

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CÂMPUS DE BOTUCATU

**IRRIGAÇÃO DE MILHO POR SULCOS COM EFLUENTE DE  
ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO**

**TALITA APARECIDA PLETSCH**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP – Campus de  
Botucatu, para obtenção do título de Doutor  
em Agronomia (Irrigação e Drenagem)

BOTUCATU-SP

Agosto-2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**IRRIGAÇÃO DE MILHO POR SULCOS COM EFLUENTE DE  
ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO**

**TALITA APARECIDA PLETSCH**

Orientador: Prof. Dr Raimundo Leite Cruz

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP – Campus de  
Botucatu, para obtenção do título de Doutor  
em Agronomia (Irrigação e Drenagem)

BOTUCATU-SP

Agosto-2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

P726i Pletsch, Talita Aparecida, 1984-  
Irrigação de milho por sulcos com efluente de esgoto doméstico tratado / Talita Aparecida Pletsch. - Botucatu : [s.n.], 2012  
viii, 71 f. : il. color., gráfs., tabs., fots.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2012  
Orientador: Raimundo Leite Cruz  
Inclui bibliografia

1. Águas residuais - Reutilização. 2. Esgoto doméstico - Reutilização. 3. Irrigação. 4. Milho. 5. Química do solo. I. Cruz, Raimundo Leite. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU  
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

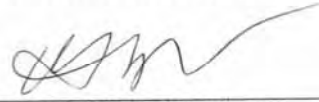
TÍTULO: "IRRIGAÇÃO DE MILHO POR SULCOS COM EFLUENTE DE  
ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO"

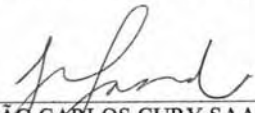
ALUNA: TALITA APARECIDA PLETSCH

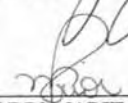
ORIENTADOR: PROF. DR. RAIMUNDO LEITE CRUZ


Aprovado pela Comissão Examinadora

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. RAIMUNDO LEITE CRUZ

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. ANTONIO EVALDO KLAR

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. JOÃO CARLOS CURY SAAD

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. MARITANE PRIOR

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. TARLEI ARRIEL BOTREL

Data da Realização: 13 de agosto de 2012.

## SUMÁRIO

1 RESUMO .....	1
2 SUMMARY.....	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	7
4.1 Reúso de água.....	7
4.2 Reúso de água na agricultura.....	9
4.3 Alterações nos atributos do solo causadas pela irrigação com esgoto.....	17
4.4 Irrigação com esgoto: efeitos sobre as plantas .....	19
4.5 Irrigação por sulcos.....	20
4.6 Cultura do milho.....	22
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	24
5.1 Caracterização da área experimental .....	24
5.1.1 Localização e edafologia .....	24
5.1.2 Dados climatológicos .....	25
5.1.3 Espécie cultivada.....	26
5.1.4 Delineamento experimental .....	27
5.1.5 Preparo da área e plantio.....	28
5.1.6 Tratos culturais .....	28
5.2 Irrigação .....	28
5.3 Avaliações dos atributos de plantas.....	34
5.4 Avaliações dos atributos de solo .....	34
5.5 Análise estatística .....	35

5.6 Análise espacial .....	36
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
6.1 Atributos de planta.....	37
6.1.1 Teste de média dos dados qualitativos .....	37
6.1.2 Análise espacial.....	40
6.2 Análise de atributos de solo .....	46
6.2.1 Amostras de solo nas linhas de plantio.....	46
6.2.2 Amostras de solo nos sulcos .....	51
7 CONCLUSÕES .....	64
8 REFERÊNCIAS.....	65

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Características do efluente de esgoto doméstico tratado que afetam o biossistema solo-planta.....	13
Tabela 2 - Fatores que afetam a escolha do processo de irrigação e as medidas protetivas requeridas quando se utilizam esgoto.....	15
Tabela 3- Exemplos no mundo de reutilização de ART para irrigação agrícola.....	16
Tabela 4 - Resultado da análise química do solo da área utilizada no experimento.....	25
Tabela 5 - Resultado da análise física do solo da área utilizada no experimento.....	25
Tabela 6 - Análise do efluente esgoto doméstico tratado (valores médios por mês).....	29
Tabela 7 - Análise da água do lago do Departamento de Engenharia Rural localizada no Campus da UNESP – FCA.....	30
Tabela 8 - Valores médios de atributos de plantas para os diferentes tratamentos.....	39
Tabela 9 - Atributos do solo nas linhas de plantio, antes e após o experimento irrigado com água e efluente.....	48
Tabela 10 - Atributos do solo nas linhas de plantio, antes e após o experimento irrigado com água e efluente.....	49
Tabela 11 - Atributos do solo nos sulcos de irrigação, antes e após o experimento irrigado com água e efluente.....	52
Tabela 12 - Atributos do solo nos sulcos de irrigação, antes e após o experimento irrigado com água e efluente.....	53

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1- Precipitação pluviométrica durante o experimento (maio a setembro de 2011) e precipitação pluviométrica média entre 1971-2011.....	26
Figura 2 -Variação das temperaturas máxima, mínima e média durante o experimento.....	26
Figura 3 - Esquema do plantio do experimento.....	27
Figura 4 - Transporte do efluente de esgoto doméstico tratado realizado com carreta-pipa. ....	30
Figura 5 - Irrigação por sulcos.....	31
Figura 6 - Esquema do sulcos de irrigação .....	32
Figura 7 - Plástico colocado no solo nas saídas dos orifícios para evitar a erosão .....	33
Figura 8 - Detalhe da caixa de recepção e da roldana do sistema de irrigação .....	33
Figura 9 - Comprimento das espigas despalhadas no TA(tratamento água), TE( tratamento efluente).....	38
Figura 10 - Mapas de isovalores da altura das plantas , inserção da espiga, relação inserção/altura e índice de espigas em TA e TE.....	42
Figura 11- Mapas de isovalores das variáveis, comprimento das espigas com palha (CP), comprimento das espigas despalhadas (CD), diâmetro das espigas com palha (DP) e diâmetro das espigas despalhadas (DD).....	43
Figura 12- Mapas de isovalores das variáveis peso das espigas com palha (PP), peso das espigas despalhadas ( PD) , peso da palha( P ), produtividade. ....	45

Figura 13- Mapas de isovalores dos atributos de pH antes e matéria orgânica(MO) antes e depois do experimento. ....	55
Figura 14 - Mapas de isovalores do atributo potássio (K) antes e depois do experimento..	55
Figura 15 - Mapas de isovalores dos atributos Ca depois do experimento, Mg antes e depois do experimento. ....	56
Figura 16 - Mapas de isovalores do atributo enxofre (S) antes e depois do experimento. ...	57
Figura 17 - Mapas de isovalores do atributo soma de bases(SB) antes e depois do experimento. ....	58
Figura 18 - Mapas de isovalores da capacidade de troca de cátions(CTC) antes e depois do experimento. ....	59
Figura 19 - Mapas de isovalores do atributo V%, antes e depois do experimento.....	59
Figura 20 - Mapas de isovalores dos atributos boro(B) antes e cobre(Cu) antes e depois do experimento. ....	60
Figura 21 - Mapas de isovalores do atributo ferro (Fe), antes e depois do experimento.....	61
Figura 22 - Mapas de isovalores do atributo manganês(Mn), antes e depois do experimento. ....	62
Figura 23 - Mapas de isovalores do atributo zinco (Zn), antes e depois do experimento....	63

**LISTA DE ABREVIATURAS**

Al <sup>3+</sup>	Alumínio
B	Boro
C.E	Condutividade elétrica
Ca	Cálcio
Cd	Cádmio
CD	Comprimento das espigas despalhadas
Cl	Cloro
CP	Comprimento das espigas com palha
Cr	Cromo
CTC	Capacidade de troca de cátions
Cu	Cobre
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DQO	Demanda química de oxigênio
DD	Diâmetro das espigas despalhadas
DP	Diâmetro das espigas com palha
EPP	Efeito pepita puro
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto

Fe	Ferro
H+Al	Acidez potencial
Hg	Mercúrio
K	Potássio
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
MO	Matéria orgânica
Mo	Molibdênio
N	Nitrogênio
Ni	Níquel
N-NH <sub>4</sub>	Nitrogênio amoniacal
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Nitrito
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrato
N-org	Nitrogênio orgânico
P	Fósforo
P	Peso da palha
PD	Peso das espigas despalhadas
PET	Politereftalato de etileno
pH	Potencial hidrogeniônico

PP	Peso das espigas com palha
PVC	Policloreto de polivinila
R <sup>2</sup>	Coeficiente de determinação
S	Enxofre
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SB	Soma de bases
SSF	Sólidos suspensos fixos
SSV	Sólidos suspensos voláteis
TA	Tratamento irrigado com água
TE	Tratamento irrigado com efluente de esgoto doméstico
TFSA	Terra fina seca ao ar
V%	Porcentagem de saturação por bases
Zn	Zinco

## 1 RESUMO

O reúso do efluente doméstico tratado na agricultura surge como alternativa de destino para o efluente, levando em consideração que este possui características físico-químicas que contribuem com a agricultura, ao mesmo tempo em que possui concentrações que, muitas vezes, ultrapassam os padrões adequados de lançamento nos corpos d'água. A disposição do esgoto doméstico tratado no solo aumenta a quantidade de matéria orgânica, nutrientes e ainda fornece água que a cultura necessita.

Neste estudo, o efluente de esgoto doméstico tratado foi utilizado para irrigação da cultura do milho, por meio de sulcos, tendo como objetivo avaliar a interferência da água residuária na produção da cultura e nos atributos químicos do solo. Os tratamentos aplicados foram irrigação com água (TA) e irrigação com efluente de esgoto doméstico (TE). O experimento foi conduzido durante uma safra, utilizando o híbrido simples de milho DOW 2B587.

Para análise agrônômica da cultura, avaliaram-se a altura das plantas, altura da inserção de espiga, relação altura/inserção, comprimento das espigas com e sem palha, diâmetro das espigas com e sem palha, peso das espigas com e sem palha, peso da palha das espigas, índice de espiga e a produtividade.

Os parâmetros avaliados em relação ao solo foram o fósforo (P), potássio (K), matéria orgânica (MO), enxofre (S), pH, cálcio (Ca), magnésio (Mg), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), porcentagem de saturação por bases (V%), alumínio ( $Al^{3+}$ ), acidez potencial (H+Al) e os micronutrientes, cobre(Cu), ferro (Fe),

manganês(Mn), zinco (Zn), boro (B), no início e final da safra, nas linhas de plantio e nos sulcos de irrigação.

Os resultados obtidos demonstraram que o reúso de efluente de esgoto, foi vantajoso para os atributos de plantas avaliados com valores estatisticamente maiores. A produtividade do tratamento efluente foi 50 % maior em relação ao tratamento água.

A matéria orgânica e o manganês do solo aumentaram significativamente na área irrigada com efluente de esgoto doméstico. A maioria dos atributos químicos do solo não foi influenciada pelo reúso de esgoto.

FURROW IRRIGATION FOR CORN CULTURE WITH TREATED SEWAGE EFFLUENT. Botucatu, 2012. 91 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: TALITA APARECIDA PLETSCH

Adviser: Prof. Dr. RAIMUNDO LEITE CRUZ

## **2 SUMMARY**

The reuse of treated domestic effluent in agriculture arises as alternative destination to the effluent, taking into account that it possesses physical and chemical characteristics that contribute to agriculture, while it possess concentrations that could many times exceed the appropriate standards of release into water bodies. The disposal of treated domestic sewage in the soil raises the quantity of organic matter, nutrients and the water that the culture needs. In this study the treated domestic sewage effluent was used to irrigation of corn culture, using furrows, having as objective evaluate the water waste interference on the culture production and on the soil chemical attributes. The applied treatments were with water (TA), and irrigation with domestic sewage effluent (TE). The experiment was conducted during a crop, using the simple hybrid of corn DOW 2B587. To the agronomic analysis of the culture were evaluated the plants heights, spike insertion height, ratio of height/spike insertion, spike length with and without straw, spike diameter with and without straw, spikes weight with and without straw, spike index and the productivity.

The evaluated parameters in relation to the soil were the phosphorus (P), potassium (K), organic matter (OM), sulfur (S), pH, calcium (Ca), magnesium (Mg), sum of bases (SB), cation exchange capacity (CTC), percentage base saturation (V%), aluminum ( $Al^{3+}$ ), potential acidity (H+Al) and the micronutrients, copper(Cu), iron(Fe), manganese (Mn), zinc (Zn), boron (B), at the beginning and the end of the crop, on the plantation rows and on the irrigation furrows.

The obtained results demonstrate that the reuse of sewage effluent can be advantageous for irrigation, because in all the plant attributes evaluated the values were statically higher. The productivity of the effluent treatment was 50 % higher in relation to the productivity of the water treatment. The organic matter and manganese increased significantly in the irrigated area with domestic sewage effluent. Most of the soil chemical attributes were not influenced by the sewage reuse.

---

Keywords: *wastewater, corn, soil chemical.*

### 3 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural finito e 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 (BERNARDI, 2003).

Os usos múltiplos, e as excessivas retiradas de água pelo homem aumentaram ao longo das décadas, contribuindo desta maneira para um quadro de degradação e poluição, diminuindo consideravelmente a disponibilidade hídrica, tanto em quantidade, quanto em qualidade em muitas regiões e países.

O crescimento populacional, industrial e a expansão das fronteiras agrícolas em todo mundo, tornam necessário o aumento da consciência sobre a importância do uso racional da água, da necessidade de controle e desperdícios e também do reúso da água, incluindo o uso de esgotos sanitários para diversos fins, oferecendo oportunidades de natureza econômica, ambiental e social.

O reúso de efluentes tratados, não é uma técnica nova, e vem sendo praticada cada vez mais, em várias regiões do mundo, tanto nas que sofrem com a escassez hídrica, quanto nas regiões com recursos hídricos abundantes.

As principais vantagens do reúso encontram-se no alívio da demanda e otimização dos recursos hídricos; ampliação de áreas irrigadas e reciclagem de nutrientes, com conseqüente economia de fertilizantes; e redução do lançamento de esgotos nos corpos receptores, onde o próprio solo torna-se um meio filtrante, diminuindo a contaminação e a eutrofização.

Dentre os múltiplos usos da água, a agricultura irrigada é a atividade que mais consome água. De acordo com Hespanhol (2003), ante aos problemas econômicos, sociais, e ambientais associados ao desenvolvimento de novas áreas, a irrigação passou a ser elemento prioritário para o aumento da produtividade agrícola, com crescimento significativo da prática em todo o Brasil.

Frente ao número crescente de áreas irrigadas e a escassez hídrica das regiões, a utilização de águas residuárias na agricultura, tornou-se uma ótima opção de fonte de água e nutrientes. A principal razão para a preferência da irrigação com águas tratadas de esgoto mesmo quando se conta com outras fontes é a grande quantidade de nutrientes, podendo eliminar ou diminuir a fertilização com adubos químicos, diminuindo também os custos de produção.

Diante do contexto o objetivo principal da pesquisa foi o de avaliar a utilização do efluente de esgoto doméstico tratado, via água de irrigação para a cultura de milho, por sulcos, avaliando assim a interferência da água residuária na produção da cultura e nos atributos químicos do solo.

## **4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1 Reúso de água**

A água é um fluido vital para todos os seres vivos, é essencial para consumo humano e para o desenvolvimento das atividades industriais e agropecuárias, caracterizando-se dessa forma como bem de importância global, responsável por aspectos ambientais, financeiros, econômicos, sociais e de mercado (COSTA, 2010).

A água é um recurso renovável através do ciclo hidrológico. Quando reciclada por sistemas naturais, é limpa e segura, sendo deteriorada a níveis diferentes de poluição por meio da atividade antrópica. Entretanto uma vez poluída, a água pode ser recuperada e reusada para fins benéficos diversos (BREGA FILHO; MANCUSO, 2003).

Segundo Marecos do Monte e Albuquerque (2010), a água pode ser reutilizada múltiplas vezes e para múltiplos usos, desde que seja tratada de modo a adquirir a qualidade compatível com esses usos e que a utilização seja economicamente viável, ambientalmente segura e aceita pela opinião pública.

De acordo com Lavrador Filho (1987), o reúso da água pode ser definido como o aproveitamento das águas anteriormente utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para suprir a demanda de outras atividades, ou da original. A prática pode decorrer de ações planejadas ou não planejadas, portanto o reúso pode ser considerado um instrumento importante de gestão dos recursos hídricos, permitindo a otimização e aumentando a oferta de água de boa qualidade para fins mais nobres.

Segundo Asano et al. (2007), o reúso da água é particularmente atraente na situação em que o abastecimento de água disponível é sobrecarregado e não pode atender a expansão de demandas de água em uma comunidade em crescimento.

Para Costa (2010), a técnica do reúso é cada vez mais reconhecida como uma das opções mais inteligentes para a racionalização dos recursos hídricos, mas dependem da aceitação popular, aprovação mercadológica e vontade política para se efetivar como tecnologia sistemática.

Além da necessidade de se desenvolver uma cultura e uma política de conservação de água em todos os setores da sociedade, o reúso consciente e planejado de águas de baixa qualidade - águas de drenagem agrícola, águas salobras, águas de chuva e, principalmente, esgotos domésticos e industriais - constitui o mais moderno e eficaz instrumento de gestão para garantir a sustentabilidade da gestão dos recursos hídricos nacionais (HESPANHOL, 2003).

Segundo Marecos do Monte e Albuquerque (2010), o reúso de água contribui para gestão sustentável, na medida em que contribui para aumentar os recursos hídricos necessários para satisfação das necessidades presentes e futuras e para usos nobres, reduzindo assim a vazão de águas residuárias tratadas descarregadas nos meios receptores aquáticos, protegendo os ecossistemas, na medida em que diminui a quantidade de poluentes lançados no meio.

Para Westerhoff (1984), o reúso é dividido em duas categorias: o potável e o não potável. O reúso potável pode ser:

- direto: quando o esgoto recuperado, por meio de tratamento avançado é diretamente reutilizado no sistema de água potável.
- indireto: o esgoto após tratamento é disposto nos corpos d'águas superficiais ou subterrâneos, para diluição e purificação natural, para depois ser captado para tratamento e utilizado como água potável.

Já o reúso não potável, pode ser dividido como:

- fins agrícolas: tem como objetivo a irrigação de plantas alimentícias, tais como árvores frutíferas e cereais, etc., e plantas não alimentícias, como pastagens e forrações. Ocorre também a recarga do lençol freático.
- fins industriais: usos industriais de refrigeração, águas de processo, utilização em caldeiras.

- fins recreacionais: irrigação de plantas ornamentais, campos de esportes, parques, enchimento de lagoas ornamentais e recreacionais, etc.
- fins domésticos: rega de jardins residenciais, descargas sanitárias, e utilização em grandes prédios.
- manutenção de vazões: utilização do efluente tratado visando manter uma vazão adequada para diluição de eventuais cargas poluidoras a eles carregadas, e proporcionando uma vazão mínima na estiagem.
- aquíicultura: consiste na produção de peixes e plantas aquáticas visando a obtenção de alimentos ou energia, utilizando os nutrientes dos efluentes tratados.
- recarga de aquífero subterrâneo: utilização do efluente para evitar o rebaixamento do seu nível, protegê-lo contra a intrusão salina de água do mar e armazenar esgoto tratado. Pode ser realizada por infiltração-percolação, onde a maior parte do esgoto penetra no solo, ou por injeção direta, onde o esgoto é injetado sob pressão no subsolo, utilizando poços profundos, minas abandonadas, cavernas.

#### **4.2 Reúso de água na agricultura**

A agricultura vem expandindo as suas áreas cultiváveis para regiões que não apresentam precipitação suficiente para o desenvolvimento da cultura, por este motivo, a irrigação tornou-se uma alternativa para a complementação ou aplicação total da lâmina de água necessária para a adequada germinação, crescimento e produtividade da cultura.

Além do efeito direto da disponibilidade de água para as plantas, outros fatores contribuem para que a irrigação proporcione aumento na produtividade da cultura. Esses são: o uso mais eficiente de fertilizantes, a possibilidade de emprego de uma maior densidade de plantio e a possibilidade de uso de variedades que respondem melhor à irrigação (EMBRAPA, 2006).

Segundo Hespanhol (2008), a irrigação pode intensificar a produção agrícola, regularizando ao longo do ano, as disponibilidades e os estoques de alimentos, uma vez que essa prática permite uma produção na contra-estação. Segundo o mesmo autor a irrigação é a maior consumidora de água entre os diversos usos, e que dentro dela, os consumos específicos variam bastante, dependendo do método de irrigação empregado, do solo, das diferentes culturas e dos índices de evaporação.

Conforme Ayers e Westcot (1999), a agricultura utiliza uma grande quantidade de água e tolera águas de qualidade mais baixa que a indústria e o uso doméstico, portanto, é inevitável que exista a tendência para que se encontre na agricultura a solução dos problemas relacionados com efluentes. O volume de águas residuárias disponíveis para a irrigação é insignificante em comparação com o total usado na agricultura irrigada, mas as consequências da sua utilização são de importância econômica, ambiental e social, onde a necessidade de planejamento é feita para controlar a longo prazo, os efeitos de salinidade, sodicidade, nutrientes e oligoelementos sobre solos e culturas.

Durante muitos séculos, as águas residuárias foram reutilizadas sem tratamento, com desconhecimento das consequências sobre a saúde pública e o ambiente. No século XX, principalmente na segunda metade do século, a reutilização para irrigação foi sendo praticada cada vez mais com águas residuárias tratadas, sendo o tratamento secundário geralmente reconhecido como o nível mínimo de tratamento prévio (MARECOS DO MONTE; ALBUQUERQUE, 2010).

Paganini (1997) afirma que a irrigação com despejos residuários pode ser definida como a descarga controlada do efluente sobre o solo com a finalidade de suportar o crescimento de plantações. O uso da irrigação como técnica de tratamento e disposição dos efluentes foi desenvolvida principalmente para esgotos domiciliares e para várias indústrias, e nesse processo os esgotos são submetidos a fenômenos diferentes, como: a infiltração até atingir o lençol subterrâneo; a incorporação pela vegetação e parcial lançamento à atmosfera pela evapotranspiração; a incorporação ao solo por reações químicas; a evaporação direta para a atmosfera.

Basicamente o esgoto doméstico é formado por 99,9% de água, e os outros 0,1% por sólidos grosseiros, areia, sólidos sedimentáveis e sólidos dissolvidos. De acordo com Paganini (1997), os esgotos domésticos são compostos por matérias orgânicas e inorgânicas nas formas dissolvida, coloidal e em suspensão. As concentrações dos vários componentes dos esgotos dependem de fatores como:

- características específicas das águas de abastecimento;
- usos aos quais essas águas são submetidas;
- clima da região;
- condições sócio-econômicas e hábitos da população;
- consumo per capita de água;

- presença de despejos industriais no sistema público;
- época do ano, bem como com as horas do dia.

A presença de nutrientes no esgoto sanitário pode constituir um problema nem sempre de fácil solução, uma vez que é necessário atender às exigências do Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama – para lançamentos em corpos d'água. Por outro lado, os nutrientes podem significar uma vantagem substancial para o reúso de água, especialmente em irrigação e piscicultura, pois são insumos necessários para o cultivo de plantas e de animais aquáticos (MOTA; VON SPERLING, 2009).

Segundo Van Der Hoek et al. (2002), se for tratado e controlado adequadamente, o efluente de esgoto doméstico, pode ser usado para fornecer vários nutrientes essenciais, como o nitrogênio e potássio, para o crescimento da planta. Este beneficia diretamente os agricultores, pois diminui o investimento em fertilizantes. Pescod (1992), afirma que os nutrientes contidos no efluente de esgoto doméstico tratado, são uma vantagem em relação às fontes convencionais de água para a irrigação e que em muitos casos os fertilizantes adicionais não são necessários.

Paganini (2003) relata que nas últimas duas décadas do século XX o uso de esgotos para irrigação aumentou significativamente, em virtude de fatores como: dificuldade de identificar fontes alternativas de água para irrigação; custo elevado de fertilizantes; custo elevado dos sistemas de tratamento necessários para adequar a qualidade do efluente, para descarte no corpo receptor; início da aceitação sociocultural da prática do reúso; segurança de que os riscos para saúde e para o meio ambiente são mínimos, se as técnicas adequadas são utilizadas; reconhecimento dos órgãos gestores que a prática de reúso é importante para a gestão dos recursos hídricos.

Um projeto de reúso para fins agrícolas necessita de um bom planejamento, e controle da atividade, pois envolve alguns riscos. De acordo com Costa (2010), entre os riscos do reúso não planejado, podem-se destacar: o comprometimento da saúde pública; contaminação do solo; contaminação do lençol freático; acúmulo de nitratos, compostos tóxicos, orgânicos e inorgânicos; a presença de microorganismos patogênicos pode resultar em problemas sanitários pela contaminação de culturas, água, solo e ar; acúmulo de contaminantes químicos no solo; e o aumento significativo de salinidade em camadas insaturadas.

Para Paganini (2003) para que se obtenha sucesso na utilização de esgotos e efluentes nas atividades agrícolas é importante que se observe alguns fatores,

como o objetivo do sistema e a maneira que o efluente será aplicado; as características do efluente; e as características do solo, clima e a localização do empreendimento.

Segundo Pescod (1992) o sucesso na utilização de águas residuárias tratadas para a produção agrícola dependerá em grande parte da adoção de estratégias adequadas para otimizar o rendimento das culturas, mantendo a produtividade do solo e a preservação do meio ambiente. Várias alternativas estão disponíveis e uma combinação dessas alternativas pode oferecer uma solução ótima para um determinado conjunto de condições. O usuário deve ter informação prévia sobre a oferta de efluentes e sua qualidade, para garantir a formulação e adoção de uma estratégia adequada.

De acordo com Marecos do Monte e Albuquerque (2010) o efluente de esgoto doméstico tratado deve satisfazer os requisitos agrônômicos e de saúde pública. Do ponto de vista agrônômico, devem-se atender as necessidades hídricas das plantas, e a água não deve ser o veículo de aplicação de substâncias prejudiciais ao seu desenvolvimento (como o excesso de sais dissolvidos, de sódio, de metais pesados, de cloro residual), transportando substâncias benéficas ao desenvolvimento (nutrientes – compostos de nitrogênio e de fósforo – o potássio, zinco, enxofre e boro). A proteção da saúde pública exige que a quantidade de microrganismos indicadores de contaminação fecal seja compatível com o tipo de exposição humana e animal e aos produtos irrigados.

De acordo com Ayers e Westcot (1999) quando existe a possibilidade de utilização de águas residuárias para a irrigação, deve-se primeiro avaliar suas características microbianas e bioquímicas segundo as normas de saúde pública, tendo em consideração o tipo de cultura, o solo, o sistema de irrigação e a forma em que se consumirá o produto. Na Tabela 1 encontram-se as principais características do efluente de esgoto doméstico tratado e os seus efeitos no biosistema solo-planta.

Tabela 1- Características do efluente de esgoto doméstico tratado que afetam o biosistema solo-planta

<b>Características</b>	<b>Parâmetro de avaliação</b>	<b>Efeito</b>
Salinidade e sais orgânicos dissolvidos	Sólidos dissolvidos totais, Condutividade elétrica, Íons específicos.	A salinidade prejudica o bom desenvolvimento das plantas; Alguns íons podem ser tóxicos ( Na, B,Cl); o Na provoca problemas de permeabilidade no solo.
Sólidos em suspensão	Sólidos suspensos totais (SSF+SSV).	Concentrações elevadas de SST podem provocar entupimentos nos equipamentos de irrigação.
Matéria orgânica biodegradável	DBO+DQO	Em efluentes tratados o teor de matéria orgânica em geral não causa problemas.
Compostos orgânicos refratários	Compostos específicos (fenóis, pesticidas, hidrocarbonetos, halogenados)	Resistem aos processos convencionais de tratamento (fenóis, pesticidas). Alguns são tóxicos e a sua presença pode ser limitante para o reúso.
Nutrientes	N (N-org + N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> + N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) P, K.	Nutrientes essenciais para o crescimento das plantas e que valorizam a água de irrigação. Aplicados em quantidades excessivas no solo provocam a poluição das águas subterrâneas.
Potencial hidrogênionico	pH	O pH das águas residuais afeta a solubilidade dos metais e a alcalinidade do solo.
Metais pesados	Elementos específicos (Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Zn).	Alguns metais acumulam-se no solo ou nas plantas e são tóxicos para as plantas e animais - podem ser fator limitante à utilização das águas.
Cloro residual	Cl livre. Cl combinado	Excesso de cloro livre pode causar queimaduras nas folhas. O cloro combinado não causa problemas.
Microrganismos patogênicos	Coliformes fecais Helminthos Organismos indicadores	Transmissão de doenças

Adaptado de Marecos do Monte e Albuquerque (2010)

Esses fatores são importantes e devem ser analisados para desta maneira evitar riscos com a salinidade do solo, a contaminação por metais pesados, a contaminação biológica, tanto dos produtos agrícolas quanto dos trabalhadores rurais, e também a lixiviação de poluentes até o lençol freático.

Asano et al. (2007) afirma que as águas residuárias de esgoto doméstico tratado representam uma fonte mais confiável e significativa do que as águas residuais de retorno agrícola, águas pluviais de escoamento e efluentes industriais.

Para Hespanhol (2003), sistemas de reúso de água para fins agrícolas adequadamente planejados e controlados proporcionam melhorias ambientais e melhorias de condições de saúde, entre as quais:

- minimização das descargas de esgotos em corpos de água;
- preservação dos recursos subterrâneos, principalmente em áreas onde há utilização excessiva de aquíferos;
- conservação do solo pela acumulação de húmus e aumento da resistência à erosão;
- aumento da concentração de matéria orgânica do solo, ocorrendo maior retenção de água;
- contribui em áreas carentes para o aumento da produção de alimentos, elevando assim, os níveis de saúde, qualidade de vida e condições sociais de populações associadas aos esquemas de reúso.

A escolha da técnica de irrigação que será utilizada depende geralmente da cultura escolhida e das características do efluente utilizado. Hespanhol (2003) relata que a aplicação de esgotos domésticos tratados pode ser realizada pelos seguintes métodos de irrigação:

- por inundação, molhando toda a superfície do solo;
- por sulcos, molhando apenas uma pequena parte da superfície do solo;
- por aspersores, molhando de maneira semelhante ao que ocorre durante as chuvas;
- por irrigação subsuperficial, permitindo a saturação do subsolo;
- por irrigação localizada, na qual a água é aplicada a cada planta individualmente, e a uma taxa ajustável.

Ayers e Westcot (1999) relatam que a irrigação com águas residuárias pode contaminar o ar, o solo e as plantas das áreas vizinhas, mas que a magnitude dessa contaminação depende de fatores como as condições climáticas, a cultura, o tratamento do efluente e do sistema de irrigação utilizado. A irrigação por sulcos não contamina o ar e a parte área das plantas, já a irrigação por gotejamento superficial e subsuperficial apresentam o menor risco de contaminação, no entanto são caros e

apresentam grande risco de entupimento. A irrigação por aspersão apresenta o maior risco de contaminação do ar e das culturas.

Mara e Cairncross (1989) relacionaram os diferentes riscos de saúde pública, grupos de riscos, custos e as eficiências nos usos da água, servindo como base para levantamento dos benefícios e custos associados a cada método de irrigação, apresentados na Tabela 2:

Tabela 2- Fatores que afetam a escolha do processo de irrigação e as medidas protetivas requeridas quando se utilizam esgotos

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

De acordo com Hespanhol (2003), muitos países das regiões áridas e semi-áridas, como os do Norte da África e do Oriente Médio, consideram o esgoto como parte de seus recursos hídricos, equacionando a sua utilização junto aos sistemas urbanos e rurais. Isso torna a prática no setor agrícola um importante elemento das políticas e estratégias na gestão dos recursos hídricos.

Para Marecos do Monte e Albuquerque (2010) a situação vem se modificando ao longo das últimas décadas e a prática do reúso agrícola vem sendo adotado também nas regiões ricas em recursos hídricos, caracterizando o objetivo principal de proteção ambiental. Na Tabela 3 apresentam-se alguns casos de projetos para a irrigação agrícola, bem sucedidos.

Tabela 3- Exemplos no mundo de reutilização de ART para irrigação agrícola

Monterey, Califórnia, EUA	1500 m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> aplicados na irrigação de hortícolas num projeto de pesquisa de 10 anos.
Cidade do México	5 a 300 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> são reutilizados na irrigação de 35.000 ha de culturas agrícolas.
Clermont-Ferrand, França	500.000 m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> de efluente secundário afinado em lagoas de maturação e por desinfecção são reutilizados na irrigação de 750 ha de milho.
Emilia Romagna, Itália	1250 m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> de águas residuais de Castiglione, Cesena, Casenatico, Cervia e Gatteo são reutilizadas na irrigação de 400 ha de área agrícola.
Vitoria, País Basco, Espanha	35.000 m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> de águas residuais tratadas são reutilizadas para irrigação agrícola.
Drarga, Marrocos	O esgoto de 10.000 habitantes são tratados em lagoas de estabilização e reutilizados para irrigação agrícola.
Região Dan e Projecto Kishon, Israel	O volume de águas residuais reutilizadas representa 20% da água utilizada na irrigação agrícola.
Kuwait	10% das águas residuais tratadas são reutilizadas na irrigação agrícola e paisagística. 25% da área agrícola são regadas com água reutilizada.
Taiyuan, China	500.000 m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> de efluente secundário de 7 ETAR são reutilizados após recarga do aquífero nas lagoas do Rio Fen.
Virginia, Austrália	120.000 m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> de efluente armazenado no solo são distribuídos a 250 agricultores para irrigação.

Adaptado de Marecos do Monte e Albuquerque (2010)

A principal dificuldade de um projeto de reúso ainda é o gerenciamento dos riscos que envolvem a atividade e principalmente a aceitação da

sociedade em consumir os alimentos irrigados desta maneira. Segundo Friedler (2006), a oposição da opinião pública ao projeto pode levar ao fracasso do mesmo, antes, durante ou após sua execução. Essa oposição pode ser resultante de uma combinação preconceituosa de crenças, medos, atitudes, desconfiança e falta de conhecimento geral, que geralmente é justificada, a julgar pelas freqüentes e altamente publicadas falhas de instalações de tratamento de águas residuais em todo o mundo.

De acordo com Asano (2007), a participação pública no planejamento e desenvolvimento de um de projeto, que utiliza águas residuárias de esgotos, é essencial para identificar as prioridades e as preocupações da comunidade, que incluem não só capital, mas também impactos, custos e segurança pública.

Segundo Leal (2007) a elaboração e a implementação de qualquer projeto de reúso para irrigação de culturas agrícolas não pode limitar-se a considerações de ordem estritamente técnica e ambiental, igualmente importante é que em todas as etapas do processo decisório, as necessidades, potencialidades e a realidade sócio- econômica - cultural da comunidade sejam compreendidas e consideradas.

Mckenzie (2005) afirma que a educação é a chave para superação dos medos públicos sobre um sistema de reutilização, particularmente temores relacionados com a saúde pública e qualidade da água, e esse fator torna-se ainda mais importante quando o projeto é pioneiro na região.

#### **4.3 Alterações nos atributos do solo causadas pela irrigação com esgoto**

De acordo com Bastos e Bevilacqua (2006) quando se pretende a utilização de esgotos sanitários para irrigação, além dos aspectos de saúde humana e animal, deve ser considerado o potencial fertilizante dos esgotos sanitários, procurando-se o melhor balanço possível entre a demanda, oferta de água, nutrientes e os efeitos da qualidade da água sobre o solo e as plantas, tais como o potencial de salinização e de comprometimento da capacidade de infiltração do solo, ou a toxicidade à íons específicos.

É consenso que o esgoto tratado quando aplicado ao solo para a irrigação de culturas pode substituir totalmente a água de irrigação convencional e parcialmente a adubação mineral. Entretanto, os esgotos são águas com características

particulares que apresentam em sua constituição elementos que promovem alterações em suas características físicas, químicas e biológicas (MONTES et al., 2006).

Os efeitos da aplicação de águas residuárias nas propriedades físicas e químicas do solo só se manifestam após longo período de aplicação e dependem das características do solo e do clima (ERTHAL et al., 2010).

Para Andrade Neto (1997), a aplicação dos nutrientes contidos nos esgotos ou efluentes tratados pode reduzir, ou mesmo eliminar, a necessidade de fertilizantes comerciais. Além disso, a matéria orgânica contida nos esgotos aumenta a capacidade do solo em reter água.

Entretanto, apesar das vantagens, a aplicação de efluentes na agricultura pode apresentar aspectos negativos no que diz respeito às condições de funcionamento e dinâmica do sistema solo. Por exemplo, a adição de Na pela irrigação pode provocar a dispersão de argilas, que por sua vez podem migrar, obstruindo os poros do solo e, conseqüentemente, influenciar diretamente o fluxo de soluções (MONTES et al., 2006).

Lucena (2006) observou em sua pesquisa que a irrigação com o efluente de esgoto tratado produziu no solo, nas condições do experimento: aumento dos teores de P, matéria orgânica, soma de bases trocáveis, CTC, sódio, percentagem de sódio trocável e conseqüentemente do pH do solo.

Duarte et al. (2008) em seu experimento irrigando pimentão com efluente de esgoto doméstico tratado, por aproximadamente 5 meses, observou que com exceção da concentração de matéria orgânica, não se constataram-se, em geral, alterações significativas nas concentrações de fósforo, potássio e pH do solo cultivado.

Parvan e Danesh (2009) irrigaram uma área com efluente de esgoto doméstico durante 6 anos e os resultados indicaram que cloro e o sódio aumentaram de forma significativa, em todas as profundidades. O magnésio, potássio e fósforo aumentaram na camada superior do solo (0-25), e somente o nitrogênio não apresentou mudanças significativas.

Deon (2010) conclui que a irrigação com efluente de estação de tratamento de esgoto permitiu reduzir a fertilização nitrogenada recomendada no cultivo da primeira e segunda socas da cana-de-açúcar.

#### 4.4 Irrigação com esgoto: efeitos sobre as plantas

Os nutrientes, ou íons essenciais às plantas, podem ser divididos em dois grupos principais: macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S), assim denominados por serem exigidos pelas plantas em grandes quantidades, e micronutrientes (Fe, Cu, Zn, Mn, Ni, Cl, Mo e B), exigidos pelo metabolismo vegetal em pequenas quantidades por participarem principalmente de reações enzimáticas (enquanto os macronutrientes, em geral, são principalmente constituintes de tecidos vegetais) (MOTA; VON SPERLING, 2009).

Geralmente o solo não apresenta todos os nutrientes em quantidades adequadas a cada cultura, sendo necessária a adubação. Diversos trabalhos indicam que a irrigação com esgoto doméstico tratado pode complementar a adubação recomendada às culturas.

Segundo Mota et al. (2006) o esgoto doméstico é constituído de 99% de água e 1% de colóides suspensos e dissolvidos, orgânicos e inorgânicos, incluindo macronutrientes (N,P,K) e parcialmente micronutrientes, portanto a utilização do esgoto na irrigação implica na diminuição de fertilizantes minerais e apresenta-se como importante forma de reciclagem de nutrientes.

Azevedo e Oliveira (2005) observaram que a irrigação com efluente de esgoto tratado aumentou em torno de 50% o peso do pepino fresco em relação a testemunha.

Reami (2009) em sua pesquisa com milho obteve maior produtividade nas plantas irrigadas com efluente de esgoto doméstico tratado e não observou a presença de metais pesados nas espigas. Azevedo et al. (2007), observou que a irrigação apenas com água residuária promoveu incremento da produtividade do milho forrageiro de 144% em relação à produção da testemunha que utilizou somente a água de abastecimento.

#### 4.5 Irrigação por sulcos

Segundo Mantovani et al. (2007) a irrigação por sulcos consiste na aplicação de água em pequenos canais ou sulcos. A água aplicada se infiltra ao longo do perímetro molhado e se movimenta vertical e lateralmente, umedecendo o perfil do solo.

Para Daker (1984) a irrigação por sulcos se diferencia principalmente da inundação, por não molhar toda a superfície do solo, diminuindo assim a perda por evaporação, reduzindo a formação de crosta em solos pesados e tornando possível cultivar o solo mais cedo após a irrigação.

A irrigação por sulcos é um método bastante antigo, largamente utilizado principalmente para culturas cultivadas em linhas. É uma alternativa viável devido ao seu baixo custo de implantação e por exigir menores custos de operação, bem como baixa dependência da indústria de equipamentos de irrigação, facilitando assim seu uso pelo agricultor (BERNARDO et al., 1977; BERNARDO, 1995). Scaloppi (1986) cita mais algumas vantagens em relação aos outros sistemas de irrigação, podendo-se destacar as seguintes:

- adapta-se a um grande número de solos e culturas;
- a operação é pouco afetada pelo vento;
- tem elevado potencial para aumento da eficiência de irrigação e redução do consumo de energia;
- não interfere nos tratamentos fitossanitários das culturas;
- permite a utilização de águas contendo grandes quantidades de sólidos em suspensão ou poluídas;
- maior flexibilidade para superar eventuais interrupções operacionais;
- possível a automação operacional.

Segundo Pescod (1992), a irrigação por sulcos é indicada quando se utiliza efluentes, por não molhar toda a superfície do solo, reduzindo a contaminação das culturas, já que as plantas são cultivadas em cumes, mas ainda assim o risco para a saúde dos trabalhadores rurais é de médio a alto, dependendo da automação. Esse risco diminui se o efluente for transportado através de tubos e entregue nos sulcos individuais por meio de tubulações fechadas.

Paganini (2003), diz que as principais vantagens desse sistema são facilidade da operação de distribuição dos efluentes e o baixo custo de execução, composto

basicamente pela terraplanagem dos canais e sulcos, e das pequenas obras complementares.

Naidu (2008) cita as desvantagens da irrigação por sulcos:

- acumulação de salinidade entre sulcos;
- perdas por escoamento e percolação;
- dificuldade de movimentação de equipamentos agrícolas;
- potencial erosivo do fluxo;
- maior compromisso de trabalho de operar de forma eficiente;
- dificuldade maior de automatização, principalmente na regulação para descarga igual em cada sulco.( exige experiência do irrigante, para controlar a vazão)

É inerente ao próprio método de irrigação por sulcos a perda de água por percolação no início do sulco e a perda por escoamento no seu final. O que se tem a fazer é dimensionar e manejar os sistemas de irrigação por sulcos de modo a minimizar as perdas por escoamento e percolação (MANTOVANI, et al. 2007).

Alguns parâmetros e características podem afetar a irrigação por sulcos e devem ser observados e criteriosamente calculados, como: forma, tamanho, comprimento, espaçamento, declividade, vazão de entrada, lâmina e as características de infiltração do solo (OLITTA, 1978; ANDRADE et al. 1998).

De acordo com Bernardo et al. (2005), ao dimensionar um projeto de irrigação por sulcos, deve-se selecionar a combinação das variáveis espaçamento, comprimento, declividade, vazão e tempo para aplicar a irrigação real necessária definida de acordo com a cultura, o solo e o clima, que melhor satisfaz um objetivo que geralmente é maximizar a eficiência do uso da água .

Segundo Mantovani et al. (2007) a irrigação por sulcos caracteriza-se por 3 fases em que a água fica disponível as plantas, e que são definidas da seguinte maneira:

- Fase de avanço: tem início no começo da aplicação de água no sulco e termina quando atinge o final do sulco. Pode ser representada por uma curva ou equação de avanço. Essa fase pode ser denominada tempo de avanço ( $T_a$ ), e que indica mais ou menos perdas por percolação no início do sulco.
- Fase de reposição ou irrigação: inicia-se quando a água atinge o final do sulco e termina quando a vazão é cortada. Pode ser denominada de tempo de

oportunidade (To), considerada a mais importante, pois é nela que se infiltra a lâmina desejada.

- Fase de recessão: é a fase entre o corte da vazão no início do sulco até o desaparecimento da água na superfície do sulco

De acordo com Botrel e Marques (2000), apesar de suas vantagens é um método pouco utilizado no Brasil, pois a elaboração de seu projeto é bastante trabalhosa e os profissionais da área, devido às dificuldades encontradas e à falta de incentivo de empresas, preferem optar por outros métodos de irrigação.

#### **4.6 Cultura do milho**

Provavelmente, o milho é a mais importante planta comercial com origem nas Américas. Há indicações de que sua origem tenha sido no México, América Central ou Sudoeste dos Estados Unidos. É uma das culturas mais antigas do mundo, havendo provas, através de escavações arqueológicas e geológicas, e através de medições por desintegração radioativa, de que é cultivado há pelo menos 5000 anos (DUARTE et al., 2011).

Para Fancelli e Dourado Neto (2000), o milho em função de seu potencial produtivo, composição química e valor nutritivo, constitui-se em um dos mais importantes cereais cultivados e consumidos no mundo. Outra característica marcante do milho, que colabora para a sua importância é a sua versatilidade, podendo ser empregado tanto na alimentação humana quanto na alimentação animal.

O milho não possui apenas aplicação alimentícia, ao contrário, os usos dos seus derivados estendem-se às indústrias química, farmacêutica, de papéis, têxtil, entre outras de aplicação ainda mais nobres. Entretanto, são dois processos que dão origem aos produtos utilizados em outros processos industriais, a moagem seca e a moagem úmida. No Brasil, a principal indústria moageira de milho é a do tipo “moagem seca”, enquanto nos países mais desenvolvidos a principal forma de processamento do milho é a “moagem úmida” (PAES, 2006).

Porém, de acordo com Duarte et al. (2011), o desenvolvimento da produção e do mercado do milho deve ser analisado, preferencialmente, sob a ótica das

cadeias produtivas ou dos sistemas agro-industriais (SAG). O milho é insumo para produção de uma centena de produtos, porém na cadeia produtiva de suínos e aves são consumidos aproximadamente 70% do milho produzido no mundo e 70 a 80% do milho produzido no Brasil. No consumo de milho destinado ao consumo animal, para a safra 2009/2010, 43,8% deste total foi direcionado ao setor avícola; 25% à suinocultura; 4,6% à pecuária, principalmente de leite, e 2,1% é usado para fazer ração para os outros animais.

Os maiores produtores mundiais de milho são os Estados Unidos, China e Brasil, que, em 2009, produziram: 333,01; 163,12; e 51,23 milhões de toneladas, respectivamente. O mercado mundial de milho é abastecido basicamente por três países, os Estados Unidos (49,7 milhões de t de exportações em 2009/2010), a Argentina (16,97 milhões de t) e o Brasil (8,62 milhões de t). Os principais consumidores são o Japão (15,98 milhões de t em 2009/2010), Coreia do Sul (8,46 milhões de t), México (8,3 milhões de t), Egito (5,83 milhões de t) e Taiwan (4,52 milhões de t) (DUARTE et al., 2011).

Segundo IBGE (2011), a produção nacional do milho em grão em 2011, para ambas as safras, foi estimada em 56,1 milhões de toneladas.

## **5 MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1 Caracterização da área experimental**

#### **5.1.1 Localização e edafologia**

O experimento foi conduzido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Produção Lageado da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA/UNESP), Campus de Botucatu-SP, localizada pelas coordenadas geográficas 22° 49' S e 48°25'W, altitude de 770 m.

Antes da instalação do experimento, realizou-se a coleta de amostras de solo para análise química conforme metodologia descrita por Raij et al. (2001) a 0,20 m de profundidade, com um trado holandês, onde coletaram-se amostras simples, formando uma amostra composta e análise física (granulométrica e textural), que foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Recursos Naturais - Ciência do Solo da Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Campus de Botucatu-SP, cujos resultados são apresentados nas Tabelas 4 e 5, respectivamente.

Tabela 4 – Resultado da análise química do solo da área utilizada no experimento

pH	M.O.	P <sub>resina</sub>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S
CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	-----mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----								mg dm <sup>-3</sup>
4,4	21	6	5	48	0,8	15	8	24	72	33	33

BORO	COBRE	FERRO	MANGANÊS	ZINCO
		----- mg dm <sup>-3</sup> -----		
0,46	10,0	37	17,6	3,5

Tabela 5 – Resultado da análise física do solo da área utilizada no experimento

Areia			Argila	Silte	Textura do Solo
Grossa	Fina	Total			
----(g Kg <sup>-1</sup> )----					
174	290	464	404	132	Argilosa

O solo da área experimental foi classificado como Nitossolo Vermelho distroférico, textura argilosa.

### 5.1.2 Dados climatológicos

De acordo com Cunha e Martins (2009), o clima da região conforme a classificação de Köppen é definido como *Cfa* clima temperado quente (mesotérmico) úmido, sendo a temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C.

Os dados de temperatura e precipitação foram obtidos na Estação Meteorológica do Departamento de Recursos Naturais - Ciências Ambientais, cerca de 700 metros de distância do experimento. As Figuras 1 e 2, respectivamente apresentam a precipitação e a temperatura máxima, média, e mínima durante o experimento.

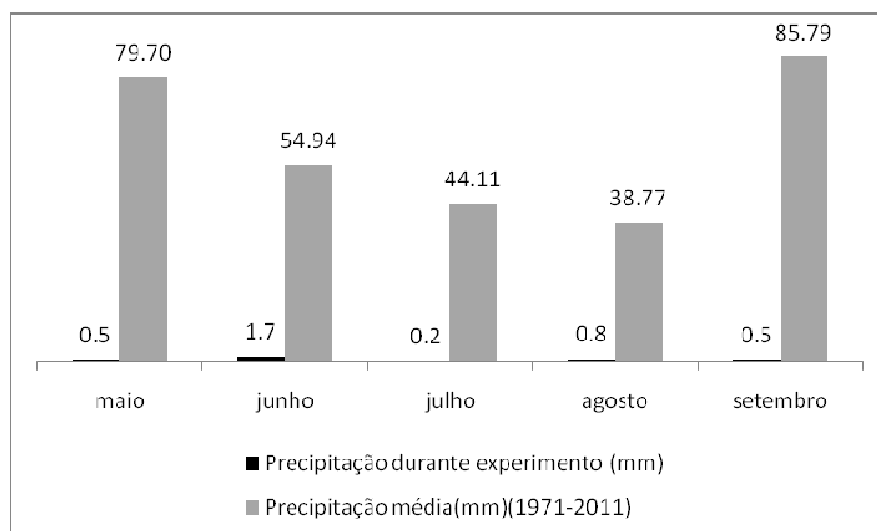


Figura 1-Precipitação pluviométrica durante o experimento (maio a setembro de 2011) e precipitação pluviométrica média entre 1971-2011.

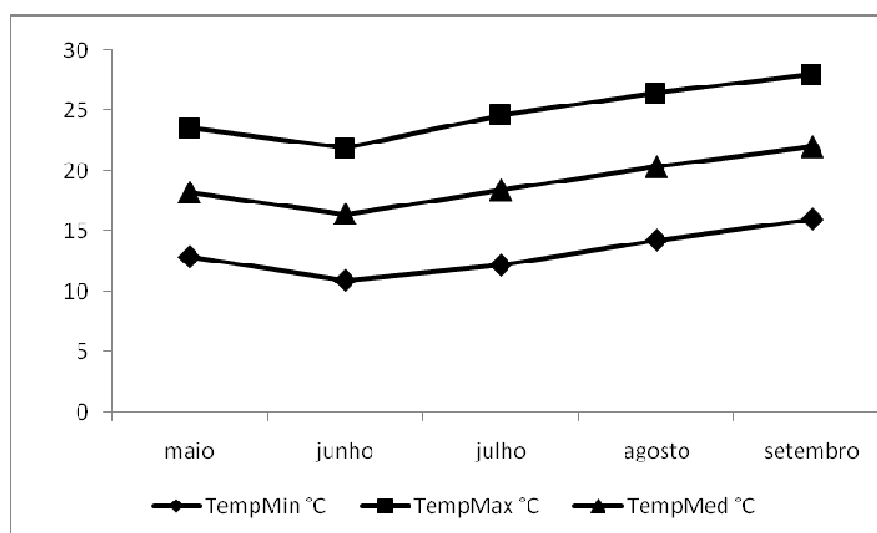


Figura 2 -Variação das temperaturas máxima, mínima e média durante o experimento

### 5.1.3 Espécie cultivada

Foi utilizado no experimento um híbrido simples de milho DOW 2B587, cujas características são, porte baixo, ciclo precoce, arquitetura de folhas normal e grãos de coloração amarelo alaranjada com textura semidentada com uso para grão, alto potencial produtivo e sanidade de espiga. Espigas com formato cilíndrico, de fácil

debulhamento, e bom empalhamento. Indicado para plantio no verão, épocas normais e tardias. Indicado para safrinha, nos plantios cedo e normal.

#### 5.1.4 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi montado em faixas, como representado na Figura 3, onde foram instaladas 16 linhas de plantio, sendo 8 para cada tratamento: irrigação com água (TA) e irrigação com efluente de esgoto doméstico tratado (TE). As amostras constituíram-se de 4 pontos, equidistantes (5, 35, 65 e 95 metros), ao longo dos 100 metros de comprimento de cada linha, com o experimento totalizando uma área de 1600 m<sup>2</sup>. O experimento foi dividido em 3 partes: a) avaliação dos atributos de plantas; b) avaliação dos atributos de solo na linha de plantio; c) avaliação dos atributos de solo no sulco.

Para os atributos de plantas, os resultados obtidos foram avaliados por meio de um esquema fatorial 2 x 4, sendo: 2 tipos de água de irrigação (TA e TE) e 4 pontos de coleta (5, 35, 65 e 95 metros), com as repetições correspondendo às 8 linhas de plantio em cada tratamento, totalizando 64 parcelas experimentais.

Os atributos de solo nas linhas de plantio e nos sulcos foram avaliados por meio de um esquema fatorial, 2x2, sendo: 2 tipos de água de irrigação (TA e TE) e duas épocas (antes e depois do plantio). Para avaliação das linhas, as repetições corresponderam à média de 4 pontos em cada uma das 8 linhas de plantio, enquanto nos sulcos a média de 3 pontos em cada sulco, para cada tratamento, totalizando em ambos, 32 parcelas experimentais.

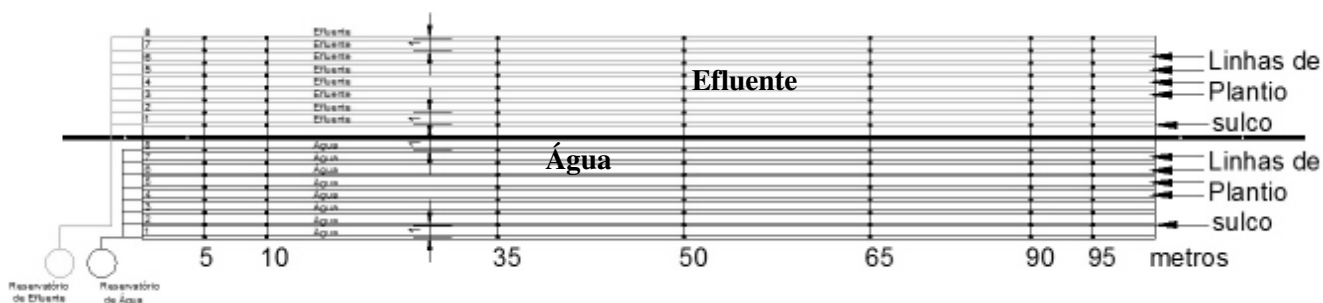


Figura 3 - Esquema do plantio do experimento

### 5.1.5 Preparo da área e plantio

Dois meses antes do plantio realizou-se a calagem na dosagem de 2,16 ton ha<sup>-1</sup> para elevar a saturação por bases a 70%, de acordo com Raij et al. (1996), com posterior gradagem e enxada rotativa.

A semeadura convencional foi realizada no dia 13/05/2011, com sulcagem por um sistema adaptado de “asa de andorinha, sendo que a semeadura e abertura dos sulcos ocorreram na mesma operação. Utilizando uma plantadora, realizou-se a semeadura e a distribuição do fertilizante, (350 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 08-28-16), sendo a adubação de plantio feita de forma igualitária para os dois tratamentos. O espaçamento entre linhas de plantio foi de 1 metro e densidade de semeadura de 5,7 sementes por metro linear, semeadas em 100 metros de comprimento.

A colheita das espigas foi realizada manualmente no dia 27/09/2011.

### 5.1.6 Tratos culturais

O controle de plantas invasoras foi realizado por capina manual. O controle das formigas cortadeiras foi feito pela aplicação de formicida granulado.

As adubações nitrogenada e potássica em cobertura, segundo recomendação de Raij et al. (1996), tendo como fontes a uréia e o cloreto de potássio, nas doses de 143,75 kg ha<sup>-1</sup> e 37 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, foi realizada em 21/06/2011, distribuídas manualmente em cada linha de plantio. As doses foram realizadas igualmente para os dois tratamentos.

## 5.2 Irrigação

O efluente utilizado no experimento foi cedido pela Estação de Tratamento de Esgoto da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), localizada na Fazenda Lageado, UNESP/FCA, Botucatu-SP.

A Estação de Tratamento de Esgoto entrou em funcionamento em 2006 e apresenta um sistema misto de tratamento, composto por tratamento preliminar (gradeamento, caixa de areia, calha Parshall), tanque de equalização, reatores anaeróbios

de fluxo ascendentes, tanque de aeração e decantadores, e trata atualmente 230 litros por segundo do esgoto coletado no Município de Botucatu-SP.

O efluente da ETE é destinado ao Rio Lavapés pertencente à classe IV, segundo o Decreto 10.755 de 22/11/1977 que dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976 e dá providências correlatas. A Estação de Tratamento de Esgoto reutiliza parte do efluente final para limpeza de desvios, passeios, após a desinfecção com cloro gás. O efluente utilizado no experimento foi o efluente final, mas sem a desinfecção com cloro gás. Na Tabela 6 são apresentados os resultados médios das análises realizadas no efluente de esgoto doméstico tratado durante o experimento.

Tabela 6 - Análise do efluente esgoto doméstico tratado (valores médios por mês)

<b>Parâmetros</b>	<b>Valores</b>
N	94,90 mg L <sup>-1</sup>
P	90,34 mg L <sup>-1</sup>
K	46,67 mg L <sup>-1</sup>
Ca	10,49 mg L <sup>-1</sup>
Mg	2,81 mg L <sup>-1</sup>
S	14,99 mg L <sup>-1</sup>
B	0,215 mg L <sup>-1</sup>
Cu	0,003 mg L <sup>-1</sup>
Fe	0,697 mg L <sup>-1</sup>
Mn	0,086 mg L <sup>-1</sup>
Zn	0,021 mg L <sup>-1</sup>
pH	7,17
C.E	0,637 mS

O transporte do efluente era realizado por carreta-pipa, conforme a Figura 4, pertencente à FCA-UNESP, com capacidade de 3m<sup>3</sup>, sendo necessários em cada irrigação aproximadamente 12 m<sup>3</sup>.



Figura 4 - Transporte do efluente de esgoto doméstico tratado realizado com carreta-pipa

Para o tratamento irrigado com água, utilizou-se como fonte para o experimento, a água do lago do Departamento de Engenharia Rural localizada no Campus da UNESP – FCA. Na Tabela 7 encontram-se os resultados médios das análises realizadas na água do lago durante o experimento.

Tabela 7 - Análise da água do lago do Departamento de Engenharia Rural (valores médios)

Parâmetros	Valores
N	7,3 mg L <sup>-1</sup>
P	4,0 mg L <sup>-1</sup>
K	6,5 mg L <sup>-1</sup>
Ca	0 mg L <sup>-1</sup>
Mg	0 mg L <sup>-1</sup>
S	5,1 mg L <sup>-1</sup>
Cu	0 mg L <sup>-1</sup>
Fe	0,51 mg L <sup>-1</sup>
Mn	0 mg L <sup>-1</sup>
Zn	0 mg L <sup>-1</sup>
pH	6,90
C.E.	0,024 mS

A irrigação por sulcos foi escolhida por não liberar aerossóis no ar, por ser uma opção de baixo custo e que não necessita de nenhuma filtragem permitindo assim a utilização de águas contendo altas quantidades de sólidos em suspensão ou poluídas, fato ocorrido no experimento, conforme representado na Figura 5. A escolha desse método também se deu pelo fato que tradicionalmente a área destinava-se a experimentos com irrigação por sulcos.

Os sulcos apresentavam formato triangular, com largura de 30 cm, e profundidade de 15 cm, conforme a Figura 6.



Figura 5 - Irrigação por sulcos

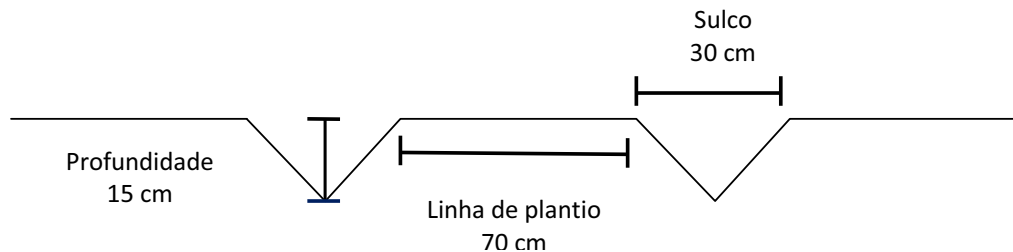


Figura 6- Esquema do sulcos de irrigação

O sistema montado é considerado de baixo custo, e foi descrito por Scaloppi (2011), e tem por objetivo reduzir custos com a irrigação e inserir um maior número de agricultores às vantagens da agricultura irrigada, aumentar sua receita líquida e melhorar sua qualidade de vida. Os materiais utilizados para a montagem do sistema foram:

- caixa de 5000 litros para armazenar o efluente de esgoto doméstico tratado;
- caixa para recepção de água de 1000 litros (para recepcionar a água bombeada do lago);
- tubos de PVC para esgoto com 100 mm de diâmetro;
- parte superior de uma garrafa PET, que era substituída assim que apresentasse alguma rachadura (2 litros, para tubos com 100 mm de diâmetro);
- linha de pesca (1,4 mm de diâmetro);
- uma roldana pequena plástica para guiar a linha ao centro do tubo (a abertura dos orifícios em cada sulco é realizada através da roldana, que prende a garrafa pet com a linha de pesca); (Figura 8)
- broca de copo para perfurar os orifícios nos tubos (1 - 3 cm de diâmetro, dependendo do comprimento dos sulcos);
- plástico para dissipar a energia cinética da água na saída dos orifícios e evitar a erosão. (Figura 7)

O manejo da irrigação foi realizado com o auxílio de dados obtidos pela utilização de tensiômetros instalados na área do experimento, em diferentes camadas (0-20 e 20-40cm).



Figura 7 - Plástico colocado no solo nas saídas dos orifícios para evitar a erosão  
Fonte: Scaloppi (2011)



Figura 8- Detalhe da caixa de recepção e da roldana do sistema de irrigação  
Fonte: Scaloppi (2011)

### 5.3 Avaliações dos atributos de plantas

Foram amostradas 12 plantas por ponto (6 antes e 6 depois de cada estaca), em 4 pontos equidistantes, nas 16 linhas de plantio, perfazendo um total de 768 plantas, sendo 384 em cada tratamento, para a avaliação dos seguintes atributos:

- Altura da planta: distância média, em centímetros, entre a superfície do solo e a folha bandeira.
- Altura de inserção de espiga: correspondeu distância média, em centímetros, entre a superfície do solo e a base da inflorescência feminina.
- Relação entre altura da espiga e altura da planta: a relação entre altura da espiga e altura da planta foi obtida pela razão entre altura de inserção de espiga e altura da planta.
- Índice de espiga: foi determinado pela razão entre número de espigas produtivas e número de plantas.
- Comprimento de espiga: correspondeu ao comprimento médio das espigas com e sem palha.
- Diâmetro da espiga: correspondeu ao diâmetro médio, da porção central das espigas com e sem palha.
- Peso das espigas: as espigas foram pesadas em balança, com e sem palha.
- Peso da palha das espigas: para obtenção do peso da palha das espigas, subtraiu-se o peso das espigas com palha, pelo peso das espigas despalhadas.
- Produtividade: foi obtida da pesagem dos grãos das espigas, e sabendo-se a área útil de cada ponto de amostragem, calculou-se a produtividade em  $\text{ton ha}^{-1}$  a 13% de umidade.

### 5.4 Avaliações dos atributos de solo

Foram coletadas amostras de solo na camada 0-20 cm, no início do experimento, antes da primeira irrigação e ao final do experimento, depois da última irrigação. Nas linhas de plantio foram coletados quatro pontos equidistantes (5, 35, 65, 95

metros) a partir do início de cada linha de plantio, perfazendo um total de 32 repetições por tratamento, e nos sulcos foram coletados três pontos; início, meio e final (10, 50, 90 metros) a partir do início de cada sulco, perfazendo um total de 24 repetições por tratamento.

As amostras coletadas foram secas ao ar e passadas por peneira de malha 2 mm, obtendo-se a TFSA (terra fina seca ao ar), e enviadas para o Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Recursos Naturais - Ciência do Solo da Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Campus de Botucatu- SP, para análise química conforme metodologia descrita por Raij et al. (2001).

Foram analisados os seguintes atributos:

- pH ( $\text{CaCl}_2$ );
- matéria orgânica (MO);
- fósforo (P);
- potássio (K);
- enxofre (S);
- cálcio (Ca);
- magnésio (Mg);
- SB (soma de bases);
- capacidade de troca de cátions (CTC);
- percentagem de saturação por bases (V%);
- alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ );
- acidez potencial (H+Al);
- cobre (Cu);
- ferro (Fe) ;
- manganês (Mn);
- zinco (Zn);
- boro (B).

## **5.5 Análise estatística**

Os resultados foram submetidos à análise de variância e a significância avaliada pelo teste F. Os efeitos do tratamento água de irrigação (TA, TE) foram avaliadas pela análise qualitativa, com contraste de médias por meio do teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para os atributos de solo, tanto nas linhas de plantio quanto

nos sulcos, nos casos em que não houve diferença significativa pelo teste F na interação, os efeitos de tratamentos foram analisados separadamente pela análise qualitativa, com o contraste de médias por meio do teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para as interações significativas entre fatores, pelo teste F, foi feito o desdobramento de cada nível de um fator dentro do outro, utilizando-se o software Statística 7.0 (STAT SOFT, 2004).

## **5.6 Análise espacial**

De acordo com Silva (2003), a geoestatística é uma ferramenta estatística utilizada para estudar a variabilidade espacial, que possibilita a interpretação dos resultados com base na estrutura da variabilidade natural dos atributos avaliados, considerando a dependência espacial dentro do intervalo de amostragem, podendo ser realizada em grandes áreas, abrangendo diversos tipos de solos ou em áreas menores.

A partir dos 64 pontos amostrais dos valores dos atributos de plantas e de solo nas linhas de plantio, foram estimados valores em locais não amostrados. Para isso utilizou-se a ferramenta de interpolação, que permitiu a confecção de mapas de isovalores (contorno) para o estudo e compreensão do comportamento espacial dos atributos na área, entre os tipos de água de irrigação utilizados, ao longo das linhas de irrigação e no caso do solo, para as duas épocas de amostragem (antes e depois do experimento). Os mapas foram gerados no programa Surfer 8.0 (GOLDEN SOFTWARE, 2002).

## **6 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **6.1 Atributos de planta**

#### **6.1.1 Teste de média dos dados qualitativos**

Na Tabela 8 são apresentados os valores médios dos atributos de plantas para os diferentes tratamentos.

Os valores de altura das plantas apresentaram diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade entre os tratamentos, com o TE obtendo valores superiores. Panoras et al. (2001) e Javarez Jr et al. (2010), irrigando milho por sulcos com efluente de esgoto doméstico tratado, obtiveram resultados semelhantes.

O TE apresentou valores significativamente maiores nos atributos, altura de inserção das espigas, comprimento das espigas com palha e despalhadas (Figura 9), diâmetro das espigas com palha e despalhadas, quando comparados com TA, indicando que a irrigação com efluente de esgoto colaborou positivamente no desenvolvimento das espigas.



Figura 9- Comprimento das espigas despalhadas no TA(tratamento água), TE( tratamento efluente).

Verificou-se que as espigas com palha do TE, apresentaram o dobro do peso em relação às espigas do TA. As espigas despalhadas do TE apresentaram cerca de 60 g a mais em relação às espigas do TA. Resultados semelhantes foram verificados por Azevedo et al. (2007), onde as espigas irrigadas com efluente obtiveram maior peso.

Tabela 8 - Valores médios dos atributos de plantas para os diferentes tratamentos

<b>Atributos</b>	<b>Água TA</b>	<b>Efluente TE</b>
Altura de plantas (cm)	107,79 a	135,81 b
Altura de inserção das espigas (cm)	43,37 a	59,89 b
Relação altura/inserção	0,39 a	0,43 b
Índice de espigas	0,77 a	1 b
Comprimento das espigas com palha (cm)	24,95 a	28,73 b
Comprimento das espigas despalhadas (cm)	12,47 a	17,13 b
Diâmetro das espigas com palha (cm)	14,06 a	17,13 b
Diâmetro das espigas despalhadas(cm)	12,14 a	13,81 b
Peso das espigas com palha (g)	106,04 a	215,94 b
Peso das espigas despalhadas(g)	70,93 a	131,35 b
Peso da palha das espigas (g)	35,1 a	84,6 b
Produtividade (toneladas por hectare)	0,94 a	1,88 b

Médias seguidas de mesma letra na horizontal não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5% .

O índice de espigas do TE diferiu estatisticamente do TA, comprovando que a irrigação com efluente contribuiu para o aumento do número de espigas produtivas colhidas.

O valor do peso médio da palha indicou que as espigas do TE, apresentavam melhor empalhamento do que as espigas do TA. De acordo com Miranda (2003) a palha protege os grãos da radiação solar, evitando que sejam submetidos às altas temperaturas nas horas mais quentes do dia, causando secamento rápido e trincamento do endosperma. Para Fonseca (2009), em pequenas propriedades que armazenam as espigas o bom empalhamento favorece a boa conservação, desfavorecendo o ataque de pragas.

A Tabela 8 apresenta a produtividade de grãos a 13% de umidade. A produtividade do TE foi 50% maior que o TA. Mesmo o TE apresentando o dobro de produtividade do TA, ambos apresentaram valores baixos quando comparados com a média da produtividade nacional da safrinha esperada pela CONAB (2011) de  $3.5 \text{ ton ha}^{-1}$ , esse fato deve-se ao plantio fora da época ideal para o milho e o efeito da exposição de 2 geadas ocorridas durante o experimento.

De modo geral, todos os atributos de plantas avaliados apresentaram diferença significativa pelo teste de Tukey com 5% de probabilidade, entre os tratamentos. O TE apresentou, em todos os atributos, os maiores valores, indicando uma possível colaboração do efluente no crescimento e produtividade das plantas, concordando com o trabalho de Javarez Jr et al. (2010), onde a irrigação por sulcos utilizando efluente tratado apresentou os maiores valores com relação à altura das plantas de milho e eficiência do uso da água, quando comparado ao tratamento irrigado com água não residuária.

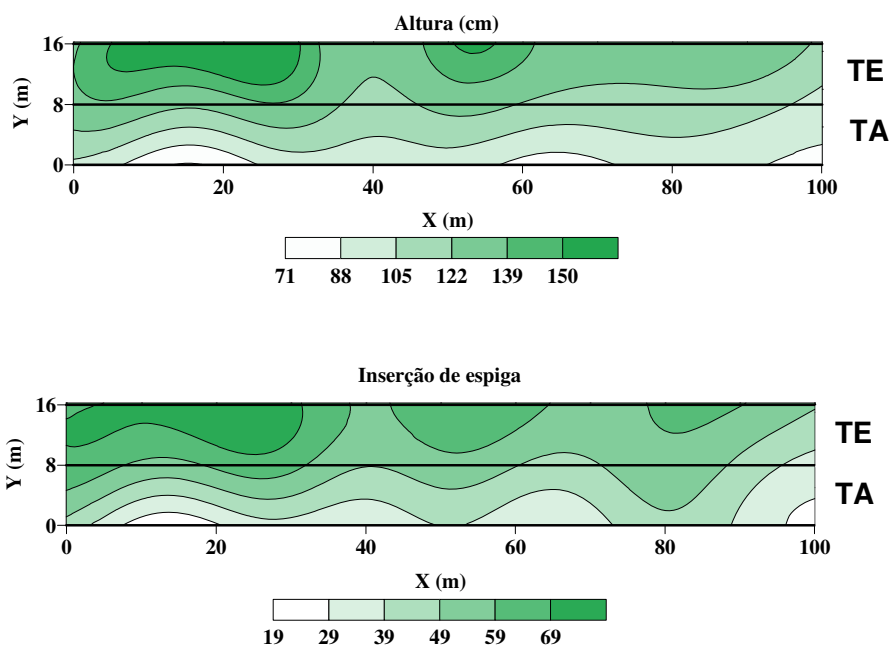
### **6.1.2 Análise espacial**

De posse dos pontos amostrais dos atributos de plantas e com a utilização de interpoladores espaciais, foi possível a estimativa de pontos em locais não amostrados, que possibilitou a criação de mapas de contorno para a interpretação espacial dos resultados dos atributos de plantas. Nas Figuras 10 a 12 são apresentados os mapas com a distribuição espacial dos atributos de plantas.

A Figura 10 apresenta os mapas de isovalores dos atributos, altura das plantas, inserção da espiga, relação inserção/altura e índice de espiga. Os maiores valores de altura, inserção das espigas e da relação altura/inserção, foram encontrados na área irrigada com efluente e nos primeiros 60 metros aproximadamente, indicando uma

maior concentração de nutrientes, levando ao maior crescimento das plantas nesta área. Por serem atributos correlacionados, os mapas dos 3 atributos apresentaram uma distribuição espacial semelhante.

O índice de espigas, que é a razão entre o número de espigas produtivas e número de plantas, indicou maiores valores no início da área para os 2 tratamentos, com os valores no TE superiores em relação ao TA. Observou-se ainda para o índice de espigas, uma distribuição com maior homogeneidade, evidenciada no mapa por uma maior continuidade espacial na direção longitudinal da área em ambos os tratamentos. Isso mostra que o atributo é afetado apenas pelo tipo da água de irrigação utilizado e que não sofre grandes alterações nos seus valores ao longo do comprimento das linhas de plantio.



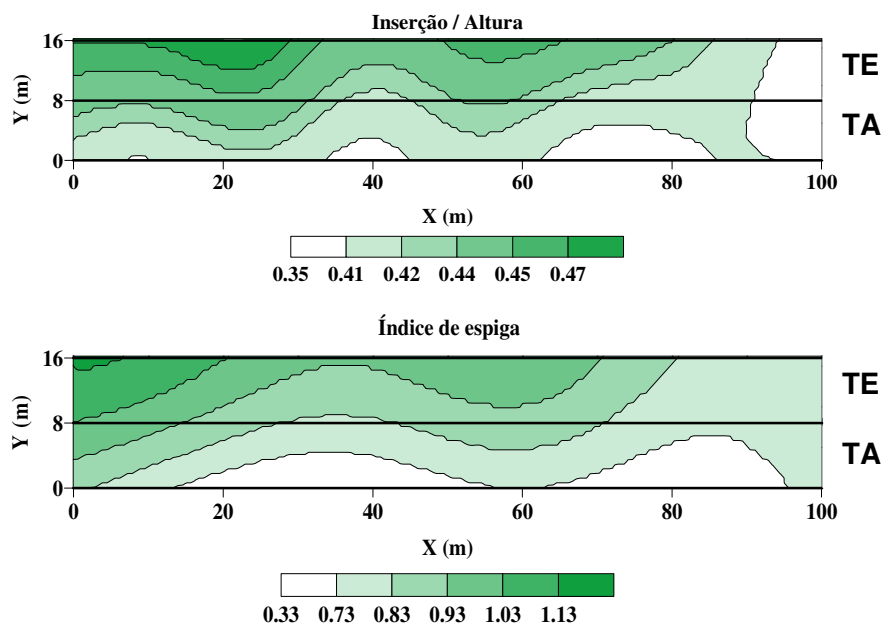


Figura 10– Mapas de isovalores da altura das plantas, inserção da espiga, relação inserção/altura e índice de espigas em TA e TE.

A Figura 11 apresenta os mapas dos atributos comprimento das espigas com palha (CP), comprimento das espigas despalhadas (CD), diâmetro das espigas com palha (DP) e diâmetro das espigas despalhadas (DD). Os valores dos atributos CP e CD foram superiores na área do TE, enquanto no TA encontram-se os menores valores para esses atributos, indicando a nítida diferença entre os tratamentos, como mostrado também pela análise estatística qualitativa da Tabela 8, onde os atributos apresentaram diferença significativa entre tratamentos pelo teste Tukey a 5%.

Ao contrário do observado na Figura 10, os atributos CP e CD mantiveram uma uniformidade ao longo das linhas para ambos os tratamentos, evidenciada nos mapas por uma maior continuidade espacial no sentido longitudinal. Para os atributos relacionados ao diâmetro das espigas, foi observado o mesmo comportamento espacial, com o atributo DP mantendo ao longo das linhas uma maior uniformidade e continuidade espacial em relação ao atributo DD, que apresentou os maiores valores principalmente nos primeiros 50 metros das linhas. Na área irrigada com água encontram-se os menores valores de diâmetros.

O comportamento espacial mostra que os atributos em questão são fortemente influenciados pelo tipo da água de irrigação utilizado e que não sofrem grandes

alterações em função do comprimento da linha de irrigação, principalmente no TA, onde a continuidade espacial do comprimento e diâmetro das espigas foi maior.

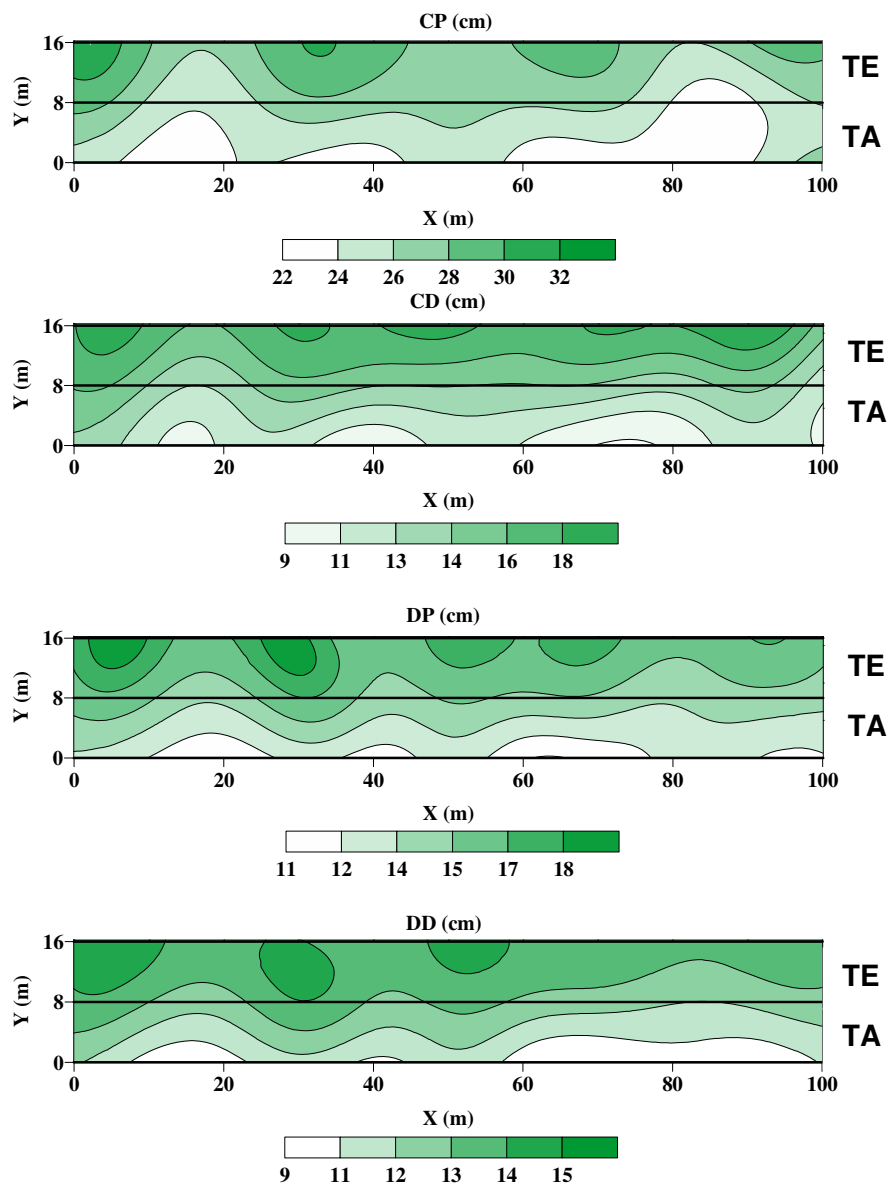


Figura 11- Mapas de isovalores das variáveis, comprimento das espigas com palha (CP), comprimento das espigas despalhadas (CD), diâmetro das espigas com palha (DP) e diâmetro das espigas despalhadas (DD).

A Figura 12 apresenta os mapas de isovalores dos atributos peso das espigas com palha (PP), peso das espigas despalhadas (PD), peso da palha (P) e produtividade.

As espigas que apresentaram maiores valores nos atributos peso com palha (PP) e despalhadas (PD), encontram-se aproximadamente até a metade da área irrigada com efluente. Este comportamento espacial foi o mesmo da Figura 10, que apresenta os valores de altura de plantas e altura de inserção das espigas. Para o atributo peso da palha (P), no TE os maiores valores também se concentraram nos primeiros 50 metros, enquanto no TA o P apresentou distribuição homogênea ao longo da linha, com a maior continuidade espacial apresentada no mapa, neste tratamento.

A produtividade média da Tabela 8 apresentou valores de 0,94 ton ha<sup>-1</sup> para TA e 1,88 ton ha<sup>-1</sup> para o TE. No mapa de análise espacial da Figura 12, nota-se que a área de maior produtividade, foi de 2,35 a 2,80 ton ha<sup>-1</sup> que localiza-se na primeira metade do TE, com redução a partir deste ponto até o final da área com os valores variando entre 1 a 1,45 ton ha<sup>-1</sup>. Esta descontinuidade espacial mostra que a irrigação com efluente é fortemente influenciada pelo comprimento das linhas de plantio, visto que uma maior variação da produtividade ocorreu ao longo da área neste tratamento.

A produtividade do TA apresentou maior continuidade espacial no sentido longitudinal da área, variando de 0,1 a 1,9 ton ha<sup>-1</sup>, com os menores valores encontrados na borda inferior do mapa, correspondendo a primeira linha de plantio do TA, o que indica uma pequena influência da leve declividade do terreno na produtividade da região. Os maiores valores foram encontrados nas linhas de plantio próximas ao TE, indicando uma possível interferência do efluente na produtividade desta área.

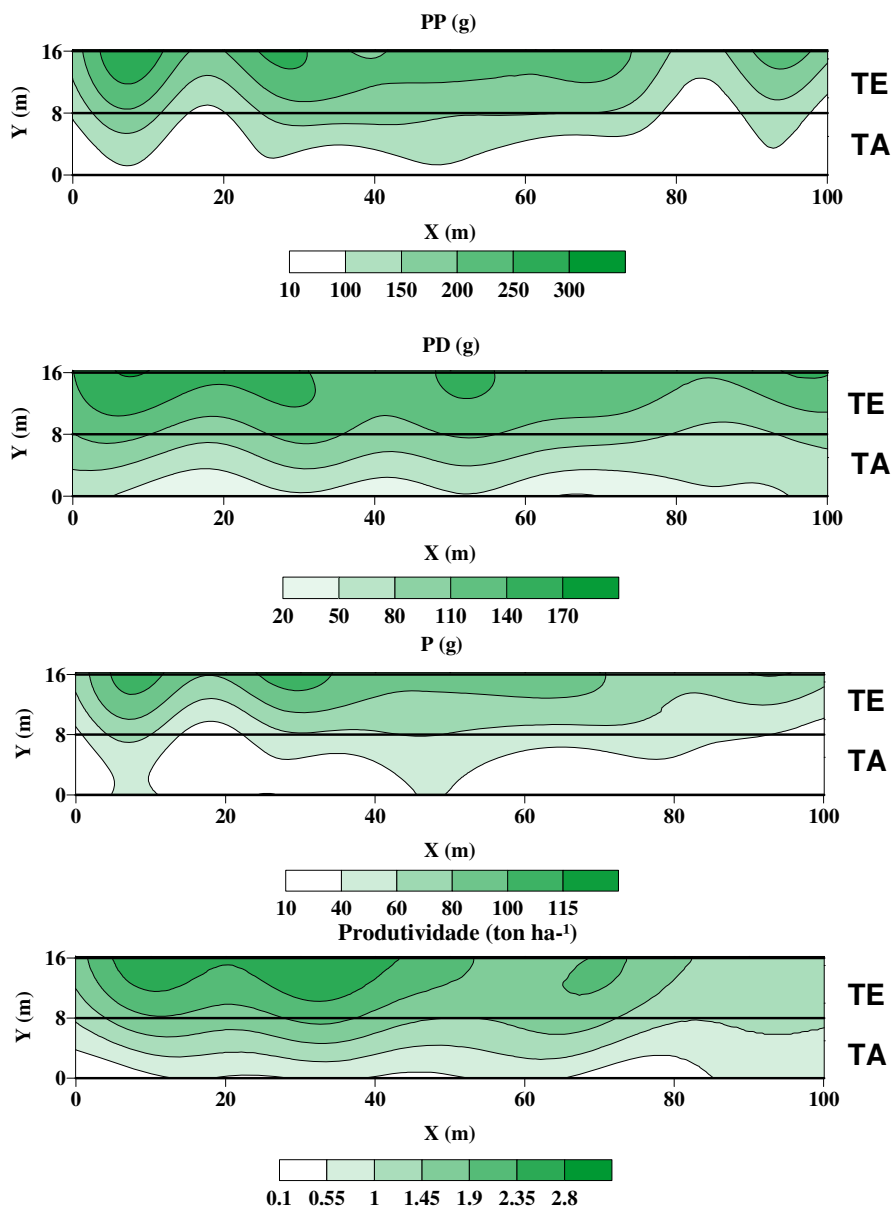


Figura 12- Mapas de isovalores das variáveis peso das espigas com palha (PP), peso das espigas despalhadas ( PD ), peso da palha( P ), produtividade.

A análise espacial dos atributos de plantas por meio dos mapas possibilitou identificar que os atributos, altura de plantas, altura da inserção das espigas, PP, PD e produtividade apresentaram os maiores valores para a primeira metade da área, comprovando assim a influência do comprimento das linhas de irrigação nesses atributos. Já para os atributos de comprimento CP e CD e de diâmetro DP e DD, ocorreu maior uniformidade e continuidade espacial, principalmente no TA, com as espigas mantendo o

diâmetro e comprimento ao longo das linhas de plantio, mostrando assim menor influência do comprimento das linhas de irrigação nestes atributos para o tratamento.

## **6.2 Análise de atributos de solo**

### **6.2.1 Amostras de solo nas linhas de plantio**

O solo foi amostrado antes e após o cultivo do milho e a consequente irrigação com água e efluente de esgoto doméstico tratado. Foram amostrados na camada 0-20 cm, 4 pontos equidistantes em 8 linhas de plantio, perfazendo um total de 32 repetições para cada tratamento. Os valores são apresentados nas Tabelas 9 e 10 respectivamente.

Segundo Meurer (2007), o pH do solo na faixa de 5,5 a 6,5 é favorável ao crescimento da maioria das plantas, sendo inclusive a faixa de pH ideal para a cultura do milho. No presente experimento, o pH ficou abaixo da faixa ideal, antes e depois em ambos tratamentos. Os valores de pH do solo não apresentaram diferenças significativas após o experimento para os 2 tratamentos, concordando com os resultados de Duarte et al. (2008), Nichelle (2009), que se assemelham com o presente trabalho por serem de curta duração (meses). Khai (2008) e Hu et al. (2006), avaliando solos com mais de 30 anos de irrigação com efluente de esgoto doméstico tratado indicam elevação do pH com o passar do tempo. De acordo com Raij (2001) o pH antes e depois do TA foi considerado como baixo e para o TE o pH foi considerado médio antes e baixo depois, já para Meurer (2007) os valores ficaram na faixa de classificação de solos muito ácidos.

A área do TA apresentava naturalmente uma menor quantidade de matéria orgânica quando comparada a área do TE. A matéria orgânica é um componente chave para a manutenção física, química e biológica dos solos e para a sustentabilidade dos sistemas (SILVA; MENDONÇA, 2007) podendo ser considerado o indicador mais simples e entre os mais importantes para se medir qualidade do solo e consequentemente dos agroecossistemas (LOPES; GUILHERME, 2007).

Os teores de M.O para o TA, apresentaram acréscimo discreto, mas significativo a 5% de probabilidade. Para o TE o acréscimo foi cerca de  $6 \text{ g dm}^{-3}$ , considerado significativo pelo teste de Tukey, concordando com os trabalhos de Mojiri (2011) e Mohammad e Mazahreh (2003), que apresentaram um acréscimo de M.O no solo

irrigado com efluente de esgoto doméstico tratado. Maiores teores de M.O foram observados nas linhas de plantio do TE em relação ao solo de dentro dos sulcos, apresentado na Tabela 11, indicando o movimento lateral do efluente no sulco de irrigação, concordando com o trabalho de Souza (2004).

O fósforo (P) nas áreas dos tratamentos com água residuária e água, antes do cultivo, apresentavam valores de 36,90 e 39,41 mg dm<sup>-3</sup> para TE e TA, respectivamente, sendo esses valores considerados médios por Raij (2001). Após o experimento os valores foram classificados como baixo em ambos os tratamentos, com a maior diferença no TA, contrastando com Mojiri (2011) onde os valores de fósforo aumentaram na irrigação com efluente.

Os valores de alumínio, H+Al, para os dois tratamentos, antes e após o cultivo, não apresentaram diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os valores de K diminuíram significativamente pelo teste de Tukey nas linhas de plantio após o experimento nos 2 tratamentos, diferentemente de Mojiri (2011). Apesar da diminuição os valores permaneceram dentro da faixa considerada como valores médios por Raij (2001). Os valores de cálcio e magnésio diminuíram nos 2 tratamentos, mas somente os valores do TA apresentaram diferenças significativas pelo teste de Tukey. O cálcio e o magnésio antes do experimento foram classificados como valores altos para TA e TE e após o experimento somente o magnésio do TE foi classificado como médio por Raij (2001). Hu (2006) encontrou aumento significativo de cálcio e magnésio em solo irrigado a mais de 30 anos com efluente de esgoto.

Tabela 9- Atributos do solo nas linhas de plantio, antes e após o experimento irrigado com água e efluente.

<b>Atributos</b>	<b>Épocas</b>	<b>Água TA</b>	<b>Efluente TE</b>
pH	Antes	5,0 Aa	5,1 Aa
	Depois	4,9 Aa	5,0 Aa
M,O (g dm <sup>-3</sup> )	Antes	17,25 Aa	24,73 Ba
	Depois	18,75 Ab	30,78 Bb
P <sub>resina</sub> (mg dm <sup>-3</sup> )	Antes	39,41 Aa	36,20 Aa
	Depois	11,00 Ab	24,77 Bb
Al <sup>3+</sup> (mmolc dm <sup>-3</sup> )	Antes	0,8 Aa	0,9 Aa
	Depois	0,8 Aa	1,1 Aa
H+Al (mmolc dm <sup>-3</sup> )	Antes	32,1 Aa	32,70 Aa
	Depois	30,00 Aa	32,60 Aa
K (mmolc dm <sup>-3</sup> )	Antes	2,21 Aa	2,85 Ba
	Depois	1,40 Ab	2,02 Bb
Ca (mmolc dm <sup>-3</sup> )	Antes	25,10 Aa	27,80 Aa
	Depois	19,32 Ab	25,81 Ba
Mg (mmolc dm <sup>-3</sup> )	Antes	8,42 Aa	11,20 Ba
	Depois	7,42 Ab	10,64 Ba

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na horizontal e médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical, não diferem pelo teste de Tukey a 5% probabilidade.

Na Tabela 10 são apresentados os valores dos atributos nas linhas de SB, CTC, V%, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn, antes e após o experimento.

Tabela 10- Atributos do solo nas linhas de plantio, antes e após o experimento irrigado com água e efluente.

<b>Atributos</b>	<b>Épocas</b>	<b>Água TA</b>	<b>Efluente TE</b>
SB (mmolc dm <sup>-3</sup> )	Antes	36 Aa	42,00 Ba
	Depois	28 Ab	38,47 Ba
CTC (mmolc dm <sup>-3</sup> )	Antes	67,80 Aa	74,50 Ba
	Depois	58,14 Ab	71,09 Bb
V%	Antes	52,41 Aa	55,87 Aa
	Depois	48,36 Ab	53,60 Ba
S (mg dm <sup>-3</sup> )	Antes	44,30 Aa	16,32 Ba
	Depois	37,40 Aa	11,87 Bb
Boro (mg dm <sup>-3</sup> )	Antes	0,24 Aa	0,28 Ba
	Depois	0,41 Ab	0,47 Bb
Cobre (mg dm <sup>-3</sup> )	Antes	7,30 Aa	7,94 Ba
	Depois	6,50 Ab	7,67 Ba
Ferro (mg dm <sup>-3</sup> )	Antes	26 Aa	35,33 Ba
	Depois	19 Ab	26,44 Bb
Manganês (mg dm <sup>-3</sup> )	Antes	13,50Aa	22,47 Ba
	Depois	16,00 Aa	27,00 Bb
Zinco (mg dm <sup>-3</sup> )	Antes	1,91 Aa	4,32 Ba
	Depois	1,12 Ab	3,72 Ba

Médias seguidas da mesma letras maiúscula na horizontal e médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical, não diferem pelo teste de Tukey a 5% probabilidade.

Os valores de soma de bases (SB) e de CTC diminuíram de forma significativa nos 2 tratamentos, concordando com o trabalho de Souza (2004). O TA apresentou a maior diferença de valores, para esses parâmetros, entre antes e depois da avaliação realizada.

A saturação por base (V%) foi considerada igual para os 2 tratamentos, antes do experimento. Após o experimento, os valores de V% diminuíram nos dois tratamentos, com diferença significativa somente para o TA.

Os teores de enxofre (S) na área onde se implantou o tratamento irrigado com água apresentou valor de 44,30 mg dm<sup>-3</sup>, apresentando diferença significativa em relação a área onde implantou-se o tratamento com efluente, que apresentava 16,32 mg

$\text{dm}^{-3}$ . Nos dois tratamentos, os valores tiveram um decréscimo discreto, considerando-se somente significativa a diferença no TE. Os valores de antes e depois do experimento foram classificados como altos por Raij (2001).

Os valores de cobre, ferro e zinco diminuíram após o experimento nos 2 tratamentos, mas todos ficaram classificados como altos de acordo com Raij (2001). Para cobre e zinco o decréscimo foi considerado significativo somente para o TA, enquanto que para o ferro a diferença foi significativa nos 2 tratamentos. Para Koupai (2006), a irrigação com efluente não promoveu efeito significativo nos valores de cobre, ferro e zinco no solo, quando comparados com o início do experimento. Mohammad e Mazahreh (2003) a irrigação com efluente não alterou significativamente os teores de cobre e zinco no solo, mas aumentou o teor de ferro.

Os teores de manganês e boro eram significativamente maiores na área destinada ao TE. Após o experimento, ambos obtiveram um acréscimo nos dois tratamentos. Segundo Raij (2001) o Cu foi classificado como médio antes e depois do experimento para TA, e para o TE passou de médio para alto depois do experimento. O Mn continuou sendo classificado como alto depois do experimento. Pode-se constatar pelo teste de Tukey que o aumento foi considerado significativo para o B nos 2 tratamentos, e para o Mn somente para o TE. Koupai (2006) obteve resultado semelhante, onde a irrigação com esgoto promoveu o aumento de manganês no solo, quando comparado ao início do experimento e quando comparado com o tratamento irrigado com água. De um modo geral todos os micronutrientes apresentavam valores altos na área do experimento.

Pode-se notar por meio das médias e do Teste de Tukey que a área onde se implantou a irrigação com efluente apresentava ao final do experimento, teores maiores de M.O, K, Mg, SB, CTC, e micronutrientes B, Cu, Fe, Zn, Mn, esse fator pode ter influenciado conjuntamente com a irrigação com efluente para a maior produtividade das plantas de milho.

Apesar das variações dos teores dos elementos químicos em relação aos tratamentos do presente trabalho, Kouraa (2002) afirma que a irrigação com efluente de esgoto tratado, num curto período de tempo (meses), não altera as características químicas do solo, necessitando de vários anos de irrigação para que ocorram grandes mudanças.

### 6.2.2 Amostras de solo nos sulcos

O solo foi amostrado antes e após o cultivo de milho e a consequente irrigação com água e efluente de esgoto doméstico tratado. Foram amostrados 3 pontos, aos 10, 50 e 90 metros, dentro de 8 sulcos (15 cm de profundidade), perfazendo um total de 24 repetições. Os valores são apresentados nas Tabelas 11 e 12 respectivamente.

O pH do solo nas duas áreas eram semelhantes e mantiveram-se após a irrigação com água e efluente de esgoto doméstico tratado, sendo classificados como baixos segundo Raij (2001).

Na área do TA, a matéria orgânica foi menor em relação à área do TE, indicando uma diferença natural do solo. Para os 2 tratamentos, não houve diferenças significativas na M.O, indicando que apenas uma parte do efluente aplicado no solo infiltra-se na base do sulco, o mesmo ocorreu no trabalho de Souza (2004).

Na área do TA, os valores de fósforo dentro dos sulcos mostraram-se inferiores, ficando a média em  $9.02 \text{ mg.dm}^{-3}$ , valor considerado baixo por Raij (2001), quando comparados o TE onde a média foi de  $16.82 \text{ mg dm}^{-3}$  considerado como valor médio. Após o experimento não ocorreram diferenças significativas a 5% de probabilidade, nos valores de fósforo para os 2 tratamentos. Tanto na área destinada para o TA, quanto para o TE, antes do experimento, o solo localizado dentro do sulco, que tinha aproximadamente 15 cm de profundidade, apresentou valores menores de fósforo em relação ao solo das linhas de plantio.

Os valores de alumínio e H+Al reduziram discretamente, após o experimento nos 2 tratamentos, apresentando diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, somente o TA. Para o potássio houve um acréscimo discreto no TA, considerado não significativo, e no TE ocorreu um decréscimo considerado significativo.

Tabela 11- Atributos do solo nos sulcos de irrigação, antes e após o experimento irrigado com água e efluente.

Atributos	Épocas	Água TA	Efluente TE
pH	Antes	4,87 Aa	5,01 Aa
	Depois	5,01 Ab	5,01 Aa
M.O (g dm <sup>-3</sup> )	Antes	18,04 Aa	26,63 Ba
	Depois	20,24 Aa	24,92 Aa
P <sub>resina</sub> (mg dm <sup>-3</sup> )	Antes	9,02 Aa	16,82 Ba
	Depois	9,26 Aa	16,39 Ba
Al <sup>3+</sup> (mmolc dm <sup>-3</sup> )	Antes	1,67 Aa	1,30 Aa
	Depois	0,68 Ab	0,71 Aa
H+Al (mmolc dm <sup>-3</sup> )	Antes	33,41 Aa	32,90 Aa
	Depois	28,05 Ab	30,08 Aa
K (mmolc dm <sup>-3</sup> )	Antes	1,29 Aa	2,05 Ba
	Depois	1,53 Aa	1,47 Ab
Ca (mmolc dm <sup>-3</sup> )	Antes	21,20 Aa	22,28 Aa
	Depois	16,36 Ab	20,78 Ba
Mg (mmolc dm <sup>-3</sup> )	Antes	9,35 Aa	11,60 Ba
	Depois	7,92 Ab	9,58 Bb

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na horizontal e médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical, não diferem pelo teste de Tukey a 5% probabilidade.

Os teores de cálcio do TA reduziram de 21,20 para 16,36 mmolc dm<sup>-3</sup>, enquanto para o TE o decréscimo não foi considerado significativo pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O valor médio de magnésio na área destinada ao TE foi significativamente maior em relação à área do TA. Após o experimento, o magnésio decresceu de maneira significativa nos tratamentos.

Na Tabela 12 são apresentados os valores dos atributos nos sulcos de SB, CTC, V%, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn, antes e após o experimento.

Tabela 12- Atributos do solo nos sulcos de irrigação, antes e após o experimento irrigado com água e efluente.

<b>Atributos</b>	<b>Épocas</b>	<b>Água TA</b>	<b>Efluente TE</b>
SB (mmolc dm <sup>-3</sup> )	Antes	31,84 Aa	35,91 Ba
	Depois	25,81 Ab	31,83 Bb
CTC (mmolc dm <sup>-3</sup> )	Antes	65,25 Aa	68,80 Ba
	Depois	53,96 Ab	61,92 Bb
V%	Antes	48,68 Aa	52,20 Aa
	Depois	47,78 Aa	51,19 Aa
S (mg dm <sup>-3</sup> )	Antes	33,89 Aa	11,05 Ba
	Depois	19,30 Ab	8,65 Ba
Boro (mg dm <sup>-3</sup> )	Antes	0,23 Aa	0,27 Ba
	Depois	0,42 Ab	0,47 Bb
Cobre (mg dm <sup>-3</sup> )	Antes	7,45 Aa	7,91 Aa
	Depois	6,60 Aa	7,07 Bb
Ferro (mg dm <sup>-3</sup> )	Antes	25,27 Aa	32,95 Ba
	Depois	17,96 Ab	23,87 Bb
Manganês (mg dm <sup>-3</sup> )	Antes	13,40 Aa	20,60 Ba
	Depois	16,11 Ab	25,14 Bb
Zinco (mg dm <sup>-3</sup> )	Antes	2,45 Aa	3,26 Aa
	Depois	2,62 Aa	3,15 Aa

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na horizontal e médias seguidas de mesma letra minúscula na vertical, não diferem pelo teste de Tukey a 5% probabilidade.

Os valores de SB e CTC decresceram nos 2 tratamentos, sendo a diferença considerada significativa a 5% de probabilidade. Os valores de saturação por bases (V%) não apresentaram mudanças significativas depois do experimento.

A área do TA apresentava naturalmente uma maior quantidade de enxofre quando comparada com o TE. Os 2 tratamentos apresentaram decréscimo nos valores de enxofre, mas o TA apresentou o maior decréscimo, considerado significativo.

Os valores de B e Mn aumentaram significativamente nos 2 tratamentos, mas continuaram sendo classificados por Rajj (2001) como médios e altos, respectivamente. Os teores de Cu, Fe e Zn decresceram para os 2 tratamentos, mas todos

continuaram classificados como altos depois do experimento. Esse decréscimo foi considerado significativo para o Cu somente no TE, e para o Fe nos 2 tratamentos.

### 6.3 Análise espacial dos atributos de solo

Para os atributos P (fósforo), Al (alumínio) e H+Al (Acidez potencial), antes e depois do experimento, foi evidenciada a falta de dependência espacial por parte desses atributos na área, tornando assim ineficiente a espacialização na forma de mapas. O principal motivo para a ocorrência deste comportamento está atrelado à malha amostral dos pontos na área, onde nestes casos, a variação dos atributos no solo ocorreu a uma distância inferior a distância de amostragem. Isso quer dizer que se a malha amostral fosse adensada, com pontos mais próximos, seria possível definir a distância de dependência espacial (QUARTEZANI, 2008).

Dentre os atributos, é muito comum para o “P” esse comportamento, devido a sua baixa mobilidade no solo, assim como encontrado por Quartezani (2008). Já para o Al e H+Al, era normal que apresentassem o mesmo padrão de distribuição, por serem variáveis de alta correlação.

Observa-se no mapa de MO antes que a área escolhida para a implantação do TA apresentou naturalmente valores menores de M.O, variando entre 12 a 28 g dm<sup>-3</sup>, enquanto na área do TE os valores ficaram entre 20 a 36 g dm<sup>-3</sup>, apresentando maior continuidade espacial no sentido longitudinal, conforme apresentado na Figura 13. Após o experimento, a M.O aumentou de forma significativa no TE, concordando com a Tabela 9, expandindo a área que apresentam valores entre 28 a 44 g dm<sup>-3</sup>. Na área do TA houve um acréscimo discreto na M.O, nos sulcos próximos ao TE, lembrando também que os mapas referentes aos atributos de plantas apresentavam nessa região os maiores valores, indicando uma possível contribuição do efluente.

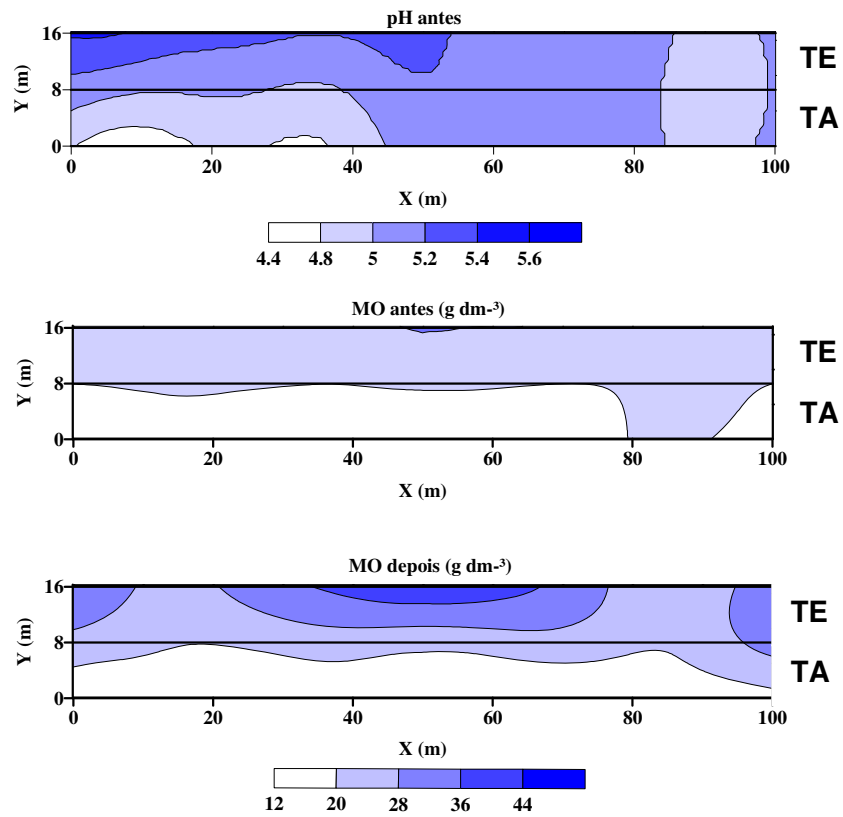


Figura 13- Mapas de isovalores dos atributos de pH antes e matéria orgânica(MO) antes e depois do experimento.

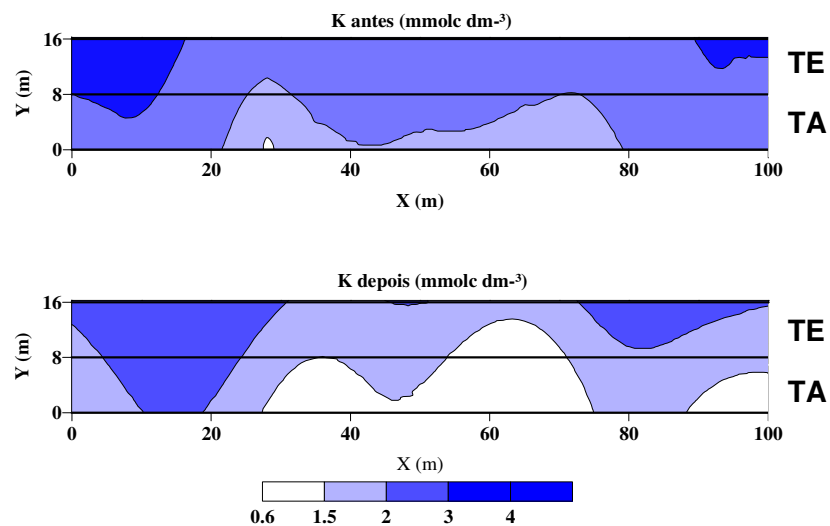


Figura 14- Mapas de isovalores do atributo potássio (K) antes e depois do experimento.

Para o atributo K, o mapa da Figura 14 evidencia que os valores, antes do experimento, na área destinada ao TE eram superiores e uniformes quando comparados aos valores do TA. Após o experimento, observou-se que os valores de K diminuíram em ambos os tratamentos, e ainda, para o TE ocorreu uma menor uniformidade e continuidade espacial dos valores K no sentido longitudinal da área, mostrando que o comportamento do atributo neste tratamento sofreu influência do tamanho das linhas.

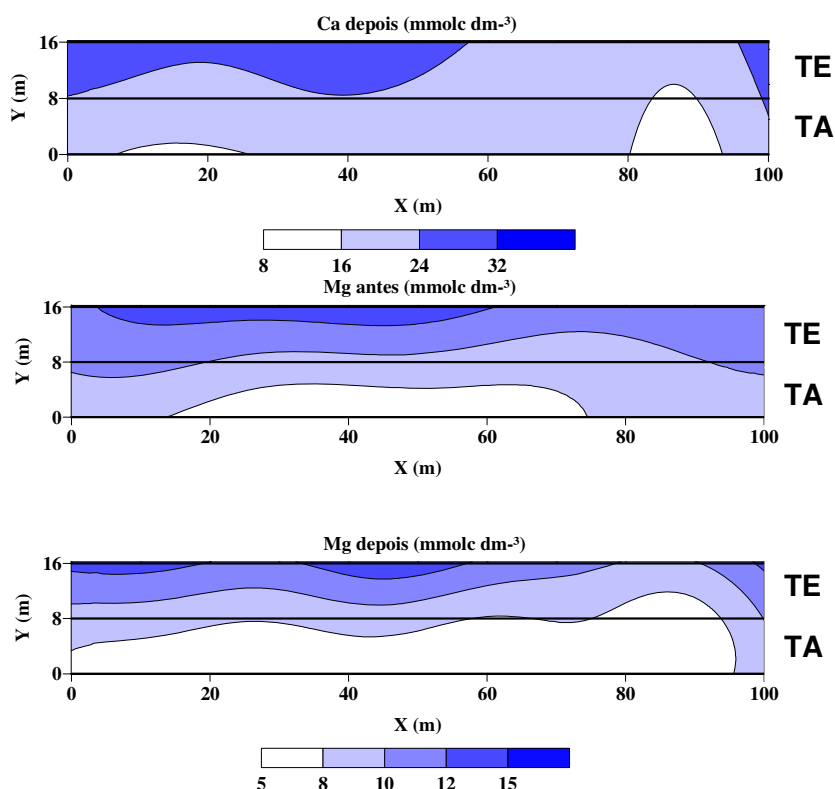


Figura 15- Mapas de isovalores dos atributos Ca depois do experimento, Mg antes e depois do experimento.

Para o Ca antes do experimento, sua distribuição aleatória, sem dependência espacial, não permitiu a confecção de mapa. Isso se deve ao fato da variação espacial do nutriente no solo ter ocorrido em escala menor que a distância de amostragem. O Ca, após o experimento, Figura 15, apresentou continuidade e distribuição espacial, com os menores valores para o TA e no TE, os maiores valores localizados nos primeiros 50 m das linhas. Esse fato evidencia a interferência do sistema de irrigação por sulco na

distribuição do nutriente no solo, com o aumento do seu raio, tornando-o mais homogêneo e possibilitando a confecção do mapa após o experimento.

Os valores de magnésio (Mg) foram maiores na área do TE antes do experimento, ficando entre 8 a 15  $\text{mmolc dm}^{-3}$ , e na área do TA ficaram entre 5 a 10  $\text{mmolc dm}^{-3}$ . Após o experimento esses valores baixaram principalmente no TA, expandindo a área dos valores entre 5 a 8  $\text{mmolc dm}^{-3}$ . Isso mostra que nesse tratamento a irrigação por sulcos promoveu maior homogeneidade do macronutriente Mg no solo, observada pelo aumento da sua continuidade espacial ao longo das linhas, assim como encontrado para o Ca, resultado este esperado, já que os nutrientes são altamente correlacionáveis.

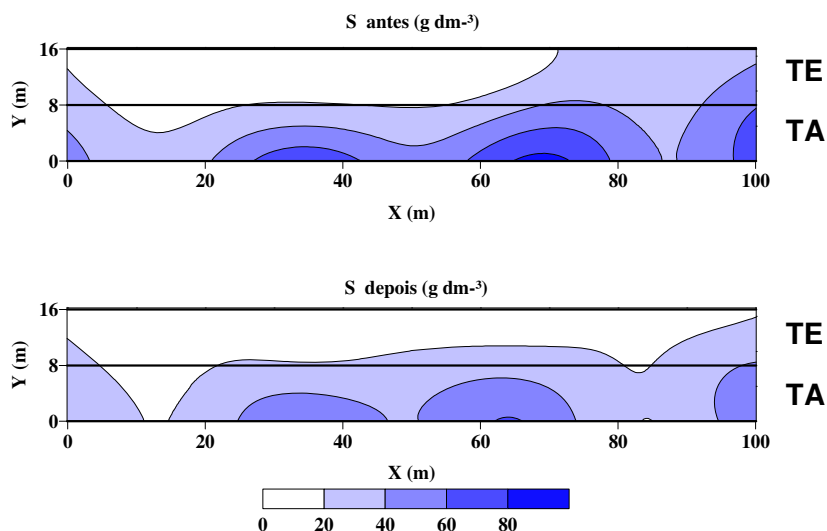


Figura 16- Mapas de isovalores do atributo enxofre (S) antes e depois do experimento.

Nos mapas apresentados na Figura 16 o atributo enxofre, mostrou que a área do TE apresentou os menores valores, antes do experimento, fato não ocorrido para os demais nutrientes. Após o experimento os valores diminuíram nas 2 áreas, mas o decréscimo foi considerado significativo somente no TE, pelo teste de Tukey apresentado na Tabela 10.

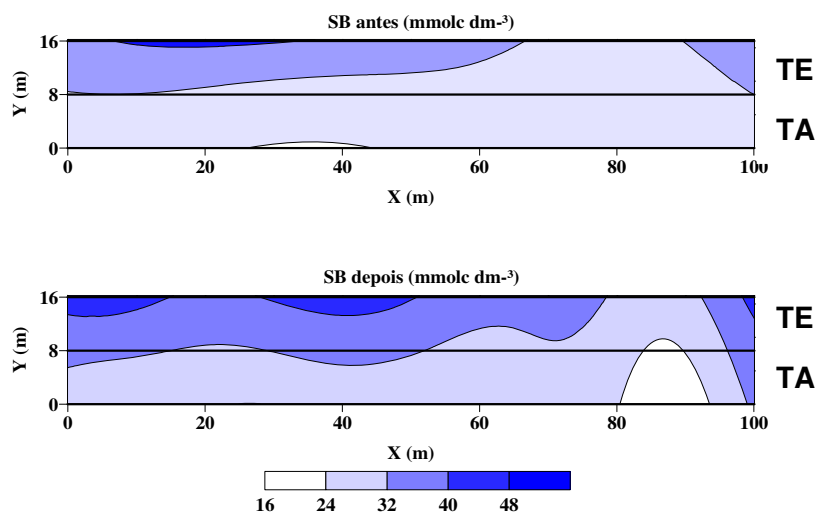


Figura 17- Mapas de isovalores do atributo soma de bases(SB) antes e depois do experimento.

A SB no TA antes do experimento apresentou maior continuidade espacial, conforme a Figura 17, ficando os valores entre 24 e 32 mmolc dm<sup>-3</sup> e após o experimento, os últimos 20 metros apresentaram uma área com valores menores, provocando decréscimo significativo na média apresentada na Tabela 10. Para o TE nos primeiros 60 metros os valores ficaram entre 32 e 40 mmolc dm<sup>-3</sup> e nos últimos 40 metros entre 24 a 32 mmolc dm<sup>-3</sup>. Após o experimento os valores entre 32 e 40 mmolc dm<sup>-3</sup> expandiram a sua área até próximo dos 80 metros, isso ocorreu devido ao fato da análise espacial ter superestimado os valores acima citados, porém essa diferença não foi expressiva, pois no teste de média apresentado na Tabela 10, esse parâmetro, não foi considerado significativo.

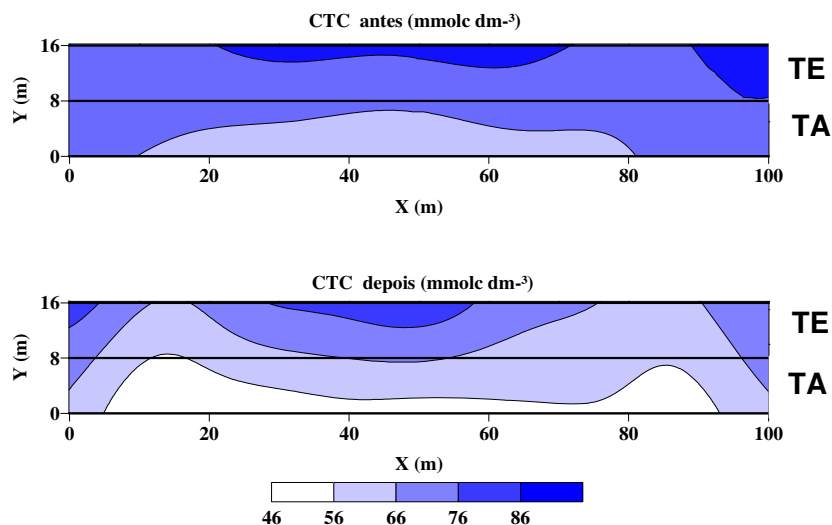


Figura 18- Mapas de isovalores da capacidade de troca de cátions(CTC) antes e depois do experimento.

O mapa de CTC antes do experimento para TA, conforme a Figura 18, apresentou valores entre 56 e 76  $\text{mmolc dm}^{-3}$ , já para o TE os valores ficaram acima dos 76  $\text{mmolc dm}^{-3}$ . Nota-se que após o experimento a CTC diminuiu nos 2 tratamentos.

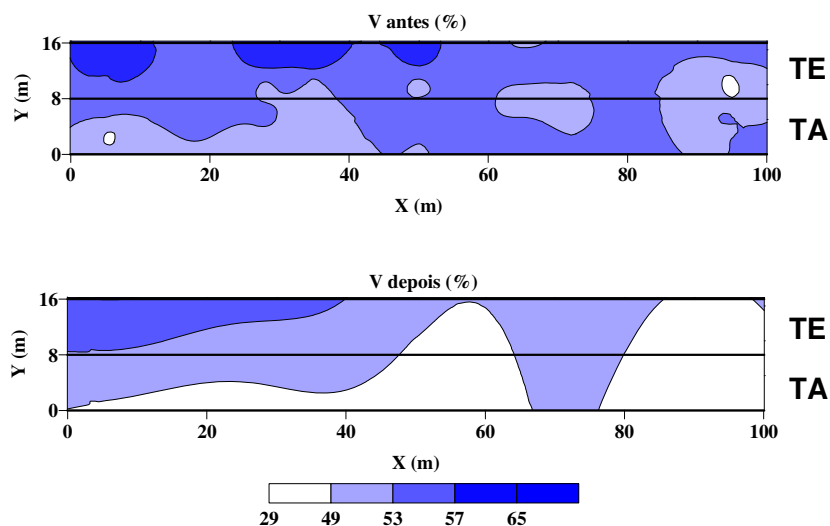


Figura 19- Mapas de isovalores do atributo V%, antes e depois do experimento.

Os valores de V% nos 2 tratamentos, antes do experimento, não apresentaram diferença significativa pelo teste de média, assim como no mapa da Figura 19, onde não ocorreram grandes diferenças visuais entre os tratamentos. O mapa mostra que o V% após o experimento diminuiu nos 2 tratamentos, onde se notou o aumento da

área com os menores valores e, conseqüentemente aumento na continuidade espacial, porém essa diferença só foi significativa para o TA, confirmado pelo teste de média. Pelo fato do V% ser dado pela relação entre a Soma de Bases (SB) e a Capacidade de Troca de Cátions (CTC), o comportamento espacial dessas variáveis, após o experimento, foi similar, com as maiores diferenças ocorrendo no TA.

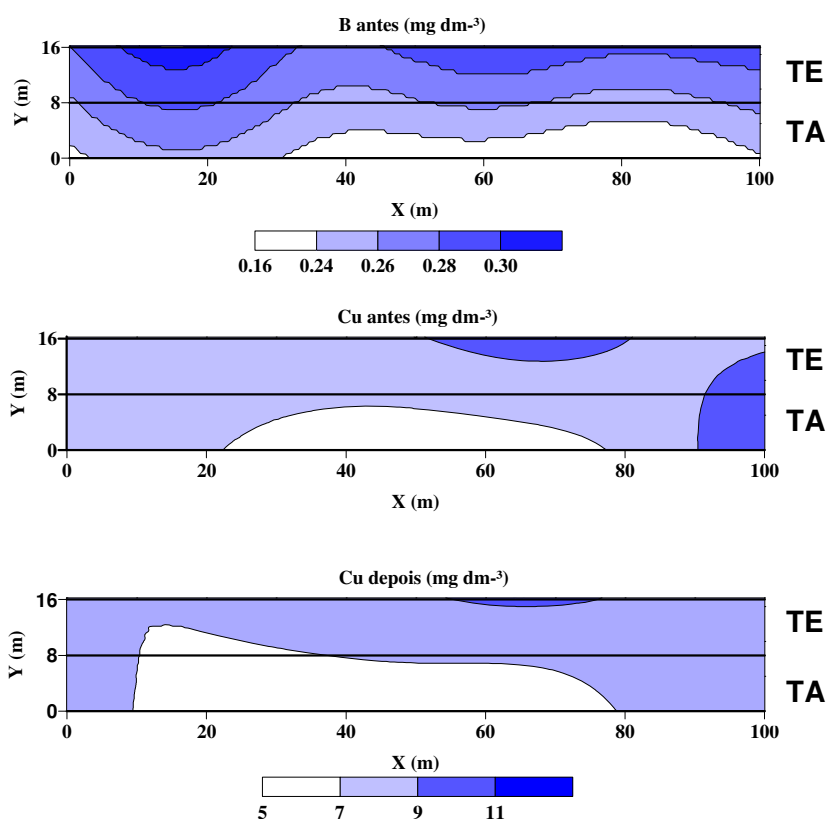


Figura 20- Mapas de isovalores dos atributos boro(B) antes e cobre(Cu) antes e depois do experimento.

Para o micronutriente B, o mapa confeccionado antes do experimento, conforme a Figura 20 demonstrou continuidade espacial, sendo esta, semelhante para ambos os tratamentos ao longo das linhas, mas com os maiores valores de B para o TE. Para o atributo, após o experimento, não foi possível a confecção do mapa, indicando uma capacidade infinita de dispersão na área de estudo, ou seja, as diferenças entre os valores de B foram pequenas ao ponto de não descreverem sua continuidade, o que contradiz o teste de média significativo entre os tratamentos TA e TE após o experimento.

Sendo assim, poderíamos dizer que, segundo a análise espacial, o valor de B é o mesmo para qualquer lugar amostrado na área após o experimento, indicando uma grande influência do sistema de irrigação por sulco na distribuição do B, tornando-o mais homogêneo no solo.

Na área do TE, os valores de Cu antes do experimento ficaram entre 7 a 11  $\text{mg dm}^{-3}$ , enquanto no TA os valores variavam entre 5 a 11  $\text{mg dm}^{-3}$ , sendo a diferença de valores considerada significativa pelo teste de Tukey, apresentado na Tabela 10, com o maior valor médio para o TE. Após o experimento os valores de cobre diminuíram de maneira não significativa nos 2 tratamentos, mas apresentaram maior uniformidade e continuidade espacial ao longo das linhas.

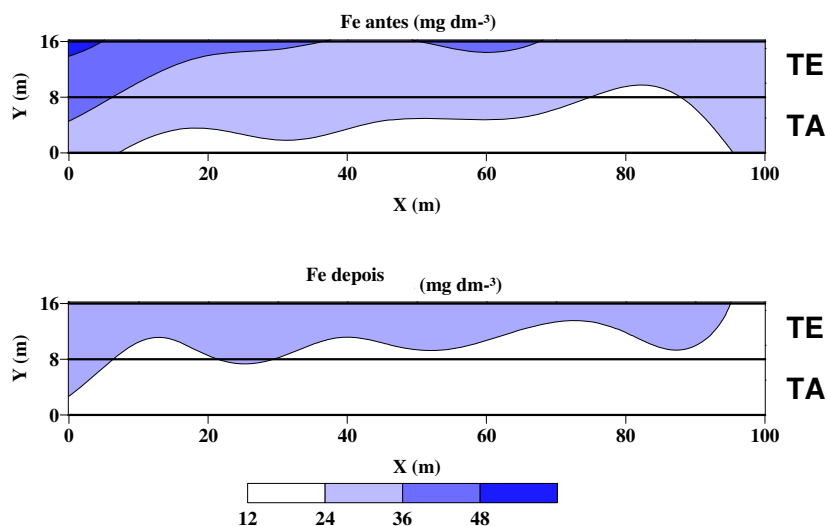


Figura 21– Mapas de isovalores do atributo ferro (Fe), antes e depois do experimento.

Para o micronutriente Fe, apresentado na Figura 21, a distribuição espacial foi semelhante ao Cu, com a área destinada ao TE apresentando naturalmente maiores valores de ferro antes do experimento e no começo das linhas, comprovado pelo Teste de Tukey apresentado na Tabela 10. Após o experimento os valores diminuíram significativamente e aumentaram a uniformidade de maneira longitudinal.

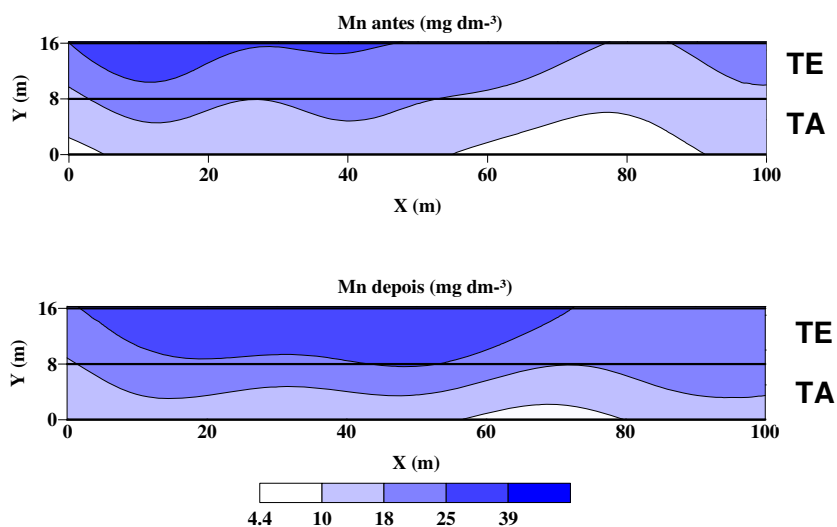


Figura 22- Mapas de isovalores do atributo manganês(Mn), antes e depois do experimento.

No mapa do micronutriente Mn, apresentado na Figura 22, no TE, notou-se que a área com valores entre 25 e 39 mg dm<sup>-3</sup>, depois do experimento, expandiu-se de maneira longitudinal aproximadamente até os 70 metros, e que nos últimos 30 metros os valores subiram de 10 a 18 mg dm<sup>-3</sup> para 18 a 25 mg dm<sup>-3</sup>, elevando desta maneira a média apresentada na Tabela 10. No TA os valores de Mn antes e depois não apresentaram diferenças significativas, assim como no teste de média. O que se observou em ambos os tratamentos após o experimento, foi a maior uniformidade do Mn ao longo das linhas no solo.

Para o Zn antes do experimento, o mapa apresentou valores acima de 3,5 mg dm<sup>-3</sup> no TE, nos primeiros 70 metros, e os menores valores, compreendidos entre 0,2 e 2,6 mg dm<sup>-3</sup> no TA, conforme observado na Figura 23. Após o experimento, nos 2 tratamentos, os valores do zinco decresceram na área. O teste de Tukey, apresentado na Tabela 10, indicou que apesar do decréscimo nos valores do zinco, a diferença entre épocas (antes e depois) foi somente significativa no TA.

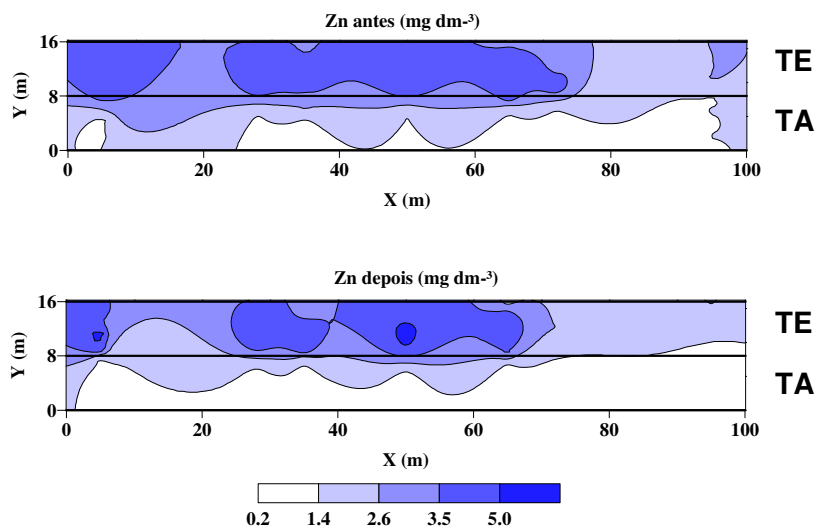


Figura 23- Mapas de isovalores do atributo zinco (Zn), antes e depois do experimento.

De modo geral, a concentração dos micronutrientes no solo após o experimento diminuiu e apresentou maior homogeneidade e continuidade espacial ao longo das linhas, nos dois tratamentos, mas principalmente no TA, evidenciando assim a influência do tipo de água de irrigação utilizado e o tamanho dos sulcos na concentração dos micronutrientes no solo.

A análise espacial conseguiu representar como os atributos químicos encontravam-se dispostos no solo nas épocas de avaliação (antes e depois do experimento) para os 2 tipos de água de irrigação (TA e TE) e ainda, como se distribuíram ao longo das linhas. A área escolhida para a implantação do tratamento efluente apresentou os maiores valores na maioria dos atributos químicos do solo, demonstrando a clara diferença de fertilidade da área, fator esse que pode ter colaborado para a maior produtividade do TE.

Em geral, os mapas estimados dos atributos de solo, obtidos pela análise espacial, concordaram com os resultados do teste de média, com algumas exceções, onde a estatística clássica por considerar a média dos dados acabou ponderando variações na área.

## 7 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que:

- os atributos de plantas avaliados indicaram que a irrigação com efluente de esgoto doméstico colaborou no crescimento das plantas, com a produção de grãos 50 % maior quando comparada com a irrigação com água;
- os mapas espaciais, mostraram que o comprimento dos sulcos de plantio, influenciou de maneira significativa nos atributos de plantas, principalmente no TE;
- quando comparada a água, a irrigação com efluente de esgoto doméstico melhorou as propriedades químicas do solo em relação a matéria orgânica e ao manganês, nos demais atributos químicos não ocorreram mudanças significativas.
- o efluente de esgoto doméstico tratado pode ser utilizado na irrigação agrícola, podendo substituir ou reduzir a quantidade de água com qualidade superior que seria utilizada.

## 8 REFERÊNCIAS

ANDRADE, D.V.;et al.. Modelo matemático para simulação da fase de avanço na irrigação por sulcos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, p.56-62, 1998.

ANDRADE NETO, C. O. de. O uso de esgotos tratados em irrigação. *In*:ANDRADE NETO, C. O. Sistemas Simples para Tratamento de Esgotos Sanitários - Experiência Brasileira. Rio de Janeiro: **ABES**, 1997. 301 p.

ASANO, T; BURTON, F. L.; LEVERENZ, H. L.; TSUCHIHASHI, R; TCHOBANOGLOUS, G. **Water reuse: issues, technologies, and applications**. McGraw-Hill, New York, 2007.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. **Estudos FAO: Irrigação e Drenagem**, 29.1987. Tradução de GHEYI, H.R.; MEDEIROS, J.F. de; DAMASCENO, F. A. V. Campina Grande: UFPB, 1999. 218 p.

AZEVEDO, M. R. Q. A; KÖNIG, A; AZEVEDO, C. V; TAVARES, T. L; SOARES, F. A. L; Efeito da irrigação com água residuária tratada sobre a produção de milho forrageiro. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife v.2, n.1, p.63-68, jan.-mar. 2007.

AZEVEDO, P. L.; OLIVEIRA, E. L; Efeitos da aplicação de efluente de tratamento de esgoto na Fertilidade do solo e produtividade de pepino sob irrigação subsuperficial **Engenharia. Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.1, p.253-263, jan.- abr. 2005.

BASTOS,R.K.X; BEVILACQUA, P.D; Normas e critérios de qualidade para o reúso de água In: FLORENCIO, L; BASTOS,R,K,X; AISSE, M,M; **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**, Rio de Janeiro: ABES, 2006, 427 p.

BERNARDI, C. C. **Reúso de água na agricultura**. 2003. Especialização (Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada- Planejamento Estratégico). ISEA-FGV- Ecobusiness School, Brasília, 2003.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 7<sup>a</sup>. Edição, Editora UFV, Viçosa, 2005. 611p.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. Viçosa: Imprensa Universitária, 1995. 657p.

BERNARDO, S.; RESENDE, M.; ARAÚJO, J. J. Eficiência de irrigação em sulco com redução da vazão inicial, **Revista Ceres**, Viçosa, v.24, p.261-277, 1977.

BOTREL, T. A.; MARQUES, A. A. Software Para Dimensionamento De Irrigação Por Sulcos, **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.57, n.4, p.803-811, out./dez. 2000.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Lavouras**. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa\\_201112comentarios.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201112comentarios.pdf)

BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, Quarto levantamento**, janeiro 2011 / Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília : Conab, 2011.

BREGA FILHO, D; MANCUSO, P. C. S.; Conceito de reúso de água. *In*: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. **Reúso de água**. 1 ed. Barueri: Manole, 2003. cap. 2, p.21-36.

COSTA, R. H. P. G; Água: matéria-prima primordial à vida *In*: **Reúso da Água - 2ª edição revista, atualizada e ampliada**, TELLES, D.D.; COSTA, R. H. P. G, 2010.

CUNHA, A. R., MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. *Irriga*, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2009.

DAKER, A. **A água na agricultura**. 6. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: F. Bastos, 1983-1984.

DECRETO Nº 10.755, DE 22 DE NOVEMBRO DE 1977 Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976.

DEON, M. D; GOMES, T. M; MELFI, A. J; MONTES, C. R; SILVA, E. Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.10, p.1149-1156, out. 2010.

DUARTE, A; AIROLDI, R. P. S; FOLEGATTI, M. V; BOTREL, T. A; SOARES, T. M. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.3, p.302–310, 2008.

DUARTE, J. O. et al. . Economia da Produção. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA . Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. **Cultivo do milho**. Versão Eletrônica - 7ª Ed. Set./2011, acesso em: 20 de janeiro 2012.

ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G., Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.5, p.467–477, 2010.

EMBRAPA, **Viabilidade e Manejo da Irrigação da Cultura do Milho**, Circular Técnico 86, 2006.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Ecofisiologia e fenologia. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. p. 21-54.

FONSECA, M.J.O.; Colheita e pós-colheita. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA . Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. **Cultivo do milho**. 5ª Ed. Set./2009 .Acesso em: 24 de janeiro 2012.

GOLDEN SOFTWARE Surfer version 8.00 – Feb. 11 2002. **Surface mapping system**. Colorado: Golden Software, Inc, 1993-2002. 1 CD-ROM.

HU, C. ; ZHANG, T; HUANG, Y. H.; DAHAB, M. F.; KENDRICK, D.; SURAMPALLI, R. Muskegon Wastewater Land Treatment System: Fate and Transport of Phosphorus in Soils and Life Expectancy of the System., **Civil Engineering Faculty Publications**. <http://digitalcommons.unl.edu/civilengfacpub/12>, 2006.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. *In: MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. Reúso de água*. Barueri: Manole, 2003. p. 37-97.

HESPANHOL, I.; Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos, 2008 **Estud. av.**, São Paulo, v.22, nº.63, 2008 .

JAVAREZ JR, A; RIBEIRO, T. A. P; PAULA JR, D. R. Eficiência do reúso de águas residuárias na irrigação da cultura do milho, **Irriga**, Botucatu, v. 15, n. 3, p. 231-247, julho-setembro, 2010.

KHAI N.M; et al. I Effects of using wastewater as nutrient sources on soil chemical properties in periurban agricultural systems. **VNU Journal of Science, Earth Sciences**. Hanoi. 2008. p.87-95.

LAVRADOR FILHO, J. **Contribuição para o entendimento do reúso planejado da água e algumas considerações sobre suas possibilidades no Brasil**. 1987. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica de São Paulo da USP. São Paulo, 1987.

LEAL R, M, P.; **Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado em propriedades químicas de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar**. 2007. 109 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia -Solos e Nutrição de Plantas), Universidade de São Paulo, USP, Brasil. 2007.

LUCENA, A. M. A; GUERRA, H.O.C; CHAVES, L.H.G; COSTA, F. C. Análise de um efluente de esgoto tratado e seu efeito em propriedades químicas de um neossolo quartzarênico, **Caatinga**, Mossoró, v.19, n.4, p.409-414, outubro/dezembro, 2006.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 2 ed., atual. e ampl. Viçosa, MG: UFV. 2007. 355p.

MARA, D.D.; CAIRNCROSS, S. Guidelines for the Safe Use of Wastewater and Excreta in Agriculture and Aquaculture. *In: Measures for Public Health Protection.*, World Health Organization, United Nations Environment Programme, Geneva, 1989.

MARECOS DO MONTE. H; ALBUQUERQUE. A. **Reutilização de Águas Residuais**, Série de Guias técnicos 14, Lisboa, Portugal, 2010, 319 p.

MEURER, E.J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: **Fertilidade do solo**. NOVAIS, R.F. et al. (ed). Viçosa; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 1-64.

MIRANDA, G. V et al.. Potencial de melhoramento e divergência genética de cultivares de milho-pipoca. **Pesq. agropec. bras.** vol. 38, nº.6, Brasília. Jun. 2003.

MCKENZIE, C. **Wastewater reuse conserves water and protects waterways**; NESC Staff Writer, 2005.

MOJIRI, A. Effects of Municipal Wastewater on Physical and Chemical Properties of Saline Soil, **Journal of Biological & Environmental Sciences**, Bursa, 5(14), p 71-76, 2011.

MOHAMMAD, M. J.; MAZAHREH, N. Changes in Soil Fertility Parameters in Response to Irrigation of Forage Crops with Secondary Treated Wastewater, **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. Georgia. v. 34, n. 9-10, 2003, p. 1281-1294.

MONTES, R. M et al. Irrigação com esgotos tratados: Impactos no solo e Aquíferos. In: FLORENCIO, L; BASTOS, R, K, X; AISSE, M, M; **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**, Rio de Janeiro: ABES, 2006, 427 p., 2006, p. 427

MOTA, F. S. B; VON SPERLING, M. **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção**. Rio de Janeiro: ABES, 2009, p. 428.

MOTA, S; FONSECA, A. F; STEFANUTTI, R; VOLSCHAN, J. J; NAVAL, L. In: FLORENCIO, L; BASTOS, R. K. X; AISSE, M. M. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006, 427 p., 2006, p. 427.

OLITTA, A. F. **Os métodos de irrigação**. 1ª ed. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1978. 267p.

PAES, M.C. D. Aspectos Físicos, Químicos e Tecnológicos do Grão de Milho. In: **EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA**. Sete Lagoas, MG, Dezembro, 2006.

PAGANINI, W. S. **Disposição de esgoto no solo (Escoamento à superfície)**. São Paulo: AESABESP, 1997. 232p.

PAGANINI, W. S. Reúso de água na agricultura. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H.F.(Ed). **Reúso de água**. Barueri: Manole, 2003. p. 37-97.

PANORAS, A. et al. Corn Irrigation With Reclaimed Municipal Wastewater. **Global Nest: the Int. J. Athens** v. 5, No 1, p. 39-45, 2003.

PARVAN, M; DANESH, S; Effects of irrigation with treated wastewater on Some Chemical Soil Properties in Parkandabad, 2009.

PESCOD M.B; Wastewater treatment and use in agriculture - FAO irrigation and drainage paper 47 In: **Food and agriculture organization of the united nations**, 1992.

QUARTEZANI, W. Z. **Geoestatística no estudo da variabilidade espacial de atributos químicos e físicos do solo e da produtividade da pimenta-do-reino**. 2008. 112 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2008.

RAIJ, B. van; et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo : (Boletim Técnico, 100)** 2. ed. Campinas, Agrônomo & Fundação IAC, 1996. 285 p.

RAIJ, B. van. et al. **Análise química da fertilidade dos solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001, 285 p.

REAMI, L. **Avaliação de produtividade agrícola e de concentrações de metais nos grãos, de cultura de milho irrigada com efluente anaeróbio**. 2008. 134 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Campinas, SP, 2008.

SCALOPPI, E. J. **Sistemas de irrigação por superfície**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.12, n.139, p.12-26, 1986.

SILVA, R.; M, E. S. Matéria orgânica do solo. In: **Fertilidade do solo**. NOVAIS, R.F. et al (ed). Viçosa; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 1-64.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; STORCK, L.; FEIJÓ, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um argissolo vermelho-amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, nov-dez. 2003, p. 1013-1020.

SCALOPPI, E. J. **Sistemas alternativos de irrigação de baixo custo**. Fundação de Estudos Agronômicos e Florestais, Boletim Técnico 2, FCA/UNESP, Botucatu, SP, 2011, 47p.

SOUZA, S. B. S. **Irrigação por infiltração com efluente de lagoa anaeróbia em solo cultivado com milho (*Zea mays L.*)**. 2004. 202 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e urbanismo. Campinas, SP, 2004.

STAT SOFT Inc, **Programa Statistica for windows, versão 7.0**. Tulsa, EUA: Stat Soft, Inc, 2001. 1 CD-ROM.

U.S. EPA (2004) Guidelines for Water Reuse, EPA/625/R-04/108, U.S. Agency for International Development, Washington, DC,  
<http://www.epa.gov/NRMRL/pubs/625r04108/625r04108.pdf>

VAN DER HOEK, W. et al. Urban wastewater: a valuable resource for agriculture. A case study from Horoonabad, Pakistan. **International Water Management Institute**, Colombo, Sri Lanka, 2002. 29 p.

WESTERHOFF, G. P. Un update of research needs for water reuse. In: **Water reuse Symposium**, 3º Proceedings. San Diego, Califórnia, 1984.