os três tratamentos conferiram condições similares ao crescimento vegetal, não se constatando praticamente diferenças entre os tratamentos com os efluentes UASB e Lagoa e o tratamento com adubação mineral+irrigação com água.

Villela Júnior et al. (2003) avaliaram o reaproveitamento de nutrientes do efluente de biodigestor utilizado na fermentação anaeróbia de estrume bovino, no cultivo hidropônico do meloeiro (*Cucumis melo* L. "Bônus 2"). Os autores utilizaram quatro tratamentos: cultivo em sistema fechado com uso de solução nutritiva e organo-mineral; cultivo em sistema fechado com uso de solução nutritiva 100% mineral; cultivo em sistema aberto, com substrato e solução nutritiva organo-mineral e em cultivo aberto com substrato e solução nutritiva 100% mineral. Os autores concluíram que a substituição parcial de adubos minerais por biofertilizante, mostrou-se viável para os tratamentos em sistema aberto (com substrato).

A análise do presente trabalho, comparada com os dados apresentados pelos autores anteriormente citados, mostra a importância do reuso das águas residuárias na irrigação de culturas diversas, no que se refere ao aproveitamento dos nutrientes nela contidos.

4.5 – Produção de matéria seca e rendimento de grãos

A avaliação das plantas nas épocas da maturação fisiológica e da colheita indicou a similaridade entre os tratamentos AM e UASB e sua superioridade em relação ao tratamento Lagoa quanto aos valores de produção de matéria seca total (colmos+folhas+espigas) e de grãos (Tabela 11).

Embora sem significância estatística, o tratamento AM resultou em maior produção de matéria seca total que o UASB, ocorrendo o inverso com a produção de grãos. O mesmo comportamento foi observado em relação à altura das plantas (Figura 5), que foi diretamente relacionada à produção de matéria seca total. Tais constatações podem ser atribuídas, ao menos em parte, ao maior suprimento de P e, principalmente, N pelo tratamento AM em relação ao UASB, porém tal efeito não se refletiu na produção de grãos.

Tabela 11. Produção de matéria seca total da parte aérea (planta inteira), na época de maturação fisiológica, e de grãos, na época da colheita, e rendimento de grãos de milho (13% de umidade) (médias de doze repetições)

Tratamento	Matéria seca		Rendimento de grãos
	Parte aérea	Grãos	
	Mg ha ⁻¹		
AM	17,6 a	7,6 a	8,6 a
UASB	14,6 a	8,8 a	10,0 a
Lagoa	6,6 b	4,1 b	4,6 b
CV (%)	25,08	21,91	22,14

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Embora as análises físicas pudessem apresentar alguma limitação ao adequado desenvolvimento radicular, que não foi avaliado neste experimento, constatou-se que para os tratamentos AM e UASB, ambos sem restrição hídrica em todo o período de cultivo, os valores determinados para matéria seca total e grãos podem ser considerados altos, similares aos obtidos em outros experimentos com a cultura do milho em solos da região, na condição de alta adubação nitrogenada e com irrigação (Vieira et al., 2008; Weber, 2008).

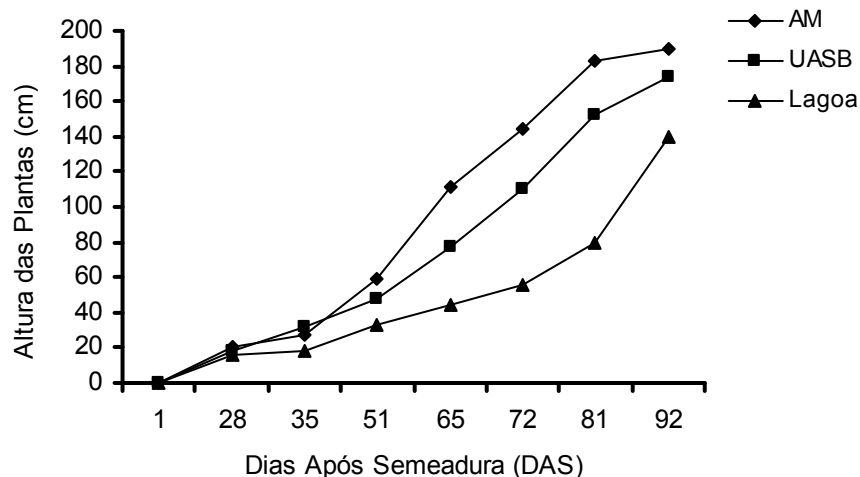


Figura 5. Altura das plantas de milho no período de crescimento em função dos tratamentos.

Os valores de produção de massa seca e de grãos de milho foram bem inferiores para o tratamento Lagoa (Tabela 11). Considerando-se que na

área deste tratamento o solo apresentava originalmente teores interpretados como altos para a maioria dos nutrientes e que não ocorreu limitação hídrica durante o ciclo da cultura, tal situação pode ser atribuída, ao menos em parte, à menor disponibilidade de N, limitando o crescimento e a produção de grãos. Conforme abordado anteriormente (Tabela 7), este tratamento teve o aporte, via efluente Lagoa, de aproximadamente 45 kg ha⁻¹ de N, enquanto os tratamentos AM, via adubação nitrogenada e água de irrigação, e UASB, via efluente, as quantidades foram de 212 e 109 kg ha⁻¹, respectivamente. Em adição, pode-se considerar também a possibilidade de limitações físicas ao desenvolvimento radicular das plantas no solo desta área. As análises físicas do solo (Tabela 8) indicaram condições menos favoráveis, comparativamente aos outros tratamentos, representadas principalmente pela alta densidade do solo e maior proporção de fração cascalho na distribuição granulométrica. De qualquer modo, o rendimento de grãos obtido no tratamento Lagoa foi semelhante à média para esta cultura no Rio Grande do Sul, no período de 2002 a 2008, com valor de 4.246 kg ha⁻¹ (Agrolink, 2009).

4.6 – Concentração e acúmulo de nutrientes nas plantas

As concentrações de macronutrientes, micronutrientes e sódio na parte aérea das plantas, diferenciadas nas partes colmo+folhas e espiga (palha, sabugo e grãos), no estágio de maturação fisiológica, são apresentadas na Tabela 12.

Para os macronutrientes, a concentração de N foi superior no tratamento UASB, tanto no colmo+folhas como na espiga; a de P, foi superior no tratamento Lagoa, em ambas as partes; e a de K tendeu a ser maior nos tratamentos AM e UASB para colmo+folhas e no tratamento Lagoa para espiga. As concentrações de Ca e Mg não variaram significativamente entre os tratamentos, com exceção do Mg na espiga do tratamento Lagoa, superior aos demais tratamentos. Tais situações podem ser justificadas tanto pelas diferenças de adição destes nutrientes pelos tratamentos como pelos efeitos de concentração e diluição destes elementos em relação à produção de massa seca. Assim, por exemplo, a menor concentração de N no tratamento AM em relação ao UASB, mesmo tendo recebido maior dose de N, poderia ser decorrente de efeito de diluição pela maior produção de massa pelas plantas

(Tabela 11). Já a maior concentração de P no tratamento Lagoa poderia ser justificada pelo efeito de concentração, pela menor produção de massa seca pelas plantas.

Para os micronutrientes e sódio, de modo geral, não foram determinadas diferenças entre os tratamentos ou as concentrações, em alguns casos, foram superiores no tratamento Lagoa, possivelmente pelo efeito de concentração, como discutido anteriormente.

Tabela 12. Concentrações de nutrientes e de sódio no colmo+folhas e na espiga inteira em função dos tratamentos (médias de doze repetições)

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg
----- g kg ⁻¹ -----					
Colmo + Folhas					
AM	2,9 b	0,7 c	11,2 a	3,4 a	3,3 a
UASB	4,2 a	1,6 b	11,3 a	3,3 a	4,1 a
Lagoa	1,9 b	2,2 a	8,2 b	3,1 a	4,1 a
CV (%)	40,02	28,06	14,48	14,39	35,43

Espiga					
AM	7,4 b	1,4 c	3,0 ab	0,14 a	0,4 b
UASB	8,4 a	1,6 b	2,8 b	0,11 a	0,4 b
Lagoa	7,4 b	1,8 a	3,4 a	0,14 a	0,6 a
CV (%)	20,02	12,26	18,86	57,25	31,37

	Cu	Zn	Fe	Mn	Na
----- mg kg ⁻¹ -----					
Colmo + Folhas					
AM	5,6 ab	51 b	275 b	61 b	0,44 a
UASB	6,8 a	60 ab	156 c	73 b	0,48 a
Lagoa	5,0 b	65 a	414 a	97 a	0,47 a
CV (%)	28,83	22,92	25,91	21,98	11,12

Espiga					
AM	3,0 a	37 a	36 a	1,6 b	0,11 a
UASB	2,7 a	36 a	23 a	1,0 b	0,11 a
Lagoa	2,6 a	41 a	29 a	2,8 a	0,11 a
CV (%)	18,27	10,99	66,58	29,45	12,78

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey (p<0,05).

As quantidades de macronutrientes, micronutrientes e sódio acumuladas na parte aérea das plantas, diferenciadas em colmo+folhas, espiga e total, no estágio de maturação fisiológica, são apresentadas na Tabela 13.

Considerando-se as quantidades totais acumuladas de N e P, determinou-se valores semelhantes entre os tratamentos AM e UASB, maiores que no tratamento Lagoa. Para K, Ca e Mg, o tratamento AM promoveu maiores acúmulos que os demais. As quantidades totais acumuladas de N e P são similares às adicionadas via irrigação com os efluentes, enquanto as de K, Ca e Mg são menores (Tabela 7). A quantidade de N acumulada nas plantas do tratamento AM é menor que a metade da quantidade aplicada via adubo (fracionada em três épocas) e água de irrigação. Isto indica uma baixa eficiência de utilização do N, possivelmente devida, em parte, a perdas por volatilização e ou lixiviação, o que é corroborado pelo aumento dos teores deste elemento na água de percolação deste tratamento. Em comparação, a irrigação com os efluentes adicionados durante o período de cultivo, quantidades menores porém em aplicações mais freqüentes de N, o que pode significar melhor aproveitamento pelas plantas.

É importante destacar a significativa contribuição dos efluentes, principalmente o UASB, em adicionar nutrientes, em especial o N na presente situação, de solo com níveis suficientes dos demais nutrientes. Neste caso, em que se estima uma contribuição aproximada de N pelo solo (em média 9 g kg⁻¹ de matéria orgânica) de apenas 12 kg ha⁻¹ no período de cultivo de milho, o acúmulo de 105 kg ha⁻¹ na parte aérea no tratamento com efluente UASB é, sem dúvida, um ponto a ressaltar, tanto pelo aproveitamento agrônômico como pela diminuição do aporte deste elemento a cursos d'água.

Quanto às quantidades totais acumuladas de micronutrientes e sódio, observou-se, de modo geral, maiores valores para o tratamento AM, o que é justificado pelo efeito de maior produção de matéria seca, já que as concentrações destes elementos praticamente não variaram entre os tratamentos (Tabela 12).

Tabela 13. Quantidades de nutrientes acumulados na parte área das plantas (colmo+folhas, espiga e planta inteira) em função dos tratamentos (médias de doze repetições)

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg
----- kg ha ⁻¹ -----					
Colmo + Folhas					
AM	23 a	5,5 c	89 a	27 a	26 a
UASB	21 a	7,7 a	55 b	16 b	19 b
Lagoa	5,4 b	6,2 ab	25 c	9,0 c	12 c
CV (%)	57,94	30,97	30,61	20,34	27,21

Espiga					
AM	74 a	13 a	29 a	1,3 a	3,5 a
UASB	85 a	16 a	27 a	1,1 a	4,1 a
Lagoa	26 b	6,7 b	12 b	0,5 b	2,2 b
CV (%)	43,65	32,45	28,24	59,52	37,85

Total					
AM	91 a	19 a	118 a	28 a	29 a
UASB	105 a	23 a	82 b	17 b	23 b
Lagoa	32 b	13 b	37 c	9,5 c	14 c
CV (%)	42,40	26,84	27,09	20,37	23,38

	Cu	Zn	Fe	Mn	Na
----- g ha ⁻¹ -----					
----- kg ha ⁻¹ -----					
Colmo + Folhas					
AM	46 a	395 a	2.119 a	470 a	3,5 a
UASB	34 a	295 ab	752 c	346 b	2,3 b
Lagoa	15 c	185 c	1.219 b	280 b	1,4 c
CV (%)	53,06	42,74	30,28	18,99	21,78

Espiga					
AM	3,0 a	357 a	36 a	1,6 b	1,1 a
UASB	2,7 a	355 a	23 a	1,0 b	1,1 a
Lagoa	2,6 a	148 a	29 a	2,8 a	0,4 b
CV (%)	18,27	10,99	66,58	29,45	27,97

Total					
AM	70 a	752 a	2.500 a	470 a	4,6 a
UASB	60 a	650 a	1.000 b	350 b	3,4 b
Lagoa	20 b	333 b	1.300 b	290 b	1,8 c
CV (%)	43,54	37,07	29,48	18,97	22,09

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey (p<0,05).

4.7 – Concentração e acúmulo de nutrientes nos grãos

As concentrações de macro e micronutrientes nos grãos de milho (base seca) na época da colheita são apresentadas na Tabela 14. De modo geral, não foram determinadas diferenças entre os tratamentos, com exceção dos nutrientes N, Mg e Mn. Para o N, maior concentração foi determinada no tratamento UASB, enquanto que para Mg e Mn o tratamento Lagoa apresentou maiores concentrações.

Tabela 14. Concentrações de nutrientes nos grãos de milho (base seca) (médias de doze repetições)

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg
----- g kg ⁻¹ -----					
AM	11,2 b	3,0 a	3,1 a	0,1 a	1,0 b
UASB	13,6 a	3,0 a	3,1 a	0,1 a	1,1 ab
Lagoa	10,8 b	3,2 a	3,2 a	0,1 a	1,2 a
CV (%)	18,73	8,72	7,16	16,22	9,85
	Cu	Zn	Fe	Mn	S
----- mg kg ⁻¹ -----					
AM	2,0 a	34,3 a	22,2 a	7,3 b	1,1 a
UASB	2,0 a	33,7 a	22,0 a	7,7 ab	1,2 a
Lagoa	2,0 a	35,9 a	27,9 a	9,1 a	1,1 a
CV (%)	0,00	15,91	7,16	17,78	8,99

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

As quantidades de macro e micronutrientes acumuladas nos grãos de milho (base seca), na época da colheita, são apresentadas na Tabela 15. Com base na discussão anterior, quanto às semelhanças das concentrações entre os tratamentos, o acúmulo de nutrientes foi então dependente da massa de grãos produzida.

De modo geral, para todos os nutrientes, as quantidades acumuladas foram similares entre os tratamentos AM e UASB e estes, superiores ao tratamento Lagoa, do mesmo modo que verificado para a produção de grãos.

Considerando-se que as quantidades acumuladas nos grãos são as normalmente exportadas da área de produção, nota-se que grande parte desta exportação, especialmente para o N e o P, é suprida pelas quantidades aportadas ao solo pelos efluentes. Isto, novamente, reforça a importância do aproveitamento dos efluentes em reuso agrícola para o fornecimento de água e de nutrientes.

As quantidades de N e P acumuladas nos grãos um pouco superiores, em alguns casos (Tabela 15), em comparação com as acumuladas na massa seca da planta inteira (Tabela 13) podem ser explicadas pelo fato das coletas serem feitas em diferentes épocas e também pela variabilidade entre plantas, levando a possíveis efeitos de amostragem.

Tabela 15. Quantidades de nutrientes acumuladas nos grãos de milho (base seca) (médias de doze repetições)

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg
----- kg ha ⁻¹ -----					
AM	85 b	22,a	24 a	0,8 a	7,9 a
UASB	120 a	27 a	27 a	0,9 a	9,6 a
Lagoa	43 c	13 b	13 b	0,5 b	4,7 b
CV (%)	28,15	22,21	23,80	27,73	22,40
	Cu	Zn	Fe	Mn	S
----- g ha ⁻¹ -----					kg ha ⁻¹
AM	15,2 a	263 a	167 a	56 a	8,8 a
UASB	17,7 a	296 a	191 a	67 a	10,5 a
Lagoa	8,1 b	142 b	113 b	39 b	4,5 b
CV (%)	21,99	23,19	28,34	25,19	26,31

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

5. CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho permitem concluir que:

- a) os efluentes UASB e Lagoa aportaram ao solo, em maiores quantidades, os nutrientes nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e fósforo, além do elemento sódio;
- b) nos percolados do solo, comparativamente aos efluentes originais, os valores de alguns atributos, como nitrogênio, fósforo, potássio e sódio, diminuíram, enquanto de outros, como alcalinidade, condutividade elétrica, cálcio e magnésio, aumentaram;
- c) a irrigação com o efluente UASB se equivaleu ao tratamento com adubação mineral e irrigação com água tratada quanto à produção de matéria seca e rendimento de grãos de milho, ambos superando a irrigação com o efluente Lagoa, este provavelmente limitado pela menor adição de nitrogênio;
- d) devido à alta fertilidade do solo na condição original, o nitrogênio foi o nutriente que mais diferenciou os efeitos dos tratamentos;
- e) o uso de efluentes, em substituição à água normalmente empregada na irrigação, reduz o uso deste recurso natural, auxiliando na preservação dos recursos subterrâneos e na minimização das descargas dos efluentes em corpos d'água, e ainda proporciona economia substancial de fertilizantes minerais para adubação desta cultura.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas condições em que foi desenvolvido e nos resultados obtidos, o presente trabalho permite as seguintes considerações:

- a) recomenda-se a realização deste tipo de experimento em solos com baixa fertilidade, de modo a permitir a expressão, em atributos de solo e nas plantas, de outros componentes destes efluentes;
- b) é importante que novos trabalhos sejam desenvolvidos com estes efluentes, de modo a serem apresentados parâmetros sanitários bem definidos, evitando colocar em risco a saúde pública;
- c) há necessidade de avaliar o enquadramento legal específico para o reuso de efluentes sanitários tratados em atividades agrícolas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGROLINK. **Milho** – estatísticas. Disponível em: <<http://www.agrolink.com.br/cultivos/milho/estatisticas.aspx>>. Acesso em: 22 ago.2009.

ANDREOLLI, C. V.; PEGORINI, E. S.; TAMANINI, C. R. **Parâmetros para normatização do reuso agrícola**. In: WORKSHOP USO E REUSO DE ÁGUAS DE QUALIDADE INFERIOR: REALIDADES E PERSPECTIVAS, 2005, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande, 2005.

ARAÚJO, A. L. de; KÖNIG, A.; MILANÊZ, J. G.; CEBALLOS, B. S. O. Reuso Indireto de esgotos na irrigação de colunas experimentais de solo cultivadas com alface. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., 1999, Campina Grande. Disponível em: <<http://www.cepis.org.pe/bvsaidis/brasil20/i-119.pdf>>. Acesso em: 08 ago.2009.

AYRES, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade de água na agricultura**. Campina Grande: Universidade Federal de Paraíba, 1991. 218p.

AYRES, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: Universidade Federal de Paraíba, 1999. 153p.

BASTOS, R. K. X. **Utilização agrícola de esgotos sanitários**. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999. 84p.

BISSANI, C.A.; MEURER, E.J.; BOHNEN, H. Solos ácidos e solos afetados por sais. In: MEURER, E.J. (Ed.) **Fundamentos de química do solo**. 3ed. Porto Alegre: Evangraf, 2006. p. 163-183.

BISSANI, C.A.; CAMARGO, F.A.O.; GAINELLO, C.; TEDESCO, M.J. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. 2ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. 344 p.

BEEKMAN, G. B. Qualidade e conservação da água. In: ENCONTRO NACIONAL DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. **[Informações...]** Brasília: Associação Brasileira de Entidades de Assistência Técnica e Extensão Rural, 1996.

BLEVINS, D.G. Why plants need phosphorus. **Better Crops**, Norcross, v.83, p.29-30, 1999.

BORGES, M. R. Metais pesados do solo após aplicação de biossólido. II - Disponibilidade. Universidade Estadual do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p.557-568, 2004.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **The nature and properties of soils**. 13ed. New Jersey: Prentice Hall, 2002. 960 p.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, Brasília, n. 53, p. 58-63, 18 mar. 2005. Seção 1.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, Brasília, n. 167, p. 141-146, 30 ago. 2006. Seção 1.

BOUWER, H.; CHANEY, R.L. Land treatment of wastewater. **Advances in Agronomy**, New York, v.26, p.133-176, 1974.

CAMERON, K.C.; DI, H.J.; McLAREN, R.G. Is soil an appropriate dumping ground for our wastes? **Australian Journal of Soil Research**, Sidney, v.35, p.995-1035, 1997.

CAVALCANTI, P. F. F.; VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. Polishing ponds for post treatment of digested sewage. Sequential batch ponds. In: OFICINA SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA, Recife, 2000. **Anais...** Recife, 2000. p .352-359.

CAVALCANTI, P.F.F. Integrated application of the UASB reactor and ponds for domestic sewage treatment in tropical regions. 2003. 139f. Doctoral Thesis - Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands, 2003.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Tratamento de Esgoto**. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/geografia/tratamento-de-esgoto/>>. Acesso em: 28 jul.2009.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Tipos de Reuso**. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/gesta_reuso.asp>. Acesso em: 28 jul.2009.

CHERNICHARO, C. A. L. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. 2. Ed. Belo Horizonte, Minas Gerais: Universidade Federal de Minas Gerais, 2001.

CIRRA - CENTRO INTERNACIONAL DE REFERÊNCIA EM REUSO DE ÁGUA. **Reuso de água**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2002. Disponível em: <<http://www.usp.br/cirra/index2.html>>. Acesso em: 17 ago.2007.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (CQFS-RS/SC). **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.

CORAUCCI FILHO, B. Aplicação no solo de água residuária cítrica contendo óleo essencial utilizando a técnica de irrigação por sulcos de infiltração. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE TRATAMIENTO Y REUSO DEL AGUA Y RESIDUOS INDUSTRIALES, 1998, México. **Resumo**. México, 1998.

CORSON, W.H. **Manual global de ecologia: o que você pode fazer a respeito da crise do meio ambiente**. 4. ed. São Paulo: Augustus, 2002. 413p.

DMAE. Departamento Municipal de Água e Esgoto. **[Informações]**. Disponível em: <www.portoalegre.rs.gov.br>. Acesso em: 10 dez.2008.

EATON, A. D.; CLESCERI, L. S.; RICE, E. W.; GREENBERG, A. E.; FRANSON, M. A. H. **Standard Methods for the Examination off Water And Wastewater**. 21.ed. Washington : American Public Health Association –APHA, 2005.

FOLEGATTI, M. V.; DUARTE, S. A.; GONÇALVES, R. A. B. Uso de águas residuárias na agricultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., Campina Grande, 2005. **Anais...** Uso e Reuso de Águas de Qualidade Inferior: Realidade e Perspectivas. Campina Grande, 2005. 1CD-ROM.

FONSECA, J.A. da; MEURER, E.J. Inibição da absorção de magnésio pelo potássio em plântulas de milho em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 47-50, 1997.

GUIDOLIN, J.C. **Reuso de efluentes**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos, 2000.

HAGLER, L. C. M. De que forma os microrganismos podem ajudar na purificação da água? **Revista Ciência Hoje**, v. 217, 2005. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/3463>>. Acesso em: 05 ago.2009.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2000**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/27032002pnsb.shtm>>. Acesso em: 25 ago. 2007.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 2.ed. Boca Raton: CRC Press, 1986. 365p.

KILMER, V.J.; YOUNTS, S.E.; BRADY, N.C. (Eds.). **The role of potassium in agriculture**. Madison: ASA : CSSA : SSSA, 1968. 509p.

KOURAA, A.; FETHI, F.; FAHDE, A.; LAHLOU, A.; QUAZZANI, N. Reuse of urban wastewater treated by a combined stabilization pond system in Benslimane (Morocco). **Urban Water**, Londres, v.4, p.373-378, 2002.

KRAY, C.H. **Resposta das plantas e modificações das propriedades do solo pela aplicação de resíduos urbanos**. 2005. 161f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

LANDA, H.; CAPELLA, A.; JIMÉNEZ, B. Particle size distribution in an effluent from an advanced primary treatment and its removal during filtration. **Water Science and Technology**, London, v.36, p.159-165, 1997.

LEÓN SUEMATSU, G.; CAVALLINI, J.M. **Tratamento e uso de águas residuárias**. Tradução de: GHEYI, H.R.; KÖNIG, A.; CEBALLOS, B.S.O.; DAMASCENO, F.A.V. Campina Grande : Universidade Federal de Paraíba, 1999. 109p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. **Reuso de água**. Universidade de São Paulo. Faculdade de Saúde Pública. Núcleo de Informações em Saúde Ambiental. Barueri, SP : Manole, 2003. 579p. (Coleção Ambiental).

MEHNERT, D.U. Reuso de efluentes na agricultura e a contaminação ambiental por vírus entéricos humanos. **Biológico**, São Paulo, v.65, p.19-21, 2003.

METCALF; EDDY, INC. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse**. 3. ed. New Delhi : McGraw-Hill, 1991. 1334p.

NICHELE, J.; MONTEGGIA, L.O.; OLIVEIRA, O.J.; BISSANI, C.A. Propriedades químicas e efeito depurador do solo em função da aplicação de efluente sanitário tratado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO – CONQUISTAS E DESAFIOS DA CIÊNCIA DO SOLO BRASILEIRA, 31., Gramado, 2007. **Livro de resumos...** Gramado, 2007. 1CD-Rom.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **ONU prevê 4 bilhões sem água em 2025**. Folha de São Paulo, 14 de agosto de 2002. Disponível em: <<http://www.agr.feis.unesp.br/fsp140802.htm>>. Acesso em: 25 ago.2007.

SANCHES, A.; MONTEGGIA, L. O.; GONÇALVES, H. R.; PADILHA, R dos S. A utilização de efluentes de reator UASB e lagoas de estabilização na fertirrigação do milho como alternativa de reuso. In: CONGRESSO

BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., Porto Alegre, 2007. **Anais...** Porto Alegre, 2007.

SEGATTO, M.P. **Efeitos da aplicação de resíduos industriais no solo e nas plantas**. 2001. 151f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

SENA, J.O.A. **Fertilidade de solo e rendimento de culturas em um solo na encosta basáltica sulriograndense, após cinco anos de exploração intensiva, submetido à adubação orgânica e mineral**. 1985. 131f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1985.

SETTI, A.A.; LIMA, J.A.F.W.; CHAVES, A.G.M.; PEREIRA, I.C. **Introdução ao gerenciamento dos recursos hídricos**. 3.ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica : Agência Nacional de Águas, 2001. 328p.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre, 2004.

SOUSA, J. T. de; CEBALLOS, B. S. O.; HENRIQUE, I. N.; DANTAS, J. P.; LIMA, S. M. S. Reuso de água residuária na produção de pimentão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, p.89-96, 2006.

SOUZA, R.A.S. **Metais pesados e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos em solos após dois anos da aplicação de composto de lixo e lodo de esgoto**. 2009. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C. BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2ed. Porto Alegre: Depto de Solos da UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5).

TSUTIYA, M. T. Uso agrícola dos efluentes das lagoas de estabilização do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., São Paulo, 1978. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, 1978. p.1-16.

TUNDISI, J.G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: Rima, 2003. 248p.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente**. Campina Grande, 1994. 240 p.

VIEIRA, F.B.C.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; ZANATTA, J.; BISSANI, C.A. Long-term acidification of a Brazilian Acrisol as affected by no till cropping systems and nitrogen fertilizer. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood/AS, v.46, p.17-26, 2008.

VILLELA JÚNIOR, L. V.; ARAÚJO, J. A. C.; FACTOR, T. L. Comportamento do meloeiro em cultivo sem solo com a utilização de biofertilizante. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 2, p.153 – 157, abr./jun.2003.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 243p.

WEBER, M.A. **Leguminosas e os estoques de carbono e nitrogênio do solo em experimento de longa duração**. 2008. 122f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture**. Geneva: World Health Organization, 1989. 74p. (Technical Report Series, 778)

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Environmental health impact assessment of development projects**: a practical guide for the WHO Eastern Mediterranean Region. WHO; 2005; 133 pages. Water, sanitation and health electronic library: a compendium of WHO information on water, sanitation and health [electronic resource-CD-ROM]. -- Version 4.0, 2006.

8. APÊNDICES

Apêndice 1. Caracterização da Água utilizada no tratamento Adubação Mineral na irrigação do cultivo

Data	Atributos																		
	NH ₄ -N	NTK-N	NO ₃ -N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Na	Alcalini dade	DBO	DQO	C org.	Turbidez	pH	CE
	mg L ⁻¹													UNT	-	μS cm ⁻¹			
07/11/07	ND*	< LD	ND	0,1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	6,2	2,5	0,2	7,34	130
14/11/07	ND	0,8	0,30	0,1	3,9	5,2	5,1	0,4	0,1	0,3	0,1	5,4	ND	ND	12,9	5,2	1,1	6,12	91
21/11/07	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
28/11/07	< LD **	0,3	0,50	0,1	6,3	7,5	2,7	< LD	< LD	0,1	< LD	ND	28,8	ND	ND	ND	0,5	7,20	93
05/12/07	< LD	1,6	0,50	0,0	6,6	5,4	4,2	< LD	0,3	0,3	< LD	8,1	6,7	ND	20,5	8,2	0,4	6,76	100
12/12/07	< LD	3,0	0,50	0,1	5,4	5,5	2,5	< LD	1,1	< LD	< LD	9,5	5,8	ND	4,7	1,9	0,6	6,50	123
19/12/07	< LD	< LD	0,50	0,0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	5,8	ND	ND	ND	0,6	6,42	130
26/12/07	< LD	1,0	0,10	0,0	4,8	5,7	2,5	< LD	< LD	ND	< LD	7,2	6,7	ND	27,4	11,0	0,7	6,66	132
02/01/08	< LD	1,2	0,50	0,1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	7,6	ND	ND	ND	ND	6,38	125
09/01/08	< LD	ND	0,50	0,0	5,7	6,1	2,8	< LD	< LD	< LD	< LD	8,6	281,2	ND	39,1	15,6	0,6	6,70	140
16/01/08	< LD	< LD	ND	0,1	4,8	7,1	4,2	< LD	0,4	0,1	< LD	10,9	8,4	ND	0,0	0,0	0,7	7,10	135
23/01/08	< LD	3,9	0,50	0,0	6,0	6,2	3,1	< LD	0,1	0,1	0,1	7,2	4,9	ND	0,0	0,0	0,5	6,81	100
30/01/08	< LD	0,7	ND	0,1	6,0	7,2	2,6	< LD	0,2	< LD	< LD	8,1	6,6	ND	47,8	19,1	0,6	6,64	119,0
06/02/08	< LD	0,9	0,60	< LD	7,9	6,9	2,8	< LD	< LD	< LD	< LD	10,9	8,4	ND	0	< LD	0,8	6,58	135
13/02/08	< LD	0,2	0,64	< LD	8,3	8,7	2,9	< LD	< LD	< LD	< LD	10,9	14,1	ND	2,9	1,2	1,3	7,20	130,0
Média	-	1,0	0,5	0,1	5,9	6,5	3,2	-	0,2	0,1	-	8,7	32,1	-	14,7	5,9	0,7	6,7	120,2
CV (%)	-	1,2	0,1	0,1	1,3	1,1	0,9	-	0,3	0,1	-	1,9	78,7	-	16,9	6,8	0,3	0,4	16,9

* ND = Não determinado

** LD = Limite de detecção

Apêndice 2. Caracterização do efluente UASB no período de irrigação do cultivo

Data	Atributos																		
	NH ₄ -N	NTK-N	NO ₃ -N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Na	Alcalini- dade	DBO	DQO	C org.	Turbidez	pH	CE
	----- mg L ⁻¹ -----																UNT	-	μS cm ⁻¹
07/11/07	18,0	22,6	ND	2,2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	174,7	80	83,7	33,5	49,5	7,32	760
14/11/07	11,3	22,6	< LD**	2,6	22,9	15,8	7,2	ND	1,2	0,2	< LD	49,3	180,4	65	82,9	33,2	40,7	7,00	690
21/11/07	13,7	21,5	0,10	3,8	25,9	15,5	9,8	ND	1,2	0,6	0,1	53,9	159,4	65	128,6	51,4	130,3	7,00	720
28/11/07	17,5	20,2	< LD	4,9	24,7	15,5	7,5	0,9	1,1	0,1	< LD	55,1	141,1	75	35,9	14,4	14,7	7,54	370
05/12/07	22,8	30,9	0,10	5,6	25,0	14,4	8,1	5,7	1,4	0,7	< LD	59,6	175,7	55	107,8	43,1	84,6	7,64	800
12/12/07	20,7	25,5	< LD	4,5	25,0	11,6	7,0	0,7	1,1	0,1	< LD	60,8	159,4	60	92,9	37,2	41,6	7,27	800
19/12/07	18,3	37,9	< LD	5,5	30,7	14,4	7,6	0,0	1,2	< LD	< LD	65,4	190,1	65	26,2	10,5	164,0	7,14	950
26/12/07	21,0	32,3	0,10	6,6	27,7	12,8	7,2	2,6	1,3	0,4	< LD	66,5	46,1	80	212,6	85	78,5	7,04	900
02/01/08	25,8	27,8	< LD	6,1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	169,6	140	67,4	27	20,9	7,07	580
09/01/08	ND*	ND	< LD	5,8	27,4	11,9	7,4	0,5	1,2	0,1	0,2	59,6	167,8	ND	135,3	54,1	13,4	7,47	580
16/01/08	22,6	25,5	0,40	5,0	26,5	11,5	8,2	1,7	1,5	0,1	< LD	61,9	158,7	155	152,2	60,9	78,9	7,37	820
23/01/08	13,8	26,7	< LD	5,1	25,9	11,6	9,1	1,2	1,5	0,2	< LD	47,1	163,2	145	96,2	38,5	117,3	7,49	710
30/01/08	24,5	30,9	ND	6,6	28,6	11,5	9,0	1,6	1,6	0,1	< LD	57,3	161,1	ND	156,3	62,5	26,5	7,09	740
06/02/08	15,6	26,9	0,01	4,9	28,0	17,8	8,0	0,7	1,5	0,0	< LD	42,5	158,0	110	177,1	70,8	52,3	7,23	690
13/02/08	13,0	19,0	0,02	1,1	24,7	21,5	6,3	0,5	1,2	0,1	< LD	19,6	145,5	65	44	17,6	35,1	6,97	450
Média	20,0	27,0	0,1	4,6	26,4	14,3	7,9	1,4	1,3	0,2	0,0	53,7	168,5	92	145,6	58,2	78,5	7,3	690,0
CV (%)	5,1	4,9	0,1	1,5	2,0	3,0	1,0	1,6	0,2	0,2	0,1	12,4	39,6	38	89,4	35,8	48,1	0,3	149,5

* ND = Não determinado

** LD = Limite de detecção

Apêndice 3. Caracterização do efluente Lagoa no período de irrigação do cultivo

Data	Atributos																		
	NH ₄ -N	NTK-N	NO ₃ -N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Na	Alcalini- dade	DBO	DQO	C org.	Turbidez	pH	CE
	mg L ⁻¹																UNT	-	μS cm ⁻¹
14/11/07	1,9	12,1	0,10	3,4	24,4	17,2	0,6	0,4	1,1	0,6	< LD	51,6	101,8	90	274,5	110	59,5	10,1 7	390
21/11/07	5,1	12,4	0,10	3,2	24,1	14,9	6,8	< LD**	1,0	0,1	< LD	51,6	101,8	90	144,0	57,6	40,3	8,67	510
28/11/07	7,8	8,3	0,10	3,9	21,1	11,7	4,8	< LD	0,9	0,1	< LD	41,3	104,6	80	266,1	106	39,2	8,12	580
05/12/07	7,3	17,5	0,10	3,9	21,4	13,2	7,5	0,4	1,1	0,2	< LD	57,3	104,6	80	287,5	115	45,1	8,30	600
12/12/07	9,1	9,4	0,10	3,0	28,9	14,8	7,5	< LD	1,2	< LD	< LD	61,9	105,6	90	157,6	63	73,4	7,45	620
19/12/07	6,5	12,1	0,10	4,8	28,3	15,1	7,7	< LD	1,1	< LD	< LD	64,2	97,9	90	118,1	47,2	53,7	7,87	600
26/12/07	5,6	13,6	0,10	4,3	27,7	13,3	6,5	< LD	0,9	< LD	< LD	61,9	92,2	100	173,2	69,3	44,0	8,06	640
02/01/08	6,7	14,9	0,10	3,7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	101,3	110	187,4	75	53,2	8,40	560
09/01/08	ND*	ND	0,10	5,7	28,6	14,6	8,4	0,4	1,1	0,1	< LD	61,9	109,9	160	499,0	200	81,1	8,75	555
16/01/08	1,5	17,7	0,10	4,2	27,1	13,8	7,0	< LD	1,0	< LD	< LD	67,6	103,8	140	266,4	107	72,3	8,88	590
23/01/08	2,5	ND	0,10	4,6	28,0	12,7	6,4	< LD	0,8	< LD	< LD	63,1	92,3	90	288,6	115	86,8	8,96	510
30/01/08	4,6	17,3	ND	4,0	29,2	11,2	6,0	< LD	0,6	< LD	< LD	63,1	82,2	ND	280,3	112	83,8	7,95	460
06/02/08	4,5	ND	0,06	3,5	28,4	15,6	5,6	< LD	0,5	< LD	< LD	39,0	88,6	160	219	87,6	73,2	8,36	450
13/02/08	8,2	14,6	0,06	4,5	29,5	16,9	7,9	< LD	1,0	< LD	< LD	32,2	126,1	110	190,5	76,2	24,3	7,85	500
Média	6,9	14,8	0,1	3,9	26,7	14,2	6,4	0,1	1,0	0,1	-	55,1	113,6	96	225,0	90,0	51,1	8,4	527,8
CV (%)	3,2	3,7	0,02	0,7	2,9	1,8	2,0	0,2	0,2	0,2	-	11,2	28,5	37	85,3	34,1	21,0	0,7	73,4

* ND = Não determinado

** LD = Limite de detecção

Apêndice 4. Caracterização do percolado do tratamento adubação mineral (AM) no período de irrigação do cultivo

Data	Atributos																		
	NH ₄ -N	NTK-N	NO ₃ -N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Na	Alcalini- dade	DBO	DQO	C org.	Turbidez	pH	CE
	----- mg L ⁻¹ -----																UNT	-	μS cm ⁻¹
07/11/07	ND*	1,1	ND	0,2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3,5	1,4	2,9	7,50	1130
14/11/07	ND	0,5	0,20	0,2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	119,1	47,6	ND	ND	1000
21/11/07	<LD**	0,8	5,20	0,2	11,3	146,1	42,9	0,4	1,4	< LD	< LD	24,2	ND	ND	ND	ND	ND	8,09	1200
28/11/07	< LD	0,3	0,10	0,2	11,6	152,7	42,9	< LD	2,8	0,1	ND	8,6	434,9	ND	ND	ND	0,7	7,73	480
05/12/07	ND	ND	ND	0,2	ND	ND	ND	0,3	ND	ND	< LD	26,5	< LD	ND	ND	ND	ND	ND	ND
12/12/07	0,3	4,8	ND	0,3	13,7	122,2	26,9	0,5	< LD	< LD	ND	21,0	303,4	20	32,9	13,2	1,4	7,94	1000
19/12/07	ND	ND	ND	0,3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	25	ND	ND	ND	ND	ND
26/12/07	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
02/01/08	< LD	ND	0,60	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	382,3	30	139,7	55,89	11,3	8,19	610
09/01/08	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
16/01/08	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
23/01/08	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
30/01/08	ND	ND	ND	0,8	15,8	66,6	10,8	0,3	0,2	< LD	< LD	21,0	229,9	ND	20,9	8,36	ND	ND	650
06/02/08	0,5	0,9	0,07	0,5	9,4	92,5	29,8	< LD	0,1	< LD	< LD	14,1	380,4	ND	ND	ND	0,9	7,75	1090
13/02/08	0,5	1,0	0,22	0,3	11,3	99,0	43,6	< LD	0,4	0,2	< LD	16,2	527,9	ND	< LD	ND	0,8	7,81	1300
Média	-	1,3	1,1	0,3	12,2	113,2	28,2	0,2	0,8	0,1	0,0	18,8	322,7	25	52,7	25,3	3,0	7,9	940,0
CV (%)	-	1,6	2,0	0,2	2,2	33,3	17,0	0,2	1,1	0,1	0,0	6,2	170,6	5	61,0	24,7	4,2	0,2	288,9

* ND = Não determinado
 ** LD = Limite de detecção

Apêndice 5. Caracterização do percolado do tratamento UASB no período de irrigação do cultivo

Data	Atributos																		
	NH ₄ -N	NTK-N	NO ₃ -N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Na	Alcalini- dade	DBO	DQO	C org.	Turbidez	pH	CE
	----- mg L ⁻¹ -----																UNT	-	μS cm ⁻¹
21/11/07	0,3	0,8	0,30	0,2	17,3	195,1	58,2	< LD	1,7	0,1	< LD	34,5	ND	ND	ND	ND	ND	7,91	1350
28/11/07	< LD**	0,5	0,20	0,2	19,6	216,3	72,1	1,1	2,4	0,1	< LD	36,8	649,9	ND	ND	ND	3,2	7,69	1490
05/12/07	< LD	2,2	0,20	ND	11,6	153,0	82,3	0,7	3,8	0,1	< LD	37,9	727,7	ND	53,9	21,56	4,4	7,83	1350
12/12/07	1,1	2,4	0,20	0,3	22,9	239,8	75,0	2,8	6,3	0,1	< LD	37,9	669,1	25	25,9	10,36	16,9	7,28	1780
19/12/07	0,5	2,2	0,20	ND	19,6	239,1	80,8	1,7	8,4	< LD	< LD	31,0	702,7	35	26,2	10,48	16,5	7,61	1850
26/12/07	0,5	2,5	0,20	0,4	19,6	247,7	86,0	4,5	1,1	< LD	< LD	28,7	839,8	45	60,3	24,12	45,4	7,53	2000
02/01/08	< LD	1,7	0,30	0,4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	680,3	60	27,9	11,16	34,0	7,25	670
09/01/08	ND*	ND	0,10	0,4	16,7	219,7	21,7	5,1	12	0,1	ND	21,9	650,9	50	129,0	51,60	43,5	7,31	659
16/01/08	4,7	7,0	0,40	2,3	17,9	98,8	20,3	9,8	9,4	< LD	< LD	41,3	390,6	80	69,8	27,92	121,2	7,41	1120
23/01/08	ND	5,8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	54,1	21,64	ND	7,8	ND
30/01/08	7,3	12,2	ND	1,1	ND	ND	37,1	ND	ND	ND	ND	ND	471,8	ND	17,5	6,99	64,0	7,29	1220
06/02/08	< LD	1,9	0,01	0,3	13,9	98,2	76,5	< LD	1,3	0,1	< LD	20,7	412,1	ND	38,2	15,28	13,4	7,18	1150
13/02/08	1,0	2,2	0,25	0,4	21,0	104,0	88,1	4,6	8,3	< LD	< LD	21,9	746,2	ND	52,8	21,12	27,4	7,47	1500
Média	1,4	3,5	0,2	0,6	18,0	181,2	63,5	3,0	5,5	0,1	0,0	31,3	631,0	49	50,5	20,2	35,4	7,5	1344,9
CV (%)	2,4	3,3	0,1	0,7	3,4	62,0	25,5	3,0	3,9	0,0	0,0	7,6	143,9	19	31,0	12,4	34,0	0,2	420,9

* ND = Não determinado

** LD = Limite de detecção

Apêndice 6. Caracterização do percolado do tratamento Lagoa no período de irrigação do cultivo

Data	Atributos																		
	NH ₄ -N	NTK-N	NO ₃ -N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Na	Alcalini- dade	DBO	DQO	C org.	Turbidez	pH	CE
	----- mg L ⁻¹ -----																UNT	-	μS cm ⁻¹
21/11/07	ND*	0,8	ND	0,2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	27,3	10,9	0,5	7,95	1300
28/11/07	ND	ND	ND	ND	10,7	141,4	29,0	0,5	1,6	0,6	< LD	23,3	ND	ND	ND	ND	1,4	7,20	ND
05/12/07	<LD **	0,3	0,60	0,2	11,3	166,4	44,4	< LD	0,1	0,3	< LD	23,0	ND	ND	ND	ND	ND	7,94	1000
12/12/07	< LD	1,1	0,10	0,2	10,4	133,8	37,8	< LD	2,3	0,1	< LD	23,0	433,0	ND	ND	ND	0,7	7,54	1090
19/12/07	ND	ND	0,10	0,1	19,6	284,2	50,2	ND	4,7	0,1	< LD	21,9	496,3	ND	15,4	6,2	1,4	7,66	1170
26/12/07	0,3	0,0	0,10	0,2	14,9	160,0	48,7	< LD	3,2	< LD	< LD	32,2	439,7	30	50,6	20,2	4,6	7,35	1250
02/01/08	< LD	2,4	0,10	0,2	11,6	158,7	31,2	< LD	2,5	< LD	< LD	18,4	453,1	ND	ND	ND	2,3	7,43	1350
09/01/08	< LD	1,0	0,10	0,2	11,6	153,6	43,6	< LD	2,6	< LD	< LD	21,9	420,5	30	43,8	17,5	1,5	7,33	1390
16/01/08	0,5	1,5	0,10	0,2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	522,4	50	34,5	13,8	0,4	7,24	645
23/01/08	ND	ND	0,20	0,2	12,5	160,6	57,5	0,3	2,6	< LD	< LD	23,0	547,8	50	42,3	16,9	3,9	7,15	620
30/01/08	< LD	0,2	< LD	0,2	11,9	162,6	54,6	< LD	2,2	< LD	< LD	23,0	534,3	50	38,1	15,2	1,5	7,61	1420
06/02/08	0,7	0,7	0,10	0,2	12,2	162,5	21,0	< LD	2,7	< LD	< LD	17,3	552,1	25	12,0	4,8	1,7	7,54	1450
13/02/08	0,2	0,5	ND	0,2	12,8	166,1	40,7	0,7	3,3	< LD	< LD	19,6	554,0	ND	84,6	33,8	2,1	7,20	1350
Média	-	0,2	0,01	1,2	13,9	98,4	68,4	-	1,3	0,1	-	28,7	529,2	39	54,1	21,6	3,1	7,31	850
CV (%)	-	1,0	0,14	0,2	14,6	95,2	56,8	-	1,1	0,04	-	15,0	525,7	12	8,8	3,5	1,0	7,90	1200

* ND = Não determinado

** LD = Limite de detecção

Apêndice 7. Valores máximos permitidos de padrões para lançamento de efluentes - artigo 34 do § 5º da Resolução CONAMA 357

Tabela X – Lançamento de Efluentes	
Padrões	
Parâmetros Inorgânicos	Valor Máximo
	mg L ⁻¹
Arsênio total	0,5 As
Bário total	5,0 Ba
Boro total	5,0 B
Cádmio total	0,2 Cd
Chumbo total	0,5 Pb
Cianeto total <i>(novo valor dado pela Resolução nº 397/08)</i>	1,0 CN
Cianeto livre (destilável por ácidos fracos) <i>(nova redação e valor dados pela Resolução nº 397/08)</i>	0,2 CN
Cobre dissolvido	1,0 Cu
Cromo total hexavalente <i>(nova redação e valor dados pela Resolução nº 397/08)</i>	0,1 Cr ⁶⁺
Cromo trivalente <i>(nova redação e valor dados pela Resolução nº 397/08)</i>	1,0 Cr ³⁺
Estanho total	4,0 Sn
Ferro dissolvido	15,0 Fe
Fluoreto total	10,0 F
Manganês dissolvido	1,0 Mn
Mercúrio total	0,01 Hg
Níquel total	2,0 Ni
Nitrogênio amoniacal total	20,0 N
Prata total	0,1 Ag
Selênio total	0,30 Se
Sulfeto	1,0 S
Zinco	5,0 Zn

Fonte: Resolução CONAMA 357 e 397, Artigo 34.

Apêndice 8. Concentrações de nutrientes e de sódio nas folhas do milho para os tratamentos AM, UASB e Lagoa, na época do pendoamento

Repetição	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cu	Zn	Fe	Mn
	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹				
AM										
1	15,0	2,6	11,3	4,8	2,1	0,41	5,0	11,0	90	18
2	14,1	1,9	11,9	5,5	2,5	0,44	6,0	8,0	120	20
3	19,5	2,3	16,8	7,0	3,1	0,41	7,0	9,0	130	28
4	22,0	3,5	12,8	6,1	2,3	0,36	8,0	< LD*	100	36
5	23,6	3,2	13,1	6,4	2,4	0,31	9,0	37,0	110	42
6	16,5	1,7	12,5	5,9	2,3	0,25	4,0	< LD	70	21
7	22,4	3,2	15,4	7,2	3,6	0,36	6,0	7,0	90	28
8	18,2	3,3	10,7	5,1	2,4	0,31	6,0	7,0	80	32
9	16,7	2,5	12,2	5,0	2,3	0,17	3,0	< LD	60	13
10	15,0	2,1	10,7	5,5	2,8	0,36	9,0	29,0	210	31
11	15,1	2,4	11,0	5,3	2,5	0,41	5,0	2,0	80	31
12	13,5	2,4	12,2	4,9	2,4	0,39	5,0	< LD	70	27
Média	17,6	2,6	12,6	5,7	2,5	0,35	6,1	9,2	101	27
UASB										
1	11,6	3,0	10,7	4,1	2,3	0,28	5,0	2,0	90	24
2	4,6	4,0	11,6	4,5	2,8	0,31	5,0	3,0	90	20
3	12,8	3,1	11,0	3,4	2,0	0,39	5,0	1,0	80	24
4	16	3,2	10,7	4,5	2,7	0,33	6,0	6,0	90	20
5	19,1	3,6	11,3	5,1	2,9	0,33	7,0	9,0	100	24
6	15,9	3,8	12,2	4,0	2,6	0,50	5,0	6,0	90	22
7	19,2	3,6	10,7	4,9	2,6	0,33	8,0	12,0	110	21
8	18,9	4,4	11,0	5,4	3,4	0,33	6,0	10,0	100	20
9	20,8	2,9	10,7	5,0	2,3	0,36	7,0	11,0	100	22
10	25,1	3,9	11,9	5,3	2,7	0,47	8,0	13,0	120	22
11	20,9	3,9	12,2	5,0	2,6	0,33	7,0	12,0	110	24
12	23,8	4,8	11,0	5,0	2,7	0,41	8,0	19,0	120	29
Média	17,4	3,7	11,3	4,7	2,6	0,36	6,4	8,7	100	23
Lagoa										
1	12,3	3,2	10,2	4,2	2,4	0,22	4,0	< LD*	90	21
2	14,6	2,5	10,2	4,0	2,4	0,17	5,0	< LD	90	27
3	13,5	2,2	11,3	4,1	2,1	0,14	3,0	< LD	80	17
4	13,0	3,6	9,3	4,2	3,1	0,20	5,0	2,0	90	18
5	15,1	3,3	10,5	4,0	2,7	0,20	4,0	< LD	100	36
6	15,4	2,8	10,7	4,1	2,4	0,20	5,0	1,0	90	25
7	15,7	2,9	10,7	4,2	2,4	0,20	7,0	2,0	90	32
8	13,6	3,2	10,5	2,9	2,1	0,20	4,0	3,0	80	24
9	13,3	3,2	10,5	3,8	2,8	0,31	16,0	9,0	150	25
10	14,2	2,8	10,5	4,4	2,3	0,44	6,0	2,0	100	24
11	15,7	2,4	10,7	3,7	2,1	0,25	6,0	2,0	90	31
12	14,9	2,5	11,6	4,6	2,3	0,36	8,0	5,0	110	36
Média	14,3	2,9	10,5	4,0	2,4	0,24	6,1	2,2	97	26

O valor de cada repetição é a média das concentrações nas folhas de 5 plantas.

* LD = Limite de detecção

Apêndice 9. Massa seca da parte aérea (espiga inteira, colmo + folhas e total) dos tratamentos AM, UASB e Lagoa

Repetição	MS Espiga	MS Colmo+Folhas	MS Total
	----- kg ha ⁻¹ -----		
AM			
1	8.570	7.112	15.681
2	10.448	7.946	18.394
3	9.370	7.700	17.071
4	12.160	10.061	22.221
5	13.565	10.218	23.783
6	10.485	9.775	20.260
7	11.002	7.985	18.987
8	9.757	6.885	16.641
9	7.381	6.265	13.646
10	10.576	8.381	18.957
11	6.372	5.223	11.595
12	7.168	6.784	13.952
Média	9.738	7.861	17.599
UASB			
1	10.543	5.315	15.858
2	6.982	3.772	10.754
3	6.339	4.002	10.341
4	9.050	4.649	13.699
5	6.300	3.989	10.289
6	9.298	5.059	14.358
7	12.022	5.456	11.011
8	10.229	4.693	14.922
9	9.869	4.602	14.471
10	13.450	5.940	19.390
11	12.044	5.773	17.817
12	11.248	5.216	16.464
Média	9.781	4.872	14.115
Lagoa			
1	4.880	2.798	7.678
2	3.884	3.199	7.083
3	5.053	4.561	9.614
4	2.841	2.856	5.696
5	5.471	3.795	9.266
6	5.982	3.566	9.547
7	2.606	2.487	5.094
8	1.622	2.131	3.753
9	2.721	2.899	5.620
10	3.129	1.793	4.923
11	2.783	2.106	4.889
12	3.125	2.533	5.657
Média	3.675	2.894	6.568

O valor de cada repetição é a média da massa de 3 plantas.

Apêndice 10. Massa seca de grãos de milho nos tratamentos AM, UASB e Lagoa

Repetição	AM			
	Peso (g)	Umidade (%)	Peso seco (g/planta)	Peso seco (kg ha ⁻¹)
1	189,8	32,1	117,7	6.355
2	269,6	28,0	194,5	10.502
3	212,4	33,9	115,1	6.214
4	153,5	22,9	141,2	7.625
5	216,9	28,0	156,0	8.425
6	244,6	26,2	158,0	8.533
7	129,8	28,5	83,1	4.487
8	241,0	38,0	151,1	8.157
9	203,5	26,2	150,1	8.104
10	232,9	31,5	153,6	8.296
11	217,2	26,6	159,0	8.584
12	133,2	24,6	115,6	6.245
Média	203,7	28,9	141,2	7.627

Repetição	UASB			
	Peso (g)	Umidade (%)	Peso seco (g/planta)	Peso seco (kg ha ⁻¹)
1	280,4	28,2	192,3	10.387
2	276,2	27,7	190,8	10.302
3	291,9	37,1	159,5	8.612
4	251,8	22,0	196,5	10.612
5	202,2	27,9	145,5	7.860
6	249,2	46,3	150,9	8.149
7	212,8	43,6	138,0	7.452
8	279,9	24,6	210,4	10.955
9	189,3	44,9	85,3	4.604
10	228,1	37,5	142,1	7.671
11	240,9	32,2	162,3	8.766
12	271,9	27,8	196,8	10.627
Média	247,9	33,3	164,2	8.833

Repetição	Lagoa			
	Peso (g)	Umidade (%)	Peso seco (g/planta)	Peso seco (kg ha ⁻¹)
1	93,8	37,8	58,6	3.166
2	183,8	31,6	126,6	6.836
3	147,1	30,1	86,7	4.682
4	155,0	43,5	87,6	4.729
5	51,7	32,3	35,0	1.891
6	86,8	42,2	49,9	2.695
7	53,4	51,8	25,7	1.389
8	134,7	41,4	67,0	3.616
9	76,7	40,7	45,9	2.478
10	201,9	32,7	115,5	6.238
11	119,1	35,3	76,5	4.130
12	173,8	35,2	131,0	7.075
Média	123,2	37,9	75,5	4.077

O valor de cada repetição é a média da massa de grãos de 3 plantas.

Apêndice 11. Rendimento de grãos de milho dos tratamentos AM, UASB e Lagoa, com umidade corrigida para 13%

Repetição	AM	UASB	Lagoa
	----- kg ha ⁻¹ -----		
1	7.181	11.737	3.577
2	11.867	11.641	7.725
3	7.022	9.732	5.290
4	8.616	11.992	5.344
5	9.520	8.881	2.137
6	9.642	9.208	3.045
7	5.070	8.421	1.570
8	9.217	12.838	4.086
9	9.158	5.202	2.801
10	9.374	8.668	7.049
11	9.700	9.905	4.667
12	7.056	12.008	7.994
Média	8.618	10.019	4.607

O valor de cada repetição é a média do rendimento de grãos de 3 plantas.

Apêndice 12. Concentrações de nutrientes na espiga inteira dos tratamentos AM, UASB e Lagoa

Repetição	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cu	Zn	Fe	Mn
	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹				
AM										
1	9,9	1,4	1,7	0,09	0,4	0,17	3,0	42	28	< LD*
2	8,8	1,8	3,0	0,09	0,7	0,12	4,5	41	28	1,0
3	6,3	1,3	2,8	0,09	0,3	0,11	3,0	47	141	2,7
4	9,5	1,3	2,2	0,09	0,2	0,09	3,0	40	17	< LD
5	8,8	1,4	2,8	0,09	0,3	0,09	3,0	38	17	< LD
6	5,2	1,3	2,8	0,05	0,3	0,09	2,3	34	24	< LD
7	7,0	1,3	2,8	0,09	0,3	0,15	3,0	30	24	< LD
8	9,7	1,4	3,9	0,24	0,5	0,11	3,0	35	42	< LD
9	5,2	1,2	3,2	0,14	0,3	0,11	3,0	29	24	< LD
10	6,1	1,3	3,4	0,24	0,3	0,11	2,3	34	28	< LD
11	6,8	1,4	3,4	0,28	0,6	0,12	3,0	40	35	1,0
12	5,6	1,2	3,6	0,14	0,3	0,11	2,3	29	28	< LD
Média	7,4	1,4	3,0	0,14	0,4	0,11	3,0	37	36	1,6
UASB										
1	8,1	1,6	2,8	0,05	0,4	0,15	3,0	35	21	< LD
2	8,1	1,6	2,8	0,14	0,5	0,11	3,0	42	24	1,0
3	6,8	1,7	3,6	0,19	0,6	0,12	2,3	36	35	1,0
4	8,1	1,5	2,8	0,14	0,4	0,09	2,3	34	21	< LD
5	6,5	1,5	2,4	< LD	0,4	0,09	2,3	31	14	< LD
6	8,3	1,7	3,0	0,09	0,5	0,13	3,0	33	28	1,0
7	9,9	1,4	2,8	0,09	0,3	0,14	3,0	37	17	< LD
8	9,0	1,5	2,6	0,14	0,3	0,12	2,3	37	21	< LD
9	7,7	1,8	3,0	0,19	0,6	0,10	3,8	43	39	< LD
10	9,7	1,7	3,0	0,09	0,4	0,09	2,3	33	14	< LD
11	9,4	1,8	2,6	0,05	0,6	0,10	2,3	41	21	< LD
12	9,5	1,5	2,2	0,19	0,2	0,09	2,3	37	17	< LD
Média	8,4	1,6	2,8	0,11	0,4	0,11	2,7	36	23	1,0
Lagoa										
1	6,1	1,9	3,4	0,19	0,8	0,11	2,3	41	28	1,0
2	6,3	1,8	3,0	0,14	0,7	0,10	2,3	40	39	< LD
3	7,4	1,6	2,8	0,24	0,4	0,14	2,3	40	24	< LD
4	8,3	1,9	3,0	0,14	0,7	0,11	3,0	41	28	7,7
5	6,8	2,0	3,0	0,05	0,6	0,08	2,3	40	21	1,0
6	6,1	1,5	2,4	0,14	0,4	0,11	2,3	39	42	< LD
7	7,4	2,5	4,1	0,24	0,8	0,12	3,0	43	31	2,7
8	9,2	1,7	4,7	0,19	0,8	0,12	3,0	42	31	9,4
9	8,8	2,0	4,1	0,05	0,8	0,10	2,3	40	21	1,0
10	7,7	1,6	2,8	< LD*	0,4	0,09	1,6	39	31	4,4
11	7,7	1,9	4,5	0,09	0,6	0,13	3,0	40	24	7,7
12	7,2	1,7	3,4	0,19	0,6	0,10	3,0	38	28	2,7
Média	7,4	1,8	3,4	0,14	0,6	0,11	2,6	41	29	2,8

O valor de cada repetição é a média das concentrações de 3 plantas.

* LD = Limite de detecção

Apêndice 13. Concentrações de nutrientes em colmo+folhas dos tratamentos AM, UASB e Lagoa

Repetição	N	P	K	Ca	Mg	Na	Cu	Zn	Fe	Mn
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹			
AM										
1	4,3	1,1	13,1	4,5	4,3	0,47	5,9	59	314	77
2	3,2	1,0	12,7	3,5	3,8	0,43	6,6	58	254	68
3	1,8	1,4	13,8	3,2	3,2	0,49	5,9	53	402	82
4	3,6	0,8	11,2	3,0	3,6	0,43	11,0	77	275	58
5	-	0,7	13,5	3,3	2,6	0,47	6,6	67	243	50
6	2,3	0,9	10,4	2,7	2,7	0,38	4,5	41	243	41
7	2,2	0,5	12,5	4,0	3,1	0,43	5,9	40	155	55
8	3,2	0,3	10,6	4,4	3,1	0,43	5,9	47	331	80
9	3,4	0,4	10,0	2,9	2,9	0,38	3,8	33	293	55
10	1,6	0,5	10,2	3,0	3,2	0,47	3,8	40	211	46
11	-	0,5	8,9	3,5	3,7	0,53	4,5	44	381	72
12	-	0,3	7,9	2,8	3,2	0,39	3,0	28	197	48
Média	2,9	0,7	11,2	3,4	3,3	0,44	5,6	51	275	61
UASB										
1	3,4	1,6	10,2	3,0	3,9	0,46	6,6	53	116	51
2	2,9	2,5	14,0	3,7	4,7	0,44	5,9	52	201	75
3	4,0	1,5	10,6	3,1	3,8	0,67	5,2	39	226	134
4	3,2	1,6	11,4	3,7	4,1	0,44	5,9	58	187	77
5	4,0	2,2	12,5	4,0	11,0	0,41	5,2	65	91	68
6	3,6	1,3	10,4	3,0	2,6	0,56	5,9	44	162	90
7	5,2	1,3	10,6	3,9	3,3	0,50	7,4	73	226	68
8	5,2	1,5	10,4	3,9	3,5	0,49	8,8	91	187	78
9	4,7	1,7	12,3	3,5	3,5	0,49	5,9	67	102	65
10	6,1	1,3	10,2	2,7	2,9	0,45	9,5	59	141	57
11	3,8	1,5	13,8	2,8	3,4	0,47	6,6	60	95	51
12	4,3	1,4	9,7	2,7	2,9	0,40	8,1	64	141	58
Média	4,2	1,6	11,3	3,3	4,1	0,48	6,8	60	156	73
Lagoa										
1	2,3	1,4	9,7	3,0	4,0	0,51	5,9	60	423	73
2	1,8	2,4	11,4	3,8	4,2	0,50	5,2	65	526	99
3	0,9	1,6	9,7	2,8	3,6	0,50	5,2	52	617	97
4	2,9	2,5	8,9	4,0	4,8	0,53	6,6	60	321	130
5	1,8	2,3	9,5	3,1	4,4	0,53	5,2	53	353	104
6	1,3	1,7	10,4	3,1	3,8	0,46	5,9	53	346	83
7	2,0	2,6	7,4	3,1	4,1	0,43	5,2	75	391	80
8	1,4	2,6	5,1	2,7	4,3	0,45	3,8	75	360	93
9	3,2	3,0	7,9	3,2	4,7	0,42	4,5	75	413	97
10	0,9	2,3	6,8	3,1	4,6	0,51	3,8	84	571	105
11	1,4	1,8	5,1	2,1	3,1	0,37	3,8	63	314	97
12	2,5	2,0	5,7	2,9	3,7	0,44	4,5	77	331	104
Média	1,9	2,2	8,2	3,1	4,1	0,47	5,0	65	414	97

O valor de cada repetição é a média das concentrações de 3 plantas.

* LD = Limite de detecção

Apêndice 14. Concentrações de nutrientes nos grãos de milho dos tratamentos AM, UASB e Lagoa

Repetição	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Zn	Fe	Mn
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹			
AM										
1	12,0	2,3	2,3	0,1	0,8	0,9	2,0	33,0	39,0	7,0
2	15,0	3,0	3,3	0,1	1,1	1,4	2,0	39,0	25,0	10,0
3	12,0	3,3	3,5	0,1	1,1	1,2	2,0	35,0	22,0	8,0
4	9,3	2,9	3,1	0,1	1,0	1,1	2,0	32,0	19,0	6,0
5	12,0	2,8	3,0	0,1	1,1	1,2	2,0	35,0	21,0	7,0
6	6,7	3,1	3,2	0,1	1,1	1,2	2,0	38,0	22,0	7,0
7	14,0	3,3	3,1	0,1	1,2	1,2	2,0	37,0	23,0	8,0
8	8,4	2,9	3,2	0,1	1,0	1,0	2,0	30,0	16,0	6,0
9	11,0	2,8	3,0	0,1	1,0	1,1	2,0	32,0	21,0	6,0
10	13,0	3,2	3,1	0,1	1,1	1,2	2,0	39,0	21,0	8,0
11	11,0	3,0	3,3	0,1	1,0	1,2	2,0	32,0	18,0	7,0
12	9,7	2,9	3,1	0,1	1,0	1,0	2,0	30,0	19,0	7,0
Média	11,2	3,0	3,1	0,1	1,0	1,1	2,0	34,3	22,2	7,3
UASB										
1	12,0	3,0	3,2	0,1	1,0	1,1	2,0	32,0	17,0	6,0
2	13,0	3,0	2,9	0,1	1,1	1,2	2,0	34,0	21,0	8,0
3	14,0	2,9	3,0	0,1	1,1	1,1	2,0	33,0	20,0	8,0
4	14,0	2,8	3,0	0,1	1,0	1,1	2,0	32,0	16,0	7,0
5	12,0	3,2	3,1	0,1	1,1	1,2	2,0	36,0	25,0	8,0
6	14,0	3,5	3,1	0,1	1,3	1,2	2,0	38,0	29,0	9,0
7	13,0	3,0	3,2	0,1	1,1	1,3	2,0	32,0	23,0	8,0
8	13,0	2,6	2,8	0,1	0,9	1,2	2,0	30,0	16,0	6,0
9	14,0	2,8	2,8	0,1	1,0	1,1	2,0	35,0	22,0	7,0
10	14,0	3,4	3,4	0,1	1,2	1,2	2,0	34,0	27,0	9,0
11	14,0	3,0	3,1	0,1	1,1	1,2	2,0	33,0	23,0	8,0
12	16,0	3,3	3,2	0,1	1,2	1,3	2,0	35,0	25,0	8,0
Média	13,6	3,0	3,1	0,1	1,1	1,2	2,0	33,7	22,0	7,7
Lagoa										
1	9,6	3,1	3,2	0,1	1,1	1,1	2,0	32,0	17,0	6,0
2	10,0	3,0	3,1	0,2	1,1	1,0	2,0	33,0	32,0	15,0
3	10,0	3,4	3,3	0,1	1,2	1,0	2,0	38,0	31,0	12,0
4	12,0	3,3	3,1	0,1	1,3	1,1	2,0	38,0	32,0	10,0
5	13,0	3,1	2,9	0,1	1,2	1,1	2,0	32,0	30,0	8,0
6	9,5	2,8	3,2	0,1	1,0	1,0	2,0	29,0	26,0	7,0
7	11,0	3,1	3,2	0,1	1,2	1,1	2,0	35,0	30,0	9,0
8	13,0	3,5	3,5	0,1	1,3	1,2	2,0	42,0	37,0	9,0
9	12,0	3,5	3,3	0,1	1,3	1,2	2,0	37,0	27,0	10,0
10	5,1	3,2	3,5	0,1	1,1	1,2	2,0	34,0	27,0	8,0
11	10,0	3,1	3,2	0,1	1,1	1,1	2,0	34,0	21,0	7,0
12	14,0	3,2	3,2	0,1	1,1	1,2	2,0	33,0	23,0	8,0
Média	10,8	3,2	3,2	0,1	1,2	1,1	2,0	35,9	27,9	9,1

O valor de cada repetição é a média das concentrações nos grãos de 3 plantas.

Apêndice 15. Valores de altura e índice de área foliar do milho nos diferentes estádios fenológicos

Trat.	Rep	30/10/2007		6/11/2007		22/11/2007		6/12/2007		13/12/2007		21/12/2007		1/1/2008	
		IAF	Altura (cm)	IAF	Altura (cm)	IAF	Altura (cm)	IAF	Altura (cm)	IAF	Altura (cm)	IAF	Altura (cm)	IAF	Altura (cm)
AM	1	2,25	23,7	2,95	29,2	1,33	69,4	5,70	138,0	8,55	163,7	9,77	202,2	5,30	209,8
UASB	1	0,67	14,0	1,37	28,6	0,82	47,0	1,70	59,3	2,46	82,8	4,53	120,5	2,95	160,7
Lagoa	1	0,46	16,5	0,77	19,8	0,22	36,1	1,08	46,3	0,79	58,0	3,03	86,8	2,24	145,3
AM	2	2,07	18,7	1,99	26,3	0,81	60,5	5,99	126,2	7,31	161,7	9,55	199,3	5,22	205,2
UASB	2	0,75	15,0	1,59	31,1	0,76	44,1	1,94	63,8	2,69	90,3	4,96	134,0	3,41	164,5
Lagoa	2	0,66	17,8	0,86	19,1	0,30	29,8	0,97	49,0	1,01	58,2	2,82	82,0	2,53	152,0
AM	3	1,57	18,6	2,01	24,0	0,87	52,7	4,30	84,2	5,14	115,8	6,92	160,5	3,90	169,7
UASB	3	0,45	21,0	1,83	33,6	0,80	46,4	2,72	79,5	2,92	119,0	6,45	165,3	4,46	176,5
Lagoa	3	0,41	14,2	0,51	14,8	0,22	29,2	0,79	36,1	0,79	42,7	1,69	58,7	1,75	119,5
AM	4	2,16	20,8	1,81	27,4	0,83	53,1	4,27	99,2	5,14	137,0	7,46	167,7	3,68	173,2
UASB	4	0,96	25,0	1,86	34,3	0,84	53,9	3,81	105,0	3,27	150,3	7,28	190,5	4,84	192,3
Lagoa	4	0,73	12,8	0,73	17,2	0,35	36,2	1,28	47,2	1,20	64,2	3,02	91,8	2,63	144,5

9. RESUMO BIOGRÁFICO

Juliana Nichele, filha de Paulo Darci Nichele e Mercedes Maria Nichele, nasceu em 08 de agosto de 1979, na cidade de Porto Alegre – RS. Coursou o Ensino Médio na Escola Estadual Nicolau de Araújo Vergueiro em Passo Fundo. Em 2001, ingressou na Universidade de Passo Fundo – RS, graduando-se em Química, em agosto de 2005. Em março de 2007, iniciou o curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Faculdade de Agronomia na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Em fevereiro de 2009, iniciou atividade na Unidade de Gestão da Qualidade no Laboratório Nacional Agropecuário – LANAGRO/RS – do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA.