

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE CIÊNCIAS
EXATAS E TECNOLÓGICAS
MESTRADO *STRICTO SENSU* EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**ALTERAÇÃO QUÍMICA NO SOLO IRRIGADO POR GOTEJAMENTO
E MICROASPERSÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA NO CULTIVO DA
BANANEIRA**

Rodrigo de Rezende Borges Rosa

Anápolis
Goiás - 2011

**ALTERAÇÃO QUÍMICA NO SOLO IRRIGADO POR GOTEJAMENTO
E MICROASPERSÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA NO CULTIVO DA
BANANEIRA**

RODRIGO DE REZENDE BORGES ROSA

Engenheiro Agrícola

Orientador: Prof. Dr. DELVIO SANDRI

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás – UEG, Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola na Área de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental para obtenção do título de MESTRE.

Anápolis

Goiás - 2011

**ALTERAÇÃO QUÍMICA NO SOLO IRRIGADO POR GOTEJAMENTO
E MICROASPERSÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA NO CULTIVO DA
BANANEIRA**

POR

RODRIGO DE REZENDE BORGES ROSA

**Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de
MESTRE EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Aprovado em: ____/____/____

Prof. Dr. Delvio Sandri

Orientador

UEG / UnUCET

Prof. Dr. Nori Paulo Griebeler

EA / UFG

Membro

Prof.^a Dr.^a Orlene Silva da Costa

UEG / UnUCET

Membro

Ao meu Deus
Aos meus fantásticos pais Carlos Cesar e Marilucia
A minha alma gêmea Laiane Cristina Fernandes
Aos meus queridos irmãos

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Goiás, a Faculdade de Engenharia Agrícola e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do curso;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoas de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro (Bolsa de Estudo) para realização deste trabalho;

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás - FAPEG pelo financiamento para a realização do experimento;

Ao Professor Dr.. Delvio Sandri pela orientação, auxílio e disponibilidade durante o curso;

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pelo apoio e sugestões sempre bem vindas no decorrer dos estudos;

Aos funcionários Waldeir, Eliete e Alba pela vontade de auxiliar sempre, pelas boas histórias e risadas na hora do almoço;

Aos meus amigos da Engenharia Agrícola da UEG, João Mauricio, Janaina, João, Marco Sathler, Rafaela, Frederico e aos outros tantos que direta ou indiretamente fizeram parte dessa caminhada;

Aos alunos estagiários Pedro Henrique e Ricardo pela grande ajuda na realização do trabalho em campo;

Aos meus maravilhosos pais Carlos Cesar Rosa e Marilucia de Rezende Borges Rosa, pelos conselhos, ensinamentos, orientação, carinho e principalmente pela ajuda em todas as horas;

As minhas irmãs Lorena de Rezende Borges Rosa e Roberta de Rezende Borges Rosa, pelo apoio e compreensão nos momentos difíceis;

A minha namorada Laiane Cristina Fernandes que com seu amor, companheirismo, ajuda e carinho conseguiu fazer a distância ficar menos dolorosa;

A DEUS por tudo de maravilhoso vivido nesse tempo.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	viii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT	x
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS.....	3
2.1 GERAL.....	3
2.2 ESPECÍFICOS	3
3 REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1 AGRICULTURA IRRIGADA.....	4
3.1.1 Irrigação por gotejamento e microaspersão	6
3.1.2 Manejo da irrigação.....	7
3.1.3 Fertirrigação	8
3.2 REÚSO AGRÍCOLA E QUALIDADE DA ÁGUA PARA A IRRIGAÇÃO	11
3.3 CULTURA DA BANANA	19
3.3.1 Necessidades hídricas.....	20
3.3.2 Exigências edafoclimáticas	21
3.3.3 Adubação da bananeira	22
3.3.4 Topografia	24
3.3.5 Profundidade	24
4 MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1 LOCAL DO EXPERIMENTO.....	25
4.2 ORIGEM DA ÁGUA.....	25
4.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	27

4.4	IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	28
4.4.1	Preparo da área.....	29
4.4.2	Aquisição das mudas de banana.....	29
4.4.3	Transplântio e disposição da mudas.....	30
4.5	SISTEMA DE IRRIGAÇÃO.....	31
4.5.1	Automação do sistema de irrigação.....	33
4.5.2	Análises e caracterização da água.....	34
4.5.3	Análise de solo.....	35
4.6	MANEJO DA IRRIGAÇÃO.....	35
4.7	FERTIRRIGAÇÃO.....	38
4.8	AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO.....	39
4.8.1	Caraterização do tubo gotejador em laboratório antes da implementação do experimento...39	
4.8.2	Avaliação do sistema de irrigação em campo.....	42
4.9	QUALIDADE DA ÁGUA.....	43
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
5.1	DADOS CLIMATOLÓGICOS.....	45
5.2	QUALIDADE DA ÁGUA.....	49
5.3	UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA.....	55
5.4	AVALIAÇÃO DO SOLO.....	58
6	CONCLUSÕES.....	71
7	REFERÊNCIAS.....	72

LISTA DE TABELAS

Página

TABELA 1. Critérios adotados na interpretação da qualidade das águas superficiais para a irrigação.....	15
TABELA 2. Concentrações máximas recomendáveis de alguns oligoelementos em água de irrigação superficiais.	15
TABELA 3. Risco potencial de entupimento de emissores na irrigação.	17
TABELA 4. Padrões de lançamento de efluentes em corpos de água e de qualidade de água doce classe 2 previstos na Resolução nº 357/2005 do CONAMA.....	18
TABELA 5 - Demanda hídrica da bananeira 'Prata Anã' e 'Grande Naine' nas condições do Norte de Minas Gerais e em Tabuleiros Costeiros da Bahia.....	21
Tabela 6. Adubação de plantio da bananeira irrigada, com fornecimento de P, B e Zn.	31
Tabela 7. Adubação com N e K no pós-plantio e na fase de formação da bananeira.	31
Tabela 8. Coeficiente de cultura (Kc) para a cultura da banana nos diferentes meses após o transplântio.	38
TABELA 9. Uniformidade do sistema de irrigação, classificação para vazões médias dos emissores.	41
TABELA 10. Classificação do coeficiente de variação de fabricação (CVf) para emissores com aplicação pontual.....	41
TABELA 11. Classificação do coeficiente de variação de fabricação para emissores.	41
TABELA 12. Classificação do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) para sistemas de irrigação por gotejamento.	42
TABELA 13. Métodos analíticos dos parâmetros de qualidade de água.	44
TABELA 14. Risco do potencial de entupimento de emissores pela água de irrigação.	44
TABELA 15. Valores médios da qualidade da água do poço semi-artesiano da Universidade Estadual de Goiás e do efluente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE-UEG) utilizada na irrigação por gotejamento e microaspersão.	49
TABELA 16. Vazão média, desvio padrão, coeficiente de variação de fabricação do tubo gotejador modelo Hydrogol 2.2 L.h ⁻¹ e sua devida classificação.....	56
TABELA 17. Coeficiente de uniformidade de distribuição e sua classificação, tubo gotejador modelo Hydrogol 2.2 L.h ⁻¹	56

TABELA 18. Valores dos coeficientes de uniformidade de CUD e CUC obtidos no ensaio inicial e final do experimento.....	57
TABELA 19. Valores de pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, sódio, cobre e ferro do solo irrigado por gotejamento e microaspersão, com diferentes qualidades de água no início e no final do experimento.....	59
TABELA 20. Variação em porcentagem de pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, sódio, cobre e ferro do solo irrigado por gotejamento e microaspersão com diferentes qualidades de água entre o início e final do experimento.	60
TABELA 21. Valores de manganês, zinco, boro, alumínio, acidez total (A.T), matéria orgânica (MO), saturação de bases, capacidade de troca de cátions (CTC) do solo irrigado por gotejamento e microaspersão com diferentes qualidades de água no início e no final do experimento.....	67
TABELA 22. Variação em porcentagem de manganês, zinco, boro, alumínio, acidez total (A.T), matéria orgânica (MO), saturação de bases, capacidade de troca de cátions (CTC) do solo irrigado por gotejamento e microaspersão com diferentes qualidades de água entre o início e final do experimento.....	68

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. Imagem área do local do experimento.....	25
FIGURA 2. Reservatórios de polietileno para armazenamento da água do poço semi-artesiano (A) e do efluente da ETE/UnUCET/UEG (B).....	26
Figura 3 - Croqui da área experimental e distribuição dos equipamentos de irrigação.....	28
FIGURA 4. Área de cultivo da bananeira antes do plantio (A) e aos 90 dias após o transplântio - DAT (B).	29
FIGURA 5. Mudas da bananeira cv. Grande Naine utilizadas no experimento.....	30
FIGURA 6. Covas onde foi feito o transplântio das mudas de bananeira.....	30
FIGURA 7. Tubo gotejador linha de plantio (A) e microaspersor na linha de plantio (B).....	31
FIGURA 8. Cavalete para injeção de fertilizante, utilizando um Venturi.	32
FIGURA 9. Filtro de disco de 120 microns, piloto regulador de pressão e manômetro com glicerina.	33
FIGURA 10. Válvulas elétricas de acionamento automático.....	33
FIGURA 11. Quadro de comando completo (A) e conjunto minicontatora 24v (B).	34
FIGURA 12. Relê falta de fase, relê térmico (A) e Controlador Hunter XC 8 estações.	34
FIGURA 13. Ensaio de uniformidade de distribuição no sistema de gotejamento em campo.	43
FIGURA 14. Ensaio de uniformidade de distribuição no sistema de microaspersão em campo.	43
FIGURA 15. Temperatura máxima, mínima e média do ar durante o experimento.	45
FIGURA 16. Valores médios diários da umidade relativa do ar durante o ciclo de cultivo. ...	46
FIGURA 17. Valores diários da precipitação durante o experimento.....	47
FIGURA 18. Valores de radiação solar durante o experimento.....	48
FIGURA 19. Evapotranspiração de referencia durante o experimento.....	49
FIGURA 20. Gráfico vazão x pressão e sua equação potencial do tubo gotejador modelo Hydrogol 2.2 L.h ⁻¹	57

RESUMO

O reúso da água pra fins não-potáveis tem sido impulsionado em todo o mundo em razão da crescente dificuldade de atendimento a uma demanda cada vez maior de água para o abastecimento público. Na agricultura, o uso de água residuária vem se apresentando como uma alternativa para redução de impactos ambientais, gerando benefícios econômicos e aumento da produtividade das culturas. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito sobre o sistema de irrigação e propriedades químicas do solo pela aplicação de efluente tratado de esgoto doméstico, de água de poço semi-artesiano e fertirrigação convencional, aplicadas por gotejamento superficial e microaspersão na irrigação da cultura de Banana (*musa spp.* (AAA)) cv. Grande Naine. O experimento foi conduzido entre os meses de outubro de 2009 a novembro de 2010, na Universidade Estadual de Goiás – UEG, situada no município de Anápolis-GO. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial de 3 x 2, com 4 repetições, sendo os tratamentos constituídos pela combinação entre a três qualidade da água (Ap: água de poço semi-artesiano, Ar: água Residuária, Af: fertirrigação) e dois tipos de irrigação (Ig: irrigação por gotejamento superficial, Im: irrigação por microaspersão). Foram avaliados a qualidade física e química da água Residuária e da água do poço, a uniformidade de distribuição de água pelos sistemas de irrigação e as características químicas no perfil do solo nas camadas de 0,00-0,20m e 0,20-0,40m no início e no final do experimento. Os resultados obtidos mostram que a qualidade da água Residuária apresentou restrições para uso na irrigação referentes à dureza, ferro e manganês, com valores médios de 435 mg.L⁻¹, 1,79 mg.L⁻¹ e 1,34 mg.L⁻¹, respectivamente, considerados de médio e alto risco para o entupimento de gotejadores. Porém, após o período de 140,85h de funcionamento do sistema de irrigação por gotejamento e 82,20h de funcionamento do sistema de microaspersão, não observou-se obstrução dos emissores e microaspersores, apresentado resultados de excelente à boa uniformidade de distribuição pelo sistema. Houve redução no CUD em relação ao início do cultivo de 13,67% e 1,93% no gotejamento e na microaspersão, respectivamente. A avaliação da CE e RAS da água Residuária demonstrou risco moderado e severo, respectivamente, de salinização do solo, podendo causar em médio prazo redução na taxa de infiltração do solo. Com relação aos parâmetros analisados no solo, o pH foi um fator limitante no desenvolvimento da cultura, permanecendo abaixo do indicado para o cultivo da bananeira, chegando a apresentar um pH 3,93 no tratamento AfIm, sendo muito ácido para a cultura. Os teores de cálcio, enxofre, fósforo, magnésio e zinco apresentaram incrementos em relação aos valores iniciais tanto no perfil de 0,00-0,20m quanto no 0,20-0,40m. Destacando-se o fósforo que teve um aumento de 2775% no tratamento ApIm na camada de 0,20-0 40m. Mesmo com esse nutrientes apresentando acréscimos, ainda se encontram abaixo dos índices indicados para o cultivo da bananeira. Já os valores de cobre, manganês e sódio, em geral, apresentaram redução dos teores no solo em relação aos iniciais, provavelmente devido a absorção pelas plantas. Os resultados mostram que a utilização do efluente tratado de esgoto doméstico pode ser uma alternativa viável para a irrigação da bananeira utilizando tanto o gotejamento superficial quanto por microaspersão.

Palavras-chave: reúso, fertirrigação, efluente.

ABSTRACT

The reuse water for non-potable purposes has been driven around the world due to increasing difficulty in meeting a growing demand of water for public supply. Moreover, the use of wastewater in agriculture has been presenting itself as an alternative to reduce their environmental impact by generating economic benefits and increased crop yields. The objective of this study was to evaluate the effect on the irrigation system and soil chemical properties by application of treated effluent of domestic sewage, water and semi-artesian well conventional fertigation, applied by drip irrigation and micro irrigation culture Banana (*Musa spp.* (AAA)) cv. Grande Naine. The experiment was conducted during October 2009 to November 2010, the State University of Goiás - UEG, located in the city of Anápolis-GO. The experimental design was randomized blocks in factorial 3 x 2 with four replications, with treatments consisting of the combination of the three water quality (Ap: water semi-artesian well, air, wastewater, Af: fertigation) and two types of irrigation (Ig: surface drip irrigation, Im: micro sprinkler irrigation). We evaluated the physical and chemical wastewater and well water, the uniformity of water distribution systems for irrigation and chemical characteristics in the soil profile in layers of from 0.00 to 0.20 m and 0.20-0.40 m at the beginning and end of the experiment. The results show that the quality of wastewater presented for use in irrigation restrictions related to hardness, iron and manganese, with average values of 435 mg L⁻¹, 1.79 and 1.34 mg.L⁻¹ mg.L⁻¹, respectively, considered medium to high risk for clogging of drippers. However, after a period of 140.85 hours of operation of drip irrigation and 82.20 h of operation of the sprayer, there was no obstruction of the transmitters and emitters, presented the results of good excellent uniformity of the distribution system. A reduction in CUD compared to the beginning of the cultivation of 13.67% and 1.93% in drip and micro sprinkler, respectively. The EC assessment of wastewater and RAS showed moderate risk and severe, respectively, soil salinization, may cause medium-term reduction in soil infiltration rate. With respect to the parameters analyzed in the soil pH was a limiting factor in the development of culture, remaining below the recommended for the cultivation of banana, coming to have a pH 3.93 In order to treat and is very acid to the culture. Calcium, phosphorus, magnesium and zinc showed increases compared to baseline both in profile and in the 0.00 to 0.20 m from 0.20 to 0.40 m. Highlighting the match that had an increase of 2775% in the treatment APIM layer 40m from 0.20 to 0.40. Even with that showing nutrient additions, are still below the rates indicated for the cultivation of banana. The values of copper, manganese and sodium, in general, showed reduced levels in the soil as compared to initial, probably due to absorption by plants. The results show that the use of treated effluent of domestic sewage can be a viable alternative to the irrigation of banana using both the micro and drip irrigation.

Keywords: reuse, drip irrigation, effluent.

1 INTRODUÇÃO

A agricultura irrigada apresenta o maior consumo de água entre os vários usos múltiplos, chegando a muitos países a 80% do consumo total. Com o recente crescimento populacional desordenado e a demanda por alimentos cada dia mais elevada, houve um estímulo a exploração de produtos agrícolas com vista à utilização de técnicas de irrigação reduzindo a necessidade de expansão da fronteira agrícola, pois essa prática promove a suplementação das irregularidades na distribuição das chuvas; permite a obtenção de colheitas na entressafra e incremento da produtividade; possibilita maior eficiência no uso de fertilizantes; promove crescimento dos setores agroindustriais com geração de empregos; absorve mais mão de obra pelo aumento de ciclos produtivos ao longo do ano, fixando o homem no campo e; contribui de fato para uma agricultura econômica, sustentável e estratégica.

O aumento da demanda de água pode gerar conflitos entre os diferentes usuários em decorrência de sua escassez, proporcionado pelo grande consumo de água na irrigação, gerando uma preocupação com a preservação dos recursos hídricos.

Na região do Cerrado, grande produtora agrícola, com larga utilização dos recursos hídricos na irrigação, por ocasião de estiagens sazonais, tem resultado em conflitos de uso com o abastecimento público de água, ocorrendo tanto em importantes pólos urbanos, como Distrito Federal, nas cidades de Goiânia, Anápolis e Palmas, como em algumas cidades de menor porte. Além disso, a ausência de tratamento dos efluentes urbanos implica em problemas de poluição, notadamente quando as cidades se localizam em divisores de água e nascentes (GEO BRASIL, 2007).

Alternativas a estas questões está o uso de águas de qualidade inferior, como de água residuária. Dentre os fatores que contribuem para a difusão do uso de água residuária para irrigação de culturas, pode-se citar: a dificuldade crescente de identificar fontes alternativas de águas de irrigação; custo elevado de fertilizantes; a segurança de que os riscos para a saúde pública e os impactos sobre o solo são mínimos se as precauções adequadas forem tomadas; os custos elevados dos sistemas de tratamento, necessários para descarga de efluentes em corpos receptores; a aceitação sociocultural do reúso agrícola e o reconhecimento da prática de reúso pelos órgãos gestores dos recursos hídricos (PIRES, et al., 2001).

No Brasil, o uso de águas residuárias ainda não se encontra consolidado. Uma das razões para este fato é a ausência de uma regulamentação abrangente, normatizando o reúso nas atividades urbanas, agrícolas, industriais e na aquicultura.

Estudo realizado no Estado do Texas sobre a utilização de efluente doméstico na irrigação mostram que houve uma elevação significativa de sódio no solo, em situações em que o teor inicial deste íon no efluente era alto (305 mg.L^{-1}) e no solo era baixa, quando aplicados por gotejamento subterrâneo. O fósforo aumentou significativamente próximo do emissor e na superfície do solo, pelo fato da linha de gotejadores estar instalada a uma pequena profundidade (0,08 m). O nitrogênio total, cálcio, magnésio, potássio, carbono orgânico total e conteúdo total de sais, não indicaram mudança significativa no perfil do solo (JNAD et al., 2001).

No Brasil, estima-se que mais da metade da água consumida ocorre na agricultura irrigada. Segundo Silva et al. (2001), a utilização de água de má qualidade pode aumentar o pH no solo e promover desequilíbrio nutricional na bananeira, que é muito sensível ao desbalanço entre Ca, K e Mg.

Embora seja uma técnica que vise ao aumento da produtividade das culturas, em especial em regiões áridas e semiáridas, a irrigação apresenta grande impacto nas disponibilidades hídricas, uma vez que grandes demandas de água são alocadas principalmente para as regiões onde se verificam altas concentrações de áreas irrigadas (BORGES e SOUZA, 2004).

O conhecimento da necessidade hídrica máxima diária e total anual de determinada cultura em uma região possibilita dimensionar a rede hidráulica de projetos de irrigação (canais, tubulações, reservatórios e estações de bombeamento) e estimar o volume total de água retirado para suprir suas necessidades hídricas, informação esta fundamental no gerenciamento de recursos hídricos e no planejamento de projetos hidroagrícolas (RODRIGUES e IRIAS, 2004).

Diante desse contexto, os estudos sobre a aplicação de água Residuária tratada tem a finalidade de definir com melhor clareza os efeitos sobre o solo, planta e sistemas de irrigação, analisando aspectos positivos e negativos da utilização destas na produção agrícola e no meio ambiente.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Avaliar os efeitos de diferentes qualidades de água, aplicadas por gotejamento e microaspersão sobre as alterações químicas do solo e uniformidade de distribuição de água dos sistemas de irrigação.

2.2 ESPECÍFICOS

Analisar a qualidade físico-química das águas utilizadas na irrigação da cultura da bananeira.

Avaliar a uniformidade de distribuição de água e a obstrução dos emissores nos sistemas de irrigação por gotejamento superficial e microaspersão no início e no final do experimento em função da qualidade da água.

Estudar a alteração dos sais no perfil do solo irrigado em função da qualidade da água e tipo de sistema de irrigação.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 AGRICULTURA IRRIGADA

Dentre os usos múltiplos da água, a agricultura é hoje a atividades que requer o maior volume de água, em relação aos vários outros usos como: alimentação, higiene, lazer, transporte, processos produtivos industriais e comerciais (RODRIGUES e IRIAS, 2004).

Considerando os vários usos da água como higiene, alimentação, transporte, lazer e processos produtivos industriais, comerciais e agrícolas, este último é o que requer maior volume de água. De um modo geral no mundo, cerca de 70% de toda água retirada dos rios ou do subsolo é usada para irrigação, além deste uso ser altamente consultivo, isto é, um uso em que grande parte ou o total da água captada não retorna aos mananciais de origem (RODRIGUES e IRIAS, 2004).

Em muitos países em desenvolvimento, a irrigação é responsável por mais de 90% da água extraída das fontes disponíveis. Na Inglaterra, onde há chuvas abundantes o ano todo, a água usada na agricultura responde por menos de 1% do uso humano. Em outros países como Espanha, Grécia e em Portugal a água usada para irrigação excede 70% do uso total (ANA, 2009a).

A vazão de retirada total de água no Brasil corresponde a $1.841,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ dividindo-se em 47% para a agricultura irrigada, 28% abastecimento urbano e rural, 17% uso industrial e 8% para uso animal. Já quando se avalia as vazões de consumo, a irrigação responde por 67% do consumo de água (ANA, 2009b).

A distribuição da irrigação no Brasil, tendo como base de cálculo a porcentagem da área pela área total irrigada, concentra 30% da irrigação na região Sul do país; 30% na região Sudeste; 26% na região Nordeste; 11% na região Centro-Oeste e 3% na região Norte do Brasil (ANA, 2009b).

Sendo a irrigação por superfície a mais utilizada no Brasil com 50% de uso no território; aspersão mecanizada e convencional 40% e irrigação localizada responsável por 10% da irrigação do território nacional (ANA, 2009b).

Apesar do grande consumo de água, por meio da irrigação, pode-se intensificar a produção agrícola, fornecendo a quantidade de água necessária à planta no momento em que ela necessita e nas quantidades necessárias, regularizando ao longo do ano, as disponibilidades e os estoques de cultivares, uma vez que esta prática permite a produção de alimentos em regiões ou épocas de escassez de água, pois dependendo da região e da época do

ano, o cultivo de determinadas culturas sem irrigação se torna inviável. No entanto, a expansão da agricultura irrigada tem como questão preocupante o elevado consumo e as restrições de disponibilidade de água.

Atualmente, o crescimento populacional e a demanda por alimentos impulsionam a exploração de produtos agrícolas com a utilização de técnicas de irrigação reduzindo a necessidade de expansão da fronteira agrícola, pois, essa prática promove a suplementação das irregularidades na distribuição das chuvas; permite uma agricultura econômica, sustentável e estratégica na região Nordeste; obtenção de colheitas na entressafra; incremento da produtividade (em média a produtividade nas áreas irrigadas é 2,5 a 3,0 vezes maior do que a das áreas não irrigadas); melhora a qualidade dos produtos agrícolas; possibilita maior eficiência no uso de fertilizantes; promove crescimento dos setores agroindustriais com geração de empregos; absorve mais mão de obra pelo aumento de ciclos produtivos ao longo do ano fixando o homem no campo; permite o surgimento de condições favoráveis para o desenvolvimento econômico da região e, a intensificação da prática da irrigação configura uma opção estratégica de grande alcance para aumentar a oferta de produtos destinados à mercados distintos (STONE, 2005; BERNARDO et al., 2009; LIMA et al., 2006).

Bernardo et al. (2009) salienta que a irrigação como prática isolada não propiciará os benefícios desejados, pois para a obtenção de aumento da produtividade e da produção e, conseqüentemente do lucro do produtor, a irrigação deve ser acompanhada de outras práticas culturais, como, variedades produtivas e de bom valor comercial, adubações, controle fitossanitário, tratamentos culturais, e principalmente eficiência do uso de água, minimizando os custos e conseqüentemente gerando sustentabilidade econômica, sustentabilidade social e sustentabilidade ambiental.

A banana é uma das frutas mais consumidas (67% da área irrigada) são cultivados com banana, no mundo, sendo explorada na maioria dos países tropicais. O Brasil ocupa o segundo lugar em produção mundial. No norte de Minas Gerais, atualmente, cerca de 8.000 ha (67% da área irrigada) são cultivados com banana, predominantemente do Grupo Prata (LIMA et al., 2006).

No estado de Goiás a área cultivada de banana foi de 14.986 mil ha e a produção total foi de 189.487 mil (t) no ano de 2010 (IBGE, 2011).

3.1.1 Irrigação por gotejamento e microaspersão

O gotejamento é um sistema de irrigação no qual a água é aplicada ao solo, diretamente sobre a região radicular, em pequenas intensidades, porém, com alta frequência (turno de rega reduzido), de modo que mantenha a umidade do solo na zona radicular próxima à capacidade de campo, ficando a superfície do solo com uma área molhada no formato circular e seu volume molhado com forma de bulbo. Porém, quando os gotejadores são próximos uns dos outros, forma-se uma faixa molhada contínua (BERNARDO et al., 2009).

As principais vantagens da irrigação por gotejamento são: maior produtividade, pois permite um incremento de produtividade na cultura da bananeira de até 40%; maior eficiência no uso da água com economia de água em torno de 30%; maior flexibilidade no uso da fertirrigação; maior eficiência no controle fitossanitário, devido à aplicação de água diretamente no solo, sem molhar a folhagem e os frutos reduzindo dessa maneira a incidência de pragas e doenças na cultura, fato que leva a redução nos custos com agrotóxicos. Além disso, o método pode ser adaptado a diferentes tipos de solos e topografia e permite a economia de mão-de-obra. Esse sistema permite associar as necessidades atuais de redução de consumo de água com alta eficiência de aplicação, pois consiste na aplicação diretamente sobre a região radicular por tubos perfurados com orifícios de diâmetro reduzido, em pequenas quantidades, porém, com alta frequência mantendo a umidade do solo na zona radicular próximo a capacidade de campo (MAROUELLI, et al., 2001 BERNARDO et al., 2009).

O sistema de irrigação por gotejamento superficial tem sido estudado por diversos autores na intenção de verificar a aplicabilidade utilizando-se águas residuárias tratadas. Batista et al. (2008, 2006) considera que a irrigação localizada associado a aplicação de esgoto sanitário tratado, tem vantagem pelo baixo risco de contaminação do produto agrícola e de operadores no campo. Entretanto, os emissores apresentam alta suscetibilidade ao entupimento o que pode ocasionar, conseqüentemente, diminuição na uniformidade de aplicação.

Vale destacar que a escolha do método de aplicação de águas residuárias, bem como o tipo de cultura e manejo utilizados pode exercer papel fundamental na qualidade microbiológica final dos alimentos produzidos (EL-HAMOURI et al., 1996).

Desse modo, a escolha do sistema de irrigação por gotejamento superficial permite, conforme Bernardo et al. (2009), a redução no consumo de água de irrigação, otimização dos sistemas de rega das plantas, incremento na produtividade, maior eficiência no controle

fitossanitário, adaptação a diferentes tipos de solos e topografias. Além de evitar o contato da água com os frutos proporcionando efeito positivo na aplicação de água residuárias reduzindo, desse modo, o risco de contaminação.

No entanto, pode ocorrer inconveniente ao utilizar o sistema de gotejo com água residuária, pois, segundo Frigo et al. (2006) e Blum (2003) a qualidade da água utilizada na agricultura irrigada é de fundamental importância para o desempenho dos sistemas de irrigação e de seus componentes, pois, os efeitos da qualidade destas águas tem sido a causa de sérios problemas em sistemas de irrigação localizada, ao causar aumento nos níveis de sais no perfil do solo e o entupimento de tubulações e emissores pelo crescimento biológico e depósito de partículas inorgânicas, ocasionando como consequência, irrigações não uniformes e queda na sua eficiência. Outro fator negativo da aplicação de água residuária por gotejamento é o aumento nos níveis de sais no perfil do solo, devido à alta concentração de sais nas águas residuárias.

3.1.2 Manejo da irrigação

A água é fator limitante para o desenvolvimento agrícola, sendo que tanto a falta ou excesso afetam o crescimento, a sanidade e a produção das plantas. O manejo racional de qualquer projeto de irrigação deve considerar os aspectos sociais e ecológicos da região e procurar maximizar a produtividade e a eficiência do uso da água e minimizar os custos.

A adoção de técnicas racionais de manejo conservacionista do solo e da água é de fundamental importância para a sustentabilidade, de tal forma que se possa, economicamente, manter ao longo do tempo esses recursos com quantidade e qualidade suficientes para a manutenção de níveis satisfatórios de produtividade (PIRES et al., 2001).

Dentre os fatores que influenciam diretamente o manejo da irrigação estão os fatores climáticos, a exemplo a evapotranspiração da cultura.

Alves Sobrinho et al. (1997), Oliveira e Carvalho (1998), compararam várias metodologias de estimativa de ETo com o modelo Penman-Monteith, e os resultados encontrados apresentaram altos níveis de correlação. Este fato indica a possibilidade de se utilizarem modelos que exigem poucas variáveis climatológicas na estimativa da ETo, baseados no modelo de Penman-Monteith.

Stone (2005) comparara nove modelos de estimativa de ETo com os resultados obtidos a partir da evaporação do tanque Classe “A” para o município de Santo Antônio de Goiás. Com base nos resultados obtidos os autores verificaram que o modelo de Penman foi o que

apresentou maior coeficiente de correlação com os valores medidos pelo tanque classe “A”, seguido dos modelos de Hargreaves e Garcia-Lopez. Esses dois últimos modelos empregam na sua formulação a umidade relativa, variável climática que mais influenciou a evaporação do tanque classe “A”, o que justifica a alta correlação.

Na prática, a evapotranspiração da cultura (ET_c) é determinada indiretamente por metodologias com base nos elementos meteorológicos importantes para esse processo (temperatura, umidade relativa, radiação solar e velocidade de vento).

Para manejo da água no solo pode-se utilizar o tensiômetro, que deve ser instalado na profundidade em que esteja concentrada a maior parte do sistema radicular da cultura. Geralmente instala-se um equipamento no ponto médio da profundidade efetiva do sistema radicular (15 a 25 cm), no caso da banana, e outro num limite abaixo (30 a 40 cm). Estes valores sugeridos dependerão também do estágio de desenvolvimento da planta. O tensiômetro mede o componente matricial do potencial de água no solo, geralmente conhecido com tensão de água no solo. Porém, tem uma grande limitação, devido à sua estreita faixa de atuação, comparada com os valores dos limites superior e inferior de água no solo (-33 kPa para capacidade de campo e -1500 kPa para ponto de murcha permanente), valores considerados para solos argilosos (PIRES et. al., 2001).

Na comparação das curvas de retenção de água, verifica-se que elas são bastante semelhantes, indicando, assim, que não há ocorrência de características diferenciais entre as camadas do solo. Ao calcular as diferenças de quantidade de água retida entre as tensões 33 kPa e 1500 kPa, respectivamente, a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente (HILLEL, 1980), constata-se que a retenção de água do Latossolo Vermelho-Escuro é, de maneira geral, entre 0,04 e 0,05 m³.m⁻³, o que indica que esse solo, apesar de seu considerável teor de argila, apresenta capacidade de água disponível às plantas que pode ser classificada como baixa, de acordo com CURI et al. (1990).

3.1.3 Fertirrigação

A fertirrigação é um processo de aplicação de fertilizantes simultaneamente com a água de irrigação visando fornecer as quantidades de nutrientes exigidas pela cultura, o que permite a otimização do uso dos nutrientes pelas plantas, desde que os sistemas estejam adequadamente dimensionados e haja solubilidade e compatibilidade dos fertilizantes empregados. Esta otimização é devido à possibilidade de se fazer um parcelamento maior do que normalmente se faria em uma adubação de cobertura convencional, obtendo como

resultado, produções mais elevadas e de melhor qualidade, pois o nível de fertilidade no solo poderá permanecer sempre próximo do ideal durante todo o ciclo da cultura (VILLAS BOAS et al., 1999; SILVA et al., 1999).

A aplicação de fertilizantes através da água de irrigação é uma prática que pode ser associada aos sistemas de irrigação localizada. Na maioria dos casos, o sistema de irrigação por gotejamento é o mais utilizado, mas pode-se também utilizar sistemas de microaspersão ou subirrigação. Essa escolha dependerá do tamanho das partículas do substrato.

Essa prática, denominada fertirrigação, constitui-se numa técnica de aplicação simultânea de fertilizantes e água ao solo, através de um sistema de irrigação. É uma prática agrícola essencial para o manejo de culturas irrigadas, quando se utiliza sistema de irrigação localizada, sendo uma das maneiras mais eficientes e econômicas de aplicar fertilizantes nas plantas, principalmente nas regiões de climas áridos e semi-áridos, pois aplicando-se os fertilizantes em menor quantidade por vez, mas com maior frequência, é possível manter-se um nível uniforme de nutrientes no solo, durante o ciclo vegetativo da cultura, o que aumentará a eficiência do uso de nutrientes pelas plantas e, conseqüentemente, a sua produtividade (RODRIGUES e SOUTO, 2010).

A fertirrigação permite manter a disponibilidade de água e nutrientes próxima dos valores considerados ótimos ao crescimento e à produtividade da cultura. Sendo assim, a quantidade de nutrientes, parcelada ou não, deve ajustar-se às necessidades da cultura ao longo das fases de desenvolvimento. Ainda, o manejo da água deve evitar variações bruscas do potencial matricial do substrato, especialmente nos períodos de forte demanda evaporativa da atmosfera (FERNANDES, 2002).

Por meio desta técnica, há possibilidade de ajustes de aplicação relacionados às diferentes fases fenológicas da cultura resultando em maior eficiência e economia de fertilizantes. Além de permitir a distribuição dos adubos na região de maior densidade das raízes; possibilidade de controle da profundidade de aplicação do adubo, resultando em menor perda por lixiviação e volatilização, visto que os fertilizantes encontram-se dissolvidos na água; menor compactação do solo devido à redução do trânsito de máquinas; economia de mão de obra e comodidade na aplicação (CARRIJO et al., 2004).

Com base em estudos realizados por Fernandes et al. (2007) o uso da fertirrigação apresenta algumas vantagens e desvantagens, no que diz respeito a sua aplicação. Dentre suas vantagens são: a) melhor aproveitamento do equipamento de irrigação; b) economia de mão-de-obra; c) distribuição uniforme e localizada dos fertilizantes; d) aplicação de adubo em qualquer fase do desenvolvimento da cultura; e) eficiência do uso e economia de fertilizantes;

f) redução da compactação do solo e danos mecânicos à cultura e g) possibilidade de aplicação de micronutrientes. Com relação a suas limitações, em sua maioria não estão ligada a fertirrigação propriamente dita, mas ao manejo da fertirrigação, que é feita de maneira incorreta, e a falta de informações ligadas à nutrição da cultura.

Para Macedo e Alvarenga (2005) a fertirrigação localizada possibilita a aplicação em função da demanda hídrica e nutricional da planta. Folegatti (2001) concorda afirmando que para a aplicação de fertilizantes pode-se utilizar qualquer sistema de irrigação, no entanto, os pressurizados são os mais indicados com destaque para a irrigação por gotejamento.

Apesar de a técnica demonstrar ser promissora nos trabalhos realizados, os autores citados sugerem a realização de estudos que permitam o melhor entendimento dessa técnica para equacionar as complexas interações existentes sobre a cinética de absorção de nutrientes ao longo do ciclo da cultura.

Estudos realizados por Foratto et al. (2007) e Barros et al. (2009) avaliaram outras consequências da aplicação de fertilizantes, principalmente os fosfatados, via fertirrigação por gotejamento tendo concluído que podem causar incrustações nas tubulações ocorrendo obstrução dos gotejadores. Um dos motivos da formação de precipitados ocasionando entupimento dos emissores é a possibilidade da presença de águas alcalinas ou com pH acima de 6,5 (VILLAS BOAS et al., 1999). Entretanto os autores citados também sugerem pesquisas mais profundas sobre a utilização de ácidos para desobstruir as tubulações. Apesar das limitações apresentadas, alguns autores afirmam que a fertirrigação com fósforo pode ser vantajosa (SILVA et al., 1999).

Resultados de pesquisas com diversas culturas (MEDEIROS et al., 2007; SANDRI et al., 2007; SOUSA, 2006a) tem demonstrado também que a aplicação de água residuária tem resultado em um recurso hídrico importante para suprimento de nutrientes, principalmente N, P e K, as exigências nutricionais das culturas. Todavia o fornecimento de nutrientes as culturas pelas águas residuárias é influenciado pela lâmina aplicada e por sua composição. Podendo resultar, também, em alterações físicas e químicas do solo, da solução do solo e das águas subterrâneas. Estas alterações dependerão da taxa de aplicação, concentrações e características das substâncias (inertes ou reativas), e também associadas às características químicas e físicas do solo.

3.2 REÚSO AGRÍCOLA E QUALIDADE DA ÁGUA PARA A IRRIGAÇÃO

O volume e qualidade de água existente na natureza vêm diminuindo gradativamente, decorrente principalmente da urbanização, expansão da agricultura, indústria e degradação do meio ambiente. Estas mudanças resultaram na escassez de água em várias regiões do mundo, dificultando o atendimento aos múltiplos usos a que se destina (HESPANHOL, 2003).

Levantamentos realizados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) das Nações Unidas, indicam que um terço da população mundial vive em regiões de moderado a alto stress hídrico, ou seja, com um nível de consumo superior a 20% da sua disponibilidade d'água. As estatísticas da OMM demonstram que, nos próximos 30 anos, a situação global das reservas hídricas tende consideravelmente a piorar, caso não ocorram ações para melhoria da gestão da oferta e demanda de água (BERNARDO, et. al., 2009).

Conforme Bernardo et. al., (2009), o consumo específico para uso agrícola varia dependendo do método de irrigação empregado, natureza do solo, exigência hídrica das diferentes culturas e dos índices de evaporação das regiões agricultáveis são elementos importantes para se definir o consumo de água para irrigação.

Para Hespanhol (2003) a agricultura depende, atualmente, de suprimento de água em grande escala de modo que a sustentabilidade da produção de alimentos não poderá ser mantida, sem o desenvolvimento de novas fontes de suprimento e a gestão adequada dos recursos hídricos convencionais. Diante desse panorama a FAO (1992), considera a escassez desse recurso como um problema ambiental de solução complexa.

Entretanto, Hespanhol (2003) e Sousa et al. (2006b) apontam à prática de uso de águas residuárias como alternativa capaz de promover a agricultura sustentável e o desenvolvimento rural, fornecendo ao solo e aos vegetais, água, nutrientes e matéria orgânica que atuarão como fertilizantes orgânicos e na conservação do solo.

Estudos efetuados em diversos países demonstraram que a produtividade agrícola aumenta significativamente em áreas fertirrigadas com águas residuárias de origem doméstica, desde que sejam adequadamente manejadas. Segundo Medeiros et. al. (2007), as maiores vantagens do aproveitamento da água residuária para fins agrícolas residem na conservação da água disponível e na possibilidade de aporte e reciclagem de nutrientes (reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos), concorrendo para a preservação do meio ambiente.

Segundo Sandri et al., (2007) também pode diminuir os custos de tratamento devido a atuação do solo como meio filtrante, servir para as plantas como fonte de nutrientes e reduzir

custos com fertilizantes químicos comerciais, principalmente em locais onde a oferta de água é menor que a demanda, permitindo que águas de melhor qualidade sejam destinadas para uso prioritário como abastecimento público.

O reúso da água pra fins não-potáveis tem sido impulsionado em todo o mundo em razão da crescente dificuldade de atendimento a uma demanda cada vez maior de água para o abastecimento público doméstico e da escassez cada vez maior de mananciais próximos ou de qualidade adequada para abastecimento após o tratamento convencional da água (PHILIPPI, 2004).

No Brasil e alguns países, segundo Bertoncini (2008), as razões pela qual não se encontra consolidada o reúso agrícola e em alguns países são os entraves legislativos e técnicos que limitam o uso dessa prática.

Entre os entraves políticos citados pelo autor pode-se destacar:

Falta de tratamento de esgoto e dejetos e risco de uso de produtos não tratados para o ambiente e saúde pública;

- Falta de estudos que subsidiem a construção de legislação que regularmente o reúso;
- Falta de legislação apropriada para cada tipo de efluente;
- Elevado custo de investimento inicial em sistemas de tratamento e distribuição.

Como entraves técnicos podem-se citar:

- A mistura de esgoto doméstico e industrial na mesma rede coletora;
- A falta de tratamento de esgoto, resultando na baixa oferta de efluentes tratados;
- A ausência de tratamentos secundários e desinfecção, que removeriam contaminantes do efluente, possibilitando seu uso em culturas agrícolas.

Os efeitos positivos e negativos da utilização de água residuária na agricultura são evidenciados por vários pesquisadores.

Vale destacar que a escolha do método de aplicação de águas residuárias, bem como o tipo de cultura e manejo utilizados pode exercer papel fundamental na qualidade microbiológica final dos alimentos produzidos (EL-HAMOURI et al., 1996).

No entanto, pode ocorrer inconveniente ao utilizar o sistema de gotejamento com água residuária, pois, segundo Frigo et al. (2006) e Blum (2003) a qualidade da água utilizada na agricultura irrigada é de fundamental importância para o desempenho dos sistemas de irrigação e de seus componentes, pois, os efeitos da qualidade destas águas tem sido a causa de sérios problemas em sistemas de irrigação localizada, ao causar aumento nos níveis de sais

no perfil do solo e o entupimento de tubulações e emissores pelo crescimento biológico e depósito de partículas inorgânicas, ocasionando como consequência, irrigações não uniformes e queda na sua eficiência de irrigação.

Friço et al. (2006) utilizando água residuária da suinocultura na irrigação por gotejamento, concluiu que o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) diminuiu em função da maior quantidade de sólidos e sais dissolvidos na água residuária de suínos.

Estudo realizado por Cunha (2006) avaliou a uniformidade de distribuição em sistema de aplicação por gotejamento utilizando água residuária tratada identificando valores de coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) de 100% e 76%, respectivamente, após 144 horas de funcionamento da unidade de aplicação por gotejamento. Valores considerados abaixo dos níveis aceitáveis para o sistema e superiores aos valores de 16,96% e 31,98% obtidos por Batista (2006) com a aplicação de esgotos sanitários tratados, via sistema de irrigação por gotejamento.

Outro fator negativo da aplicação de água residuária por gotejamento, de acordo com Blum (2003), é aumento nos níveis de sais no perfil do solo, devido a altas concentrações de sais nas águas servidas.

Questões como a poluição dos corpos receptores e outros fatores como a escassez de recursos hídricos, a crescente deterioração dos mananciais de água, o elevado custo de insumos agropecuários, o avanço de tecnologias de tratamento de efluentes e do conhecimento técnico científico sobre o potencial e limitações do reúso de água, incluindo os aspectos agrônômicos, ambientais e, principalmente, sanitários, contribuem para que a aplicação de águas residuárias na agricultura, através da irrigação, despertasse cada vez mais interesse em todo o mundo (BOSCO et al., 2008).

Em vista disso, o reúso da água é hoje um fator importante para a gestão dos recursos hídricos. Segundo Mancuso e Santos (2003) do total de água existente no planeta mais de 99% não servem para o consumo humano ou têm custo bastante elevado quando se fala em sua exploração.

Da água consumida, 65% são utilizados na agricultura, 25% na indústria e 10% para fins urbanos. Na maioria das vezes esta água é, depois de usada, descartada no meio ambiente, em forma de esgoto com ou sem tratamento. A água de reúso, que é a água residuária já dentro dos padrões mínimos exigidos para utilização, quando lançada no solo é, também, uma prática das mais antigas conhecidas pelo homem (MEHNERT, 2003).

O reaproveitamento de águas residuárias é realidade em alguns países, como Israel, no qual 65% do efluente sanitário tratado são utilizados na irrigação agrícola, planejada e

controlada por meio de legislação (CAPRA e SCICLONE, 2004). A Índia aproveita aproximadamente 75% dos seus esgotos tratados e não tratados para irrigação. No México, 45.000 L de esgoto produzidos na cidade do México são misturados diariamente, com água de chuva, sendo a mistura encaminhada por meio de canais a uma distância de 60 km, para irrigação de 80.000 ha cultivados com cereais e forragens (BASTOS et al., 2003). Porém, não há tratamento, nem controle da disposição de efluentes sanitários no solo, caracterizando uma situação não recomendável.

De acordo com Bixio et al. (2008), países como o Japão, Estados Unidos e região da Europa predomina o reúso urbano, enquanto que nas regiões mediterrâneas e América Latina há predomínio do reúso agrícola. Na Austrália, áreas de 600 ha cultivadas com cana-de-açúcar estão sendo irrigadas com efluentes de tratamento de esgoto. A utilização dos efluentes proporcionou aumento de 45% da produção e 62,5% da produção de açúcar (BRADDOCK e DOWNS, 2001).

No Brasil, o reúso na irrigação agrícola ainda é considerado uma prática nova, com destaque para imensas áreas de cana-de-açúcar irrigadas com vinhaça. Vários autores (COSTA et al., 2009; SANDRI et al., 2009; BOSCO et al., 2008; DUARTE et al., 2006, GONÇALVES et al., 2006; BATISTA et al., 2006; AZEVEDO e OLIVEIRA, 2005; e outros) têm pesquisado a aplicação de água de diversas qualidades na irrigação agrícola para avaliar o efeito das mesmas sobre as alterações das propriedades físicas e químicas do solo, sobre o desenvolvimento da cultura, sobre os efeitos no sistema de irrigação e suas consequências sanitárias, econômicas e ambientais.

Em função das consequências sobre as características químicas e físicas existentes nas águas utilizadas para irrigação, alguns critérios são estabelecidos para atender a qualidade das águas de irrigação (Tabela 1).

A alta concentração de sais no solo pode causar severa redução na taxa de infiltração do solo e também ser tóxica as plantas, visto que a presença de sais atua no potencial osmótico. Se esta for diminuída será impossível suprir a vegetação com quantidade suficiente de água, o que trará obviamente problemas ao crescimento vegetativo. O problema de infiltração da água no solo, isto é, a permeabilidade da água, ocorre nos primeiros centímetros de solo e são relacionados a estabilidade estrutural da superfície dos solos (CAMPOS, 2001). A taxa de infiltração depende fundamentalmente da salinidade e da concentração de sódio em relação às concentrações de cálcio e magnésio, ou seja, a RAS.

A Tabela 2 apresenta padrões de concentrações máximas recomendadas de alguns oligoelementos em água de irrigação superficiais em função da toxicidade promovida por esses elementos às culturas em decorrência da presença excessiva.

TABELA 1. Critérios adotados na interpretação da qualidade das águas superficiais para a irrigação.

Parâmetro	Unidade	Restrição de uso		
		Nenhuma	Moderada	Severa
Salinidade (fator limitante da disponibilidade de água para a cultura)				
CE	dS m ⁻¹	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0
SDT	mg L ⁻¹	< 450	450 - 2000	> 2000
Infiltração (avaliada usando CE e RAS simultaneamente)				
RAS		CE		
0 – 3		> 0,7	0,7 – 2,0	< 0,2
3 – 6		> 1,2	1,2 – 0,3	< 0,3
6 – 12		> 1,9	1,9 – 0,5	< 0,5
12 – 20		> 2,9	2,9 – 1,3	< 1,3
20 – 40		> 5,0	5,0 – 2,9	< 2,9
Toxicidade de elementos químicos específicos (afeta culturas sensíveis)				
Sódio (Na ⁺)				
Irrigação superficial	RAS	<4	4 - 10	> 10
Boro (B)	mg L ⁻¹	< 0,7	0,7 a 3,0	> 3,0
Nitrogênio (NO ₃)	mg L ⁻¹	< 5	5 – 30	> 30
pH	Faixa normal 6,5 – 8,4			
Irrigação de plantas consumidas cruas				10
Irrigação de plantas consumidas cozidas				30

Fonte: Adaptada de Ayers e Westcot (1991) e USEPA (1992).

Legenda: CE – condutividade elétrica; SDT – sólidos dissolvidos totais; RAS – razão de adsorção de sódio.

TABELA 2. Concentrações máximas recomendáveis de alguns oligoelementos em água de irrigação superficiais.

Elemento	Unidade (mg L ⁻¹)	Observações
Alumínio (Al)	5,00	Em solos ácidos (pH < 5,5) podem se tornar improdutivos; porém em solos com pH > 7,0, o alumínio precipita eliminando a fitotoxicidade.
Cobre (Cu)	0,20	Entre 0,1 e 1 mg L ⁻¹ , em soluções nutritivas, promove o aparecimento de sintomas de toxicidade.
Ferro (Fe)	5,00	Não é tóxico em solos bem aerados, embora contribua para tornar P e Mo não disponíveis às plantas.
Manganês (Mn)	0,20	De alguns décimos até poucos mg L ⁻¹ pode ser tóxico em solos ácidos
Molibdênio (Mo)	0,01	Normalmente não é tóxico às plantas. Entretanto, pode causar toxicidade ao gado em casos de pastagens com alto teor de molibdênio.
Zinco (Zn)	2,00	Níveis tóxicos variam amplamente. Sua toxicidade é reduzida em pH > 6 em solos de textura fina.

Fonte: Adaptada de Metcalf e Eddy (1991).

Conforme Gonçalves et al. (2006) e Batista et al. (2006), a utilização de águas residuárias na agricultura é uma alternativa para o controle da poluição dos corpos hídricos receptores e disponibilização de água e fertilizantes às culturas. Entretanto, para que isso possa se tornar uma prática viável é necessário que sejam desenvolvidas técnicas de tratamento, aplicação e manejo de águas residuárias. O grande problema associado à utilização de águas residuárias em sistemas de irrigação por gotejamento, consiste na alteração da vazão pelo entupimento parcial ou total dos gotejadores, afetando a uniformidade de distribuição e suprimento de água às plantas.

Hespanhol (2003) e Sousa et al., (2006b) apontam à prática de uso de águas residuárias como alternativa capaz de promover a agricultura sustentável e o desenvolvimento rural, fornecendo ao solo e aos vegetais, água, nutrientes e matéria orgânica que atuarão como fertilizantes orgânicos e na conservação do solo. Associada as seguintes áreas programáticas: proteção da qualidade das fontes de águas de abastecimento, gestão e uso dos recursos hídricos, visando à disponibilidade de água para a produção sustentada de alimentos e para a proteção dos recursos hídricos, qualidade da água e dos ecossistemas aquáticos.

Vários trabalhos têm mostrado que o uso de efluente de esgoto tratado na agricultura pode aumentar a produtividade agrícola em até 60% devido a seu considerável conteúdo de nitrogênio, tanto na forma orgânica como mineral, cálcio, magnésio e fósforo (HESPANHOL, 2002; KOURAA et al., 2002; MELI et al., 2002; AZEVEDO e OLIVEIRA, 2005). As principais alterações para os solos fertirrigados com águas residuárias se resumem aos efeitos sobre o carbono e nitrogênio totais, atividade microbiana e N-mineral, cálcio e magnésio trocáveis, salinidade, sodicidade e dispersão de argilas (FONSECA et al., 2007).

Matos (2008) afirma que as águas residuárias são ricas em macro e micronutrientes e grande parte desses nutrientes é disponibilizada apenas com a mineralização do material orgânico, exceção feita ao potássio e sódio, pois se considera que não estejam associados ao material orgânico e, portanto, não dependem da mineralização para serem disponibilizados no meio.

Ayers e Westcot (1999) afirmam que a limitação principal do uso de águas residuárias na agricultura é a sua composição química, ou seja, totais de sais dissolvidos, presença de íons tóxicos e concentração relativa de sódio em relação ao cálcio e magnésio, além da tolerância das culturas. A Tabela 3 apresenta uma classificação do potencial de entupimento do emissor em irrigação localizada.

TABELA 3. Risco potencial de entupimento de emissores na irrigação.

Parâmetro	Pequeno	Médio	Alto
pH	< 7,0	7,0 - 8,0	> 8,0
Sólidos suspensos (mg L ⁻¹)	< 50	50 – 100	> 100
Sólidos dissolvidos (mg L ⁻¹)	< 500	500 - 2,000	> 2,000
Cálcio	< 50	50 - 150	> 150
Manganês (mg L ⁻¹)	< 0,1	0,1 - 1,5	> 1,5
Ferro total (mg L ⁻¹)	< 0,2	0,2 - 1,5	> 1,5
Dureza (mg L ⁻¹)	< 150	150 - 300	> 300

Fonte: Adaptado de Nakayama e Bucks (1986).

O excesso de sal na água provoca diminuição de absorção de água pela planta e degrada as características físicas do solo. A salinidade de um solo ocorre pela medição da condutividade elétrica (CE) do extrato de saturação do solo, caso em que um dos íons mais importantes a serem estudados é o sódio que, em excesso, diminui a permeabilidade do solo reduzindo as taxas de infiltração e cujo efeito é avaliado através do cálculo da taxa de adsorção de sódio – RAS (VARALLO et al., 2010).

Segundo Pizarro (1990), os sais solúveis contidos nas águas de irrigação podem, em certas condições climáticas, salinizar o solo e modificar a composição iônica no complexo sortivo, alterando as características físicas e químicas do solo, como o regime de umidade, aeração, nutrientes, desenvolvimento vegetativo e produtividade.

No entanto, os efeitos da aplicação de água residuária nas propriedades químicas do solo, só são pronunciados após longo período de aplicação, pelos parâmetros que definem sua composição física e química, pelas condições de clima e pelo tipo de solo (MEDEIROS et al., 2005). Exigindo, portanto, monitoramento constante para que não haja contaminação do sistema solo-água-planta (BERTONCINI, 2008).

Lucena et al. (2006) estudando os possíveis efeitos da irrigação com efluente de esgoto tratado sobre as propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico concluiu que houve aumento nos teores de fósforo, matéria orgânica, conteúdo de sódio, percentagem de sódio trocável, pH, soma de bases trocáveis e capacidade de troca catiônica do solo.

Já Duarte et al. (2008) concluiu que a utilização de água residuária não provocou alteração significativa nos teores de pH, fósforo e potássio do solo sendo adequada para irrigação de pimentão. Em concordância VARALLO et al. (2010) em seu estudo sobre as

alterações químicas do solo concluiu que a utilização de água de reúso para fins agrônômicos deve ser de forma racional, monitorando-se principalmente a elevação do teor do íon sódio.

A disposição de águas residuárias no sistema solo-planta, quando feita sem critérios agrônômicos e ambientais, pode causar problemas de contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas e toxicidade às plantas; por outro lado, se bem planejada esta aplicação pode trazer benefícios, tais como fonte de nutrientes e água para as plantas, redução do uso de fertilizantes e de seu potencial poluidor. Neste sentido se reveste de importância investigar as taxas de aplicação mais adequadas da água residuária em questão, com base nos solutos presentes em maiores concentrações e determinar seus efeitos do ponto de vista agrônômico e ambiental (ERTHAL et al., 2010).

De acordo com SPERLING (2005), a qualidade da água é resultante de fenômenos naturais e da atuação do homem. De maneira geral, pode-se dizer que a qualidade de uma determinada água é função das condições naturais e do uso da ocupação do solo da bacia hidrográfica. Tal se deve aos seguintes fatores:

De acordo com a resolução CONAMA n. 357/2005 Tabela 4, para analisar a qualidade de água e de lançamento pode-se verificar pH, turbidez, DQO, DBO, nitrogênio total e fósforo, devido aos problemas que estes itens causam tanto na flora e fauna de um ambiente aquático.

TABELA 4. Padrões de lançamento de efluentes em corpos de água e de qualidade de água doce classe 2 previstos na Resolução nº 357/2005 do CONAMA.

Parâmetro	Padrão de lançamento de efluentes	Corpos hídricos classe 2
pH	5,0 a 9,0	6,0 a 9,0
Turbidez	-	até 100 NTU
OD	-	5 mg L ⁻¹
Temperatura	< 40 °C	-
SDT	-	até 500 mg L ⁻¹
SSed	1 ml L ⁻¹	-
DBO5	-	5 mg L ⁻¹
Nitrito	-	1,0 mg L ⁻¹
Nitrato	-	10,0 mg L ⁻¹
		3,7 mg L ⁻¹ , para pH < 7,5
		2,0 mg L ⁻¹ , para 7,5 < pH < 8,0
Amônia	20,0 mg L ⁻¹	1,0 mg L ⁻¹ , para 8,0 < pH < 8,5
		0,5 mg L ⁻¹ , para pH > 8,5
Fósforo	-	0,1 mg L ⁻¹
Ferro Total	15,0 mg L ⁻¹	0,3 mg L ⁻¹
Zinco	5,0 mg L ⁻¹	0,18 mg L ⁻¹
Manganês	1,0 mg L ⁻¹	0,1 mg L ⁻¹
Boro	5,0 mg L ⁻¹	0,5 mg L ⁻¹

SDT - Sólidos Dissolvidos Totais, SSed – Sólidos Sedimentáveis.

3.3 CULTURA DA BANANA

A banana é hoje a fruta mais consumida in natura do mundo, e concentra sua maior produção em países tropicais. Em 2008 a produção mundial de banana atingiu 91 milhões de toneladas e estima-se que até o ano de 2010 ultrapasse os 110 milhões (FAO, 2009). O Brasil está entre os cinco países maiores produtores de banana, a produção total de banana no ano de 2010 atingiu 6.978.312 de toneladas, com uma área plantada de 507.230ha, o Nordeste e o Sudeste são as regiões mais produtoras do país, somando 69,5% do total produzido. A região Centro-Oeste representa apenas 3,6%. O Estado de Goiás produziu 189.487 toneladas em 2010 (IBGE, 2011).

As bananeiras (*musa ssp.*) são plantas herbáceas que apresentam crescimento lento nos primeiros cinco meses (fase de rebroto), com pequena absorção de nutrientes e pouca demanda por água. Entretanto, do quinto mês até o décimo (fase de florescimento) a demanda por água aumenta significativamente, o crescimento se torna intenso e surge um acúmulo significativo de matéria seca (BORGES et al., 1987).

Os períodos mais favoráveis para o plantio da bananeira são os do final da época chuvosa, já que as necessidades de água pela bananeira são menores até os três meses após o plantio. Em solos encharcados no período mais chuvoso deve-se evitar o plantio nestas épocas do ano porque mudas geralmente apodrecem e morrem, ou nascem muito fracas. Se o solo não encharca, ou seja, se tem uma textura boa, estrutura e drenagens, pode-se plantar em qualquer época de ocorrência de chuvas. Nas regiões no nordeste, onde se utilizam sistemas de irrigações, pode se implantar a cultura da bananeira em qualquer época do ano.

O porte da cultivar, o nível tecnológico do cultivo, as condições edafoclimáticas da região e o destino da produção, são fatores importantíssimo na definição do espaçamento da cultura. No Brasil os mais utilizados variam de 2,0 m x 2,0 m a 4,0 m x 4,0 m em esquema tipo quadrado ou retângulo, e recentemente tem-se utilizado o plantio em fileira dupla 2,0 m (entre planta) x 1,8 m (entre linha) e 5,0 m (entre fileira dupla) (BORGES e SOUZA, 2004).

A bananeira é uma planta exigente em água, sendo que sua deficiência promove redução da clorofila das folhas e leva-as à morte prematura, retardando o crescimento e, conseqüentemente, a produção. Uma das tecnologias disponíveis para o produtor de banana é o uso de mudas micropropagadas que apresentam como principais vantagens o fato de serem livres de patógenos e pragas, o que reduz a dispersão de organismos fitoparasitas além de possuírem identidade genética garantida.

Souza et al. (2000) relata que a precipitação anual da região são deve ser inferior a 1800 mm, e a porcentagem disponível de água no solo não deve ser inferior a 75% para que não haja perda de produtividade.

Em estudo realizado por Oliveira (1997) observa-se que a maiorias das áreas cultivadas com bananeiras no Brasil apresentam precipitação pluviométricas insuficiente para o crescimento e desenvolvimento satisfatório das plantas, conseqüentemente queda da qualidade e produtividade dos frutos. A irrigação é umas das formas de minimizar tais problemas, aumentando significativamente a produção e a qualidade dos frutos da bananeira.

Segundo Soto (1992) as bananeiras são plantas herbáceas com pseudocaule aéreo, que se originam de rizomas nos quais se desenvolvem numerosas gemas laterais ou “filhos”. As folhas possuem uma distribuição helicoidal e as bases circundam o caule dando origem ao pseudocaule. A inflorescência é terminal e cresce através do centro do pseudocaule até alcançar a superfície.

Nas cultivares que apresentam bom perfilhamento (Nanica, Nanicão, Prata, Maçã) as brotações laterais começam a surgir aos 30 – 45 dias pós plantio (Alves e Oliveira, 1997), quando então passam a co-existir mais de uma planta por cova, com idades e exigências diferentes. Esta situação se perpetua na maioria dos bananais onde, normalmente, o manejo dos brotos é feito com desbaste de forma a ter a planta mãe, filha e neta em uma mesma cova (RODRIGUES et al., 2001).

A demanda da bananeira por nutrientes e água a partir do primeiro ano de cultivo, quando passam a conviver três plantas de idades diferentes na mesma cova, é ditada pela que estiver na fase mais exigente ou pelo somatório de todas.

3.3.1 Necessidades hídricas

A bananeira requer razoável quantidade de água, pela estrutura da planta, com área foliar e peso da água correspondente a 87,5% do peso total da planta. A demanda hídrica da planta é dependente da idade da mesma, trabalhos de pesquisas conduzidos no Norte de Minas Gerais e em Tabuleiros Costeiros da Bahia, com Prata Anã e Grande Naine tem mostrado o consumo de água da bananeira apresentado na Tabela 5.

TABELA 5 - Demanda hídrica da bananeira 'Prata Anã' e 'Grande Naine' nas condições do Norte de Minas Gerais e em Tabuleiros Costeiros da Bahia.

Idade da planta (dias após o plantio)	Período do ano		
	out./nov./dez./jan./fev./mar.	abr./maio/set.	jun./jul/ago/
L/planta/dia.....		
Até 60	20	15	13
61 - 90	22	17	15
91 - 120	25	19	16
121 - 150	30	23	20
151 - 180	35	27	23
181 - 210	42	33	28
211 - 240	50	39	33
241 - 300	55	43	36
301 - 330	50	39	33
331 - 390	40	31	26
Acima de 390	47	37	31

3.3.2 Exigências edafoclimáticas

A maioria das cultivares de bananeira é originária do continente asiático além de centros secundários na África. Há referências da sua presença na Índia, Malásia e Filipinas, onde tem sido cultivada há mais de 4.000 anos (MOREIRA, 1999).

Por se tratar de uma planta tipicamente tropical a bananeira, para bom desenvolvimento, exige calor constante e elevada umidade. Essas condições são, geralmente, registradas na faixa entre os paralelos 30° norte e sul, nas regiões onde as temperaturas permanecem acima de 10°C e abaixo de 40°C. Entretanto, há possibilidade de seu cultivo em latitudes acima de 30°, contanto que a temperatura o permita (MOREIRA, 1999). Segundo Alves et al. (1997) a bananeira não deve ser cultivada em áreas onde a temperatura mínima seja inferior a 15 °C.

Apesar de requerer uma grande e permanente disponibilidade de água no solo, é cultivada também onde a pluviosidade se aproxima de 500 mm, em decorrência da existência de variedades com tolerância à seca e/ou uso de irrigação. Regiões onde a umidade relativa média do ar situa-se acima de 80% são as mais favoráveis à bananicultura por acelerar a emissão de folhas, prolongar sua longevidade, favorecer o lançamento de inflorescência e uniformizar a coloração da fruta. Entretanto, se a alta umidade estiver associada à chuvas e à variações de temperatura, pode-se ter a ocorrência de doença fúngicas (ALVES et. al., 1997).

O vento causa danos às folhas da bananeira com conseqüente redução na produção de frutos. A maioria dos clones cultivados tolera ventos de até 40 km por hora, mas em

velocidade superior a 55 km por hora pode haver destruição do bananal (SOTO, 1992). O fendilhamento das folhas pelo vento normalmente não é sério quando as velocidades são inferiores a 20 – 30 km por hora (ALVES et al., 1997).

A altitude afeta diretamente a temperatura, chuva, umidade relativa, luminosidade e etc., fatores estes que, por sua vez, influem no desenvolvimento e na produção da bananeira. Trabalhos realizados em regiões tropicais equatorianas demonstraram que o ciclo de produção, principalmente do subgrupo Cavendish, aumentou de 8 -10 meses para 18 meses, quando comparadas regiões de baixa altitude e superior a 900 m, respectivamente. Comparações feitas entre plantações conduzidas em situações iguais de cultivo, solo, chuva, umidade, etc., evidenciaram aumento de 30 a 45 dias no ciclo de produção, para cada 100 m de acréscimo na altitude, em uma mesma latitude (SOTO, 1992).

A bananeira se desenvolve em vários tipos de solos, porém, deve-se dar preferência a solos com boa estrutura e com conteúdos de argila entre 30 e 55%. Solos com conteúdo acima de 55% de argila e os solos siltosos (silte > 40%) devem ser evitados, pois, em geral, apresentam baixa infiltração de água, sendo facilmente compactados, o que limita a troca gasosa indispensável ao processo de respiração das raízes (SILVA et al., 2001).

3.3.3 Adubação da bananeira

A bananeira é uma planta de crescimento rápido que requer, para seu desenvolvimento normal e produção satisfatória, quantidades adequadas de nutrientes disponíveis no solo (Soto, 1992). Segundo a FAO (2002) as exigências nutricionais da bananeira são da ordem de 200 a 400 kg ha⁻¹ N, 45 a 60 kg ha⁻¹ P e 240 a 480 kg ha⁻¹ K por ano.

No Brasil a demanda por fertilizantes se deve não somente à alta absorção e exportação de nutrientes pela bananeira, mas também à baixa fertilidade dos solos da maioria das regiões produtoras (BORGES e OLIVEIRA, 2000). A exigência em nutrientes pela cultivar plantada depende do seu potencial produtivo, da densidade populacional, do estado fitossanitário e, principalmente, do balanço entre os elementos no solo, além do sistema radicular que interferirá na absorção dos nutrientes (SOTO, 1992).

Para o adequado manejo nutricional da bananeira é necessário conhecer a quantidade de nutrientes absorvidos e o total exportado pela colheita, visando a reposição através da adubação e a devolução dos restos vegetais ao solo (SILVA et al., 2001). Em ordem decrescente, a bananeira absorve os seguintes macronutrientes: K > N > Ca > Mg > S > P; e micronutrientes: Cl > Mn > Fe > Zn > B > Cu (Borges e Oliveira, 2000).

A exportação de nutrientes pelas colheitas é dependente do genótipo, da composição dos cachos e da capacidade de produção de frutos. Segundo Borges e Oliveira (2000) em média são exportados pelos cachos na colheita, por hectare: 47 kg de N, 4,6 kg de P, 126 kg de K, 4 kg de Ca, 6 kg de Mg, 5 kg S, 87 g de B, 38 g de Cu, 99 g de Zn.

O nitrogênio (N) é importante para o crescimento vegetativo da planta, sobretudo, nos três primeiros meses, quando o meristema está em desenvolvimento. Favorece a emissão e o desenvolvimento dos perfilhos, além de aumentar a matéria seca (BORGES e OLIVEIRA, 2000). Na ausência do N, observaram redução generalizada de crescimento da planta. É o nutriente mais aplicado em fertirrigação, por ser recomendado seu parcelamento devido a alta mobilidade no solo e alto índice salino dos adubos que o contém (BORKERT, 2001).

O fósforo (P) favorece o desenvolvimento vegetativo e o sistema radicular, sendo o macronutriente menos absorvido pela bananeira (BORGES e OLIVEIRA, 2000).

A aplicação de fertilizantes fosfatados via água de irrigação é pouco utilizada, em razão de sua baixa mobilidade no solo, maior exigência da planta na fase inicial de crescimento, baixa solubilidade da maioria dos adubos fosfatados e da facilidade de precipitação do nutriente causando entupimento nos emissores. O potássio (K) participa da translocação dos fotossintatos e do balanço hídrico, sendo fundamental na produção de frutos, aumentando a resistência destes ao transporte e melhorando a qualidade, pelo aumento dos teores de sólidos solúveis. É considerado o elemento mais importante na nutrição da bananeira, correspondendo a 62% do total dos macronutrientes e 41% do total de nutrientes da planta (BORGES e OLIVEIRA, 2000).

O cálcio (Ca) é um nutriente que participa como ativador enzimático e atua no processo de divisão celular, estimulando o desenvolvimento de raízes e folhas (Borges e Oliveira, 2000). Na ausência do Ca, áreas translúcidas, necróticas e deformadas na folha vela. Normalmente o Ca é fornecido na através da calagem, sendo o uso desse nutriente via água de irrigação limitado por favorecer a formação de precipitados (BORKERT, 2001).

O magnésio (Mg) é um macronutriente importante em diversos processos fisiológicos da bananeira e, necessariamente, deve existir em quantidade suficiente no solo, quando da aplicação de doses elevadas de K, de forma a impedir o aparecimento do “azul da bananeira” (Borges e Oliveira, 2000).

O enxofre (S) interfere principalmente nos órgãos jovens da planta, onde a sua ausência se expressa por alterações metabólicas que dificultam a formação da clorofila, terminando por interromper as atividades vegetativas (Borges e Oliveira, 2000). Assim como

o N, o S apresenta alta mobilidade no solo, existindo fontes solúveis para sua aplicação via fertirrigação (BORKERT, 2001).

Segundo Borges e Oliveira (2000) o boro (B) e o zinco (Zn) são os micronutrientes que mais frequentemente se encontram deficientes nas bananeiras. Para a aplicação de micronutrientes via água de irrigação deve-se considerar a solubilidade e a compatibilidade, sendo normalmente fornecidos na forma de quelatos, porém pode haver incompatibilidade com fosfato de amônio e nitrato de cálcio (BORKERT, 2001).

3.3.4 Topografia

O cultivo da bananeira é mais indicado em terrenos planos ou levemente ondulado com inclinação variando de 3% a 8%, pois facilita a mecanização, o manejo, os tratos culturais e a colheita. Terrenos com mais de 30% de inclinação inviabiliza o cultivo da bananeira pois são necessárias rigorosas medidas de controle de erosão do solo (BORGES e SOUZA, 2004).

3.3.5 Profundidade

Solos com mais de 75 cm de profundidade sem nenhum impedimento se mostram adequados para o cultivo da bananeira, pois minimizam o risco de tombamento já que o sistema radicular da bananeira é predominantemente superficial, cerca de 62% concentra-se na camada de 0 a 30cm de profundidade. Já solos com profundidade efetiva inferior a 25 cm inviabilizam o cultivo da bananeira (BORGES e SOUZA, 2004).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCAL DO EXPERIMENTO

O experimento foi desenvolvido na Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas – UnUCET da Universidade Estadual de Goiás - UEG, Anápolis – GO, no período de outubro de 2009 à novembro de 2010 (Figura 1).

A altitude do local é de 1106 m, com clima mesotérmico e úmido, classificado como provável clima tropical de altitude, temperatura média anual de 22°C, com baixas temperaturas em junho e julho, média mínima de 10 °C. O período chuvoso ocorre entre novembro e março, com precipitação média de 1450 mm. O experimento está localizado na Latitude: 16° 22' 41.60" Sul e Longitude: 48° 56' 46.96" Oeste.

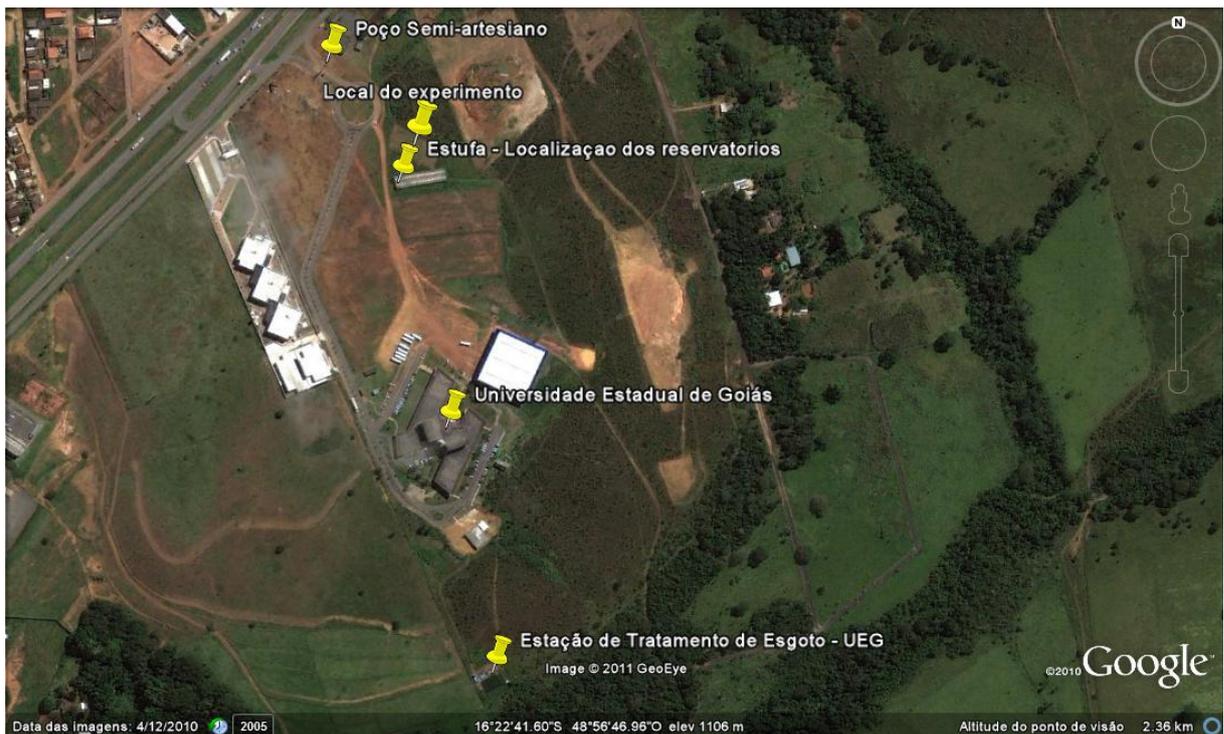


FIGURA 1. Imagem área do local do experimento na UnUCET/UEG..

4.2 ORIGEM DA ÁGUA

Foram utilizadas na irrigação do cultivo da bananeira cv. Grande Naine, três qualidades de água, sendo água do poço semi-artesiano da UEG, fertirrigação preparada com água do poço e efluente tratado da estação de tratamento de esgoto ETE/UnUCET/UEG.

A água utilizada como testemunha e fertirrigação foi obtida do poço semi-artesiano captada com o auxílio de uma bomba Thebe de 1,5cv e conduzida por mangueiras de polietileno a três reservatórios de água com capacidade de armazenamento de 5000 L, 3000 L e 2000 L, totalizando 10000 L, para posterior utilização na irrigação (Figura 2A). Já o efluente doméstico utilizado foi obtido da estação de tratamento de esgoto da UEG e armazenado em um reservatório de polietileno com capacidade de 5500 L, para posterior utilização na irrigação (Figura 2B).



FIGURA 2. Reservatórios de polietileno para armazenamento da água do poço semi-artesiano (A) e do efluente da ETE/UnUCET/UEG (B).

A água residuária da Universidade Estadual de Goiás é composta de dejetos domésticos e sanitários dos laboratórios, dos prédios das salas de aula, da cozinha do restaurante e da área administrativa. Estas instalações ocupam uma área construída de 12.296 m². No Campus existem 11 cursos de graduação e 2 de mestrado, e estima-se que no período das aulas a população média diária da Universidade é de aproximadamente de 3.200 pessoas, se concentrando no período diurno.

Os tanques sépticos compartimentados foram montados acima do solo sendo usadas três caixas polietileno de 15000, 10000 e 5000 L de volume total, respectivamente, com entrada do efluente na superfície das mesmas. Devido as conexões utilizadas no topo das entradas dos tanques sépticos, o volume útil do primeiro tanque com capacidade total de 15000 litros, se reduziu para aproximadamente 12500 L, para o segundo tanque séptico utilizou-se aproximadamente 8000 L e no terceiro 4000 L, totalizando 24500 L.

Em seguida aos tanques sépticos modificados o efluente foi derivado para uma caixa de passagem de cimento amianto de 100 L e um registro de gaveta de 25 mm, de onde saí um tubo de PVC de 40 mm, que se divide em 3 partes, sendo, um para cada conjunto de leitos não

cultivados. Os três leitos são retangulares (12 m x 1 m x 1 m) construídos em alvenaria de tijolos comuns, com base em concreto, além de revestimento interno com cimento impermeabilizante, com funcionamento em paralelo.

Em cada leito foi instalado um dreno com tubo de PVC de 100 mm, com furos de 10 mm de diâmetro espaçados entre si de 10 em 10 cm. Os mesmos foram instalados no fundo de cada leito de cultivo, ligado em outro tubo de 50 mm externamente ao tanque, tendo o mesmo altura de até cerca de 10 cm abaixo da altura máxima dos leitos, de forma que serviu também, para manter o nível da água nos leitos. Foi desenvolvido um sistema de drenagem com registro de abertura tipo esfera, com tubos de PVC de 50 mm em cada leito, possibilitando a coleta do efluente tratado individualmente a fim de comparar a eficiência na remoção de matéria orgânica em cada leito e demais parâmetros em cada leito.

Utilizou-se como meio de suporte brita #2, cascalho lavado e cascalho natural, com porosidade de 50%, 43% e 56%, e volume útil de 5400 L, 4644 L e 6048 L, respectivamente.

4.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 3 x 2, com quatro repetições, resultando em 24 parcelas experimentais, sendo os tratamentos constituídos pela combinação de três qualidade da água (A_p = água do poço semi-artesiano, A_r = água Residuária, A_f = fertirrigação) e dois sistemas de irrigação (I_g = Irrigação por gotejamento superficial e I_m = Irrigação por microaspersão).

Os tratamentos foram distribuídos por sorteio dentro da área experimental, onde cada parcela foi constituída por quatro linhas de plantio com três plantas cada uma, totalizando 12 plantas por parcela. Nas parcelas externas implantou-se uma linha de planta a mais representando a bordadura. As plantas úteis foram representadas pelas linhas centrais correspondendo a 6 plantas úteis por tratamento, totalizando 336 plantas no experimento.

Os tratamentos considerando as variáveis em estudo são: $A_p I_g$ – água do poço semi-artesiano com irrigação por gotejamento; $A_p I_m$ - água do poço semi-artesiano com irrigação por microaspersão; $A_f I_g$ - fertirrigação convencional com irrigação por gotejamento; $A_f I_m$ - fertirrigação convencional com irrigação por microaspersão; $A_r I_g$ - água Residuária com irrigação por gotejamento; $A_r I_m$ - água Residuária com irrigação por microaspersão.

A distribuição dos tratamentos em campos estão representados na Figura 3.

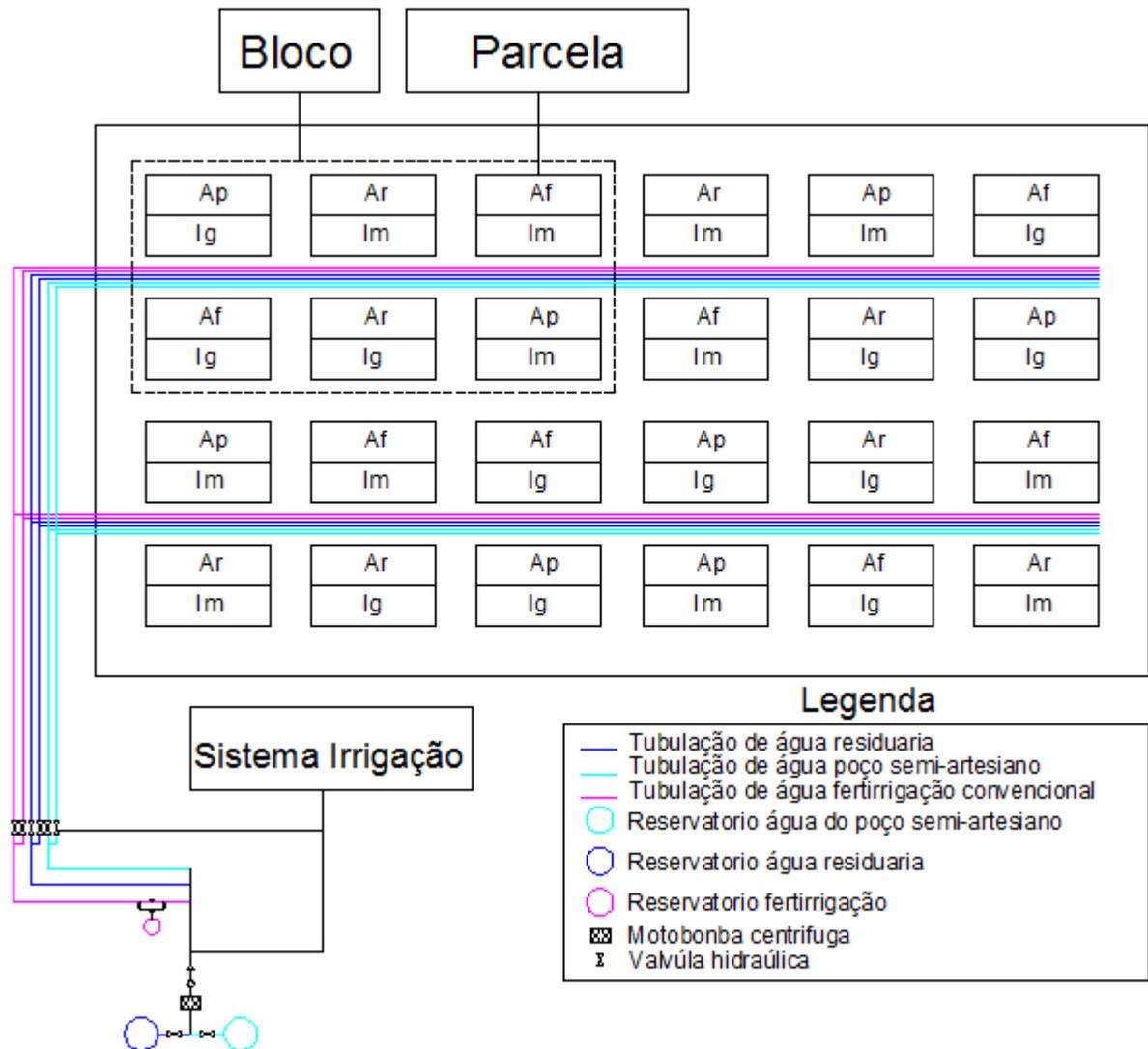


Figura 3 - Croqui da área experimental e distribuição dos equipamentos de irrigação.

4.4 IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

Na área experimental foi implantado um sistema de cultivo de banana em fileiras simples, espaçadas 2,2 m entre linhas e 2,2 m entre plantas, totalizando 2.272 plantas por ha, com duas linha de gotejador por linha de planta para o sistema de gotejamento e com 7 microaspersores por linha de planta no sistema de microaspersão, ambos distantes 0,15 m das plantas (Figura 4A e 4B).

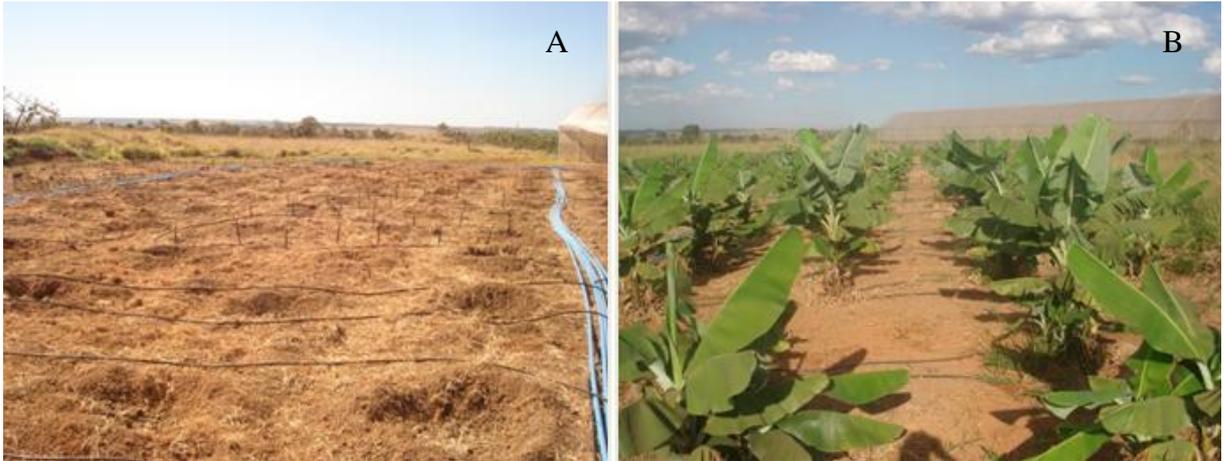


FIGURA 4. Área de cultivo da bananeira antes do plantio (A) e aos 90 dias após o transplântio - DAT (B).

4.4.1 Preparo da área

Para o preparo do solo foi utilizado um arado de disco e uma grade aradora, realizando uma aração e uma gradagem na profundidade de aproximadamente 25 cm. Simultaneamente foi realizado uma amostragem do solo, com auxílio de um trado, na profundidade de 0 – 20 cm e 20 – 40 cm, para análise química visando à necessidade de correção do solo e avaliações das alterações químicas do solo durante o experimento, de acordo com a análise do solo e exigências da cultura.

A abertura das covas foi realizado manualmente, com auxílio de um enxadão, 15 dias antes do transplântio nas seguintes dimensões 0,4 m x 0,4 m x 0,4 m.

4.4.2 Aquisição das mudas de banana

As mudas de banana variedade cv. Grande Naine foram adquiridas da empresa, Campo Biotecnologia Vegetal Ltda., especializada em micropropagação, em parceria com a Embrapa Mandioca e Fruticultura, situada em Cruz das Almas – BA. As mudas micro-propagadas são tolerantes a Sigatoka Negra (Figura 5).



FIGURA 5. Mudanças da bananeira cv. Grande Naine utilizadas no experimento.

4.4.3 Transplante e disposição das mudas

Após o preparo e correção do solo, realizou-se o transplante das mudas manualmente em covas de 0,40 m x 0,40 m x 0,40 m (Figura 6). Em cada cova foi colocado uma muda de banana e 10 L de esterco bovino curtido, a adubação de plantio e pós-plantio seguiu o cronograma sugerido por Borges et al. (2002a; 2002b), apresentados na Tabela 6 e Tabela 7 respectivamente.



FIGURA 6. Covas onde foi feito o transplante das mudas de bananeira.

Tabela 6. Adubação de plantio da bananeira irrigada, com fornecimento de P, B e Zn.

		P (resina) (mg dm ⁻³)		B (água quente) (mg dm ⁻³)		Zn (DTPA) (mg dm ⁻³)	
0-12	13-30	30-60	> 60	0-0,021	> 0,021	0-0,60	> 0,60
-----P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)-----				-----B (kg ha ⁻¹)-----		-----Zn kg ha ⁻¹)-----	
120	80	40	0	2,0	0	6,0	0

Fonte: BORGES et al. (2002a).

Tabela 7. Adubação com N e K no pós-plantio e na fase de formação da bananeira.

Época (dias pós- plantio)	N (kg ha ⁻¹)	K trocável (mmol _c dm ⁻³)			
		0-1,5	1,6-3,0	3,1-6,0	> 6,0
		-----K ₂ O (kg ha ⁻¹)-----			
30	20	20	-	-	0
60	20	30	30	-	0
90	30	40	30	20	0
120	30	60	40	30	0
120-360	100	300	250	150	0
Total	200	450	350	200	0

Fonte: BORGES et al. (2002b).

4.5 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

No sistema por gotejamento foi utilizado um tubo gotejador, modelo Hydrogol da Plastro, com vazão de 2,2 L h⁻¹ a 100 kPa e emissores espaçados de 0,50 m. Foram instaladas duas linhas de tubos gotejadoras por linha de planta (Figura 7A). Já no sistema de microaspersão foram utilizados microaspersores da marca Amanco com 1,5 m de diâmetro molhado e vazão de 43 L.h⁻¹ a 100 kPa, sendo instalados sete microaspersores por linha de planta (Figura 7B).



FIGURA 7. Tubo gotejador linha de plantio (A) e microaspersor na linha de plantio (B).

Para bombeamento da água de irrigação utilizou-se uma motobomba centrífuga Marca Thebe, modelo TH-16 AL, 2 CV trifásica, interligada por meio de tubos PVC de 32 mm a três reservatório de polietileno com capacidade de 5000 L, 3000 L, e 2000 L para o armazenamento da água do poço semi-artesiano, totalizando uma capacidade efetiva de 10000 L, e a um reservatório de polietileno de 5500 L para o armazenamento da água Residuária advinda da ETE/UnUCET/UEG, além de um outro reservatório de 500 L para a solução de fertirrigação.

Para a aplicação da solução de fertirrigação utilizou um Venturi marca Viqua de 1” montado em um cavalete derivado da linha principal e contento e registro de globo, um antes e outro depois do Venturi e um filtro de disco 1” e 125 microns (Figura 8).



FIGURA 8. Cavalete para injeção de fertilizante, utilizando um Venturi.

Na saída da motobomba foi instalado um registro de globo, um filtro de disco de 125 micros, um regulador de pressão de 0 a 350 kPa e um manômetro para aferição da pressão (Figura 9). A tubulação porta lateral foi constituída de tubo PVC de 32 mm, conectada as linhas laterais por meio de inícios de linha próprios para os tubos gotejadora e tubos de microaspersão.



FIGURA 9. Filtro de disco de 120 microns, piloto regulador de pressão e manômetro com glicerina.

4.5.1 Automação do sistema de irrigação

O sistema de irrigação foi acionado a partir de um quadro de comando, contendo um controlador Hunter XC de 8 estações (Figura 11 B), oito válvulas elétricas solenoides (Figura 10), um disjuntor de 45 A, um relê falta de fase, um relê térmico (Figura 12A), uma contatora web de 220v, oito minicontatora simens de 24v (Figura 11B) e uma chave seletora de três posição (Figura 11A). Como o sistema era todo automatizado, da sucção ao recalque, bastou informar o tempo de irrigação de cada setor.



FIGURA 10. Válvulas elétricas de acionamento automático.



FIGURA 11. Quadro de comando completo (A) e conjunto minicontatora 24v (B).



FIGURA 12. Relê falta de fase, relê térmico (A) e Controlador Hunter XC 8 estações.

4.5.2 Análises e caracterização da água

A caracterização da água utilizada na irrigação foi realizada através de 2 coletas de água. As coletas de efluente e de água foram feitas na entrada das parcelas de irrigação, depois de estabilizado o fluxo de água no sistema de irrigação, e encaminhadas ao laboratório de Química Orgânica, Físico – Química e Química Analítica da Unidade Universitária de Anápolis (UnUCET) da Universidade Estadual de Goiás – UEG, para serem analisadas logo após as coletas, exceto a análise de sódio, que foi realizada no Laboratório de Espectrofotometria de Absorção Atômica da FUNMINERAL, Fundo de Fomento a Mineração de Goiás.

Os parâmetros estudados foram: DBO, DQO, sólidos suspensos totais, sólidos dissolvidos, turbidez, potencial hidrogeniônico (pH), manganês (Mn), sódio (Na), cálcio (Ca),

magnésio (Mg), boro (B), cloro (Cl), nitrogênio amoniacal (NH_4^+ - N), nitrato (NO_3^- - N), fósforo total (P_{total}), alcalinidade, condutividade elétrica (CE), coliformes totais segundo a metodologia proposta em APHA (2005).

Os resultados da qualidade da água para uso agrícola foram analisados e comparados considerando os padrões recomendados pela OMS (1989), USEPA (1992), AYERS e WESTCOT (1991) e BRASIL (2005).

4.5.3 Análise de solo

Após a correção pré-plantio foram analisadas amostras de solo coletadas na camada de 0 - 0,20 m e de 0,20 - 0,40 m, ou seja, no transplântio das mudas e aos 304 dias após o transplântio (DAT).

A amostra no transplântio (início do cultivo) seguiu o mesmo padrão da coleta durante o preparo do solo, isto é, foram coletadas amostras simples e posteriormente transformadas em amostra composta. As análises do solo da amostragem aos 304 DAT (final do cultivo) foram realizadas separadamente dividindo-se em seis amostras compostas que representaram os tratamentos, ou seja, as amostras simples eram coletadas nas parcelas que tinham o mesmo tratamento.

As análises do solo permitiram avaliar possíveis alterações devido às diferentes qualidades da água e sistema de irrigação, quanto aos seguintes parâmetros: pH, Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Alumínio (Al), Hidrogênio e Alumínio (H+Al), Potássio (K), Fósforo (P), Enxofre (S), Matéria Orgânica (M.O.), Sódio (Na), Zinco (Zn), Boro (B), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Capacidade de Troca de Cátions (CTC) e Saturação por Bases. A técnica de determinação analítica utilizada pelo Laboratório responsável seguiu os procedimentos descritos por SILVA (2009).

4.6 MANEJO DA IRRIGAÇÃO

As informações de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (%) e velocidade do vento, durante o período de realização do experimento para determinação da ETo foram obtidas de uma estação meteorológica localizada a 100 m do local do experimento.

A lâmina de irrigação aplicada no solo foi o acumulado da evapotranspiração de referência (ETo) de 2 dias. A evapotranspiração de referência foi obtida pela Equação 1 de Penman-Monteith.

$$ET_o = \left(\frac{g}{d+g} \right) \times (Rn - G) \times \left(\frac{L}{g} + \frac{g}{d+g'} \right) \times \left(\frac{900}{T+275} \right) \times u_2 \times (e_a - e_d) \quad (1)$$

Onde:

ET_o – Evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹);

g – Coeficiente psicrométrico (kPa °C⁻¹);

d – Declividade da curva de pressão de vapor de saturação (kPa °C⁻¹),

g' – Coeficiente psicrométrico modificado, função das resistências aerodinâmica e do dossel (kPa °C⁻¹);

Rn – Saldo de radiação à superfície da cultura (MJ m⁻² d⁻¹);

G – Fluxo de calor no solo (MJ m⁻² d⁻¹);

L – Calor latente de evaporação (MJ kg⁻¹);

T – Temperatura média do ar (°C);

$(e_a - e_d)$ – Déficit de pressão de vapor (kPa).

Nos sistemas de irrigação localizada, não é necessário irrigar área que efetivamente não esteja sendo explorada pelo sistema radicular, sendo, portanto, possível reduzir esta área teórica, o que resultará numa economia de água a ser aplicada por planta, havendo, por isso a necessidade de corrigir a evapotranspiração potencial de acordo com a porcentagem de área molhada (PW) Equação 2.

Para o cálculo da porcentagem de área molhada (PW) foi utilizada a Equação 2.

$$PW = NEP \times \frac{Se \times W}{(Sp+Sf)} \times 100 \quad (2)$$

Em que:

Se = espaçamento entre emissores, em m;

Sp = espaçamento entre plantas, em m;

Sf = espaçamento entre fileiras, em m;

W = diâmetro máximo do bulbo molhado por emissor (m²);

NEP = número de emissores por planta, razão entre o espaçamento entre plantas (Sp) e o espaçamento entre emissores (Se).

O diâmetro máximo do bulbo molhado depende da textura do solo, conforme Bernardo et al. (2009).

Desse modo, aplica-se a evapotranspiração máxima para a irrigação por gotejamento, pois a área não é totalmente molhada. A evapotranspiração da cultura corrigida, conforme o sistema de irrigação, foi aplicada pela Equação 3 (KELLER e BLIESNER, 1990; BERNARDO et al., 2009).

$$ET_L = ET_o \times 0,1 \times Pw^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Onde:

ET_L – Evapotranspiração de referência corrigida (mm);

ET_o – Evapotranspiração de referência (mm);

Pw – Porcentagem da área molhada em cada fase da cultura (%).

A irrigação total necessária (ITN) aplicada foi determinada pela Equação 4.

$$ITN = \frac{\sum ET_L \times TR}{CUD} \quad (4)$$

Onde:

CUD - Coeficiente de uniformidade de distribuição (%)

ET_L - Acumulado da evapotranspiração corrigida a cada turno de rega (mm).

TR – Turno de Regra Fixo, 2 dias.

O volume de água a ser aplicado por planta e o tempo de irrigação foi calculado utilizando a Equação 5 e 6 (BERNARDO et. al., 2009).

$$V = ITN \times Sp \times Sf \quad (5)$$

Onde:

V – Volume de água a ser aplicado por planta ($L \text{ planta}^{-1}$);

Sp – Espaçamento entre plantas na linha (m);

Sf – Espaçamento entre as linhas de plantio (m).

$$Ti = \frac{60 \times Vp}{NEP \times qa} \quad (6)$$

Em que:

Ti = tempo de irrigação, em minutos;

NEP = número de emissores por planta;

qa = vazão média de cada gotejador, L.h⁻¹.

As fases de desenvolvimento da cultura da banana, quanto às necessidades hídricas estão representadas na Tabela 8.

Tabela 8. Coeficiente de cultura (Kc) para a cultura da banana nos diferentes meses após o transplantio.

Meses	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
pós-plantio															
Fases	-----Rebroto-----							-----Floração-----			-----Colheita-----				
Kc	0,4	0,4	0,45	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1	1,1	0,9	0,8	0,8	0,9	1,0

Fonte: DOOREMBOS e KASSAM (1994).

A lâmina total aplicada (ITN) durante todo o experimento para cada tratamento irrigado por gotejamento correspondeu a 1071,03mm e o volume aplicado em cada planta (Vp) foi de 4712,55 L, já no sistema de microaspersão foi 1715,59mm e 7548,58 L. Resultando em um tempo total de irrigação (Ti) por tratamento para o sistema de gotejamento de 140,85 horas e de 84,20 para microaspersão. As chuvas durante o experimento acumularam 919,55mm.

4.7 FERTIRRIGAÇÃO

O cálculo da solução de fertilizantes utilizado foi o proposto por Borges e Coelho (2002), representado pela Equação 7.

$$V = \frac{M \times Q_s \times C_n}{10^3 \times Q_f \times C_f} \quad (7)$$

Onde:

V – volume (L);

M – massa do fertilizante (g);

Qs - vazão de aplicação da solução no sistema de irrigação (L h⁻¹). Equivale a vazão da bomba injetora elétrica ou hidráulica, ou do venturi, ou do tanque diferencial;

Cn – concentração de nutriente no fertilizante (%);

Qf – Vazão da linha de irrigação, gotejamento ou microaspersão (L.h⁻¹).

Cf = concentração do nutriente na saída dos emissores (mg L^{-1}). Pode ser tomada entre 200 e 700 mg L^{-1} , sendo que dependerá da disponibilidade do recipiente para o preparo da solução e do tempo para fertirrigar a área.

A fertirrigação foi aplicada a cada 15 dias, por todo o ciclo da cultura.

4.8 AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

4.8.1 Caracterização do tubo gotejador em laboratório antes da implementação do experimento

Para a determinação da relação pressão x vazão e equação característica do emissor, foram utilizados quatro segmentos de tubo, cada um com 5 m de comprimento. Os ensaios foram realizados em uma bancada de testes, com a linha de gotejadores conectada em conexões de início de linha e registros, para ajuste das pressões de operação.

As pressões foram monitoradas por um manômetro de Bourdon de precisão + 0,5% FE, e faixa de 0 a 100 kPa. As pressões utilizadas foram em ordem crescente 50, 100, 150, 200, 250 e 300 kPa. Foi utilizado um reservatório com $0,5 \text{ m}^3$, conectado à motobomba centrífuga trifásica de 3 CV e um filtro de disco de 125 microns. Para cada pressão foram feitas três repetições com um tempo de coleta variando de três a quatro minutos dependendo do modelo e da pressão de operação.

A vazão foi determinada pelo método gravimétrico utilizando-se uma balança digital, com precisão de 0,001 g. Cada coletor com água foi pesado, descontando-se sua tara, depois a massa de água foi dividida pela densidade da água, para obtenção em volume. A densidade da água era determinada antes de cada teste, pela determinação do peso da água em uma proveta de 500 mL.

Com os dados de vazão obtidos foi gerado um gráfico pressão x vazão Figura 13 e realizada um análise de regressão para a determinação da equação potencial.

Para determinação da uniformidade utilizaram-se os dados de vazão obtidos na determinação da equação vazão-pressão, a partir dos quais foram calculados a vazão média e o desvio-padrão. Calculou-se, então, o coeficiente de variação de fabricação - CVf pela Equação (8). Os resultados de CVf foram analisados de acordo com a ASAE EP405.1 (1992), Projeto de norma 12: 02. 08-22, da ABNT (1986) e ISO 9260/1 (2001) (Tabelas 10, 11).

Os ensaios foram realizados antes da instalação do experimento em campo.

$$CVf = \frac{s}{q_{med}} \quad (8)$$

Onde;

CVf – coeficiente de variação de fabricação;

s – desvio-padrão ($L.h^{-1}$);

q_{med} – vazão média total ($L.h^{-1}$).

MERRIAN e KELLER (1978) propõem a seguinte metodologia para avaliação da obstrução dos gotejadores, utilizando o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD).

O coeficiente de uniformidade de distribuição é determinada pela Equação 9.

$$CUD = \frac{q_{25\%}}{Q} \times 100 \quad (9)$$

Onde:

CUD = uniformidade de distribuição, em %;

$q_{25\%}$ = média das 25 % menores vazões medidas, em $L. h^{-1}$;

Q = média de todas as vazões observadas, em $L. h^{-1}$.

A uniformidade estatística de emissão em campo, segundo SMAJSTRIA et al. (1990) é dada pela Equação 10.

$$US = 100 \times (1 - Vq_s) \quad (10)$$

Onde:

Us = uniformidade estatística de emissão;

Vq_s = coeficiente de variação estatístico de vazão dos emissores.

A uniformidade de todo o sistema foi considerada como sendo o menor valor de uniformidade encontrado nas parcelas. A uniformidade foi classificada de acordo com a Tabela 9.

TABELA 9. Uniformidade do sistema de irrigação, classificação para vazões médias dos emissores.

Classe	Uniformidade (%)
Excelente	Acima de 90
Bom	90 - 80
Razoável	80 - 70
Ruim	70 - 60
Inaceitável	Abaixo de 60

Fonte: SMAJSTRIA et al. (1990).

TABELA 10. Classificação do coeficiente de variação de fabricação (CVf) para emissores com aplicação pontual

CVf	Classificação	CVf	Classificação
Abaixo de 0,05	Excelente	< 0,05	Categoria A
0,05 até 0,07	Mediano	0,05 a 0,1	Categoria B
0,07 até 0,11	Marginal		
0,11 até 0,15	Ruim		
Acima de 0,15	Inaceitável		

Fonte: ASAE Engineering Practc, ASAE EP 405.1 (1994) p. 648

ISO 9260/1(1991). 6p

TABELA 11. Classificação do coeficiente de variação de fabricação para emissores.

Tipo de emissor	CVf	Classificação da Uniformidade
Fonte pontual	< 10%	Boa
	10 a 20%	Média
	20% a 30%	Marginal
	> 30%	Inaceitável

Fonte: Projeto de norma 12: 02. 08-22, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (1986).

MANTOVANI (2002) apresenta uma classificação dos valores de CUC, particularmente para sistemas de irrigação por gotejamento, conforme apresentado na Tabela 12.

TABELA 12. Classificação do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) para sistemas de irrigação por gotejamento.

Classificação	CUC (%)
Excelente	90 a 100
Boa	80 a 90
Razoável	70 a 80
Ruim	60 a 70
Inaceitável	-

Fonte: MANTOVANI (2002).

4.8.2 Avaliação do sistema de irrigação em campo

A avaliação da uniformidade de distribuição de água em irrigação localizada seguiu as recomendações de Merriam e Keller (1978). Foram avaliadas quatro linhas de tubos gotejadores determinando-se a vazão de 12 gotejadores em cada uma. O tempo de coleta de vazão correspondeu a 3 minutos, determinado pelo método volumétrico com o auxílio de uma proveta graduada, com precisão de $\pm 1,0$ mL e de um cronômetro. Os dados de vazão foram coletados por meio de uma escavação sob o gotejador, para acomodar o coletor, sendo retirado manualmente depois de transcorrido o tempo de ensaio Figura 13.

Apesar de ser um sistema localizado, a microaspersão apresenta características hidráulicas e de operação muito próximas da aspersão convencional. Dessa forma, segundo Bernardo et al, (2001), os mesmos procedimentos utilizados para avaliar os sistemas por aspersão convencional podem ser utilizados na microaspersão.

Para determinar a uniformidade de um sistema de irrigação por microaspersão, é necessário distribuir vários “pluviômetros” ou coletores, de forma equidistante, ao redor do emissor a ser testado, Figura 14, deixando o sistema em funcionamento por um período de no mínimo duas horas. O tempo ideal para cada teste deve ser igual ou maior do que a metade do tempo que o sistema funcionará por posição, durante as irrigações normais (BERNARDO et. al., 2009).



FIGURA 13. Ensaio de uniformidade de distribuição no sistema de gotejamento em campo.



FIGURA 14. Ensaio de uniformidade de distribuição no sistema de microaspersão em campo.

4.9 QUALIDADE DA ÁGUA

Os parâmetros estudados foram: potencial hidrogeniônico (pH), dureza, condutividade elétrica (CE), turbidez, manganês (Mn), ferro (Fe), nitrato (NO_3^-), nitrogênio amoniacal (NH_4^+), fósforo total (P_{total}), potássio (K), boro (B), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), razão de adsorção de sódio (RAS) e sólidos totais e sedimentáveis. As metodologias das análises são apresentadas na Tabela 13 seguindo recomendações da APHA; AWWA e WPCF (1995).

TABELA 13. Métodos analíticos utilizados na análise da qualidade de água.

Parâmetro	Unidade	Método de determinação
pH	-	Eletroquímico
Dureza total	mg.L ⁻¹	Titulométrico
Condutividade elétrica	dS.m ⁻¹	Eletrolítico
Turbidez	NTU	Nefelométrico
Sólidos totais	mg.L ⁻¹	Gravimétrico
Sólidos sedimentáveis	mg.L ⁻¹	Gravimétrico
Manganês	mg.L ⁻¹	Espectrofotométrico
Ferro total	mg.L ⁻¹	Espectrofotométrico
Nitrato	mg.L ⁻¹	Espectrofotométrico
Amônia	mg.L ⁻¹	Espectrofotométrico
Fosfato total	mg.L ⁻¹	Espectrofotométrico
Potássio	mg.L ⁻¹	Espectrofotométrico
Boro	mg.L ⁻¹	Espectrofotométrico
Cálcio	mg.L ⁻¹	Espectrofotométrico
Magnésio	mg.L ⁻¹	Espectrofotométrico
Sódio	mg.L ⁻¹	Espectrofotométrico

Os resultados da qualidade da água para uso agrícola foram analisados e comparados com os padrões recomendados por Ayers e Westcot (1991), USEPA (1992), e especificações da Resolução do CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005 e outras literaturas.

A avaliação do potencial de salinização do solo pela água de irrigação, considerando a CE e a RAS, foi utilizada a recomendação do Laboratório de Salinidade dos EUA (USDA, 1992, citado por BERNARDO et al., 2009).

A qualidade da água quanto ao potencial de entupimento dos emissores foi avaliado com base na Tabela 14.

TABELA 14. Risco do potencial de entupimento de emissores pela água de irrigação.

Parâmetro	Pequeno	Médio	Alto
pH	< 7,0	7,0 - 8,0	> 8,0
Sólidos suspensos (mg L ⁻¹)	< 50	50 - 100	> 100
Sólidos dissolvidos (mg L ⁻¹)	< 500	500 - 2.000	> 2.000
Manganês (mg L ⁻¹)	< 0,1	0,1 - 1,5	> 1,5
Ferro total (mg L ⁻¹)	< 0,2	0,2 - 1,5	> 1,5
Dureza (mg L ⁻¹)	< 150	150 - 300	> 300

Fonte: Adaptado de Nakayama e Bucks (1986).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 DADOS CLIMATOLÓGICOS

Os dados foram obtidos diretamente no site da SIMEHGO (Sistema de Meteorologia e Hidrologia do Estado de Goiás), e são referentes á estação meteorológica de Anápolis.

- Temperatura do ar

Os valores diários de temperatura do ar máxima, mínima e média durante o os dias após o transplântio das mudas de banana estão representados na Figura 15.

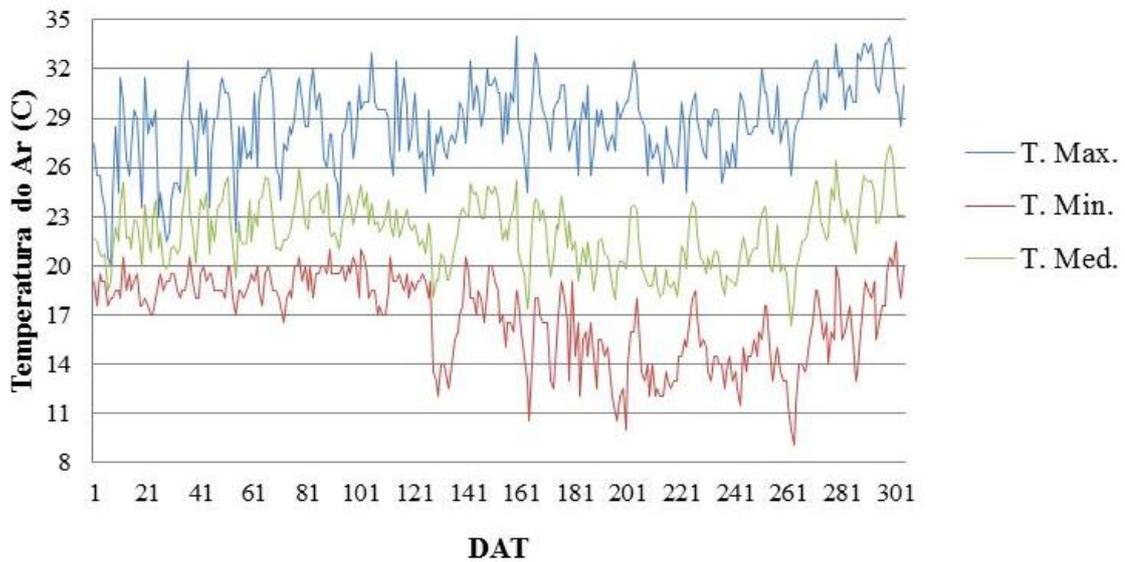


FIGURA 15. Temperatura máxima, mínima e média do ar durante o experimento.

Observa-se que a temperatura média oscilou 11,1 °C, com valor médio máximo da temperatura do ar de 27,4 °C aos 299 dias após o transplântio (DAT) e o valor médio mínimo do ar de 16,3 °C aos 262 DAT. Esses valores favorecem o crescimento da bananeira pois encontram-se dentro da faixa ideal de cultivo da bananeira, cuja temperatura gira em torno dos 28 °C. Considera-se a faixa de 15 °C a 35 °C de temperatura como os limites extremo para a exploração racional da cultura.

Porém, observa-se também temperaturas abaixo dos 15 °C dos 128 DAT até os 287 DAT chegando a 9 °C no 263 DAT, fato esses um dos possíveis motivos pelo reduzido crescimento das plantas. Em temperaturas abaixo de 15 °C a atividade da planta é paralisada e temperaturas inferiores a 12 °C provoca um distúrbio fisiológico conhecido como “Chilling” ou “friagem” que prejudica os tecidos dos frutos, principalmente os das cascas (Borges e Sousa, 2004). Relatam também que baixas temperaturas provocam a compactação da roseta

foliar, dificultando o lançamento da inflorescência ou provocando o seu “esganamento” o qual deforma o cacho inviabilizando a sua comercialização. Já temperaturas acima de 35 °C inibem o desenvolvimento da planta causando principalmente a desidratação dos tecidos, sobretudo das folhas.

- Umidade relativa do ar

Os valores diários de umidade média relativa do ar durante o ciclo da cultura estão representados na Figura 16.

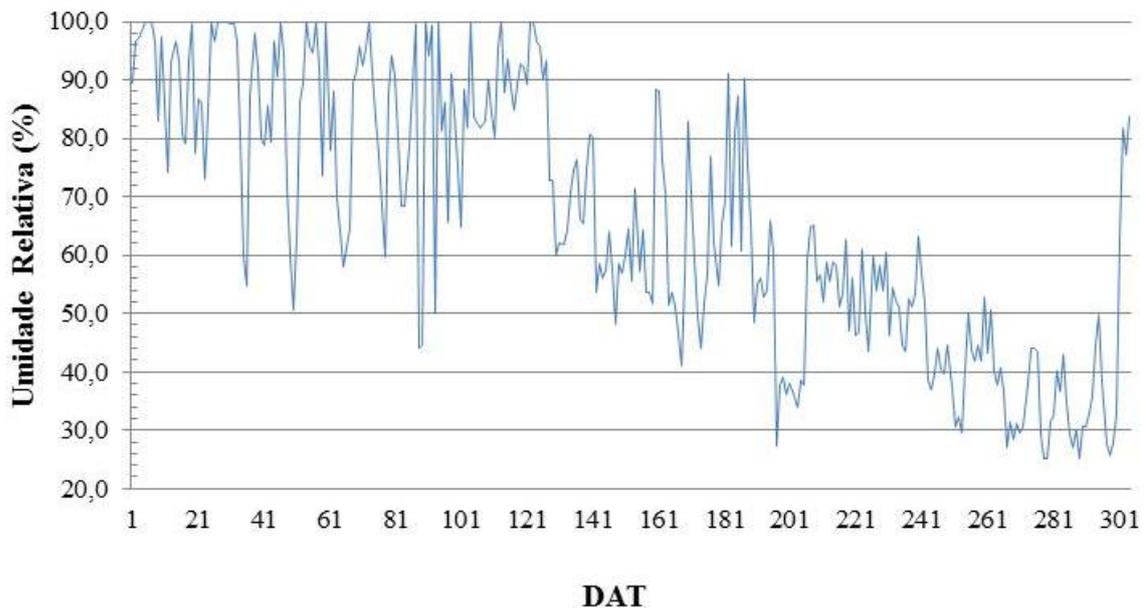


FIGURA 16. Valores médios diários da umidade relativa do ar durante o ciclo de cultivo.

Nos primeiros dias após o transplante observa-se a porcentagem de umidade relativa média do ar quase que totalmente na faixa acima de 80% até 40 DAT. Dos 41 DAT aos 127 DAT observa-se vários dias onde a umidade média relativa do ar foi abaixo dos 80% e dos 128 DAT até o 301 DAT por poucas vezes ultrapassou os 80% de umidade média relativa do ar. A bananeira como uma típica planta das regiões tropicais úmidas apresenta um excelente desenvolvimento em umidades médias relativas do ar acima de 80%, pois essa condição acelera a emissão das folhas, prolonga sua longevidade e favorece a emissão das inflorescência.

- Precipitação pluviométrica

A Figura 17 apresenta a precipitação pluviométrica ocorrida diariamente durante o período do experimento.

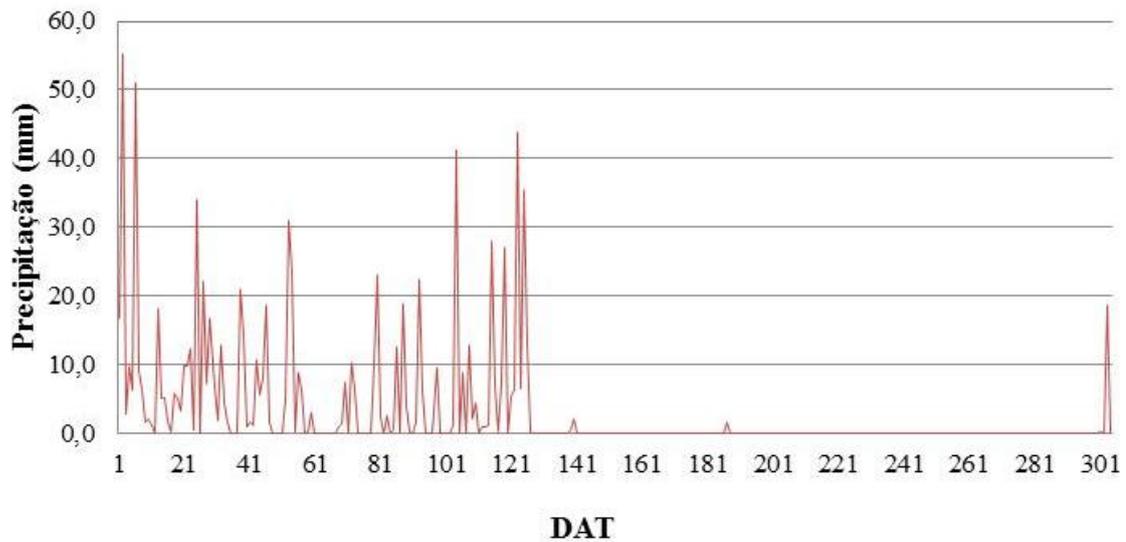


FIGURA 17. Valores diários da precipitação durante o experimento.

Observa-se precipitação pluviométrica constante até aos 127 DAT, típico do período observado, que abrange os meses de novembro(segunda quinzena) a março. A bananeira é uma cultura pouco exigente em água na sua fase inicial, os valores pluviométricos observados estão acima dos recomendados para o plantio da cultura. Borges e Souza (2004), salienta que a melhor época para o plantio da bananeira ocorre no mês de agosto, para mudas tipo “chifrinho” e chifrão” pois não necessitam de muita água para o seu desenvolvimento inicial. Já as mudas tipo micropropagadas que foram utilizadas necessitam de uma maior quantidade de água para seu desenvolvimento inicial, se adequando ao período plantado.

Nota-se que a partir do 128 DAT até os 299 DAT praticamente não ocorreu precipitação pluviométrica, fato típico do período estudado que vai da segunda quinzena de março a outubro. A precipitação ocorrida durante todo o período estudado foi de 919,55 mm.

- Radiação solar diária

A Figura 18 apresenta os valores da intensidade de radiação solar global (MJ.m^{-2}) durante o período do experimento de campo.

Nota-se que os valores de radiação solar diárias foram dispersos, tendo seu pico aos 143 DAT, alcançando $38,9 \text{ MJ.m}^{-2}$ e o mínimo aos 6 DAT chegando a 3 MJ.m^{-2} . Sendo que a média da radiação solar global foi de $20,10 \text{ MJ.m}^{-2}$.

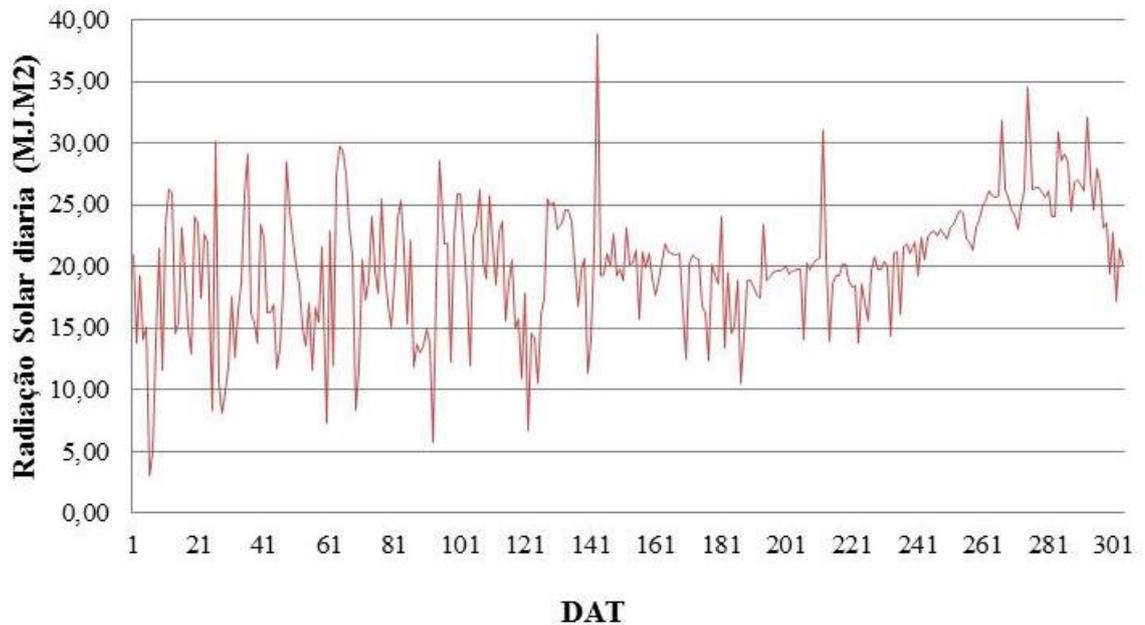


FIGURA 18. Valores de radiação solar durante o experimento.

- Evapotranspiração

A Figura 19 apresenta os valores da evapotranspiração de referência (ET_o) obtidos de forma indireta através da equação de Penman-Monteith.

Observa-se que os valores de evapotranspiração foram influenciados pelos valores de precipitação pluviométrica ocorrido no período. Os valores foram menores de até os 128 DAT que coincidiu com altos índices pluviométricos. Observa-se também que o menor índice foi aos 6 DAT chegando a 0,073 mm, dia esse onde ocorreu o menor índice de radiação solar global e um dos maiores índices pluviométricos (Figura 17 e Figura 18), respectivamente. Nota-se também que o maior valor encontrado foi aos 291 DAT chegando a 11,90 mm.

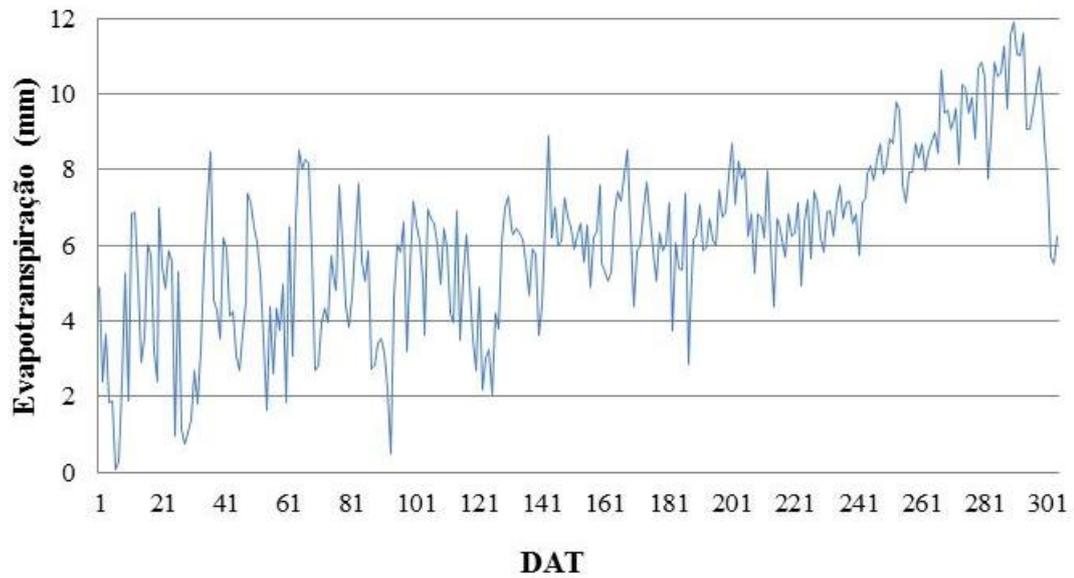


FIGURA 19. Evapotranspiração de referencia durante o experimento.

5.2 QUALIDADE DA ÁGUA

Os resultados das características físicas e químicas das águas utilizadas na irrigação são apresentados na Tabela 15.

TABELA 15. Valores médios da qualidade da água do poço semi-artesiano da Universidade Estadual de Goiás e do efluente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE-UEG) utilizada na irrigação por gotejamento e microaspersão.

Parâmetros	Unidades	Água do poço	Água Residuária
pH	-	6,8	5,8
Dureza	mg.L ⁻¹	313	435
CE	dS.m ⁻¹	0,87	2,01
Turbidez	NTU	1,19	89,54
NO ₃ ⁻	mg.L ⁻¹	0,53	0,84
NH ₃	mg.L ⁻¹	0,01	0,08
P total	mg.L ⁻¹	0,05	12,32
Potássio	mg.L ⁻¹	0,33	2,24
Ferro	mg.L ⁻¹	0,50	1,79
Boro	mg.L ⁻¹	0	0,005
Cálcio	mg.L ⁻¹	0,79	8,00

Magnésio	mg.L ⁻¹	0,88	13,5
Sódio	mg.L ⁻¹	0,14	17,5
Manganês	mg.L ⁻¹	0,42	1,34
RAS	adimensional	0,15	5,34
SDT	mg.L ⁻¹	84,13	1234,55
SS	mg.L ⁻¹	0,005	0,307

Legenda: CE: condutividade elétrica, NO₃⁻ : nitrato, NH₃ : nitrogênio amoniacal, P total: fósforo total, RAS: razão de adsorção de sódio, SDT: sólidos dissolvidos totais e SS: sólidos sedimentáveis.

- Potencial Hidrogeniônico – pH

Observa-se que o pH apresentou pequena variação entre a água do poço semi-artesiano e a do efluente tratado (água residuária). Entretanto, o resultado de pH da água do poço semi-artesiano esteve dentro do sugerido por Ayers e Westcot (1991) que é de 6,5 e 8,4 para aplicação em irrigação, já o pH do efluente tratado encontra-se fora do limite sugerido para água de irrigação. Quanto ao risco potencial de entupimento os resultados demonstram um risco pequeno (NAKAYAMA e BUCKS, 1986).

Conforme Duarte et al. (2008), a concentração H⁺ e OH⁻, contida nas águas de irrigação, pode exercer influência na disponibilidade e absorção de nutrientes por parte das plantas, na estrutura e propriedades do solo e nos sistemas de irrigação. Resultado encontrado por Souza (2004) em estudo utilizando esgoto bruto teve variação de pH na faixa de 6,5 a 7,4, enquanto que, para o reúso do efluente anaeróbico na irrigação do milho obteve valores na faixa de 6,9 e 7,6, tratamento semelhante ao utilizado nesta pesquisa.

O pH ácido do efluente de 5,8 atende as condições de lançamentos de efluentes em corpos hídricos receptores estabelecido pela Resolução n° 357/2005 do CONAMA, no seu “Art. 34, o qual estabelece para lançamento de efluentes líquidos pH entre 5,0 e 9,0” (BRASIL, 2005).

- Dureza, Ferro total e Manganês

Os valores médios de dureza obtidos nas análises de qualidade da água do poço semi-artesiano e da água Residuária, proveniente do efluente tratado da ETE-UEG, são considerados altos quanto ao risco potencial de entupimento de gotejadores, já os valores médios de manganês encontrados tanto na água do poço como na água Residuária são considerados médios quanto ao risco potencial de entupimento de gotejadores, segundo

Nakayama e Bucks (1986). Os valores de ferro total presentes na água do poço e na água Residuária são considerados de médio e alto risco de entupimento, respectivamente.

A dureza é definida como a concentração de cátions multimetálicos em solução. Os cátions mais frequentemente associados à dureza são os cátions bivalentes Ca^{2+} e Mg^{2+} . Em condições de supersaturação, esses cátions reagem com ânions na água, formando precipitados (SPERLING, 2005), o que pode causar risco de entupimento de emissores, resulta da presença, principalmente, de sais alcalinos terrosos (cálcio e magnésio), ou de outros metais bivalentes, em menor intensidade, em teores elevados. A dureza total pode ser expressa pela soma da dureza de cálcio e a de magnésio.

A Resolução do CONAMA n° 357/2005 (BRASIL, 2005) não apresenta valores máximos permissíveis para dureza total. Águas duras podem causar incrustações em tubulações de água quente como também em motobombas utilizadas em irrigação.

Apesar do risco de entupimento quanto ao teor de ferro na água residuária, os resultados encontrados para o teor de ferro de $0,50 \text{ mg.L}^{-1}$ na água testemunha e de $1,79 \text{ mg.L}^{-1}$ na água residuária estão de acordo com Metcalf e Eddy (1991), que recomendam concentrações de ferro para a irrigação até $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$, onde a partir deste valor as culturas começam a apresentar problemas de toxidez. Este valor não é tóxico para solos com boa aeração, embora contribua para tornar o fósforo e o molibdênio indisponível às plantas.

De acordo com a Resolução n° 357/2005 do CONAMA os resultados de concentrações de ferro atendem aos padrões permitidos para lançamentos de efluentes (15 mg.L^{-1} de Fe).

O resultado do efluente foi semelhante ao observado por Sandri et al. (2009), o qual obteve valor máximo de $1,8 \text{ mg.L}^{-1}$ de Fe em água residuária da Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp e por Sousa et al. (2006a) $1,3 \text{ mg.L}^{-1}$ em irrigação com efluente proveniente de esgoto doméstico após tratamento com reator UASB.

Quanto às concentrações de manganês apresentados na Tabela 15, pode-se observar que os resultados dos valores médios de $0,42 \text{ mg.L}^{-1}$ para água do poço e de $1,34 \text{ mg.L}^{-1}$ para água residuária estão acima do recomendado por Metcalf e Eddy (1991) para água de irrigação, podendo causar toxidez em solos ácidos.

- Nitrogênio nitrato e amônia

A água proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto da UEG e a do poço semi-artesiano foram analisadas quanto à concentração de nitrogênio nas formas de nitrato (NO_3^-) e nitrogênio amoniacal (NH_4^+). Observa-se na Tabela 15 que a concentração de nitrato na água

residuária de $0,84 \text{ mg.L}^{-1}$ e na água do poço de $0,53 \text{ mg.L}^{-1}$ não apresentaram restrições para o uso na irrigação. Segundo Ayers e Westcot (1991), para concentrações até 5 mg.L^{-1} não existe nenhuma restrição.

Conforme a Resolução do CONAMA n° 357/2005 não há condições e padrões para lançamento de nitrato em corpo hídrico. Porém, a legislação estabelece limite máximo de 10 mg.L^{-1} de NO_3^- para água de rio classe 2. Segundo Sperling (2005), o nitrogênio na forma de nitrato pode ser associado a doenças, e o seu excesso de aplicação também acarreta contaminação do ambiente. Assim, as amostras de nitrogênio amoniacal apresentaram valores dentro dos limites permitidos pela legislação citada para lançamento de efluentes e classificação de corpo hídrico de classe 2.

Os diferentes estudos citados têm suas características quanto à origem da qualidade da água e eficiência nos diversos tratamentos de efluentes, tendo resultados variados como, Duarte et al. (2008) ao avaliar a qualidade da água residuária para irrigação utilizando diversos tipos de tratamentos. Importante lembrar que o nitrogênio se constitui no nutriente principal das plantas, pois participa nos processos de armazenamento e transferência de energia metabólica e essencial para o desenvolvimento do sistema radicular. Porém, existe grande preocupação em relação aos sistemas irrigados com esgotos por esse nutriente, uma vez que, sua alta mobilidade no solo pode levar a contaminação de águas subterrâneas e superficiais.

- Fósforo

Os valores obtidos de fósforo total nas amostras de água Residuária e da água do poço semi-artesiano mostram uma grande diferença de concentrações. O valor médio do efluente tratado foi de $12,32 \text{ mg.L}^{-1}$, menor que o encontrado por Viera José et. al. (2009) que observou concentração de $28,72 \text{ mg.L}^{-1}$. Para o valor encontrado não há restrição de uso e de lançamento em corpo receptor, pois a Resolução n° 357/2005 do CONAMA não apresenta limite máximo de teor de fósforo para lançamento de efluente em corpo da água receptor. No caso da água do poço semi-artesiano utilizada no experimento a concentração foi de $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$, este valor médio ficou abaixo do valor máximo aplicado pela legislação.

Vale destacar que o fósforo apresenta uma baixa mobilidade no solo, podendo apresentar um alto potencial de acúmulo, especialmente em camadas superficiais. Por isso, deve-se monitorar o acúmulo desse elemento no solo que é fertirrigado com dejetos, principalmente em sistema sem revolvimento de solo. Montes et al. (2006) afirma que há evidências de migração do fósforo em solos arenosos irrigados com esgotos tratados.

- Potássio

Os valores de potássio na água Residuária e na água do poço são relativamente baixos quando comparados com outros autores. Tendo em vista a Resolução do CONAMA nº 357/2005 e as restrições quanto ao uso na irrigação, esse nutriente não é mencionado como fator limitante nas diretrizes de qualidade de água para irrigação, nem tão pouco pela legislação de lançamento de efluentes em corpos hídricos (BRASIL, 2005), uma vez que, as águas utilizadas para irrigação apresentam quantidades relativamente pequenas, se comparadas a outros elementos. No experimento a concentração de potássio na água do poço foi de $0,33 \text{ mg.L}^{-1}$ e na água Residuária foi de $2,24 \text{ mg.L}^{-1}$. Sandri et al. (2009a) encontrou concentrações de potássio que variaram de 9,0 a $12,0 \text{ mg.L}^{-1}$ na água de reservatório superficial existente no campus da faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp. Entretanto, sabe-se que a presença de altas concentrações de potássio nas águas a serem usadas para irrigação pode acarretar a indisponibilidade de magnésio para as plantas.

Observa-se que o potássio não tem significado sanitário com relação ao tratamento de efluentes, nem tão pouco um papel importante, como tem o fósforo e o nitrogênio, responsáveis pelo fenômeno da eutrofização em corpos hídricos (SOUSA, et al., 2006a).

Esse elemento químico é absorvido pelas plantas na forma iônica K^+ e atinge seu máximo na presença de Ca^{++} no meio. No entanto, altas concentrações de cálcio no solo exercem efeito inibidor para a absorção de potássio (DUARTE et al., 2008).

- Boro

A concentração média de boro de $0,005 \text{ mg.L}^{-1}$ obtida no efluente da estação de tratamento de esgoto da UEG não apresenta nenhuma restrição quanto ao uso na agricultura irrigada. Nem tão pouco quanto aos padrões estabelecidos pela Resolução nº357/2005 do CONAMA, em que o valor máximo permitido de boro é de $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ em corpos hídricos classe 2 e de $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$ para lançamento de efluentes tratados em corpos d'água.

De acordo com Ayers e Westcot (1991), poderá haver problema para a cultura, quando a concentração atingir pelo menos $0,7 \text{ mg.L}^{-1}$. Sousa et al. (2006a) em pesquisa com água residuária na irrigação da cultura do pimentão obtiveram concentração de $0,14 \text{ mg.L}^{-1}$ em efluente tratado por reator UASB e $0,17 \text{ mg.L}^{-1}$ de boro no tratamento com lagoa de polimento. O valor encontrado por esse autor supera o resultado da média encontrado nessa pesquisa, devido à qualidade de água utilizada e ao tratamento aplicado.

- Condutividade elétrica

Observa-se que o valor médio da condutividade elétrica da água (CEa), o qual indica o nível de sais na água e/ou no efluente, permite dizer que tanto a água do poço quanto a água Residuária utilizada no trabalho apresenta risco moderado quanto a salinização do solo. Ayers e Westcot (1991) salientam que quando a condutividade elétrica da água for menor do que $0,7 \text{ dS.m}^{-1}$ não existe nenhum risco quanto a salinização do solo, já valores de CE entre $0,7 - 3,0 \text{ dS.m}^{-1}$ e $CE > 3,0 \text{ dS.m}^{-1}$ apresentam risco moderado e severo, respectivamente, em relação a salinização do solo. Observa-se que os valores encontrados no trabalho são $0,87 \text{ dS.m}^{-1}$ e $2,01 \text{ dS.m}^{-1}$ para a água do poço e a água residuária, respectivamente.

- Cálcio, magnésio e sódio

O resultado da concentração de cálcio observada nas análises de água do poço semi-artesiano e do efluente tratado apresentaram valores correspondentes a $0,79 \text{ mg.L}^{-1}$ e $8,00 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente. A concentração de magnésio apresentou valores médios, respectivamente, para água do poço e efluente tratado iguais a $0,88 \text{ mg.L}^{-1}$ e $13,5 \text{ mg.L}^{-1}$. Valores inferiores foram observados por Vieira José et al. (2009), que encontrou concentração de $15,29 \text{ mg.L}^{-1}$ de Ca e de $5,12 \text{ mg.L}^{-1}$ de Mg em água residuária coletada em uma ETE.

O teor de sódio verificado na caracterização da qualidade das águas foram de $0,14 \text{ mg.L}^{-1}$ e $17,5 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente, para água do poço e efluente tratado. Portanto os valores mencionados encontram-se dentro dos sugeridos por Ayers e Westcot (1991), que considera teores normais para a água de irrigação de $0 - 20,0 \text{ mg.L}^{-1}$ para o Ca, $0 - 5,0 \text{ mg.L}^{-1}$ para o Mg e entre $0 - 40,0 \text{ mg.L}^{-1}$ para o Na. Ressaltando apenas que o magnésio apresentou média maior que o sugerido quando analisado a água Residuária $13,5 \text{ mg.L}^{-1}$.

Para Crook (1991), valores de sódio até 70 mg.L^{-1} na água de irrigação, não provoca danos as plantas. Valores maiores levam a absorção excessiva deste íon, especialmente quando a umidade no solo for inferior a 30%.

Razão de adsorção de sódio – RAS

O resultado da razão de adsorção de sódio (RAS) apresentado na Tabela 15 para água do poço e para o efluente tratado corresponde a $0,15 \text{ mg.L}^{-1}$ e a $5,34 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente. Os valores observados são caracterizados quanto ao risco de haver problemas de infiltração no solo causados pela sodicidade da água, com base nos valores da RAS e da CE.

Desse modo, o resultado da água do poço semi-artesiano não apresenta nenhum grau de restrição para aplicação agrícola, em a capacidade de infiltração de água no solo, e nenhum grau de restrição em relação à planta, segundo Ayers e Westcot (1991).

No entanto, a avaliação quanto a RAS e CE da água residuária apresenta risco severo, podendo causar a longo prazo problemas quanto a taxa de infiltração do solo e toxidez as plantas mais sensíveis. Valores de RAS acima de 10 já podem provocar efeitos negativos as plantas (AYERS e WESTCOT, 1991).

- Turbidez e sólidos dissolvidos totais e sedimentáveis

O resultado da turbidez apresentados na Tabela 15 corresponde a 1,19 NTU para água do poço semi-artesiano e 89,54 NTU para água residuária. O valor da água do poço enquadra-se no padrão de classificação de corpos de água de classe 2 estabelecidos pela Resolução nº 357/2005 do CONAMA.

Os sólidos representam um parâmetro preciso para se determinar o grau de risco de entupimento de emissores para fonte de água superficial. Com base nos resultados apresentados na Tabela 15 para sólidos sedimentáveis e para sólidos dissolvidos totais, pode-se caracterizar as qualidades das águas pesquisadas, como de baixo risco para entupimento de emissores, pois segundo Nakayama e Bucks (1986) valores menores que 50 mg.L^{-1} de sólidos suspensos não apresentam risco ao entupimento e segundo a quantidade de sólidos dissolvidos totais um valor menor que 500 mg.L^{-1} é considerado de baixo risco, entre $500 - 2.000 \text{ mg.L}^{-1}$ médio risco e acima de 2.000 mg.L^{-1} severo risco. Desse modo, apenas, o resultado da água Residuária indica um risco médio de entupimento de emissores, cujo valor foi de $1234,55 \text{ mg.L}^{-1}$.

5.3 UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

O tubo gotejador modelo Hydrogol 2.2 L.h^{-1} apresentou CVf variando entre 2,09% e 3,13%, apresentando um valor médio de 2,76%, apresentando um valor médio de 5,19% , classificados conforme ASAE (1994) ABNT (1986) e ISSO (2001), como excelente, boa e categoria A respectivamente (Tabela 16).

TABELA 16. Vazão média, desvio padrão, coeficiente de variação de fabricação do tubo gotejador modelo Hydrogol 2.2 L.h⁻¹ e sua devida classificação.

Pressão Serviço (kPa)	Vazão Média (L.h ⁻¹)	Desv. Padrão (L.h ⁻¹)	CVf (%)	Classificação		
				ASAE (1992)	ABNT (1994)	ISO (2001)
50	1.46	0.04	3.12	Excelente	Boa	Categoria A
100	2.11	0.06	2.96	Excelente	Boa	Categoria A
150	2.61	0.07	2.99	Excelente	Boa	Categoria A
200	3.01	0.08	2.81	Excelente	Boa	Categoria A
250	3.37	0.08	2.60	Excelente	Boa	Categoria A
300	3.62	0.07	2.09	Excelente	Boa	Categoria A
Media		0.07	2.76			

O CUD médio apresentado pelo modelo Hydrogol 2.2 L.h⁻¹ (Tabela 17) foi de 96,77%, sendo considerado como excelente KELLER e KARMELI (1975). A partir da análise de regressão a equação do tipo potencial obtida para o tubo Hydrogol 2.2 L.h⁻¹ foi de $q = 0,649H^{0,510}$, $R_2 = 0,999$ (Figura 21). O regime de escoamento é caracterizado a partir do valor do expoente da equação, neste caso, considerado turbulento conforme (KELLER & KARMELI 1974).

TABELA 17. Coeficiente de uniformidade de distribuição e sua classificação, tubo gotejador modelo Hydrogol 2.2 L.h⁻¹.

Pressão Serviço (kPa)	Vazão Média (L.h ⁻¹)	CUD (%)	Us (%)	Classificação	
				ASAE (1996)	MANTOVANI (2002)
50	1.46	96.15	96.87	Excelente	Excelente
100	2.11	96.27	97.03	Excelente	Excelente
150	2.61	97.19	97.00	Excelente	Excelente
200	3.01	96.95	97.18	Excelente	Excelente
250	3.37	96.73	97.39	Excelente	Excelente
300	3.62	97.30	97.90	Excelente	Excelente
Media		96.76	97.23		

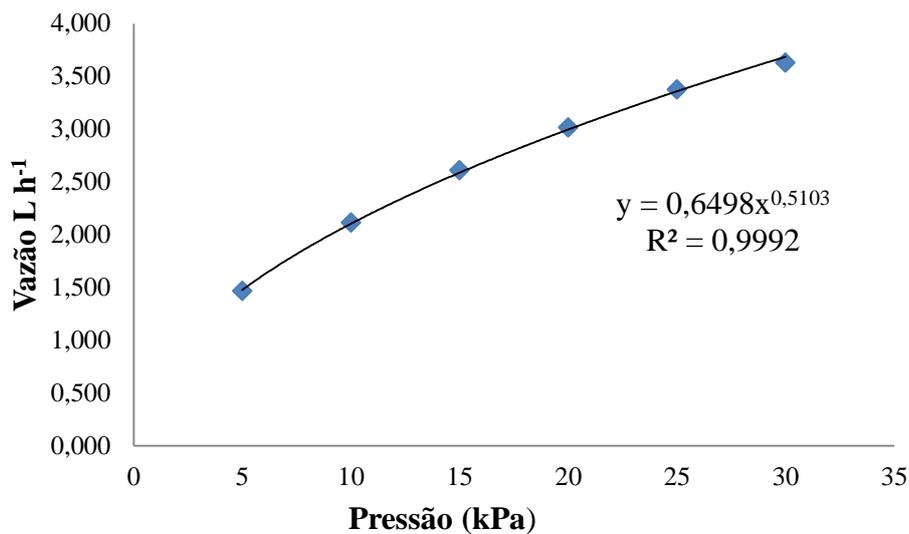


FIGURA 20. Gráfico vazão x pressão e sua equação potencial do tubo gotejador modelo Hydrogol 2.2 L.h⁻¹.

- Avaliação em campo

A apresentação dos dados de CUD e CUC do sistema de irrigação por gotejamento e do sistema de irrigação por microaspersão instalados em campo estão apresentados na Tabela 18.

TABELA 18. Valores dos coeficientes de uniformidade de CUD e CUC obtidos no ensaio inicial e final do experimento.

Coeficientes	Sistema de irrigação					
	Gotejamento			Microaspersão		
	A _p I _g	A _r I _g	A _f I _g	A _p I _m	A _r I _m	A _f I _m
Início - CUD (%)	98,46	96,71	98,44	86,56	85,62	86,13
Final - CUD (%)	94,33	83,49	93,55	85,08	81,66	84,72
Variação (%)	-4,19	-13,67	-4,97	-1,71	-4,62	-1,64
Início - CUC (%)	99,08	99,03	99,02	91,10	90,64	91,23
Final - CUC (%)	99,01	97,12	98,89	90,78	89,07	90,99
Variação (%)	-0,07	-1,93	-0,13	-0,35	-1,73	-0,26

Observa-se no sistema de irrigação por gotejamento que a maior parte dos tratamentos obteve-se valores de CUD e CUC acima de 90%, considerados excelentes conforme Merriam e Keller (1978), tanto no início como no final do experimento. Somente o tratamento com

água Residuária e irrigação por gotejamento apresentou valor de 83,49% no final do experimento sendo considerado como “bom” (MERRIAM e KELLER, 1978).

O tratamento que apresentou maior variação foi o de água Residuária com irrigação por gotejamento que apresentou uma variação de 13,67% no CUD.

Para Bernardo et al. (2009), em sistemas de irrigação por gotejamento, a uniformidade da distribuição de água ideal é acima de 95% no sistema de irrigação por gotejamento e 80% no sistema de irrigação por aspersão. Portanto, os resultados obtidos encontram-se dentro da margem ideal para o funcionamento do sistema, apresentando excelente a boa uniformidade de distribuição pelo sistema. Mesmo com a utilização de filtros obteve uma redução em todos os tratamentos, embora nos tratamentos com água Residuária e fertirrigação o filtro teve uma importância maior devido ao fato de reter partículas presentes nas águas.

Pletsch et al. (2009) em seu estudo sobre o desempenho de gotejadores com uso de esgoto tratado observou que os maiores coeficientes, após 1000 horas de uso, foram obtidos nas pressões acima de 100 kPa. O mesmo autor obteve resultados acima de 97% no CUC, classificados como excelentes, após 500 horas de funcionamento do sistema e verificou, também, que os valores de CUC ficaram acima dos valores de CUD, como os resultados encontrados nesta pesquisa. Estudo realizado por Batista et al. (2005) utilizando efluente de lagoa de maturação de esgoto sanitário obteve reduções nos valores de CUD de 8, 32 e 26%, no tratamento apenas com filtração de disco sem utilização de cloração, utilizando três modelos de gotejadores, após 560 horas de operação.

5.4 AVALIAÇÃO DO SOLO

Na Tabela 19 são apresentados os resultados das análises de solo nas profundidades de 0,00 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m realizadas início do experimento e aos 304 dias após o transplante das mudas (DAT) para os elementos químicos pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, sódio, cobre e ferro. Já a Tabela 20 apresenta-se a variação percentual entre o início e no final do experimento.

TABELA 19. Valores de pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, sódio, cobre e ferro do solo irrigado por gotejamento e microaspersão, com diferentes qualidades de água no início e no final do experimento.

Elementos químicos	P (m)	Tratamentos											
		ApI _g		ArI _g		AfI _g		ApI _m		ArI _m		AfI _m	
		Início	Final	Início	Final	Início	Final	Início	Final	Início	Final	Início	Final
pH(CaCl ₂)	0,0-0,2	4,58	4,00	5,00	4,02	5,49	4,09	4,40	4,69	4,60	4,79	4,39	3,93
	0,2-0,4	4,19	3,96	4,17	4,69	4,20	4,03	4,22	4,39	4,31	4,36	4,03	4,31
Fósforo (mg.dm ⁻³)	0,0-0,2	0,73	7,63	0,94	4,10	112,18	285,10	0,26	6,20	1,72	8,00	1,25	3,91
	0,2-0,4	0,94	6,10	5,66	2,70	1,20	19,90	0,16	4,60	0,37	4,70	0,57	2,40
Potássio (cmol _c .dm ⁻³)	0,0-0,2	0,07	0,09	0,07	0,07	0,07	0,18	0,05	0,10	0,09	0,09	0,08	0,08
	0,2-0,4	0,05	0,06	0,04	0,06	0,04	0,08	0,03	0,08	0,04	0,07	0,04	0,06
Cálcio (cmol _c .dm ⁻³)	0,0-0,2	2,70	1,00	1,00	1,00	0,70	2,10	0,40	3,00	0,70	2,10	0,60	1,00
	0,2-0,4	0,30	1,00	0,50	0,80	0,60	1,70	0,40	2,00	0,30	1,70	0,40	0,70
Magnésio (cmol _c .dm ⁻³)	0,0-0,2	0,40	0,50	0,90	0,80	0,20	1,40	0,20	1,30	0,60	1,50	0,50	0,80
	0,2-0,4	0,20	0,30	0,40	0,70	0,20	0,60	0,20	0,70	0,20	0,40	0,20	0,50
Enxofre (mg.dm ⁻³)	0,0-0,2	1,54	15,30	1,83	10,40	1,54	11,30	1,54	9,20	1,54	7,90	1,54	8,40
	0,2-0,4	1,54	11,60	4,60	7,20	1,54	18,30	1,54	8,70	6,23	7,50	1,54	2,70
Sódio (mg.dm ⁻³)	0,0-0,2	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00
	0,2-0,4	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Cobre (mg.dm ⁻³)	0,0-0,2	4,00	4,10	2,70	3,20	2,90	3,20	3,70	5,10	3,10	3,60	3,60	4,00
	0,2-0,4	2,00	1,10	1,10	1,00	1,30	1,10	1,20	5,00	1,10	1,00	1,50	1,80
Ferro (mg.dm ⁻³)	0,0-0,2	70,00	72,00	69,00	79,00	56,00	55,00	55,00	78,60	75,00	85,00	50,90	68,00
	0,2-0,4	85,00	89,00	83,00	82,00	62,60	66,00	65,20	80,20	84,00	94,00	68,00	75,00

Legenda: ApI_g – Água do poço e irrigação por gotejamento, ArI_g – Água Residuária e irrigação por gotejamento, AfI_g – Água fertirrigada e irrigação por gotejamento, ApI_m – Água do poço e irrigação por microaspersão, ArI_m – Água Residuária e irrigação por microaspersão, AfI_m – Água fertirrigada e irrigação por microaspersão, P (m) – Perfil do solo onde foram coletadas as amostra de solo.

TABELA 20. Variação em porcentagem de pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, sódio, cobre e ferro do solo irrigado por gotejamento e microaspersão com diferentes qualidades de água entre o início e final do experimento.

Elementos químicos	Tratamentos											
	ApIg		ArIg		AfIg		ApIm		ArIm		AfIm	
	0,0-0,20	0,20-0,40	0,0-0,20	0,20-0,40	0,0-0,20	0,20-0,40	0,0-0,20	0,20-0,40	0,0-0,20	0,20-0,40	0,0-0,20	0,20-0,40
Variação (%).....											
pH(CaCl ₂)	-12,66	-5,49	-19,60	12,47	-25,50	-4,05	6,59	4,03	4,13	1,16	-10,48	6,95
Fósforo (mg.dm ⁻³)	945,21	548,94	336,17	-52,30	154,15	1558,33	2284,62	2775,00	365,12	1170,27	212,80	321,05
Potássio (cmol _c .dm ⁻³)	28,57	20,00	0,00	50,00	157,14	100,00	100,00	166,67	0,00	75,00	0,00	50,00
Cálcio (cmol _c .dm ⁻³)	-62,96	233,33	0,00	60,00	200,00	183,33	650,00	400,00	200,00	466,67	66,67	75,00
Magnésio (cmol _c .dm ⁻³)	25,00	50,00	-11,11	75,00	600,00	200,00	550,00	250,00	150,00	100,00	60,00	150,00
Enxofre (mg.dm ⁻³)	893,51	653,25	468,31	56,52	633,77	1088,31	497,40	464,94	414,99	20,39	445,45	75,32
Sódio (mg.dm ⁻³)	0,00	0,00	-50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-50,00	0,00	0,00	0,00
Cobre (mg.dm ⁻³)	2,50	-45,00	18,52	-9,09	10,34	-15,38	37,84	316,67	16,13	-9,09	11,11	20,00
Ferro (mg.dm ⁻³)	2,86	4,71	14,49	-1,20	-1,79	5,43	42,91	23,01	13,33	11,90	33,60	10,29

Legenda: ApI_g – Água do poço e irrigação por gotejamento, ArI_g – Água Residuária e irrigação por gotejamento, AfI_g – Água fertirrigada e irrigação por gotejamento, ApI_m – Água do poço e irrigação por microaspersão, ArI_m – Água Residuária e irrigação por microaspersão, AfI_m – Água fertirrigada e irrigação por microaspersão, P (m) – Perfil do solo onde foram coletadas as amostra de solo.

- pH

Os valores de pH observados na Tabela 19 mostram que em quase todos os tratamentos com irrigação por gotejamento houve redução, já nos tratamento com irrigação por microaspersão houve um acréscimo em praticamente todos dos tratamentos tanto nos perfis de 0,0-0,2m quanto de 0,2-0,4m de profundidade. Silva et al. (2001), ao avaliar o estado nutricional da cultura da banana irrigada com água subterrânea, no norte de Minas Gerais, verificaram aumento dos valores de pH do solo e o relacionaram à qualidade da água de irrigação. O tratamento com fertirrigação e irrigação por gotejamento na profundidade de 0,0 a 0,20m foi o que obteve o maior índice de redução de 25,50% no pH.

Diversos autores consideram a faixa de pH entre 6 e 7 como ideal para o cultivo da bananeira. Bouwer (2000) utilizando água residuária e Queiroz et al. (2004) ao utilizar água residuária de suinocultura na irrigação de forrageira notaram redução no valor do pH em virtude da degradação de resíduos biodegradáveis que propicia a produção de CO₂ e ácidos orgânicos. Por outro lado, tem-se observado incrementos no valor de pH do solo quando fertirrigados com águas residuárias em sistemas agrícolas de pastagens (QUIN e WOODS, 1978) e florestas (CROMER et al., 1984).

Barros et al. (2005) justifica que a alteração do pH pode ter influência também da temperatura, bem como da composição e volume do efluente. Em seu estudo o autor afirma que temperaturas até 25°C com maiores conteúdos de água no solo ocorre o decréscimo do pH. Este resultado pode estar ligado ao fato de que, nos maiores conteúdos hídricos sob temperatura de 25°C, tem-se ótimas condições para a nitrificação e, já que esta reação libera hidrogênio, isto pode ter contribuído para a diminuição do pH. Já na temperatura de 35°C a tendência foi de aumento de pH. No presente estudo não foi avaliada a influência da temperatura do solo na liberação de hidrogênio a partir do processo de nitrificação, no entanto, constatou-se a presença de íons H⁺.

Em condições de pH do solo inferior a 7 e baixa condutividade elétrica do solo, Pereira et al. (2000) obtiveram produção de 29,1 Mg ha⁻¹ de bananeira 'Prata-Anã'. Entretanto, Silva et al. (2001) constataram redução de 40% na produtividade, com o aumento da condutividade elétrica do solo. Carmo et al. (2003) relatam redução no crescimento e na produtividade da bananeira, cultivada em diferentes níveis de salinidade em água de irrigação.

De acordo com Silva et al. (2001), a bananeira apresenta bom desenvolvimento em solo com CE de até 1 dS.m⁻¹; acima desse valor, ocorre comprometimento da produção. Segundo esses autores, o aumento da CE, até o limite tolerado pela bananeira, favorece o

melhor desenvolvimento das raízes da cultura e aumenta seu potencial de absorção de água e nutrientes.

- Fósforo

Nota-se que os valores de fósforo (P) teve um acréscimo em praticamente todos os tratamentos tanto na camada de 0,0 a 0,20m quanto na de 0,20 a 0,40m (Tabela 16). O fósforo (P) favorece o desenvolvimento vegetativo e o sistema radicular, é praticamente imóvel no solo e, por isso, deve ser aplicado na cova de plantio.

Observam-se na Tabela 19 que os acréscimos de fósforo no experimento foram excessivamente altos, onde no tratamento com água do poço e irrigação por microaspersão no perfil de 0,20-0,40m houve um acréscimo de 2775,% de P. Esse fato pode estar relacionado aos baixos níveis iniciais desse elemento no solo no início do experimento. No tratamento com água Residuária e irrigação por gotejamento houve uma redução de 52,30% no percentual de P.

A bananeira necessita de pequenas quantidades desse nutriente, porém, na sua falta, as plantas apresentam crescimento atrofiado e raízes pouco desenvolvidas. Além disso, as folhas mais velhas são tomadas por uma clorose marginal em forma de dentes de serra e os pecíolos se quebram. A deficiência de P é favorecida pelo baixo teor do nutriente no solo e por baixo pH, que leva à sua menor disponibilidade.

O comportamento do fósforo no solo confirma a pouca mobilidade no perfil do solo desse íon, pois na camada de 0,00-0,20m as concentrações de fósforo foram maiores que a camada mais profunda (Tabela 19).

Os resultados de fósforo na camada mais profunda pode ser justificado por Kouraa et al. (2002). O autor em seu estudo com esgoto bruto, água residuária tratada e água potável na irrigação de batatinha e alface não obteve alteração nos teores de fósforo do solo, justifica-se que são necessários vários anos de irrigação para obter mudanças nas características químicas do solo desse elemento em função da lenta mobilidade do fósforo no solo.

Conforme Tomé Junior (1997), normalmente o teor de fósforo disponível tende a diminuir com a profundidade, acompanhando o teor de matéria orgânica, característica observada nos resultados da análise química do experimento.

Estudos citados por Fonseca et al. (2007) afirmam que o aporte de P para o solo, em razão da aplicação via águas residuárias, é baixo; os incrementos de P disponível após a aplicação do efluente são observados nas camadas superficiais, corroborando com o resultado de fósforo encontrado neste trabalho na camada de 0,00-0,20 m.

- Potássio

O potássio (K) é o nutriente mais absorvido pela bananeira, apesar de não fazer parte de compostos na planta. É um nutriente importante na translocação dos fotossintatos, no balanço hídrico e na produção de frutos, aumentando a resistência destes ao transporte e melhorando a sua qualidade, pelo aumento dos sólidos solúveis totais e açúcares e decréscimo da acidez da polpa.

Observam-se na Tabela 19 que os valores de K no perfil de 0,0-2,0m foram maiores que os encontrados no perfil de 0,20-0,40m. Nota-se também que houve acréscimos nos nível de K tanto na profundidade de 0,0-2,0m quanto na 0,20-0,40m. O tratamento com água do poço e irrigação por microaspersão na profundidade de 0,20-0,40 teve um aumento de 166,67% no elemento K presente no solo.

Apesar do aumento dos teores de potássio em relação ao início do ciclo da cultura os valores se mantiveram abaixo do recomendado por Borges e Souza (2004) para o cultivo da bananeira que é de $0,15 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$.

- Cálcio

A concentração de cálcio (Ca) no solo apresentou grande variação entre os tratamentos (Tabela 19). Com relação ao teor no início do ciclo da cultura na camada de solo de 0,00-0,20m e na de 0,20-0,40m, respectivamente, ocorreu aumento no teor de cálcio de 200% e 183,33% no tratamento (AfIg), 650% e 400% no tratamento (ApIm), 200% e 466,67% no tratamento (ArIm), 66,67% e 75% no (AfIm), 66% no tratamento (ArIg) na perfil 0,20-0,40m, sendo que no camada superior não houve alteração na concentração de Ca. No tratamento (ApIg) houve redução no teor de Ca no perfil de 0,00-0,20m de 62,96% e aumento de 233,33% na camada de 0,20-0,40m. O aumento nas concentrações de Ca pode ter ocorrido pela a utilização de água Residuária e fertirrigação, tendo em vista que o Ca tem boa mobilidade no solo, pode-se ter movido para os tratamentos com água do poço,

As concentrações de cálcio em todos os tratamentos são consideradas altas, pois conforme Raij et al. (1997), teores acima de $0,7 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ são considerados altos. O cálcio decresceu com o aumento da profundidade, porém não se observa tendência de lixiviação, visto que a concentração não aumentou com a profundidade. Medeiros et al. (2005) também observou decréscimo de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis com a profundidade.

- Magnésio

O comportamento do magnésio (Mg) no solo foi semelhante ao cálcio, ou seja, ocorreu um acréscimo do teor no solo no final do experimento (Tabela 19). O Acréscimo foi de 25% e 50% no tratamento ApIg, 600% e 200% no AfIg, 550% e 250% no ApIm, 150% e 100% no ArIm, e 60% e 150% no AfIm, nas camadas de 0,00-0,20m e 0,20-0,40m respectivamente. O tratamento ArIg apresentou redução de 11,11% na camada de 0,00-0,20m e acréscimo de 75% na camada de 0,20-0,40m (Tabela 20).

Apesar da variação das concentrações de magnésio nas análises realizadas durante o experimento os teores encontram-se acima dos índices sugeridos por Tomé Junior (1997) e Raij et al. (1997). Os autores classificam que teores de Mg no solo acima de $0,8 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ são considerados altos. Bem como, a relação Ca/Mg citado por diversos autores que consideram adequado acima de 2 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$. Borges e Souza (2004) salientam que quantidades de Mg no solo acima de $1,0 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ são favoráveis ao desenvolvimento da bananeira.

Os resultados corroboram com os descritos por Sandri et al.(2009a) que apresentou aumento nos teores de magnésio em alguns tratamentos, principalmente no segundo ciclo do cultivo da alface nos três sistemas de irrigação utilizados e nas duas camadas de solo em relação ao início do ciclo, com destaque para o aumento de 45,5% no tratamento com água residuária e irrigação por gotejamento superficial.

- Enxofre

Observa-se na Tabela 19 notamos que o enxofre (S) teve grande acréscimo na sua concentração no solo em todos os tratamentos. O nutriente variou de 20,39% no tratamento de água Residuária e irrigação por microaspersão à 1088,31% no tratamento de água fertirrigação e irrigação por gotejamento, ambos nas camadas de 0,20-0,40m do perfil do solo (Tabela 20). O aumento na concentração de S no solo pode ter ocorrido pelo fato da água Residuária ter um teor de enxofre alto e uma possível precipitação do nutriente na fertirrigação.

O enxofre (S) interfere principalmente nos órgãos jovens da planta, onde sua ausência expressa por alterações metabólicas que dificultam a formação da clorofila, terminando por interromper as atividades vegetativas. A deficiência do nutriente ocorre em solos com baixo teor de matéria orgânica e também nos solos com aplicação de adubos concentrados sem S (BORGES e SOUZA, 2004).

- Sódio

O teor de sódio (Na) no solo manteve-se constante em todos os tratamentos no perfil de solo de 0,20-0,40m. Já no perfil de 0,00-0,20m notou-se uma redução de 50% no teor de Na no solo nos tratamentos ArIg e ArIm, sendo que nos demais permaneceu constante. Observa-se que a redução de Na ocorreu nos tratamentos que utilização água Residuária, no perfil de 0,00-0,20m de solo, fato esse pode estar relacionado a alterações químicas no solo referentes a reações químicas, precipitação do sódio em Ca e Mg. A diminuição do Na está geralmente relacionado ao aumento de Ca e Mg, e a diminuição do pH (JNAD, et al., 2001).

O sódio é um dos parâmetros que mais interfere no teor de sais no solo. A elevação no teor de Na, simultaneamente com a redução de Ca, Mg no solo poderá provocar alterações nas propriedades físicas do solo principalmente a expansão e dispersão de argila reduzindo a porosidade e em consequência a condutividade hidráulica. (JNAD, et al., 2001)

- Cobre

As concentrações de cobre (Cu) presentes no solo tiveram um acréscimo em todos os tratamentos quando observados no perfil de 0,00-0,20m. O tratamento de água do poço e irrigação por microaspersão (ApIm) foi o que teve o maior aumento 37,84% no perfil de 0,00-0,20m. Já os níveis de Cu nas camadas de 0,20-0,40m apresentaram redução em quatro dos seis tratamentos, sendo que o tratamento de água do poço e irrigação por gotejamento (ApIg) foi o que teve o maior índice de redução 45% no perfil 0,20-0,40m.

De acordo com recomendação de Raij et al. (1997) todos os tratamentos apresentaram altos teores de cobre. Nos estudos de Duarte (2006) a concentração de cobre não diferenciou de acordo com a variação do tipo de irrigação com efluente doméstico tratado através de uma conciliação de dois tratamentos: anaeróbio, realizado por reatores de fluxo ascendente e aeróbio, realizado por um sistema de lodos ativados e com água potável.

- Ferro

Pode-se observar na Tabela 20 que a concentração de ferro (Fe) variou muito entre os tratamentos e camadas, isso ocorreu devido a sua facilidade de alteração de estado de oxidação. O tratamento com água do poço e irrigação pro microaspersão (ApIm) apresentou a maior variação entre os tratamentos 42,91% no perfil de 0,00-0,20m e 23,01 no 0,20-0,40m. Nota-se também elevação no teor de Fe nos tratamentos com água Residuária, isso pode ter relação com o auto teor de ferro na água do efluente tratado de esgoto domestico. Mas de

forma geral, todos os tratamentos apresentaram teores superiores ao recomendado por Raij et al. (1997).

De um modo geral os resultados dos teores de Fe encontrados no solo apresentaram valores semelhantes em todos os tratamentos os que corroboram com os encontrados por Duarte (2006).

Na Tabela 21 são apresentados os resultados das análises de solo nas profundidades de 0,00 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m realizadas início do experimento e aos 304 dias após o transplântio das mudas (DAT) para os elementos químicos manganês, zinco, boro, alumínio, acidez total (A.T), matéria orgânica (MO), saturação de bases, capacidade de troca de cátions (CTC). Já a Tabela 22 apresenta-se a variação percentual entre o início e no final do experimento.

TABELA 21. Valores de manganês, zinco, boro, alumínio, acidez total (A.T), matéria orgânica (MO), saturação de bases, capacidade de troca de cátions (CTC) do solo irrigado por gotejamento e microaspersão com diferentes qualidades de água no início e no final do experimento.

Elementos	P (m)	Tratamentos											
		ApIg		ArIg		AfIg		ApIm		ArIm		AfIm	
		Início	Final	Início	Final	Início	Final	Início	Final	Início	Final	Início	Final
Manganês (mg.dm ⁻³)	0,0-0,2	10,40	12,00	10,90	11,00	12,90	12,00	10,90	18,00	12,60	11,20	15,30	16,00
	0,2-0,4	5,10	4,10	5,10	4,20	4,60	4,00	3,80	18,00	5,60	6,10	4,80	3,20
Zinco (mg.dm ⁻³)	0,0-0,2	23,80	25,00	24,00	22,00	21,00	25,00	21,00	8,00	25,60	30,00	22,60	23,00
	0,2-0,4	12,70	11,10	11,10	12,90	0,80	1,10	0,50	7,60	8,90	9,00	0,80	1,80
Boro (mg.dm ⁻³)	0,0-0,2	0,41	0,24	0,30	0,28	0,39	0,21	0,33	0,31	0,37	0,28	0,38	0,29
	0,2-0,4	0,33	0,22	0,29	0,27	0,35	0,20	0,27	0,23	0,35	0,26	0,35	0,21
Aluminio (cmol _c .dm ⁻³)	0,0-0,2	0,00	0,60	0,00	0,50	0,00	0,40	0,20	0,40	0,10	0,30	0,20	0,20
	0,2-0,4	0,20	0,60	0,30	0,50	0,20	0,40	0,20	0,40	0,20	0,30	0,30	0,40
Acidez Total (cmol _c .dm ⁻³)	0,0-0,2	2,00	4,10	2,50	5,40	2,00	4,50	2,50	4,40	3,00	4,80	3,00	3,00
	0,2-0,4	2,50	4,20	3,00	5,30	2,50	4,10	2,00	4,20	2,80	5,30	3,00	2,10
M.O (%) (g.Kg ⁻¹)	0,0-0,2	21,10	31,10	19,70	24,50	23,75	32,00	14,41	32,50	18,77	41,80	18,92	11,80
	0,2-0,4	13,47	23,70	15,81	20,90	16,00	35,60	13,00	25,60	17,37	22,00	14,10	10,80
Saturação de Bases (%)	0,0-0,2	61,33	27,90	44,09	25,74	32,69	44,98	20,66	50,01	31,69	43,47	28,17	38,48
	0,2-0,4	17,92	24,48	23,87	22,75	25,17	36,69	23,82	39,84	16,19	29,01	17,48	37,52
CTC (cmol _c .dm ⁻³)	0,0-0,2	5,17	5,69	4,47	7,27	2,97	8,18	3,15	8,80	4,39	8,49	4,18	4,88
	0,2-0,4	3,05	5,56	3,94	6,86	3,34	6,48	2,63	6,98	3,34	7,47	3,64	3,89

Legenda: ApIg – Água do poço e irrigação por gotejamento, ArIg – Água Residuária e irrigação por gotejamento, AfIg – Água fertirrigada e irrigação por gotejamento, ApIm – Água do poço e irrigação por microaspersão, ArIm – Água Residuária e irrigação por microaspersão, AfIm – Água fertirrigada e irrigação por microaspersão, P (m) – Perfil do solo onde foram coletadas as amostra de solo.

TABELA 22. Variação em porcentagem de manganês, zinco, boro, alumínio, acidez total (A.T), matéria orgânica (MO), saturação de bases, capacidade de troca de cátions (CTC) do solo irrigado por gotejamento e microaspersão com diferentes qualidades de água entre o início e final do experimento.

Elementos químicos	Tratamentos											
	ApIg		ArIg		Aflg		ApIm		ArIm		Aflm	
	0,0-0,20	0,20-0,40	0,0-0,20	0,20-0,40	0,0-0,20	0,20-0,40	0,0-0,20	0,20-0,40	0,0-0,20	0,20-0,40	0,0-0,20	0,20-0,40
Variação (%).....											
Manganês (mg.dm ⁻³)	15,38	-19,61	0,92	-17,65	-6,98	-13,04	65,14	373,68	-11,11	8,93	4,58	-33,33
Zinco (mg.dm ⁻³)	5,04	-12,60	-8,33	16,22	19,05	37,50	-61,90	1420,00	17,19	1,12	1,77	125,00
Boro (mg.dm ⁻³)	-41,46	-33,33	-6,67	-6,90	-46,15	-42,86	-6,06	-14,81	-24,32	-25,71	-23,68	-40,00
Alumínio (cmol _c .dm ⁻³)	-	200,00	-	66,67	-	100,00	100,00	100,00	200,00	50,00	0,00	33,33
Acidez Total (cmol _c .dm ⁻³)	105,00	68,00	116,00	76,67	125,00	64,00	76,00	110,00	60,00	89,29	0,00	-30,00
M.O (%) (g.Kg ⁻¹)	47,39	75,95	24,37	32,19	34,74	122,50	125,54	96,92	122,70	26,66	-37,63	-23,40
Saturação de Bases (%)	-54,51	36,61	-41,62	-4,69	37,60	45,77	142,06	67,25	37,17	79,18	36,60	114,65
CTC (cmol _c .dm ⁻³)	10,06	82,30	62,64	74,11	175,42	94,01	179,37	165,40	93,39	123,65	16,75	6,43

Legenda: ApIg – Água do poço e irrigação por gotejamento, ArIg – Água Residuária e irrigação por gotejamento, Aflg – Água fertirrigada e irrigação por gotejamento, ApIm – Água do poço e irrigação por microaspersão, ArIm – Água Residuária e irrigação por microaspersão, Aflm – Água fertirrigada e irrigação por microaspersão, Sinal (-): redução e (+) elevação.

- Manganês

Na Tabela 21 podemos observar que os valores de manganês (Mn) variaram de 10,4 mg.dm⁻³ a 18 mg.dm⁻³ no perfil de solo de 0,00-0,20m e de 3,2 mg.dm⁻³ a 18 mg.dm⁻³ no perfil de 0,20-0,40. Valores um pouco acima aos encontrados por Duarte (2006) e Fonseca (2007) que encontraram concentrações de Mn entre 1,5 e 5,0 mg.dm⁻³ tanto no solo irrigado com água Residuária quanto com água potável.

O tratamento de água do poço e irrigação por microaspersão (ApIm) apresentou o maior acréscimo no teor Mn no solo, sendo 65,14% e 373,68% na camada do solo de 0,00-0,20m e 0,20-0,40m respectivamente.

Os teores de manganês encontrados no perfil de 0,00-0,20m estão todos acima de 5,0 mg.dm⁻³, sendo classificados como altos por Raij et al. (1997).

O pH, o potencial de oxiredução, a matéria orgânica e o equilíbrio com outros cátions como ferro, cálcio e magnésio estão relacionados diretamente com a disponibilidade de Mn presente no solo (SANDRI, et al., 2007). Segundo Borkert et al. (2001) fatores ambientais (umidade e temperatura), exercem grande influência na solubilidade do Mn.

- Boro e Zinco

O boro (B) e o zinco (Zn) são os micronutrientes com maior frequência de deficiência nas bananeiras. O boro participa no transporte de açúcares e na formação das paredes celulares. A sua disponibilidade é reduzida em solos com pH elevado e com altos teores de Ca, Al, Fe e baixo de matéria orgânica (BORGES E SOUZA, 2004).

O resultado dos teores de boro (B) apresentado na Tabela 21 demonstra variações nas concentrações desse micronutriente no solo. Praticamente em todos os tratamentos houve redução na quantidade de B tanto no perfil de 0,00-0,20m quanto no 0,20-0,40m. O tratamento água fertirrigada e irrigação por gotejamento obteve o maior índice de redução na camada de 0,00-0,20m chegando a 46,15%. Já o tratamento de água do poço e irrigação por gotejamento teve um acréscimo de 33,33% no teor de B no solo na camada 0,20-0,40m (Tabela 22).

Todos os tratamentos encontram-se dentro dos níveis adequados de médio para os teores de boro no solo, que de acordo com Raij et al. (1997) entre 0,21-0,60 mg.dm⁻³ são classificados como teores médios e acima de 0,60 mg.dm⁻³ valor alto. Os resultados encontrados corroboram com os apresentados por Fonseca (2005) encontrou resultados de boro no solo variando de 0,20-0,45 mg.dm⁻³, quando irrigou pastagem com efluente doméstico e água potável.

Observa-se na Tabela 21 que o valor de zinco (Zn) no solo aumentou em praticamente todos os tratamentos. As variações foram maiores na camada de 0,20-0,40 m, variando entre 1,2% a 1420%. Os tratamentos ArIg e ApIm apresentaram redução no teor de Zn na camada de 0,00-0,20m, 8,33% e 61,90% respectivamente, e o tratamento ApIg obteve redução de 12,60% no teor de Zn no solo na camada de 0,20-0,40m (Tabela 22). Conforme o limite de recomendação de análise de solo descrito por Raij et al. (1997) todos os tratamentos encontram-se com teores elevados de zinco no solo, ou seja, acima de $1,2 \text{ mg.dm}^{-3}$.

Esse aumento do micronutriente deve-se aos altos teores de matéria orgânica presentes no solo, pois o zinco está associado à matéria orgânica na superfície do solo. Baixos teores de zinco estão geralmente relacionados a solos com altos teores de P e pH neutro ou alcalino, o que não foi o observado no presente trabalho.

- Matéria orgânica

Os valores de matéria orgânica (MO) encontrados no solo variaram de $11,80 \text{ g.k}^{-1}$ a $41,80 \text{ g.k}^{-1}$ e de $10,8 \text{ g.k}^{-1}$ a $35,6 \text{ g.k}^{-1}$ nas camadas de 0,00-0,20m e 0,20-0,40m respectivamente (Tabela 21). Com exceção do tratamento de água fertirrigada e irrigação por microaspersão que apresentaram redução de 37,63% e 23,40%, nos perfis de 0,00-0,20m e 0,20-0,40m respectivamente, no teor MO no solo em relação aos valores iniciais, todos os outros tratamentos apresentaram um acréscimo no índice de MO no solo no período avaliado. O percentual de acréscimo varia de 26,66% a 125,54% (Tabela 22) .

Esses resultados mostram que a aplicação de efluentes ao solo favoreceu a elevação da matéria orgânica (MO) do solo, concordando com outros autores, como Miranda (1995), que encontrou um acréscimo de 19% na MO, quando da adição, ao solo, de efluente doméstico tratado com lagoa de estabilização e água límpida de um açude. Baumgartner et al. (2007) encontrou elevação de 68% nos teores de MO do solo irrigado com água de lagoa de cultivo de algas, alimentada com resíduo de biodigestor de dejetos de suíno.

6 CONCLUSÕES

A avaliação da RAS e CE demonstrou risco severo e moderado, respectivamente, de salinização do solo, podendo provocar a médio e longo prazo problemas quanto a taxa de infiltração do solo.

A água Residuária apresentou risco médio e alto de entupimento de emissores, quando observados os valores de Dureza, Magnésio, Ferro, SDT, SS.

A utilização de água residuária reduziu o coeficiente de uniformidade de distribuição – CUD em 13,67% e 1,93% no sistema de irrigação por gotejamento e microaspersão, respectivamente, porém os mesmos ainda ficaram classificados de excelente a bom.

A utilização da água Residuária proporcionou um aumento na quantidade de cálcio, enxofre, fósforo, magnésio e Zinco presente no solo nas camadas de 0,00-0,20m e 0,20-0,40m; já as concentrações de cobre, boro, sódio e manganês, diminuíram em relação aos valores iniciais, possivelmente devido ao consumo da cultura.

O sistema de irrigação por gotejamento e microaspersão mesmo apresentando uma pequena diminuição na eficiência de aplicação, devido a utilização de água residuária proveniente do efluente tratado de esgoto doméstico, mostrou-se perfeitamente possível a sua utilização, levando em consideração a necessidade de um profissional qualificado para a realização do manejo adequado do sistema.

O efluente tratado de esgoto doméstico demonstrou ser possível sua aplicação no solo sob o ponto de vista de interferência sobre o sistema de irrigação e alterações químicas do solo para o período e condições estudados.

7 REFERÊNCIAS

- AGRIANUAL** - ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA. São Paulo: FNP, 2009. 497p.
- ALVES, E. J.; OLIVEIRA, M. de A.; DANTAS, J. L. L.; OLIVEIRA, S. L. de. Exigências climáticas. In: ALVES, E. J. (Org.) **A cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais**. Cruz das Almas: Embrapa CNPMF, 1997. P. 35-46.
- ALVES SOBRINHO, T., R. BONOMO, MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C. 1997. Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) para Dourados e Ponta Porã (MS). In CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26. **Anais**. Campina Grande, Paraíba. 325 p.
- ANA - Agência Nacional de Águas. **Água: fatos e tendências. Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS)**. 2º Ed., Brasília: ANA, 2009a. 29 p.
- ANA - Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2009 / Agência Nacional de Águas**. Brasília : ANA, 2009b. 204 p.
- ASAE - American Society of Agricultural Engineers**. Design and installation of microirrigation system. ASAE EP405. 1. St. Joseph Michigan, p.724-727, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. Rio de Janeiro, RJ). **Emissores para irrigação localizada: Avaliação de características operacionais**. Rio de Janeiro, 1986. 6p. Projeto 12:02.08.21
- AZEVEDO, L. P.; OLIVEIRA, E. L. Efeitos da aplicação de efluentes de tratamento de esgoto na fertilidade solo e na produtividade de pepino sob irrigação subsuperficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n. 1, p. 253-263, 2005.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. 2 ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p.
- BARROS, A. C.; COELHO, R. D.; MEDEIROS, P. R. F.; MELO, R. F.; BARBOSA Jr, C. R. A.; DIAS, C. T. S. Entupimento de gotejadores em função da aplicação de superfosfato simples e ácido nítrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.1, p.62-71, jan./mar. 2009.
- BASTOS, R.K.X. (Coord). **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. Rio de Janeiro: ABES/ RIMA Artes e Texto, 2003. (Projeto PROSAB).
- BATISTA, R. O.; SOARES, A. A.; SOUZA, J. A. R.; BATISTA, R. O. Modelos empíricos da irrigação localizada com esgoto sanitário tratado. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa-MG, v.16, n.3, p.369-377, Jul.- Set. 2008.
- BATISTA, R. O. SOARES, A. A.; MATOS, A. T.; MANTOVANI, E. C. Influência da aplicação de esgoto sanitário tratado no desempenho de um sistema de irrigação por

gotejamento montado em campo. **Acta Sci. Technol.**, Maringá, v. 28, n.2, p. 213-217, jul./dez. 2006.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2009. 625p.

BERTONCINI, Edna Ivani. Tratamento de efluentes e reúso da água no meio agrícola. **Revista Tecnologia e Inovação Agropecuária**, p.152-169, 2008.

BIXIO, D.; THOEYE, C.; WINTGENS, T.; RAVAZZINI, A.; MISKA, V.; MUSTON, M.; CHIKUREL, H; A. AHARONI, A.; D. JOKSIMOVIC, V.; MELIN, T. **Water reclamation and reuse: implementation and management issues**. *Desalination*, v. 218, 13-23, 2008.

BLUM, J. R. C. **Crítérios e padrões de qualidade da água**. In: Reúso de água; Capítulo 2. Eds. P. C. Sanches Mancuso e H. Felício dos Santos. Universidade de São Paulo – Faculdade de Saúde Pública, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. São Paulo, 2003.

Borkert, C. M.; Pavan, M. A.; Bataglia, O. C. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: ferro e manganês. In: Pereira, M. E.; Cruz, M. C. P.; Raij, B. van; Abreu, C. A. Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p.151-185.

BORGES, A. L.; COELHO, E. F. **Fertirrigação em bananeira**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2002. 4 p. (Comunicado Técnico, 47).

BORGES, A.L.; OLIVEIRA, A.M.G. Nutrição, calagem e adubação. In: CORDEIRO, Z. J. M. (Org.) **Banana produção**: aspectos técnicos.. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. p.47-59.

BORGES, A. L.; OLIVEIRA, A. M. G.; SOUZA, L. da S. Solos, nutrição e adubação. In: ALVES, E. J. (Coord.). **A cultura da banana**: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais. Brasília: Embrapa- SPI, 1987. p. 197-260.

BORGES, A.L.; SOUZA, L. da S. **O cultivo da bananeira**. Cruz das almas. Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004.

BOSCO, T. C. D.; IOST, C. SILVA, L. N.; CARNELLOSI, C. F.; EBERT, D. C. SCHREINER, J. S. SAMPAIO, S. C. Utilização de água residuária de suinocultura em propriedade agrícola – Estudo de caso. **Irriga**, Botucatu, v.13, n.1, p. 139-144, Jan. – Mar. 2008.

BRADDOCK, D AND DOWNS, P. **Wastewater irrigation A strategy for increasing suga cane production**. In International Society of Sugar Cane Technologists. Vol. 24. Ed. D M Hogarth. pp. 171-173. Proceedings of the XXIV Congress, September 2001. ISSCT, Bribane, Australia.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA, **RESOLUÇÃO nº 357**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu

enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Diário Oficial da União, 17 de março de 2005.

CAMPOS, C. M. **Qualidade da água para irrigação**. Lavras: UFLA/FAEPE, v.2, 2001.

CONCEIÇÃO, M. A. F. **Simulação da distribuição de água em microaspersores sob condição de vento**. 2002, 110 p. Tese (Doutorado em Agronomia). Piracicaba: ESALQ/USP, 2002.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v.68, 135-149, 2004.

CARMO, G.A. do; MEDEIROS, J.F. de; TAVARES, J.C.; GHEYI, H.R.; SOUZA, A.M. de; PALÁCIO, E.A. de Q. Crescimento de bananeiras sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.25, p.513-518, 2003.

CARRIJO, O. A.; SOUZA, R. B.; MAROUELLI, W. A.; ANDRADE, R. J. **Fertirrigação de hortaliças**. Circular Técnica, 32. EMBRAPA HORTALIÇAS, Brasília - DF, 2004.

CHRISTIANSEN, E.J. **Irrigation by sprinkler**. Berkeley University of California, 1942. 142p. (Bulletin, 670).

COSTA, F. X.; LIMA, V. L. A.; BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, A. V.; SOARES, F. A. L.; ALVA, L. D. M. Efeitos residuais da aplicação de biossólidos e da irrigação com água residuária no crescimento do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v.13, n.6, p.687-693, 2009.

CROOK, J. Quality criteria for reclaimed water. **Water Science Technology**. v.24, n.09, p.109-121, 1991.

CUNHA, F. F.; MATOS, A. T.; BATISTA, R.O. Uniformidade de distribuição em sistemas de irrigação por gotejamento utilizando água residuária da despolpa do fruto do cafeeiro. **Acta Sci. Technol.**, Maringá, v. 28, n. 01, p.143-147, jan./mar., 2006.

CURI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, D.P. **Curso de engenharia da irrigação: terras para irrigação**. Brasília: Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior, 1990. 107p. Módulo 1.

DUARTE, A. S.; AIROLD, 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, A. de S. **Reúso de água tratada na irrigação da cultura do pimentão (*Capsicum annun L.*)**. 2006. (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP.

EI-HAMOURI, B.; HANDOUF, A.; MEKRANE, M.; TOUZANI, M. Use of wastewater for crop production under arid and saline conditions: yield and hygienic quality of the crop and

soil contaminations. **Water Science and Technology**, Oxford, v.33, n.10-11, p.327-34, 1996.

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-PB, v.14, n.5, p.467-477, 2010.

FAO - FOOD AGRICULTURAL ORGANIZATION. AGL. **Crop water management: banana**. 2002. Disponível em: <<http://www.fao.org/ag/agl/aglw/cropwater/banana.stm>> Acesso em: 12 jun. 2009.

FAO - FOOD AGRICULTURAL ORGANIZATION. **Wastewater treatment and use in agriculture**. Roma, 1992. 125 p. (Irrigation and Drainage, Paper 47).

FERNANDES, A. L. T.; SANTINATO, R.; DRUMOND, L. C. D.; de OLIVEIRA, C. B. Avaliação do uso de fertilizantes organominerais e químicos na fertirrigação do cafeeiro irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.2, p.159-166, 2007.

FOLEGATTI, M. V.; CASARINI, E.; BLANCO, F. F.; BRASIL, R. P. C. do; RESENDE, R. S. **Fertirrigação: flores, frutas e hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, v. 2, 2001. 336 p.

FONSECA, A. F. ; HERPIN, U; PAULA, A. M.; VICTORIA, R. L.; MELFI, A. J. Agricultural use of treated sewage effluents: Agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. **Scientia Agricola**, v. 64, n.2, p.194-209, 2007.

FORATTO, L.C.; ZANINI, J.R.; NATALE, W. Teor de fósforo e pH no bulbo molhado, com diferentes frequências de fertirrigação, utilizando ácido fosfórico. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.2, p.436-444, 2007.

FRIGO, E. P.; SAMPAIO, S. C.; FREITAS, P. L.; NOBREGA, L. H. et ali. Desempenho do sistema de gotejamento e de filtros utilizando água residuária da suinocultura. **Irriga**, Botucatu, v.11, n. 3, p. 305-318, jul. – set. 2006.

GEO Brasil: **Recursos Hídricos: Componentes da série de relatórios sobre o estado e perspectivas do meio ambiente no Brasil**. Ministério do Meio Ambiente; Agência Nacional de Águas, Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Brasília: MMA/ANA. 2007. 264p.

GONÇALVES, R. A. B.; MANTOVANI, E. C.; RAMOS, M. M.; SOUZA, L. O. C. Diagnóstico da aplicação e águas residuárias da suinocultura na cafeicultura irrigada: II Avaliação da uniformidade de água. **Irriga**, Botucatu, v.11, n.3, p. 402-414, jul.-set. 2006.

HESPANHOL, Ivanildo. **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. Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Núcleo de Informações em Saúde Ambiental. São Paulo: Manole, p. 37-95, 2003.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil-agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.7, n.4, p.75-95, 2002.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. New York : Academic, 1980. 413p

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Maio 2011. Disponível em < http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201105.pdf>. Acesso em 12 de junho de 2011.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 9260/1**. Agricultural irrigation equipment: emitters - specification and test methods, Switzerland. 1991. 6p

JNAD, I.; LESIKAR, B.; KENIMER, A.; SABBAGH, G. Subsurface drip of residential effluent: I. soil chemical characteristics. *Transaction of the ASAE*, v.44, n.5, p.1149-1157, 2001.

KELLER, L.; KARMELLI, D. Trickle irrigation desing parameters. *Trasactions of the ASAE*. v. 17, n.2 , p.668-684. Jul/Aug, 1984.

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

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. **O uso da irrigação no Brasil**. 2006. Disponível em: < www.cf.org.br/cf2004/irrigacao.doc >. Acesso em: 12/01/2011.

LUCENA, A. M. A.; GUERRA, H. O. C.; CHAVES, L. H. G.; COSTA, F. X. Análise de um efluente de esgoto tratado e seu efeito em propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico. **Revista Caatinga**. Mossoró-RN, v.19, n.4, p.409-414, 2006.

MACÊDO, L. de S.; ALVARENGA, M. A. R. Efeito de lâminas de água e fertirrigação potássica sobre o crescimento, produção e qualidade do tomate em ambiente protegido. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 2, p. 296 – 304, mar. - abr.,2005.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. **Reúso de água**. Barueri: Manole, 2003. 350 p.

MANTOVANI, E.C. **Avalia: manual do usuário**. Viçosa: DEA/UFV–PNP&D/café Embrapa, 2002.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. Irrigação por aspersão em Hortaliças. Qualidade da água,. Aspectos do sistema e método pratico de manejo: Brasília: Embrapa Hortaliças, 2001. 111p

MATOS, A. T. **Tratamento de resíduos na pós-colheita do café**. In: Borém, F. M. (Org.). **Pós-colheita do café**. 1.ed. Lavras-MG: UFLA, cap. 6, p.159-201, 2008.

MEDEIROS, S. S.; SOARES, F. A. L.; GHEYI, H. R. et al. Uso de água residuária de origem urbana no cultivo de gérberras: efeito nos componentes de produção. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.2, p.569-578, maio-ago. 2007.

MEDEIROS, S. S.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A.; NEVES, J. C. L.; MATOS, A. T.; SOUZA, J. A. A. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: Estudo das alterações químicas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande – PB, v.9, n.4, p.603-612, 2005.

MEHNERT, D. U. Reúso de efluente doméstico na agricultura e a contaminação ambiental por vírus entéricos humanos. *Biológico*, v.65, n.1/2, p.19-21, 2003.

MELI, S.; PORTO, M.; BELLIGNO, A.; BUFO, S.A.; MAZZATURA, A.; SCOPA, A. Influence of irrigation with lagooned urban wastewater on chemical and microbiological soil parameters in a citrus orchard under Mediterranean condition. **Science of the Total Environment**, Michigan, v.285, p.69-77, 2002.

METCALF, L.; EDDY, H. **Wastewater engineering: Treatment and reuse**. 2 ed. Metcalf e Eddy Inc. New York: McGraw – Hill Inc., 1334p., 1991.

MOREIRA, R. S. **Banana: teoria e prática de cultivo**. São Paulo: Fundação Cargill, 1999. 1 CD-ROM.

MONTES, C. R.; KATO, M. T.; SOUZA, M. A. A.; CORAUCCI, B. F.; MARQUES, J. J. **Irrigação com esgotos tratados: Impactos no Solo e Aquíferos**. In: Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários. Florêncio, M. L. (coordenadora). PROSAB 4 – Programa de pesquisas em saneamento básico. Recife, PE, 2006.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Trickles irrigation for crop production U. S. Department of Agriculture**, Agricultural Research Service, U.S. Water Conservation Laboratory, Phoenix, Arizona - U. S. A. p.383, 1986.

PEREIRA, M.C.T.; SALOMÃO, L.C.C.; SILVA, S. de O. e; SEDIYAMA, C.S.; COUTO, F.A.D.; SILVA NETO, S.P. da. Crescimento e produção de primeiro ciclo da bananeira 'Prata-Anã' (AAB) em sete espaçamentos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.1377-1387, 2000.

PHILIPPI, A. J.; ROMÉRO, M. A.; BRUNA, G. C., (Ed.) **Curso de Gestão Ambiental**. 1. ed. Barueri: Manole, 2004. 1045p.

PIRES, R.C.M.; SAKAI, E.; ARRUDA, F.B.; FOLEGATTI, M.V. Necessidades hídricas das culturas e manejo de irrigação In: MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C.M. *Irrigação*. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001. v.1, p.121-04. (Série Engenharia Agrícola)

PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia**. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2. ed., 1990. 471p.

OLIVEIRA, S.L. Irrigação. In: Alves J. (Org.) **A cultura da banana: aspectos técnicos socioeconômicos e agroindustriais**. Brasília: Embrapa Produção e Informação, 1997. p.317-334.

OLIVEIRA, M. A. A.; D. F. CARVALHO. 1998. Estimativa da evapotranspiração de referência e demanda suplementar de irrigação para o milho (*Zea mays* L.) em Seropédica e Campos, Rio de Janeiro. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 27. **Anais...** Poços de Caldas, MG. p. 94-96.

RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2º ed.rev.atual. Campinas, Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. (Boletim técnico,100).

RODRIGUES, G. S.; IRIAS, L. J. M. Considerações sobre os Impactos Ambientais da Agricultura Irrigada. **Circular Técnica, 7**. EMBRAPA – CNPMA, Jaguariúna - SP, 2004. 7p.

RODRIGUES, M. G. V.; SOUTO, F. S.; DIAS, M. S. C.; SILVA, E. B. Manejo do bananal de Prata Anã cultivada no norte de Minas. SIMPÓSIO NORTE MINEIRO SOBRE A CULTURA DA BANANA, 1., 2001. Nova Porteirinha. **Anais...** Montes Claros:UNIMONTES, 2001. p. 154-167.

RODRIGUES, M. G. V.; SOUTO, R. F. **Novas opções à bananicultura de Minas Gerais**. Disponível em: <www.todafruta.com.br> Acessado em: 10 ag. 2010.

SANDRI, D.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF,R. Alteração química do solo irrigado por aspersão e gotejamento subterrâneo e superficial com água residuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.6, p.775-764, 2009.

SANDRI, D.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF, R. Desenvolvimento da alface Elisa em diferentes sistemas de irrigação com água residuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.1, p.17-29, 2007.

SILVA, F. B. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizante**. Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária. Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia. Brasília, 1999. 370p.

SILVA, E. de B.; RODRIGUES, M. G. V.; SANTOS, J. de O. Estado Nutricional de um Bananal Irrigado com Água Subterrânea. In: SIMPÓSIO NORTE MINEIRO SOBRE A CULTURA DA BANANA, 1., 2001. Nova Porteirinha. **Anais...** Montes Claros: Unimontes, 2001. p. 263-266.

SOUSA, J. T.; CEBALLOS, B. S. O.; HENRIQUE, I. N. DANTAS, P. D.; LIMA, S. M. S. Reúso de água residuária na produção de pimentão (*Capsicum annuum* L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.1, p.89-96, 2006a.

SOUSA, J.T.; HENRIQUE, I.N.; LEITE, S.V.; LOPES, W.S. Tratamento de águas residuárias: uma proposta para a sustentabilidade ambiental. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, Suplemento Especial, n.1, p.90-97, 2º Semestre. 2006b.

SOUZA, A. M. de, MEDEIROS, J. F. de; TAVARES, J. C.; CARMO, G. A. do; SILVA, F. V.; PEREIRA, A. J. L. Crescimento inicial de cultivares de banana sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29., 2000, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, SBEA/UFC, 2000. eas 145. 1 CD ROM.

SOTO BALLESTEROS, M. **Bananos: cultivo y comercialización**. 2. ed. San José: Imprenta Lil, 1992. 647 p.

SIMONE, E.H.; HOCHMUTH, G.J. **Fertilizer and Nutrient Management for Tomato**. Gainesville Horticultural Sciences Department, Tomato Institute Program, 2003. 6p.

SPERLING, M. V. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. V1. 3º Ed. 2005

STONE, L. F. Irrigação em Goiás. **Safra Revista do Agronegócio**, Goiânia, n. 66, p.55, maio /2005.

TOMÉ JÚNIOR, J.B. **Manual de interpretação de análises de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997. 47p.

VARALLO, A. C. T.; CARVALHO, L. SANTORO, B. L. SOUZA, C. F. Alterações nos atributos de um Latossolo Vermelho-amarelo irrigado com água de reúso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v.14, n.4, p.372-377, 2010.

VILLAS BOAS, R. L; BULL, L. T.; FERNANDES, D. M. Fertilizantes em fertirrigação. In: FOLEGATTI, M. V. (Ed.) **Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças**. 1999, Guaíba: Agropecuária, p.293-319,