



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOSSISTEMAS - NEREN

**USO DE LODO DE ESGOTO COMO FONTE
ALTERNATIVA DE NITROGÊNIO PARA O CULTIVO
DO TOMATEIRO CEREJA (*Lycopersicon esculentum* sp.)**

JOLLY DAYANNE DE MELO DANTAS

2010



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOSSISTEMAS - NEREN



JOLLY DAYANNE DE MELO DANTAS

**USO DE LODO DE ESGOTO COMO FONTE ALTERNATIVA DE
NITROGÊNIO PARA O CULTIVO DO TOMATEIRO CEREJA**

(Lycopersicum esculentum sp.)

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agroecossistemas, área de concentração Sustentabilidade em Agroecossistemas, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Pedro Roberto Almeida Viégas

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL

2010

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

D192u Dantas, Jolly Dayanne de Melo
Uso de lodo de esgoto como fonte alternativa de nitrogênio para o cultivo do tomateiro cereja (*Lycopersicum esculentum SP.*) / Jolly Dayanne de Melo Dantas. - São Cristóvão, 2010.
51 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, Universidade Federal de Sergipe, 2010.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Roberto Almeida Viégas

1. Lodo de esgoto como fertilizantes. 2. Resíduos. 3. Tomateiro cereja - Cultivo. I. Título.

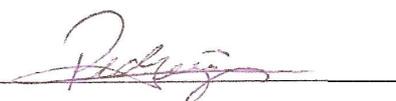
CDU 628.336-022.316

JOLLY DAYANNE DE MELO DANTAS

**USO DE LODO DE ESGOTO COMO FONTE ALTERNATIVA DE
NITROGÊNIO PARA O CULTIVO DO TOMATEIRO CEREJA
(*Lycopersicum esculentum sp.*)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agroecossistemas, área de concentração Sustentabilidade em Agroecossistemas, para obtenção do título de “Mestre”.

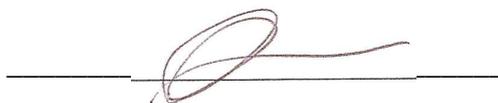
APROVADA EM 29 DE ABRIL DE 2010.



Prof. Dr. Pedro Roberto Almeida Viégas
UFS – Universidade Federal de Sergipe
(Orientador)



Profa. Dra. Maria Aparecida Moreira
UFS – Universidade Federal de Sergipe



Prof. Dr. Carlos Dias da Silva Júnior
UFS – Universidade Federal de Sergipe

**SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL**

2010

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, mestres da vida

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus porque ELE é o meu guia.

Ao Professor Doutor Pedro Roberto Almeida Viégas, pelos ensinamentos e por ter acreditado em mim, pelos bons e longos anos de trabalho juntos.

À Universidade Federal de Sergipe, pelo Curso de Mestrado e por todo apoio na concretização deste trabalho, através de seu corpo de funcionários como Sr. José (da marcenaria), Sr. Aluísio (motorista), Sr. Raimundo (laboratório) e as secretárias do Neren entre outros.

Aos professores do NEREN –Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas da UFS – Universidade Federal de Sergipe.

Ao Prof. Dr. Laerte Marques da Silva, pela co-orientação no trabalho.

Ao Prof. Dr. Carlos Dias da Silva Júnior, pelo apoio em pró do enriquecimento do meu trabalho, na parte de Fisiologia Vegetal, e também pelo espaço cedido na estufa.

Ao Prof. Dr. Marcos Cabral de Vasconcellos Barretto, pelo apoio no início do experimento, de forma essencial.

Ao Prof. Dr. Carlos Alexandre Borges Garcia pelas análises químicas de solo e do biossólido, através do Laboratório de Química Ambiental.

À Professora Gláucia e ao colega Flávio, pelo apoio que deram na execução do primeiro projeto, montado em Itabaiana.

À técnica em Química, Ana Carla Santos Andrade, pela execução das análises, por permitir o seu acompanhamento.

À Companhia de Saneamento do Estado de Sergipe – DESO, pela permissão da coleta de lodo de esgoto e pelos seus funcionários, sempre cordiais.

À aluna Eloá Moura Araújo, pela ajuda nas primeiras etapas do experimento, sua participação foi muito significativa. Aos colegas de trabalho, Vítor Silva e Melo e Derivaldo Pureza da Cruz.

Aos amigos do Mestrado em Agroecossistemas, ano 2008.

À minha família, meu pai Antonio Correia Dantas, por me acompanhar nas idas à Universidade, em pleno feriados de ano novo e carnaval, à minha mãe Geruza de Melo Dantas e ao meu irmão, futuro Dr. em Física, Jeânderson de Melo Dantas, pelo incentivo diário.

Ao meu namorado, José Welton Azevedo de Paula, por estar ao meu lado quando precisei de uma força.

A todos, que direta ou indiretamente, me ajudaram.

Ao CNPq, pela bolsa de pesquisa concedida.

SUMÁRIO

| | |
|--|-------------|
| LISTA DE TABELAS..... | i |
| LISTA DE FIGURAS..... | ii |
| ANEXO..... | iv |
| LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS..... | v |
| RESUMO..... | vii |
| ABSTRACT..... | viii |
| 1. CAPÍTULO 1 – Introdução | 1 |
| 2. Objetivos..... | 3 |
| 3. Referencial Teórico..... | 4 |
| 3.1 Sustentabilidade nos Agroecossistemas..... | 4 |
| 3.2 Lodo de esgoto..... | 5 |
| 3.3 Restrições ao uso do lodo de esgoto..... | 7 |
| 3.4 Tomate Cereja..... | 10 |
| 3.5. Nitrogênio | |
| 3.5.1 Nitrogênio no solo e na matéria orgânica | 11 |
| 3.5.2 Importância do nitrogênio para o tomateiro..... | 13 |
| 3.5.3 Análise de crescimento e produção..... | 15 |
| 4. Material e Métodos..... | 17 |
| 5. Resultados e discussão..... | 27 |
| Conclusões..... | 42 |
| Referências Bibliográficas..... | 43 |
| ANEXO..... | 51 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----------|
| TABELA 1. Classes de lodo de esgoto ou produto derivado - agentes patogênicos. | 8 |
| TABELA 2. Lodo de esgoto ou produto derivado – substâncias inorgânicas..... | 9 |
| TABELA 3. Análise de lodo de esgoto. São Cristóvão (SE)-2009..... | 19 |
| TABELA 4. Resultados da análise química do solo, utilizado no experimento. São Cristóvão (SE)- 2009..... | 20 |
| TABELA 5. Teores de Al⁺³ e teores de micronutrientes (Cu, Zn, Fe e Mn) do solo utilizado no experimento. São Cristóvão (SE)-2009..... | 20 |
| TABELA 6. Tratamentos utilizados na montagem do experimento..... | 24 |
| TABELA 7. Valores médios de comprimento radicular, massa seca de raiz, das folhas, do caule e da parte aérea e total do tomateiro em função dos tratamentos. São Cristóvão(SE)- 2009..... | 28 |
| TABELA 8. Valores médios do número de frutos por planta e produção de frutos por planta de tomateiro em função dos tratamentos. São Cristóvão (SE)- 2009..... | 32 |
| TABELA 9. Valores médios de transpiração (E), fotossíntese líquida (A), carbono interno (Ci) e condutância estomática (gs) do tomateiro cereja em função dos tratamentos.São Cristóvão (SE) - 2009..... | 37 |

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1.** Leiras do lodo de esgoto seco. Estação de Tratamento de Esgoto do Bairro Orlando Dantas - DESO.....17
- FIGURA 2.** Coleta da amostra. Estação de Tratamento de Esgoto do Bairro Orlando Dantas - DESO.....18
- FIGURA 3.** A. Condução do tomateiro cereja em estufa e tutorado B. Cacho de frutos tomate cv. Carolina.....21
- FIGURA 4.** Comparação das médias do comprimento das raízes (cm planta⁻¹) do tomateiro cv. Carolina em função de doses de sulfato de amônio e de lodo de esgoto, pelo teste de Skott-knot a 5 % de probabilidade.....27
- FIGURA 5.** Comparação das médias da massa seca radicular (g planta⁻¹) do tomateiro cv. Carolina em função das doses de sulfato de amônio e lodo de esgoto, pelo teste Skott-knot a 5 % de probabilidade.....29
- FIGURA 6.** . Comparação das médias das massas secas de folhas (g planta⁻¹), do caule (g planta⁻¹) e da parte aérea “folhas + caule” (g planta⁻¹) do tomateiro cv. Carolina em função de doses de sulfato de amônio e de lodo de esgoto, pelo teste de Skott-knot a 5 % de probabilidade.....30
- FIGURA 7.** Comparação das médias da massa seca total (raízes + parte aérea) do tomateiro cv. Carolina em função de doses de sulfato de amônio e de lodo de esgoto, pelo teste de Skott-knot a 5 % de probabilidade.....31
- FIGURA 8.** Comparação das médias do número de frutos do tomateiro cv. Carolina em função de doses de sulfato de amônio e de lodo de esgoto, pelo teste Skott-knot a 5 % de probabilidade.....33
- FIGURA 9.** Comparação das médias do peso dos frutos (g planta⁻¹) no tomateiro cv. Carolina em função de doses de sulfato de amônio e de lodo de esgoto, pelo teste Skott-knot a 5 % de probabilidade.....34
- FIGURA 10.** Comparação das médias da quantidade acumulada de N (mg dm⁻³) nas raízes do tomateiro cv. Carolina em função de doses de sulfato de amônio e de lodo de esgoto, pelo teste Skott-knot a 5 % de probabilidade.....35
- FIGURA 11.** Comparação das médias da quantidade acumulada de N (g dm⁻³) na parte aérea do tomateiro cv. Carolina em função de doses de sulfato de amônio e de lodo de esgoto, pelo teste Skott-knot a 5 % de probabilidade.....36
- FIGURA 12.** Comparação das médias de transpiração (mmolm⁻².s⁻¹) do tomateiro cv. Carolina em função das doses de sulfato de amônio e de lodo de esgoto, pelo teste Skott-knot a 5 % de probabilidade.....38

FIGURA 13. Comparação das médias de condutância estomática ($\text{mmolm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) do tomateiro cv. Carolina em função de doses de sulfato de amônio e de lodo de esgoto, pelo teste Skott-knot a 5 % de probabilidade.....39

FIGURA 14. . Comparação das médias do carbono interno (ppm) do tomateiro cv. Carolina em função de doses de sulfato de amônio e de lodo de esgoto, pelo teste Skott-knot a 5 % de probabilidade.....40

FIGURA 15. Comparação das médias da fotossíntese ($\mu\text{molm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) do tomateiro cv. Carolina função de doses de sulfato de amônio e de lodo de esgoto, pelo teste Skott-knot a 5 % de probabilidade.....41

ANEXOS

ANEXO A

Página

TABELA 1A. Resumo de cálculo..... 51

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

| | |
|--------|--|
| USDA | United State Drug and Food Administration |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| DESO | Companhia de Saneamento de Sergipe |
| LQA | Laboratório de Química Analítica Ambiental |
| UFS | Universidade Federal de Sergipe |
| ETE | estação de tratamento de esgotos |
| SEPLAN | Secretaria de Estado e Planejamento |
| N | Nitrogênio |
| P | Fósforo |
| K | Potássio |
| Ca | Cálcio |
| Mg | Magnésio |
| Cu | Cobre |
| Zn | Zinco |
| Mn | Manganês |
| B | Boro |
| Li | Lítio |
| Mo | Molibdênio |
| Cl | Cloro |
| Ni | Níquel |
| Fe | Ferro |
| Hg | Mercúrio |
| Cd | Cádmio |
| Pb | Chumbo |
| Cr | Cromo |

| | |
|------------------------|-------------------------------|
| m | metro |
| cm | centímetros |
| g | gramas |
| ha | hectare |
| Mg ha ⁻¹ | megagrama por hectare |
| NH ⁴⁺ | amônio |
| NO ³⁻ | nitrato |
| CO ₂ | dióxido de carbono |
| NH ₃ | amônia |
| Kg ha ⁻¹ | quilos por hectare |
| g planta ⁻¹ | gramas por planta |
| t ha ⁻¹ | toneladas por hectare |
| pH | potencial hidrogeniônico |
| PST | porcentagem de sódio trocável |
| K ₂ O | óxido de potássio |
| SB | soma de bases trocáveis |
| V | índice de saturação por bases |
| CTC | capacidade de troca catiônica |

RESUMO

USO DE LODO DE ESGOTO COMO FONTE ALTERNATIVA DE NITROGÊNIO PARA O CULTIVO DO TOMATEIRO CEREJA (*Lycopersicum esculentum* sp.)

DANTAS, Jolly Dayanne de Melo. Uso de lodo de esgoto como fonte de matéria orgânica do solo e nitrogênio para tomateiro cereja (*Lycopersicum esculentum* sp.). São Cristóvão-SE: UFS. 2010. 51 f. (Dissertação, Mestrado em Agroecossistemas).¹

O tratamento de águas residuárias faz-se necessário para diminuir o impacto da poluição de rios das grandes cidades. Deste tratamento é gerado um grande volume de matéria orgânica decantada, denominado lodo de esgoto. Afim de fazer uso de resíduos orgânicos e consolidar um modelo de agricultura mais sustentável, é que vem se empregando, no mundo todo, o uso de lodo de esgoto em terras agricultáveis. Os lodos de esgotos são, de uma maneira geral, fertilizantes nitrogenados de liberação lenta. Além do N, os lodos de esgotos contém P e micronutrientes essenciais, como Fe e Zn. Este trabalho objetiva avaliar a eficiência do uso de lodo de esgoto cuja origem é a ETE do Conjunto Habitacional Jornalista Orlando Dantas, da Companhia de Saneamento de Sergipe – DESO, caracteristicamente lodo doméstico, como fonte de nitrogênio para o crescimento e produção de tomate cereja num solo CAMBISSOLO, tradicionalmente presente em regiões produtoras de hortaliças em Sergipe, além de estudar as implicações de seu uso na fisiologia do tomateiro. O experimento foi realizado em casa de vegetação localizado no Departamento de Biologia da Universidade Federal de Sergipe, em São Cristóvão/SE. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e cinco repetições e duas plantas úteis. Os tratamentos foram T₁: adubação mineral, T₂: sem adubação, T₃: dose 0,5 lodo, T₄: dose 2,0 lodo, T₅: dose 4,0 lodo, conforme a quantidade de Nitrogênio disponível no lodo como, também, pela quantidade de N recomendada para o cultivo do tomate. Para avaliar o crescimento das plantas foram determinados a produção de massa seca das raízes e da parte aérea das plantas, número e peso de frutos, comprimento da raiz. Variáveis como fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), transpiração (E), concentração interna de CO₂ (Ci) foram feitas quando as plantas iniciaram o florescimento. Amostras de raízes e da parte aérea foram moídas e avaliadas quimicamente para determinação do teor N, segundo metodologia descrita pela Embrapa. Houve maior crescimento da raiz em T₂ em relação aos demais tratamentos. Já para massa seca da raiz, das folhas, do caule, da parte aérea e total houve efeito benéfico do uso do lodo em relação à testemunha. Em relação ao número de frutos e produção do tomateiro, estes foram maiores quando houve adubação orgânica, mostrando ser este resíduo capaz de substituir adubação mineral. Quanto ao N acumulado nas raízes e na parte aérea, os menores valores obtidos foram na ausência de adubação. Houve influência do aumento da dose de lodo nas variáveis de condutância estomática, sendo a dose de 2.0 mg dm⁻³ de lodo a que teve a melhor resposta. Quanto à concentração de carbono interno na folha e fotossíntese líquida, estes parâmetros tiveram valores inversamente proporcionais, e a relação destas variáveis está no consumo de carbono para a síntese de carboidratos da fotossíntese. O estudo de caso

leva-nos a considerar a dose de 2.0 mg dm^{-3} recomendável para o tomateiro cereja sob condições de estufa.

Palavras-chave: Resíduos, Sustentabilidade, tomate cereja, trocas gasosas.

¹Orientador: Prof. Dr. Pedro Roberto Almeida Viégas. Universidade Federal de Sergipe –UFS, São Cristóvão-SE. Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas – NEREN.

ABSTRACT

USE OF SEWAGE SLUDGE AS AN ALTERNATIVE SOURCE OF NITROGEN FOR CHERRY TOMATO (*Lycopersicon esculentum* sp.)

DANTAS, Jolly Dayanne de Melo. Use of sewage sludge as an alternative source of nitrogen for cherry tomato (*Lycopersicon esculentum* sp.). São Cristóvão-SE: UFS. 2010. 51 f (Dissertation, Master's degree in Agroecosystems).¹

The wastewater treatment is necessary to reduce the impact of river pollution in large cities. This treatment is generated a large amount of organic matter decanted, called sludge. In order to make use of organic waste and consolidate a model of sustainable agriculture, that has been employing throughout the world, the use of sewage sludge on farmlands. Organic fertilization has been commonly practiced as a source of nutrients, among them nitrogen, to attend the nutritional needs of tomato. This study evaluates the effectiveness of using sewage sludge by Station Treatment of Housing Journalist Orlando Dantas, from Companhia de Saneamento de Sergipe - DESO that is considered a domestic sewage, as a source of nitrogen for growth and yield of tomato cherry on Cambisol, traditionally present in farmlands of Sergipe, and more studying the implications of its use in the physiology of tomato. The experiment was conducted in greenhouse located in the Biology Department (UFS), São Cristóvão / SE. The experimental design was completely randomized design with five treatments and five replications and two plants. The treatments were a combination of soil and increasing dosages of sewage sludge as the amount of available nitrogen in sewage sludge as also by the amount of N recommended for growing tomatoes. The treatments were T₁: mineral fertilization, T₂: no fertilization, T₃: ½ sludge dose, T₄: 2.0 sludge dose, T₅: 4,0 sludge dose, considering the quantity of available nitrogen on sludge, and also, N recommended to tomato cultivation. The growth of plants were determined by dry mass of roots and shoots of plants, number and fruit weight, root length. Variables such as net photosynthesis (A), stomatal conductance (gs), transpiration (E) and internal CO₂ concentration (Ci) were made when the plants started flowering. There was greater root growth at T₂ if compared to other treatments. For root, leaf, stem, shoot and total dry weight there were beneficial effect of sludge in relation to control. Regarding the number of fruit and tomato production, they were higher when there was organic fertilization, demonstrated the capacity of replaceable of this residue as a mineral fertilizer. There was effect in the variables of stomatal conductance and net photosynthesis at the rate of 2.0 mg dm⁻³ sludge showed the best response. As to the internal carbon concentration in leaves and photosynthesis rate, these parameters had an inversely proportional relationship and these variables are associated to photosynthesis activity. The case study leads us to consider a dose of 2.0 mg dm⁻³ the best for cherry tomato under greenhouse conditions. There was effect in the variables of stomatal conductance and net photosynthesis at the rate of 2.0 mg.dm⁻³ sludge showed the best response. As to the internal carbon concentration in leaves and photosynthesis rate, these parameters had an inversely proportional relationship and these variables are

associated to photosynthesis activity. The case study leads us to consider a dose of 2.0 mg dm⁻³ the best for cherry tomato under greenhouse conditions. .

Key-words: Residues, Sustainability, Cherry tomato, Gas exchange.

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO GERAL

O tratamento de águas residuárias faz-se necessário para diminuir o impacto da poluição de rios das grandes cidades. Deste tratamento é gerado um grande volume de matéria orgânica decantada, denominado lodo de esgoto ou biossólidos. Esse material, sem destinação adequada, remete-nos ao problema inicial – a poluição. Afim de fazer uso de resíduos orgânicos e consolidar um modelo de agricultura mais sustentável, é que vem se empregando, no mundo todo, o uso de lodo de esgoto em terras agricultáveis.

Os benefícios do uso de biossólidos na agricultura não se limitam somente às propriedades químicas dos solos, já que inúmeros autores têm demonstrado ganhos na qualidade física e microbiológica do solo. Estas melhoras incrementam a biomassa e o rendimento das culturas (COGGER, 2001). Para Chiba (2008), a base da aplicação de lodo de esgoto nos solos agrícolas constitui-se numa forma de devolver ao solo resíduo orgânico, nitrogênio e nutrientes de planta que foram exportados para os centros urbanos com os produtos das colheitas.

Com isso, este trabalho objetiva avaliar a eficiência do uso de lodo de esgoto cuja origem é a Estação de Tratamento do Conjunto Habitacional Jornalista Orlando Dantas, da Companhia de Saneamento de Sergipe – DESO, caracteristicamente lodo doméstico, como fonte de nitrogênio para o crescimento e produção de tomate cereja, bem como, estudar as implicações de seu uso na fisiologia do tomateiro.

O trabalho está distribuído da seguinte forma: capítulo I é feita uma introdução geral sobre a temática pesquisada, e uma revisão de literatura, dando enfoque na sustentabilidade dos agroecossistemas, uso de lodo de esgoto na agricultura e restrições do seu uso, importância da cultura do tomateiro cereja (*Lycopersicum esculentum* sp.), importância do nitrogênio na agricultura e sua presença na matéria orgânica, a importância do nitrogênio para o tomateiro e, ao fim, a definição de crescimento em plantas e seu acompanhamento. Foi feito um estudo do crescimento e da produção do tomateiro cereja em função de lodo de esgoto como fonte de nitrogênio, como também,

um estudo sobre o comportamento fisiológico do tomateiro em função das doses de lodo de esgoto.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho foi verificar como o lodo de esgoto afeta a ciclagem de nutrientes, em especial, o nitrogênio, no cultivo de tomateiro cereja cv Carolina (*Lycopersicum esculentum* sp.), e verificar se a capacidade do resíduo é maior do que a capacidade da adubação mineral de manter a sustentabilidade produtiva, através das análises de crescimento, produção de massa seca e frutos. Compreender como o lodo de esgoto altera as trocas gasosas na planta.

Foram objetivos específicos:

1) Quantificar a fitomassa produzida e o conteúdo de nutrientes absorvido pela planta (nitrogênio), através da comparação entre a quantidade de nitrogênio depositados via adubação mineral e com lodo de esgoto.

2) Avaliar como as trocas gasosas (transpiração, condutância estomática, fotossíntese e carbono interno), são alteradas pela aplicação de lodo de esgoto em comparação ao solo não fertilizado e àquele adubado via mineral.

3) Estimar a produção, a partir do número de frutos e do peso (massa fresca) dos tomates.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Sustentabilidade nos agroecossistemas

Os ambientes integralmente naturais não conseguem satisfazer adequadamente todas as necessidades humanas. Assim, os seres vivos modificam e interagem com a natureza, criando ambientes sintéticos para atender suas necessidades (FERREIRA, 2008).

Esses ambientes sintéticos, também denominados de agroecossistemas são, para Hecht (1991), ecossistemas agrícolas que têm como objetivo básico a manipulação dos recursos naturais com vistas a otimizar a captura da energia solar e transferi-la para as pessoas na forma de alimentos ou fibras. Além disso, nos agroecossistemas, o homem é um componente ativo, que organiza e gerencia os recursos do sistema.

O resultado da simplificação da biodiversidade para propósitos agrícolas é um ecossistema artificial e instável que requer a intervenção humana constantemente para seu funcionamento. Esta instabilidade se manifesta através do agravamento da maioria dos problemas associados à manutenção dos sistemas agrícolas convencionais, além de vir acompanhada de um incremento de custos econômicos e ambientais para suprir desequilíbrios (ALTIERI, 1989).

Desse modo, em virtude de crescentes críticas que este sistema de produção vem recebendo, abordagens alternativas têm surgido e se difundido ao longo dos últimos anos, as quais parecem convergir na avaliação de que o atual modelo agrícola é insustentável, e de que os parâmetros a serem avaliados para considerar algum aceitável deve ser mais amplo que aqueles monetários, devendo incluir o custo e/ou impacto ambiental ou, até mesmo, o impacto sócio-econômico e cultural (KOZIOSKY, 2000).

Conway (1987) e Marten (1988) definem a sustentabilidade como a habilidade de um agroecossistema em manter a produção através do tempo, face aos distúrbios ecológicos e pressões sócio-econômicas de longo prazo.

Paterniani (2001) observa que na agricultura o conceito de sustentabilidade não pode ter o aspecto estático, comumente implícito no termo, pelo qual os sistemas agrícolas são considerados sustentáveis desde que a produção seja mantida nos níveis

atuais. Um conceito dinâmico é mais apropriado e atende à evolução e ao desenvolvimento da sociedade. Muitas práticas agrícolas podem ter sido consideradas sustentáveis no passado, ou mesmo no presente, segundo as condições sócio-econômicas, edafoclimáticas e demais características locais. Num conceito dinâmico, a sustentabilidade deve considerar as mudanças temporais nas necessidades humanas, especialmente relacionadas a uma população crescente, bem como uma adequada percepção da relação ambiental com a agricultura. “O objetivo de uma agricultura sustentável deve ser o de envolver o manejo eficiente dos recursos disponíveis, mantendo a produção nos níveis necessários para satisfazer às crescentes aspirações de uma também crescente população, sem degradar o meio ambiente” (FAO, 1989).

3.2 Lodo de esgoto

No passado, o caminho mais fácil para a disposição dos resíduos, bem como das águas residuárias, eram os rios, lagos, mares ou recobrando o solo sem as devidas considerações sobre as conseqüências de danos à saúde humana e ao ambiente. Porém, esses métodos, altamente dependentes da renovação por processos naturais, tornaram-se inadequados mediante o aumento populacional e industrial, associado à limitada capacidade assimilativa do ambiente (FEIGIN et al., 1991) e à escassez de recursos hídricos (BOUWER, 2000).

Visando à busca de soluções para recuperar a qualidade desses mananciais, Martins et al. (2003) citam a construção de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) como uma alternativa, já que os despejos líquidos (esgoto) domésticos e industriais são os principais responsáveis pela poluição dos mananciais hídricos que abastecem as médias e grandes cidades brasileiras.

Nas estações de tratamento de esgoto ocorre diminuição do volume de resíduos, mas mesmo assim, as quantidades de materiais residuários gerados são grandes, tornando-se necessária sua disposição, que deve ser ambientalmente adequada (BOEIRA, et al., 2009).

Segundo Oliveira (2000), dentre as alternativas para destinação final do lodo de esgoto pode ser citada: a disposição em oceanos, aterro misto com lixo urbano,

incineração, produção de agregado leve para a construção civil e a utilização e ou disposição em solos agrícolas.

A utilização agrícola do lodo de esgoto destaca-se por reduzir a pressão sobre a exploração dos recursos naturais para a produção de fertilizantes e os custos dos insumos agrícolas nos sistemas produtivos. O uso desse subproduto como matéria orgânica e, principalmente, como fonte de nitrogênio, diminui o impacto ambiental causado no seu descarte na natureza como lagoas de contenção/decantação, rios, marés, entre outros ambientes.

Diferentemente do que ocorre no Brasil, a aplicação de biossólido em cultivos agrícolas comerciais é a mais importante forma de destinação na Europa, responsável por cerca de 50% da produção do lodo de esgoto deste continente. Na Espanha, esta porcentagem aumenta para 65%. A política atual da Comissão Europeia é incentivar o uso do lodo de esgoto no solo, informando que seus benefícios e características estão compatíveis com a saúde pública e as resoluções ambientais, assim sendo uma solução sustentável de longo prazo para a sua disposição final (SCHOWANEK et al., 2004).

De composição bastante variada em consequência de peculiaridades regionais e dos processos em que é gerado, o lodo de esgoto contém considerável percentual de matéria orgânica e nutrientes essenciais às plantas, podendo substituir, ainda que parcialmente, os fertilizantes industriais, desempenhando importante papel na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo (NASCIMENTO et al., 2004).

Para o USDA (United State Drug and Food Administration) um biossólido típico contém 40% de matéria orgânica, 4% de N, 2% de P e 0,4% de K. O lodo de esgoto contém todos os nutrientes essenciais e benéficos para o desenvolvimento dos vegetais. O nitrogênio e o fósforo são os nutrientes encontrados em maior quantidade. Os elementos Ca e Mg são encontrados em pequenas quantidades, salvo naqueles biossólidos higienizados através da calagem, quando grandes quantidades de Ca e Mg são adicionadas. O K está presente em quantidades muito pequenas; no entanto, encontra-se em forma prontamente assimilável pelas plantas e normalmente deve ser suplementado por fertilizantes químicos nos solos adubados com o lodo de esgoto. As quantidades de micronutrientes são variáveis contendo, geralmente, quantidades apreciáveis de Cu, Zn e Mn e menores de B, Mo e Cl (CURSOS PRECONGRESO, 2002).

Em termos da carga de contaminantes, depende do potencial de poluição das fontes, o que pode variar de acordo com a origem do lodo de esgoto tratado (por exemplo, doméstico, industrial ou combinado). A composição do mesmo tem por base os sólidos orgânicos e inorgânicos, nutrientes como também a biomassa produzida durante os processos de degradação aeróbicos, anóxica e/ou anaeróbicos. A matéria orgânica constitui 40-80% de peso seco, dependendo da extensão e do tipo de tratamento do lodo de esgoto. Organismos do solo, microflora e plantas estão diretamente expostas aos contaminantes em solos corrigidos com essa fonte de matéria orgânica (CARBONELL et al., 2009).

Por sua natureza orgânica, o biossólido também tem efeitos benéficos sobre os atributos físicos do solo. Sua influência é positiva na agregação do solo e na redução de sua densidade (BARBOSA et al., 2002). E mais recentemente, estudos indicam que os biossólidos contêm substâncias biologicamente ativas, como substâncias húmicas, aminoácidos, vitaminas, hormônios, o que torna a planta apta a resistir estresses ambientais (por exemplo, seca, salinidade, patógenos) e/ou afetar positivamente o crescimento da cultura e qualidade (SUBLER et al., 1998; ZHANG et al., 2005, 2007).

3.3 Restrições ao uso do lodo de esgoto

Por se tratar de um resíduo de caráter poluente, há uma regulamentação específica para o uso correto e ambientalmente seguro do lodo de esgoto. No Brasil, a resolução nº 375/2006 do CONAMA define os critérios e procedimentos para o uso do lodo de esgoto destinado a agricultura. Nela, considera-se esgoto sanitário o despejo líquido constituído de esgotos predominantemente domésticos, água de infiltração e contribuição pluvial parasitária, vetando-se o uso agrícola de esgotos industriais e daqueles classificados como perigosos.

O lodo de esgoto não-higienizado apresenta o problema de patógenos, tais como ovos de vermes, bactérias, protozoários e vírus, que podem conduzir a doenças, epidemias e a um comprometimento do meio ambiente. Quanto à sua concentração, é classificado em duas classes, A e B (Tabela 1). O de classe A é resultante de processos de efetiva redução de patógenos, podendo ser utilizado na horticultura sem restrições, e o de classe B é resultante de processos de redução moderada de patógenos, com uso mais restrito, devendo ser aplicado em grandes culturas, reflorestamentos e outras

situações em que o risco de contaminação ambiental e humana pode ser mais controlado (FERNANDES, 2000; DAVID, 2002).

TABELA 1. Classes de lodo de esgoto ou produto derivado - agentes patogênicos

| Tipo de lodo de esgoto ou produto derivado | Concentração de patógenos |
|--|--|
| A | Coliformes Termotolerantes < 10 ³ NMP /g de ST Ovos viáveis de helmintos < 0,25 ovo/g de ST <i>Salmonella</i> ausência em 10 g de ST Vírus < 0,25 UFP ou UFF/g de ST |
| B | Coliformes Termotolerantes < 10 ⁶ NMP/g de ST Ovos viáveis de helmintos < 10 ovos / g de ST |

- ST: sólidos totais; NMP: número mais provável; UFF: Unidade formadora de foco; UFP: Unidade formadora de placa.

Viana (2006) determinou a presença de $1,1 \times 10^7$ NMP/g de Coliformes Totais e $5,5 \times 10^6$ NMP/g de Coliformes Fecais, a 70% de umidade e pH 5,2 para o lodo de esgoto da ETE Orlando Dantas.

E mesmo quando tratado, o lodo pode apresentar riscos associados ao conteúdo de metais pesados, como Cu, Ni, Fe, Zn, Mn, Co, Hg, Cd, Pb e Cr, os quais podem causar toxidez às plantas em quantidades excessivas (ANDREOLI e FERNANDES, 1997).

No artigo 11, Seção 3, Resolução 375/2006 do CONAMA, há a definição dos teores máximos de metais pesados, respeitando os valores da seguinte tabela 2:

TABELA 2. Lodo de esgoto ou produto derivado – substâncias inorgânicas

| Substâncias Inorgânicas | Concentração Máxima permitida no lodo de esgoto ou produto derivado (mg kg⁻¹, base seca) |
|--------------------------------|--|
| Arsênio | 41 |
| Bário | 1300 |
| Cádmio | 39 |
| Chumbo | 300 |
| Cobre | 1500 |
| Cromio | 1000 |
| Mércurio | 17 |
| Molibdênio | 50 |
| Níquel | 420 |
| Selênio | 100 |
| Zinco | 2800 |

Viana (2006) determinou os seguintes valores de metais pesados para o biossólido caleado de: Arsênio – ND; Cádmio – 0,34 mg kg⁻¹; Cromo – ND; Cobre – 55,07 mg kg⁻¹; Chumbo – 11,51 mg kg⁻¹; Mercúrio – ND; Molibdênio – ND; Níquel – ND; Selênio – ND; Zinco – 209,15 mg kg⁻¹; Prata – ND; Cobalto – ND; Manganês – 96,03 mg kg⁻¹. Para o biossólido pasteurizado: Arsênio – ND; Cádmio – 0,60 mg kg⁻¹; Cromo – ND; Cobre – 114,18 mg kg⁻¹; Chumbo – 19,44 mg kg⁻¹; Mercúrio – ND; Molibdênio – ND; Níquel – ND; Selênio – ND; Zinco – 305,49 mg kg⁻¹; Prata – ND; Cobalto – ND; Manganês – 132,85 mg kg⁻¹. Com estes valores, a autora pode constatar que o biossólido da ETE do Orlando Dantas possui valores de metais pesados abaixo do limite estabelecido na resolução, portanto, de origem doméstica e sem restrições para o uso em sistemas agrícolas.

Outro aspecto que nem sempre é considerado, mas de suma importância quando se cogita o uso agroflorestal do biossólido, diz respeito ao nitrogênio aplicado via resíduo. Em função da taxa de mineralização do N, que é dependente de características

do biossólido e características edafoclimáticas do local onde é aplicado, pode haver movimentação de nitrato no perfil do solo e conseqüente contaminação de águas subterrâneas (GUEDES, 2005).

Por isso, as doses de lodo de esgoto aplicadas ao solo são balizadas por uma série de parâmetros, que podem restringir a dose, ou até mesmo o uso de determinado lodo de esgoto (FERREIRA, 2005).

3.4 Tomate cereja

O tomateiro – *Lycopersicon esculentum*, originou-se da espécie andina – *L.esculentum* var. *cerasiforme*, que produz frutos do tipo cereja. O centro primário de origem do tomateiro é um estreito território, limitado ao norte pelo Equador, ao sul pelo norte do Chile, a oeste pelo oceano Pacífico e a leste pela Cordilheira dos Andes (FILGUEIRA, 2005).

O tomateiro possui sistema radicular do tipo pivotante, podendo chegar a até 1,5 m de profundidade. No tomateiro transplantado o sistema radicular se torna mais superficial e mais ramificado, se concentrando na faixa entre 5 e 35 cm de profundidade, não se distinguindo a raiz principal. O caule da planta jovem de tomateiro é ereto, herbáceo, suculento e coberto de pelos glandulares e, à medida que a planta cresce vai se tornando lenhoso e fino, não suportando o peso da planta em posição ereta. As folhas são alternadas, compostas de número ímpar de folíolos e pilosas. As flores são hermafroditas com predomínio de autofecundação, sendo a frequência de cruzamento muito baixa (menor que 5%). Já nas variedades silvestres, ocorre alta taxa de cruzamento natural. Os frutos são carnosos e suculentos, do tipo baga, com peso médio variando de 5 a 500g. Possuem formato globular-achatado a alongado, e podem ser bi, tri ou pluriloculares (PINTO & CASALI, 1980).

Constitui-se numa das hortaliças de fruto mais importantes comercialmente no Brasil, com produção anual de 3,2 milhões de toneladas, em área plantada de aproximadamente 63.000 ha e produtividade média de 54 Mg ha⁻¹ (AGRIANUAL, 2008). Em Sergipe, lista entre as principais culturas agrícolas, tendo uma produção média de 4.891 toneladas, segundo dados da SEPLAN (2009).

O tomate do grupo cereja, conhecido pelo mercado consumidor brasileiro desde a década de 90, é caracterizado, principalmente, por suas propriedades sensoriais, pelo excelente sabor e pela atrativa coloração vermelha e uniforme (ROCHA et al., 2008). Considerado como hortaliça exótica, atualmente é incorporada em cardápios de restaurantes por serem pequenos e delicados, trazendo novos sabores e enfeites aos pratos e aperitivos, com vantagem de ter tamanho reduzido evitando desperdício (MACHADO et al., 2003).

Os consumidores consideram o tomate cereja um produto de alta qualidade e com sabor reconhecidamente superior ao tomate de mesa tradicional. Por isso, geralmente, aceitam o preço mais elevado desse produto, o qual se deve, principalmente, ao custo maior da colheita e à menor produção por área, quando comparado ao tomate de mesa tradicional (HOBSON & BEDFORD, 1989).

A preferência pelo consumo de tomate, entre as hortaliças, deve-se às suas características de aparência, sabor, aroma, textura e valor nutricional (ALVARENGA, 2004).

O fruto do tomateiro possui em sua composição de 93% a 95% de água. Nos 5% a 7% restantes, encontram-se compostos inorgânicos, ácidos orgânicos, açúcares, sólidos insolúveis em álcool e outros compostos (SILVA & GIORDANO, 2006).

Com o início da maturação, ocorrem a degradação da clorofila e a síntese de pigmentos amarelos, principalmente xantofilas e caroteno, atingindo, posteriormente, a cor avermelhada em razão do acúmulo de licopeno. Esses três pigmentos são poderosos destruidores de radicais livres. Além disso, o licopeno é uma das substâncias que apresentam propriedades anticancerígenas (ALVARENGA, 2004).

3.5 Nitrogênio

3.5.1 Nitrogênio (N) no solo e na matéria orgânica

Os fertilizantes nitrogenados permitem aos agricultores atingirem altas produções que impulsionam a agricultura moderna. Seu uso continuará a aumentar substancialmente na medida em que a população global e as exigências por alimentos

crecem. A previsão da Associação Internacional da Indústria de Fertilizantes (IFA) é de que, nas atuais condições, a aplicação de fertilizantes nitrogenados totalizará aproximadamente 100 milhões de toneladas ao ano em 2010-11 (ARCADIABIO, 2010).

O nitrogênio é, quantitativamente, o mais importante nutriente mineral para o crescimento das plantas e, geralmente, limita o seu desenvolvimento (LUDEWIG et al., 2008). É absorvido pelas plantas nas formas de amônia e de nitrato.

Porém, as formas minerais, amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-) estão sujeitas a perdas por volatilização ou por lixiviação, respectivamente, não permanecendo no solo por longo tempo (KIEHL, 1979).

Para minimizar a dependência de aplicação de nitrogênio e prolongar o tempo de disponibilidade deste nutriente para as plantas, agricultores vêm buscando fontes alternativas para viabilizar a produção, como o uso de adubos orgânicos, bem como, aqueles denominados de resíduos.

Para Kiehl (1979), não há outra maneira de se armazenar no solo este nutriente a não ser na forma orgânica. Há muito se conhecem os benefícios da aplicação de materiais orgânicos sobre as propriedades do solo. A ação benéfica da matéria orgânica sobre a fertilidade do solo traduz-se através da elevação da capacidade de troca de cátions (CTC) e da mineralização de sua fração orgânica, contribuindo de forma expressiva para o aumento da disponibilidade de nutrientes (SOUZA, 2004).

De maneira geral, os resíduos liberam carbono, nitrogênio e outros componentes simples durante o processo de decomposição, dos quais parte retorna à atmosfera na forma de gás (CO_2 , NH_3 , etc.), parte é imobilizada pelos microrganismos decompositores, parte permanece na forma prontamente disponível para as plantas e o restante é perdido por lixiviação ou direcionado à produção de substâncias húmicas (STEVENSON, 1985).

Onde o lodo de esgoto é usado como fonte de nitrogênio, as taxas de aplicação deste macronutriente não deverão exceder a dosagem agronômica segundo a espécie (taxa equivalente a quantidade de fertilizante nitrogenado aplicado ao solo para a cultura em crescimento). Como qualquer outro fertilizante, o nitrogênio que se lixivia através da zona radicular poderá contaminar os lençóis freáticos. Para determinar a quantidade de lodo de esgoto necessário à necessidade da cultura em nitrogênio, é importante saber

as proporções relativas do nitrogênio orgânico e inorgânico. As formas inorgânicas de nitrogênio (nitrato e amônia) estão prontamente disponíveis para a cultura. As formas orgânicas de nitrogênio não estão disponíveis para a planta e devem primeiramente ser mineralizadas pelos microorganismos para as formas inorgânicas (KRAUSS et al., 1996).

A fração de mineralização varia entre 20 e 30%, quando o lodo de esgoto é originado de processos de digestão anaeróbia ou aeróbia, respectivamente (TSUTIYA, 2001). Isso significa que, em sistemas de cultivos de espécies anuais adubadas com lodo de esgoto, entre 70 e 80% do nitrogênio orgânico remanescente continue sendo mineralizado na ausência da cultura, uma quantidade considerável pode persistir sob esta forma, somando-se à adicionada na safra seguinte (DYNIA et al., 2006). É desta forma que o lodo pode atender completamente a necessidade de N das culturas, podendo ser aplicado em uma única oportunidade, e liberando lentamente o elemento no solo, à medida em que a planta o necessita (CURSOS PRECONGRESO, 2002).

Mas é na perspectiva de uso como fertilizante do solo que muitos trabalhos são realizados com este tipo de resíduo. Gerber et al. (1981) obtiveram aumento de 25,5% na produção de tomate com a aplicação de lodo de esgoto em quantidade equivalente a 112 kg ha^{-1} de N, em relação à adição de $112-67-67 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, P_2O_5 e K_2O como fertilizante mineral. Aumento no peso de massa fresca de plantas de tomate, após sete semanas do transplante das mudas, foi constatado com as aplicações de 2 a 10%, em peso seco, de lodo de esgoto, atribuído à presença de N no material (ELLIOTT & SINGER, 1988).

3.5.2 Importância do nitrogênio para o tomateiro

O tomateiro é uma planta bastante exigente em nutrientes, sendo os mais absorvidos (em ordem decrescente): N, K, Ca, S, P, Mg, Fe, Mn, Zn, B e Cu (EMBRAPA, 1994).

No Brasil, onde o ciclo do tomateiro dificilmente ultrapassa 160 dias, a dose de N, geralmente, tem sido definida de maneira empírica, baseando-se em experiências de produtores ou, com menor frequência, em relações derivadas de doses aplicadas e produtividades da cultura. Além de reduzir a produtividade e aumentar o custo de produção da cultura, a aplicação de alta quantidade de fertilizante nitrogenado sem o

conhecimento da capacidade de fornecimento do solo e do período de maior exigência do tomateiro concorre para a diminuição na eficiência de uso do N, que para a cultura do tomateiro, raramente ultrapassa 50% (ARAÚJO, 2004; 2009).

No tomateiro, a elevação no nível de N fornecido às plantas aumenta o peso de massa seca das raízes, do caule, das folhas e dos frutos, a altura da planta, o número de folhas, a área foliar, o florescimento, a frutificação e a produtividade. Sob condições de campo, a nutrição ótima dessa cultura pode ser alcançada quando a quantidade aplicada de fertilizantes nitrogenados é igual à alta demanda que ocorre durante o período de crescimento dos frutos (FERREIRA et al, 2003).

O fato do nitrogênio ser um elemento importante, especialmente para a Rubisco e para a biossíntese de clorofila, faz com que situações limitantes desse mineral resultem em redução da taxa fotossintética (WONG, 1979; STRZALKA & KETNER, 1997). A variação no teor de N da folha tem sido identificada como um determinante da capacidade fotossintética líquida (GULMON & CHU, 1981; FIELD & MOONEY, 1986). A oferta excessiva de nitrogênio causa aumento na respiração e, portanto, menor rendimento fotossintético. Porém, a planta com deficiência de nitrogênio desenvolve pequenas folhas com movimento estomático prejudicado (LARCHER, 2006).

Há, também, evidências que indicam uma proporcionalidade entre a parcela máxima de CO₂ assimilada por unidade de área foliar e o montante de nitrogênio por unidade de área foliar (EVANS, 1989; MAE, 1997). Em plantas C3, o aumento do CO₂ atmosférico acima do ponto de compensação estimula a fotossíntese em uma ampla faixa de concentração. Em concentrações de CO₂ baixas a intermediárias, a fotossíntese é limitada pela capacidade de carboxilação da rubisco (TAIZ et al., 2009). Segundo Marengo e Lopes (2007), uma baixa concentração de CO₂ na câmara subestomática da folha provoca a abertura dos estômatos, o processo contrário é estimulado pela alta concentração de CO₂ na câmara subestomática. Em ambos os casos, a tendência para abertura ou fechamento ocorre independentemente da concentração de luz. Contudo, o mecanismo exato pelo qual uma alta concentração de CO₂ na câmara subestomática provoca o fechamento dos estômatos não está bem caracterizado.

Tenhunen et al. (1987) relata que o funcionamento dos estômatos constitui um comprometimento fisiológico, quando abertos, permitem a assimilação de gás carbono. Fechando-se, conservam água e reduzem o risco de desidratação. Para Larcher (2006), à medida que a disponibilidade de água no solo diminui, a taxa de transpiração decresce,

como resultado do fechamento dos estômatos. Neste contexto, a transpiração consiste na vaporização da água líquida contida nos tecidos da planta e da remoção do vapor para a atmosfera. As culturas perdem predominantemente água através dos estômatos. A água e os nutrientes são absorvidos pelas raízes e transportados através da planta. A vaporização ocorre no interior da folha, nos espaços intercelulares, e a troca de vapor com a atmosfera é controlada pela abertura estomatal. A maioria da água absorvida é perdida pela transpiração, sendo utilizada uma pequena fração no interior da planta (REICHARDT & TIMM, 2004).

Para Bergonci e Pereira (2002), a transpiração é dependente em grande parte da condutância estomática e esta diminui em função da fração de água disponível para planta e da incidência de radiação fotossinteticamente ativa. Quando plantas são atendidas por quantidades de água, na qualidade e na quantidade para o consumo, o fluxo de transpiração é determinado basicamente por sua área foliar e dos elementos meteorológicos que comandam a demanda evaporativa (DALMAGO et al., 2006).

3.5.3 Análise de crescimento e produção

O crescimento em plantas é definido como aumento irreversível no volume (TAIZ et al., 2009). Ele pode ser considerado como sinônimo de produtividade ou rendimento biológico, que é “o total de biomassa seca produzida por unidade de área”. O peso seco da planta é formado principalmente pela assimilação (incorporação das substâncias absorvidas ao protoplasma) e dos minerais absorvidos e não assimilados (LEOPOLD e KRIEDEMANN, 1975).

O padrão de distribuição dos assimilados entre os órgãos da planta do tomateiro, que é utilizado nos estudos em fisiologia, considera os assimilados produzidos pelos órgãos fontes, representados principalmente pelas folhas, sendo exportados para órgãos drenos como raízes, meristemas e frutos. A planta é descrita como um conjunto de órgãos drenos, regidos por relações competitivas entre as fontes e os drenos e também entre os diferentes drenos da planta (DE KONNING, 1994; MARCELIS, 1996).

Larcher (2006) diz que entre o aumento de biomassa e o abastecimento de nitrogênio há uma estreita relação, que pode ser expressa através do uso do nitrogênio

na produção. A energia e a estrutura molecular para a incorporação do nitrogênio são supridas pelo metabolismo dos carboidratos, o qual, por sua vez, depende da fotossíntese. Fechando um ciclo de interdependência metabólica, a fotossíntese depende de compostos contendo nitrogênio (por exemplo, clorofila). Dessa forma, o crescimento em massa da planta é limitado, sobretudo, pela oferta de nitrogênio. Sob um suprimento pobre em nitrogênio, o carboidrato excedente é estocado na forma de amido e substâncias graxas ou desviado para a síntese de lignina (metabolismo secundário). Sob grave deficiência de nitrogênio, a planta apresenta um menor porte, as células assumem um menor tamanho em seus tecidos e as paredes celulares tornam-se espessas, além disso, geralmente, o processo reprodutivo e a senescência são antecipados.

O crescimento também pode ser acompanhado a partir da contagem de unidades estruturais morfológicas ou anatômicas, como ramificações, folhas, flores, frutos e raízes. Estas medidas podem fornecer informações quanto à fenologia e são, muitas vezes, usadas para detectar diferenças entre os tratamentos estabelecidos (BENINCASA, 2003). Para Floss (2004), a depender do objetivo do cultivo, o crescimento pode ser acompanhado a partir da estatura das plantas, volume, acúmulo de massa verde e massa seca e rendimento biológico e rendimento econômico.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa-de-vegetação localizado no Departamento de Biologia da Universidade Federal de Sergipe, Campus de São Cristóvão/SE, no período de 21 de dezembro de 2009 a 04 de março de 2010.

4.1 Origem e caracterização química do lodo

O lodo de esgoto foi coletado na Estação de Tratamento de Esgoto do Orlando Dantas, pertencente à Companhia de Saneamento de Sergipe – DESO, em Aracaju – SE, o lodo de esgoto é tratado conforme metodologia descrita por (VIANA, 2006): tratamento primário (gradeamento e caixa de areia), valo de oxidação, quatro decantadores e dezoito leitos de secagem. Seguidamente, o material é disposto no pátio, em forma de leiras e caleado na própria unidade de tratamento, de forma a otimizar sua higienização. A produção mensal desta ETE (ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO) é de aproximadamente 30 m³ de lodo (Figura 1).



FIGURA 1. Leiras do lodo de esgoto seco. Estação de Tratamento de Esgoto do Bairro Orlando Dantas - DESO

A coleta do lodo de esgoto foi realizada nas porções do topo, meio e base de quatro pilhas, após os mesmos passarem pelo leito de secagem, para então formar uma

amostra composta de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1985), como mostra a Figura 2.



FIGURA 2. Coleta da amostra. Estação de Tratamento de Esgoto do Bairro Orlando Dantas – DESO

Posteriormente, as amostras do lodo de esgoto foram enviadas ao Laboratório de Química Analítica Ambiental (LQA) da UFS, para a caracterização química das mesmas. Para análise química, as amostras foram primeiramente secas em estufa de circulação forçada a 60 °C por 24 horas. O material seco foi destorroado até obter um pó fino. Foram feitas cinco pesagens de 20 gramas, em balança analítica, para determinação iônica.

Após o preparo e filtragem das amostras com uso de bomba a vácuo, a determinação iônica consistiu da caracterização da solução em cromatógrafo de troca iônica marca DIONEX modelo ICS-3000, coluna de ânion IonPac AS18 de 2mm e coluna de guarda IonPac AG18 de 2mm, fluxo para ânions de 0,3mL/min. Para cátions, a coluna de cátions IonPac CS16 de 3mm e coluna de guarda IonPac CG16 3mm, fluxo para cátions de 0,5mL/min. Para os teores de N-total e o carbono total, estes foram determinados no Analisador Elementar CHNS-O da Thermo Finnigan, modelo FLASH EA 1112 series. Para o teor de fósforo, a leitura foi feita no espectrofotômetro marca biochrom libraS12 usando um comprimento de onda de 885nm, onde se obteve os resultados na Tabela 3.

TABELA 3. Análise de lodo de esgoto. São Cristóvão(SE) -2009

| Elemento | Valor | Unidade |
|------------------------|--------------|---------------------|
| Umidade 65°C | 4,54 | % |
| pH | 6,29 | |
| C | 158,843 | g kg ⁻¹ |
| N total | 5,67 | % |
| NO²⁻ | 1,7 | mg kg ⁻¹ |
| NO³⁻ | 3,18 | mg kg ⁻¹ |
| NH₃ | 342,650 | mg kg ⁻¹ |
| K | 69,487 | g kg ⁻¹ |
| PO⁴⁻ | 163,991 | mg kg ⁻¹ |
| P total | 5,446 | g kg ⁻¹ |
| Na | 32,265 | g kg ⁻¹ |
| Al | 4386,73 | mg kg ⁻¹ |
| Mn | 137,629 | mg kg ⁻¹ |
| Ca | 528,956 | g kg ⁻¹ |
| Mg | 165,426 | g kg ⁻¹ |
| Fl⁻¹ | 2,24 | mg kg ⁻¹ |
| Cl⁻¹ | 44,74 | mg kg ⁻¹ |
| SO₄ | 2652,8 | mg kg ⁻¹ |
| Fe | 3322,87 | mg kg |
| Zn | 617,014 | mg kg ⁻¹ |
| Li | 4,757 | mg kg ⁻¹ |
| Cu | 58,2 | mg kg ⁻¹ |
| Br⁻¹ | ND | mg kg ⁻¹ |

- ND – não detectável

4.1.2 Coleta de solo, instalação e condução do experimento

O solo utilizado no experimento foi proveniente da camada arável de um Cambissolo (EMBRAPA, 1999), com 81,91% de areia, 10,98% de silte e 7,08% de argila. Antes da instalação do experimento foi coletada uma amostra composta de solo para análise química, segundo metodologia proposta por Miyazawa et al. (1999), cujos resultados estão na Tabela 4 e 5.

A terra coletada no campo, em quantidade suficiente para preencher 50 vasos de 5 dm³, foi peneirada em malha de 4 mm, seca ao ar e colocada em sacos plásticos. Seguidamente, foram aplicados os tratamentos no solo contidos nos sacos plásticos, e misturados, e transferidos para os vasos. Em seguida a terra dos vasos foi posta em incubação, com umidade de aproximadamente 80% da capacidade de retenção de água do solo, por 21 dias.

TABELA 4. Resultados da análise química do solo, utilizado no experimento. São Cristóvão (SE)- 2009.

| M. O. | pH | P | K | Ca | Mg | H+Al | SB | CTC | V |
|--------------------|------|---------------------|-------|------|------|------------------------------------|-------|------|-------|
| g kg ⁻¹ | água | mg dm ⁻³ | ----- | | | cmol _c dm ⁻³ | ----- | | (%) |
| 6,01 | 8,08 | 124 | 0,2 | 4,32 | 1,08 | 0,29 | 5,60 | 5,89 | 95,10 |

TABELA 5. Teores de Al³⁺ e teores de micronutrientes (Cu, Zn, Fe e Mn) do solo utilizado no experimento. São Cristóvão (SE)- 2009.

| Al | Cu | Zn | Fe | Mn |
|------------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|
| cmol _c dm ⁻³ | -----mg dm ⁻³ ----- | | | |
| ND | 1,98 | 17,10 | 72,20 | 54,50 |

- ND- não detectável

Em seguida, deu-se o processo de produção de mudas de tomate cereja cv Carolina, de crescimento determinado. As mudas do tomateiro foram produzidas em substrato comercial HF Substrato em bandeja de polipropileno de 128 células.

Foram semeadas três sementes por célula da bandeja de polietileno, aos seis dias após a emergência das plântulas do tomateiro foi realizado um desbaste deixando uma plântula por célula. Após 21 dias, quando as mudas de tomateiro apresentavam 2 folhas definitivas, foram transplantadas para vasos de plástico de 5,0 dm³, e posteriormente irrigadas.

Na casa-de-vegetação os vasos foram dispostos em bancadas de madeira possuindo 3 hastes em cada lado da bancada, onde foram presos arames n° 14 de forma horizontal, na altura de 0,80 e 1,00 m, para permitir a condução das plantas de tomate, durante a condução do experimento (Figura 3).

As condições climáticas da casa de vegetação foram variáveis, de acordo com as condições do ambiente. A irrigação do experimento foi por microaspersão, funcionando com turno de rega, três vezes ao dia e para atender, em parte, a necessidade hídrica das plantas de tomateiro, também foram realizadas irrigações complementares nos horários mais quentes do dia, com regador de crivo fino.



FIGURA 3. A. Condução do tomateiro cereja em estufa e tutorado
B. Cacho de frutos verdes de tomate cv Carolina.

Ao longo do ciclo da cultura, foram realizadas a eliminação manual de plantas invasoras, o controle de pragas como a cochonilha branca e a mosca-branca, através da aplicação semanal de extrato de nim (*Azadirachta indica* Juss.). Houve a necessidade da reposição de mudas com problemas fitossanitários (Dumping off) no início do experimento. Outro problema fitossanitário, já na fase de frutificação foi o aparecimento de sintomas de *Fusarium sp.* na planta. O controle da doença foi feito através da aplicação quinzenal de Metiolfan e do isolamento das plantas afetadas.

Aos 84 dias após a emergência, quando as maiorias das plantas encontravam-se no estágio fenológico de floração e frutificação foi realizado a colheita do experimento. As plantas foram seccionadas no colo separando a parte aérea do sistema radicular.

4.1.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e cinco repetições e duas plantas por parcela útil. Os tratamentos foram constituídos em:

T₁: adubação nitrogenada recomendada para o tomateiro, na forma de sulfato de amônio;

T₂: sem adubação nitrogenada;

T₃: ½ da adubação nitrogenada recomendada para o tomateiro, na forma de lodo de esgoto;

T₄: adubação nitrogenada recomendada para tomateiro, na forma de lodo de esgoto;

T₅: o dobro da adubação nitrogenada recomendada para tomateiro, na forma de lodo de esgoto;

As quantidades de lodo de esgoto foram calculadas, considerando-se as necessidades de N pela cultura do tomateiro, e a taxa de mineralização do nitrogênio (TMN) em 30%, conforme recomendado pela Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado São Paulo (CETESB, 1999). A dose mineral recomendada de N, K₂O e P₂O₅, considerada adequada com base na análise química do solo para a cultura

do tomateiro foi de 220 kg ha⁻¹, 150 kg ha⁻¹ e 200 kg ha⁻¹, respectivamente, conforme preconiza Sobral et al. (2007).

A fórmula utilizada foi:

$$TA \text{ (Mg ha}^{-1}\text{)} = N_p / N_d \text{ (Fórmula 1)}$$

em que :

TA: taxa de aplicação (Mg ha⁻¹);

N_p: N recomendado para a cultura (kg ha⁻¹);

e N_d: N disponível no lodo de esgoto (kg Mg⁻¹).

No cálculo do N disponível no lodo de esgoto (N_d) as equações utilizadas foram apresentadas por Tsutiya (2001), considerando o modo de aplicação, conforme descritas a seguir:

1. Cálculo de N_d para aplicação subsuperficial (incorporada)

$$N_d = (FM/100) \times (N_{KJ} - N_{NH_4^+}) + N_{NH_4^+} + (N_{NO_3^-} + N_{NO_2^-}) \text{ (Fórmula 2)}$$

em que:

N_d: N disponível (mg kg⁻¹ de lodo seco);

FM: fração de mineralização do N (%);

N_{KJ}: N Kjeldahl (mg kg⁻¹), sendo N Kjeldahl = N orgânico total + N amoniacal); N_{NH₄⁺}: N amoniacal (mg kg⁻¹); e N_{NO₃⁻} + N_{NO₂⁻}: N nitrato e nitrito (mg kg⁻¹).

Após substituição dos valores de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nas formas de nitrato, de nitrito, da fração de mineralização do lodo de 30 % na fórmula de nitrogênio disponível (N_d), foi encontrado o valor de 17,22 kg ton⁻¹ de nitrogênio presente no lodo de esgoto. Este valor foi aplicado na fórmula de taxa de aplicação do

lodo, mais o valor recomendado para o tomateiro resultando no valor de 12,77 t ha⁻¹, que convertido em gramas, foi equivalente a 31,92 gramas de lodo, descritos na tabela 6.

TABELA 6. Tratamentos utilizados na montagem do experimento

| Tratamento | MINERAL/ DOSES DE LODO | PESO (g) / vaso |
|------------|------------------------------|-----------------|
| T1 | FUNDAÇÃO Adubação mineral | 4,66 |
| T2 | | 0 |
| T3 | | 0,5 |
| T4 | | 2,0 |
| T5 | | 4,0 |

As adubações de cobertura para o tratamento 1 foram realizadas aos 30 e 50 dias após o plantio, com aplicação de 0,5 g de sulfato de amônio, valor calculado ao equivalente de 40 kg ha⁻¹ de N, conforme recomendação consultada.

4.1.4 Parâmetros avaliados

4.1.4.1 Avaliação do sistema radicular: comprimento radicular

Na colheita do experimento, as raízes foram separadas do solo por lavagem em água corrente sobre peneiras de 0,5 mm. A lavagem do sistema radicular foi realizada de forma que a raiz pivotante ficasse esticada sobre uma mesa, e posteriormente efetuada a medida, do colo até a extremidade final da raiz de em razão de uma fita métrica (cm por planta).

4.1.4.2 Produção de massa seca radicular (g planta⁻¹)

Na colheita do experimento, as raízes foram separadas do solo por lavagem em água corrente sobre peneiras de 0,5 mm. Após lavagem os sistemas radiculares foram postos para secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, até peso constante. Posteriormente determinou-se a massa seca radicular em g planta⁻¹.

4.1.4.3 Produção de massa seca das folhas, do caule e da parte aérea do tomateiro (g planta⁻¹)

Após a colheita do experimento, a parte aérea foi seccionada na altura do colo, lavada com água destilada, e separados as folhas e o caule. Após a separação das folhas e do caule, os mesmos foram postos para secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, até peso constante. Posteriormente, determinou-se as massas secas das folhas e do caule em g planta⁻¹.

4.1.4.4 Produção de massa seca total do tomateiro (g planta⁻¹)

A produção da massa seca total foi determinada em razão da somatória da massa das raízes e da parte aérea (g planta⁻¹).

4.1.4.5 Número de frutos por planta

Após a colheita do experimento, foi realizado a contagens de todos os frutos (verdes e maduros) do tomateiro (número de fruto por planta).

4.1.4.6 Produção de frutos (g planta⁻¹)

Após contagens dos frutos (verdes e maduros) do tomateiro, foi realizado a pesagem dos frutos (g de frutos por planta)

4.1.4.7 Quantidade acumulada de N na raiz e na parte aérea tomateiro (mg planta⁻¹)

Após a determinação da massa seca, as amostras de raízes e da parte aérea foram moídas e avaliadas quimicamente para determinação do teor N, segundo metodologia descrita pela EMBRAPA. Através dos dados de produção de massa seca e do teor de N da raiz e da parte aérea, determinou-se a quantidade acumulada no sistema radicular e na parte aérea pela multiplicação do valor do teor pelo valor de massa seca.

4.1.4.8 Trocas gasosas

Considerando-se que o crescimento das plantas e a fotossíntese dependem das concentrações de nitrogênio nas plantas, o estudo dos processos de trocas gasosas e a fotossíntese são de grande relevância para o conhecimento dos efeitos positivos da aplicação de diferentes dosagens de lodo de esgotos nas espécies cultivadas como o tomateiro.

Quando as plantas estavam na fase fenológica de florescimento, cinco plantas de cada tratamento foram escolhidas, aleatoriamente, para a realização das avaliações de transpiração (E), fotossíntese líquida (A), carbono interno (Ci), condutância estomática (gs) e das trocas gasosas. Estas avaliações foram feitas em folhas totalmente expandidas, no horário entre 10:00 e 11:00h, utilizando analisador portátil de gás infravermelho, modelo CIRAS-2 (PPSystems Hitchin, UK).

4.1.4.9 Análise estatística

Para análise dos tratamentos em estudo adotou-se o teste de Skott-knot a 5 %, no programa estatístico Sisvar.

4.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comprimento das raízes e massa seca radicular, das folhas, do caule, da parte aérea e total do tomateiro

Para a variável comprimento radicular (Figura 4), verificou-se que, a resposta do maior comprimento radicular, observado na ausência da adubação com sulfato de amônio e lodo de esgoto, está associada a uma provável estratégia do tomateiro em aumentar o comprimento das raízes para explorar o solo e melhorar a capacidade de absorção de nutrientes em condições de baixa disponibilidade. Vários autores relataram que a capacidade de absorção de nutrientes está relacionada com o comprimento radicular (TEO et al., 1995; ROSOLEM et al., 1999).

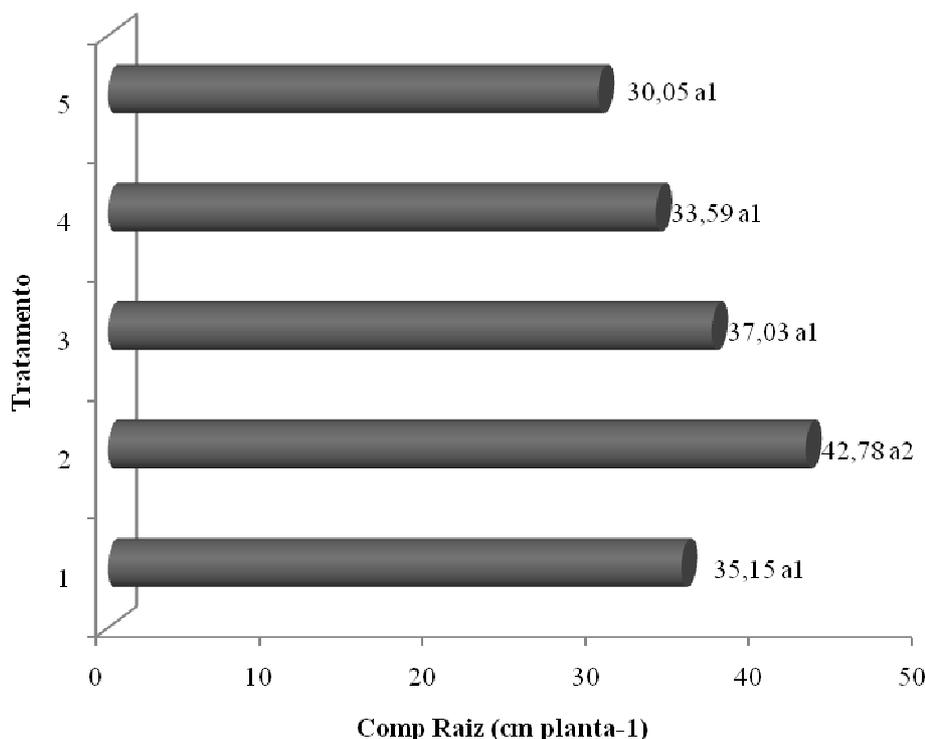


FIGURA 4. Comparação das médias do comprimento das raízes (cm planta⁻¹) do tomateiro cv. Carolina em função de doses de sulfato de amônio e de lodo de esgoto, pelo teste de Skott-knot a 5 % de probabilidade

Na Tabela 7 estão os resultados da análise de variância referentes ao comprimento radicular e das massas secas das raízes, das folhas, do caule, da parte aérea e total do tomateiro. Constatou-se que, na ausência de adubação nitrogenada, o tomateiro produziu a maior média de comprimento radicular em comparação ao

tratamento com adubação nitrogenada na forma de sulfato de amônio e lodo de esgoto. A resposta do maior comprimento radicular na ausência de adubação nitrogenada está em razão das raízes alterarem sua configuração geométrica de forma a adquirir a habilidade para explorar o solo em busca de recursos (grande crescimento em extensão à custa de menor ramificação), ou a habilidade de adquirir os recursos encontrados de maneira eficiente (sistema radicular profusamente ramificado à custa de menor crescimento em extensão (TIFFNEY & NIKLAS, 1985).

TABELA 7. Valores médios de comprimento radicular, massa seca de raiz, das folhas, do caule e da parte aérea e total do tomateiro em função dos tratamentos. São Cristóvão(SE) -2009.

| Fonte | ----- Sistema radicular ---- | | ----- Parte aérea ----- | | | Massa seca total |
|----------|------------------------------|--------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------|------------------|
| | Comprimento | Massa seca da raiz | Massa seca das folhas | Massa seca do caule | Massa seca da parte aérea | |
| | cm planta ⁻¹ | ----- | ----- | g planta ⁻¹ | ----- | |
| T1 | 35,15 a1 | 21,69 a2 | 19,41 a4 | 20,72 a2 | 35,63 a2 | 57,32 a3 |
| T2 | 42,78 a2 | 13,27 a1 | 7,09 a1 | 11,54 a1 | 18,63 a1 | 31,90 a1 |
| T3 | 37,03 a1 | 15,15 a1 | 9,06 a2 | 12,96 a1 | 22,02 a1 | 37,17 a2 |
| T4 | 33,59 a1 | 19,27 a2 | 12,73 a2 | 27,54 a3 | 40,27 a3 | 59,54 a3 |
| T5 | 30,05 a1 | 29,88 a3 | 17,42 a5 | 26,03 a3 | 43,45 a3 | 73,33 a4 |
| C.V. (%) | 9,88 | 9,15 | 9,19 | 10,03 | 8,22 | 6,80 |

- Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Skott-knot a 5% de probabilidade

Através do teste de comparação de médias (Tabela 7), constatou-se que as fontes sulfato de amônio e lodo de esgoto induziram as maiores quantidades de massas secas da raiz, das folhas, do caule, da parte aérea e total do tomateiro, verificando os menores resultados na ausência de adubação nitrogenada. Este menor valor observado na ausência da adubação nitrogenada pode ser explicado em razão do tomateiro transportar os fotoassimilados produzidos na parte aérea para o sistema radicular a fim de aumentar a superfície de exploração das raízes, bem como, o N ter como função compor a molécula de clorofila, obtendo maior produção de fotossíntese líquida (ROSOLEM et al. 1999).

Assim, o lodo de esgoto proporcionou aumentos significativos na variável massa seca radicular a qual respondeu positivamente às doses de lodo de esgoto (Figura 5). Na ausência e com metade da adubação com lodo de esgoto, o tomateiro apresentou a menor produção de massa seca da raiz.

Apesar de o tomateiro ter reduzido o comprimento das raízes (Figura 4) nas maiores doses de lodo de esgoto, foi verificada resposta inversa para a variável massa seca radicular (Figura 5). Estes resultados têm como hipótese o tomateiro ter produzido maior quantidade de raízes, porém de menor comprimento nas maiores doses de lodo de esgoto e, concomitantemente, aumentou sua massa seca radicular, pois as plantas não precisavam explorar o solo para facilitar o contato íon/raízes de forma eficiente, e sim aumentar a superfície de contato com o solo.

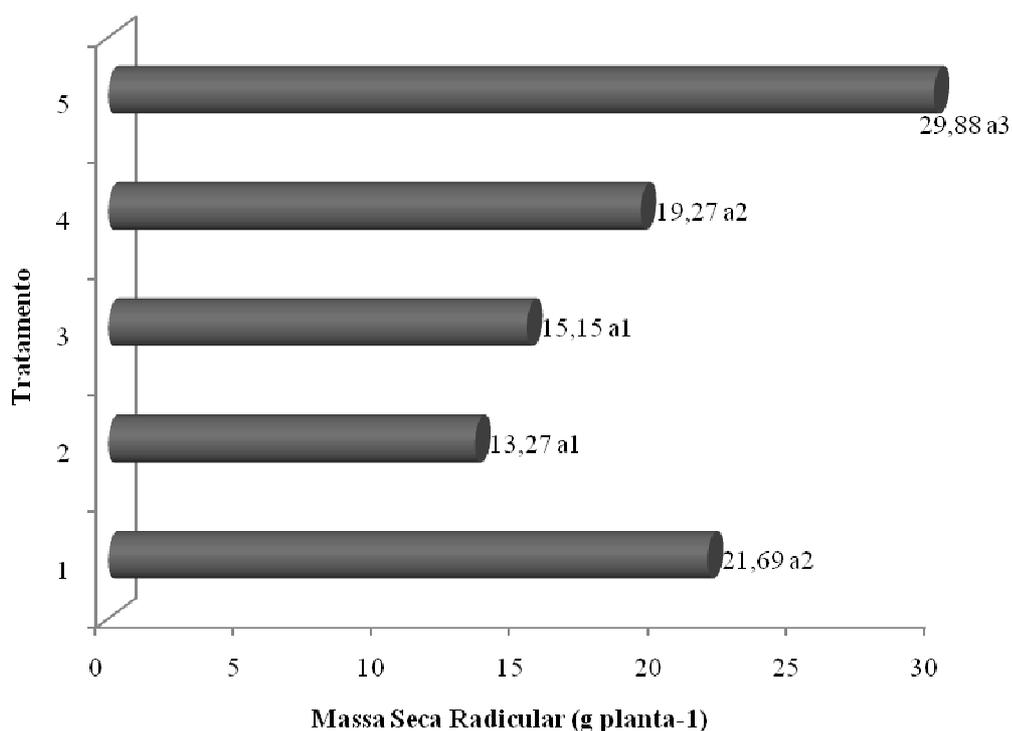


FIGURA 5. Comparação das médias da massa seca radicular (g planta^{-1}) do tomateiro cv. Carolina em função das doses de sulfato de amônio e lodo de esgoto, pelo teste Skott-knot a 5 % de probabilidade

O lodo de esgoto proporcionou aumentos significativos nas variáveis massas secas de folhas, do caule, da parte aérea e total do tomateiro, os quais responderam de forma positiva, às doses de lodo de esgoto (Figuras 6 e 7). O aumento das massas secas do caule, da parte aérea e total do tomateiro atingiu os valores máximos nas doses 63 g vaso^{-1} e $127,68 \text{ g vaso}^{-1}$ de lodo de esgoto, respectivamente (Figuras 6 e 7).

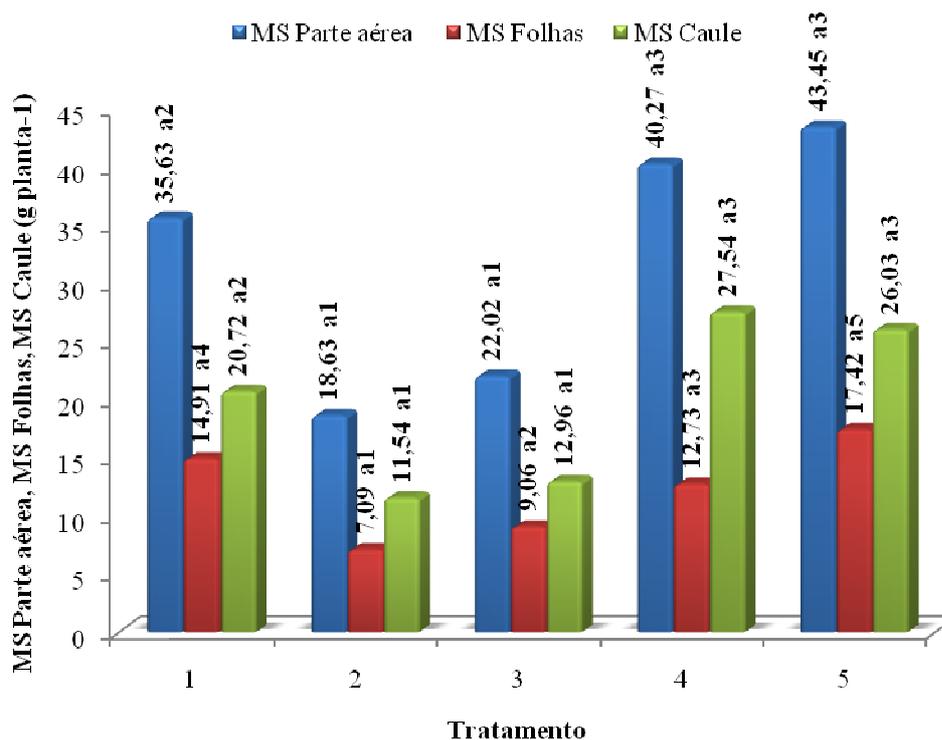


FIGURA 6. Comparação das médias das massas secas de folhas (g planta^{-1}), do caule (g planta^{-1}) e da parte aérea “folhas + caule” (g planta^{-1}) do tomateiro cv. Carolina em função de doses de sulfato de amônio e de lodo de esgoto, pelo teste de Skott-knot a 5 % de probabilidade

O aumento nos valores das variáveis massa seca da parte aérea e total, decorrente do aumento das doses de lodo de esgoto está diretamente relacionado com o comprimento radicular (Figura 4), uma vez que, com o maior desenvolvimento das raízes, provavelmente, ocorreu incremento na absorção de nutrientes, acarretando em desenvolvimento da parte aérea. Além disso, os parâmetros de produção da massa seca está intimamente associado à quantidade de N colocado à disposição da planta (MALAVOLTA et al., 1997), podendo ser observado que os tratamentos que receberam as maiores doses de lodo de esgoto produziram mais, e, os tratamentos que não receberam N advindo do lodo de esgoto apresentaram as menores produções (Figuras 6 e 7). Vários autores relataram os efeitos do lodo de esgoto no aumento da massa seca de diferentes culturas como girassol (LOBO, 2006), milho (NOGUEIRA, 2008) e na mamona (SOUTO, 2007).

Efeitos significativos quanto às doses de lodo de esgoto, no acúmulo de fitomassa seca de umbelas de cenoura foram encontrados por Souza (2005), com rendimento máximo de $12,58 \text{ mg planta}^{-1}$ com a adição de $89,59 \text{ t ha}^{-1}$ de lodo de esgoto na base úmida.

Berton et al. (1989) observaram que a produção de massa seca e a absorção de nutrientes pelo milho, em resposta à adição de lodo de esgoto a cinco solos paulistas, aumentaram significativamente de acordo com a dose aplicada, comprovando a potencialidade desse material orgânico como fonte de nutrientes.

Efeito contrário obteve Lopes et al. (2005) trabalhando com alface cultivada com lodo de esgoto, verificaram que o aumento das dosagens proporcionou plantas de alface com menor teor de massa seca.

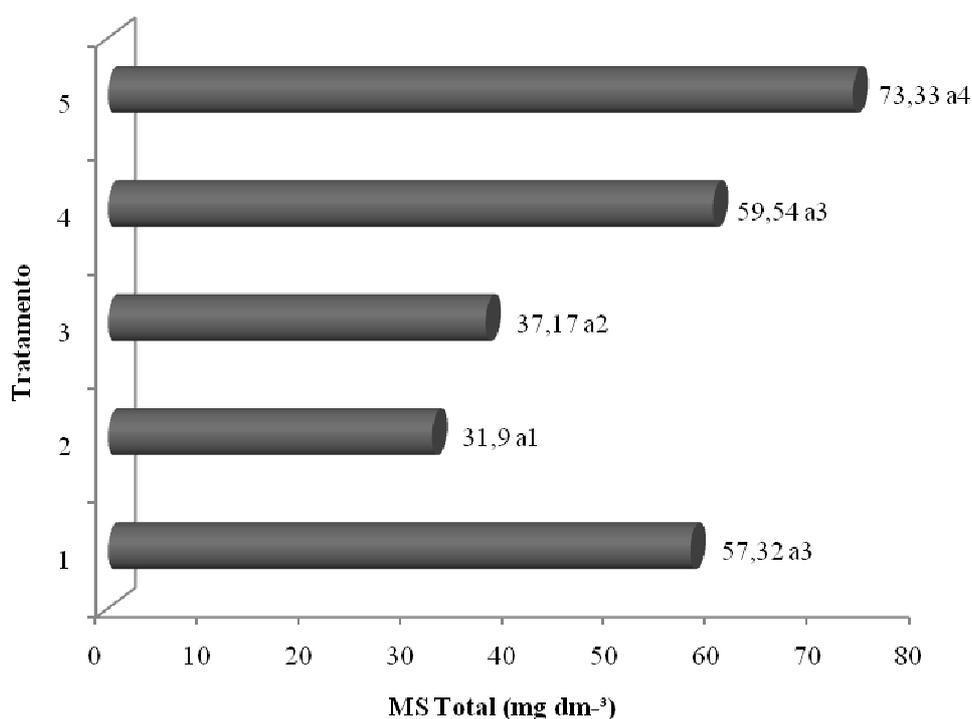


FIGURA 7. Comparação das médias da massa seca total (raízes + parte aérea) do tomateiro cv. Carolina em função de doses de sulfato de amônio e de lodo de esgoto, pelo teste de Skott-knot a 5 % de probabilidade

Número de frutos por planta, produção de frutos por planta e quantidade acumulada de N nas raízes e na parte aérea do tomateiro

Na Tabela 8 estão os resultados da análise de variância referentes às variáveis números de frutos por planta, produção de frutos por planta, quantidade acumulada de N na raiz e quantidade acumulada de N na parte aérea do tomateiro. Através do teste de comparação de médias, constatou-se que as fontes sulfato de amônio e lodo de esgoto induziram as maiores quantidades de frutos por planta, produção de frutos por planta,

quantidade acumulada de N nas raízes e na parte aérea, sendo os menores valores obtidos na ausência de adubação. Estes resultados estão diretamente relacionados ao aumento das massas secas radicular, das folhas, do caule e da parte aérea do tomateiro (Tabela 7).

TABELA 8. Valores médios do número de frutos por planta e produção de frutos por planta de tomateiro em função dos tratamentos. São Cristóvão (SE) - 2009

| Tratamento | Número de frutos | Produção | Quantidade acumulada N | |
|------------|-----------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| | -- número planta ⁻¹ -- | -- g planta ⁻¹ --- | raiz (mg planta ⁻¹) | p/aérea. (mg planta ⁻¹) |
| T1 | 12,85 a3 | 30,89 a3 | 1231,122 a3 | 885,778 a2 |
| T2 | 7,90 a1 | 16,584 a1 | 460,784 a1 | 396,452 a1 |
| T3 | 12,45 a3 | 29,194 a2 | 695,068 a2 | 509,176 a1 |
| T4 | 14,60 a4 | 34,634 a4 | 1112,426 a3 | 1144,568 a3 |
| T5 | 11,426 a2 | 29,058 a2 | 2007,246 a4 | 1482,566 a4 |
| C.V. (%) | 4,73 | 4,64 | 10,19 | 12,51 |

- Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Skott-not a 5% de probabilidade

Quanto às variáveis números de frutos por planta e produção de frutos por planta, o lodo de esgoto proporcionou aumentos significativos até a dose de 2,0 g dm³. Transformando a dose de lodo de esgoto de g dm³ para kg ha⁻¹, verificou-se que a quantidade de N contida no lodo de esgoto equivale a 68,03 kg de N por ha⁻¹, para as variáveis descritas acima, atingindo-se, então, o máximo potencial produtivo do tomateiro. Segundo Sobral et al. (2007), a dose de N recomendada para o tomateiro é de 220 kg ha⁻¹ a mesma foi aplicada no experimento, comparando-se as fontes de nitrogênio via mineral e via lodo de esgoto.

Nota-se que a fonte orgânica atingiu a máxima produção de tomates em valores bem menores que a fonte mineral (Tabela 8 e Figuras 8 e 9).

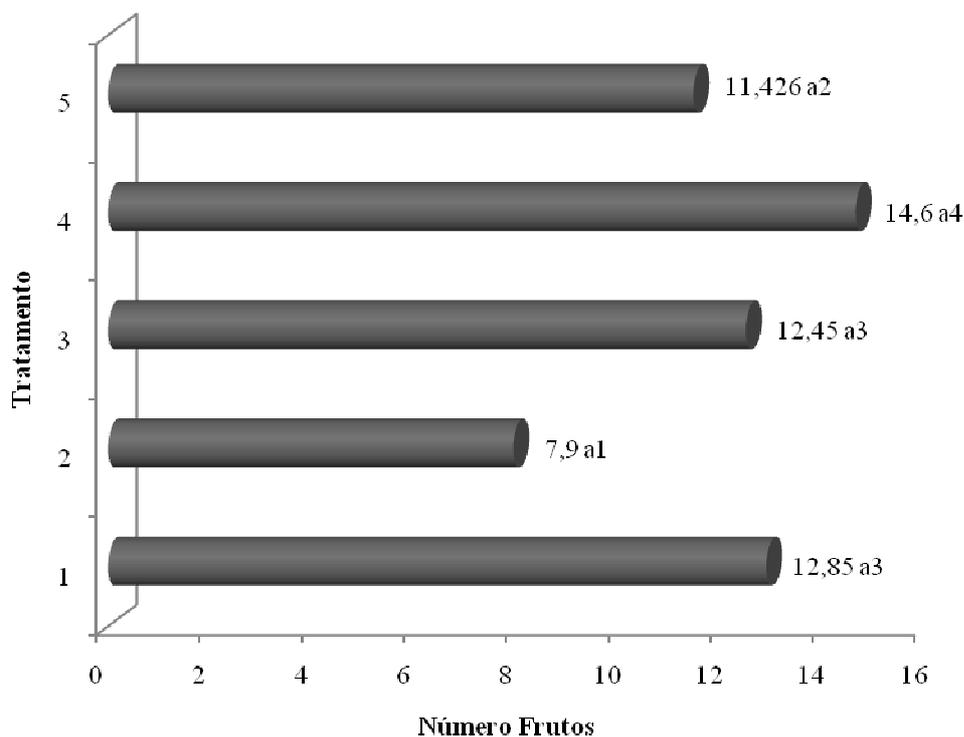


FIGURA 8. Comparação das médias do número de frutos do tomateiro cv. Carolina em função de doses de sulfato de amônio e de lodo de esgoto, pelo teste Skott-knot a 5 % de probabilidade

Estes resultados observados na produção do tomateiro demonstram que o lodo de esgoto pode ser utilizado como fonte de adubação orgânica, substituindo em 100% a quantidade de nitrogênio recomendada, sem prejuízos, em termos de rendimentos, quando comprada com a adubação mineral. Notoriamente, o aumento dos números de frutos por planta e da produção do tomateiro ao aumento das doses de lodo de esgoto estão diretamente relacionados com as maiores produção da massa seca do sistema radicular e da parte aérea do tomateiro (Figuras 5 e 6).

Ganhos em produtividade de grãos de soja foram obtidos com as duas maiores doses de lodo (3 t ha^{-1} e 6 t ha^{-1}). Em média, esses tratamentos produziram 547 e 163 kg ha^{-1} de grãos a mais, respectivamente, do que os tratamentos testemunha e com adubação mineral (VIERA et al., 2005).

Barbosa et al. (2007) obtiveram ganhos de produtividade em milho safrinha, mesmo após safra de aveia e milho, nos tratamentos em que utilizou lodo de esgoto, maiores que a da testemunha, indicando o efeito residual do lodo para produção.

A aplicação de lodo de esgoto no solo aumentou o crescimento das plantas e a produção de frutos de pimentão (*Capsicum annuum* L. cv. Piquillo). O aumento da

biomassa e produção de pimentões com lodo de esgoto tratado pode ter sido influenciado pela maior disponibilidade de nutrientes no solo. No entanto, isto não deve ser motivo para o aumento dos rendimentos relatados porque todos os tratamentos receberam adubação mineral, descartando-se esta hipótese. Além disso, a assimilação de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn e Cu em tecidos foliares na fase vegetativa foi similar ou até superior em plantas controle quando comparadas às plantas tratadas com 12 g de lodo de esgoto vaso⁻¹ (PASCUAL et al., 2008).

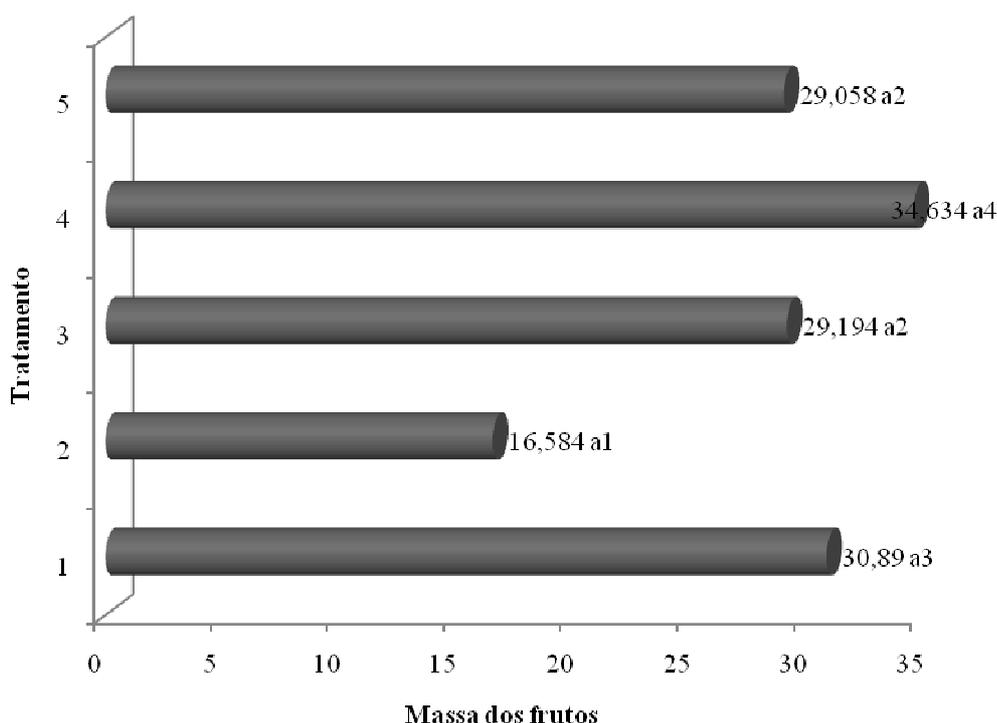


FIGURA 9. Comparação das médias do peso dos frutos (g planta⁻¹) no tomateiro cv. Carolina em função de doses de sulfato de amônio e de lodo de esgoto, pelo teste Skott-knot a 5 % de probabilidade

Com relação às quantidades acumuladas de N (Figura 10) nas raízes e na parte aérea (Figura 11) do tomateiro, o lodo de esgoto proporcionou respostas positivas. A quantidade acumulada de N nas raízes foi crescente, enquanto que, na parte aérea, na maior dose de lodo de esgoto, o tomateiro apresentou um aparente início de estabilidade no acúmulo de N. Gonçalves (2005), avaliando a influência do lodo de esgoto na produtividade do cafeeiro observou que os tratamentos com este resíduo apresentaram concentrações de N nas folhas maiores do que a testemunha, sendo superiores em média

45% (dose L1) e 57% (dose L2), respectivamente; e que o tratamento L2 se aproximou numericamente do tratamento L1, sendo superior em média apenas 8,4%.

Lira (2006) trabalhando com lodo de esgoto em plantação de *Eucalyptus grandis* observou maiores teores de nitrogênio nas folhas em relação a outros componentes da planta.

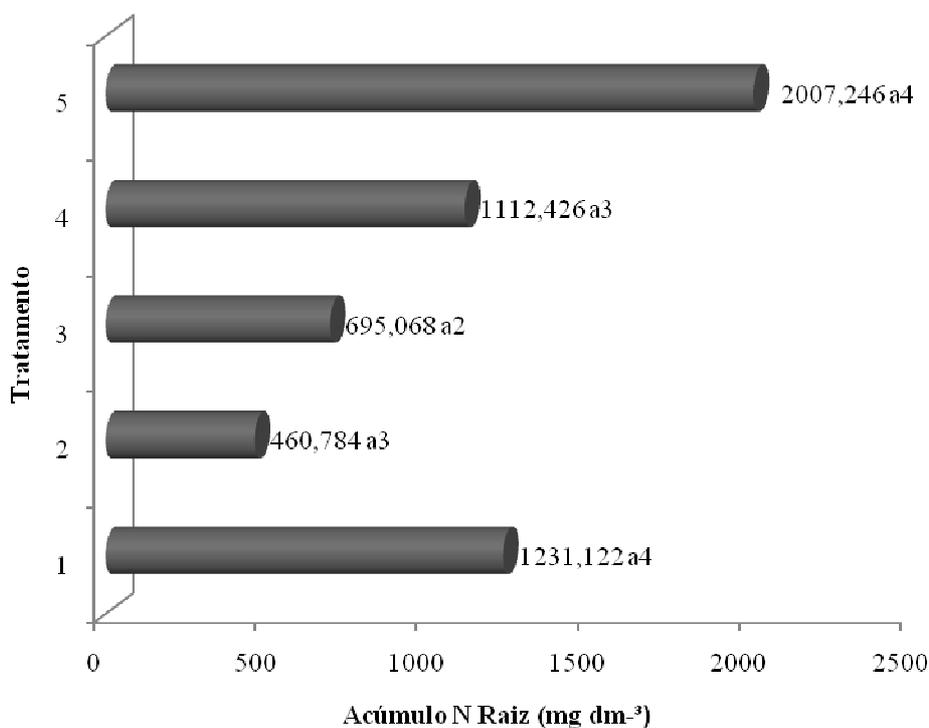


FIGURA 10. Comparação das médias da quantidade acumulada de N (mg dm⁻³) nas raízes do tomateiro cv. Carolina em função de doses de sulfato de amônio e de lodo de esgoto, pelo teste Skott-knot a 5 % de probabilidade

O comportamento das cultivares com relação à quantidade acumulada de nutrientes, discutidos acima, estão diretamente relacionados com o crescimento radicular e com o acúmulo de massas secas nas raízes e na parte aérea (Figuras 4,5 e 6).

Pascual (2008), em seu trabalho sobre o efeito do lodo não-higienizado na fisiologia do pimentão, afirma que a concentração de nutrientes do tecido foliar de não foi correlacionado ao aumento no crescimento ou na produção de pimentas. Além disso, os ácidos húmicos presentes no lodo de esgoto devem ter influenciado positivamente e de forma direta no crescimento e a produção de pimentões. Fernández et al. (2007) destacam que o efeito condicionante de esgoto levou a um aumento do teor de matéria orgânica e da fração húmica do solo, havendo efeito importante e positivo sobre a fertilidade desse.

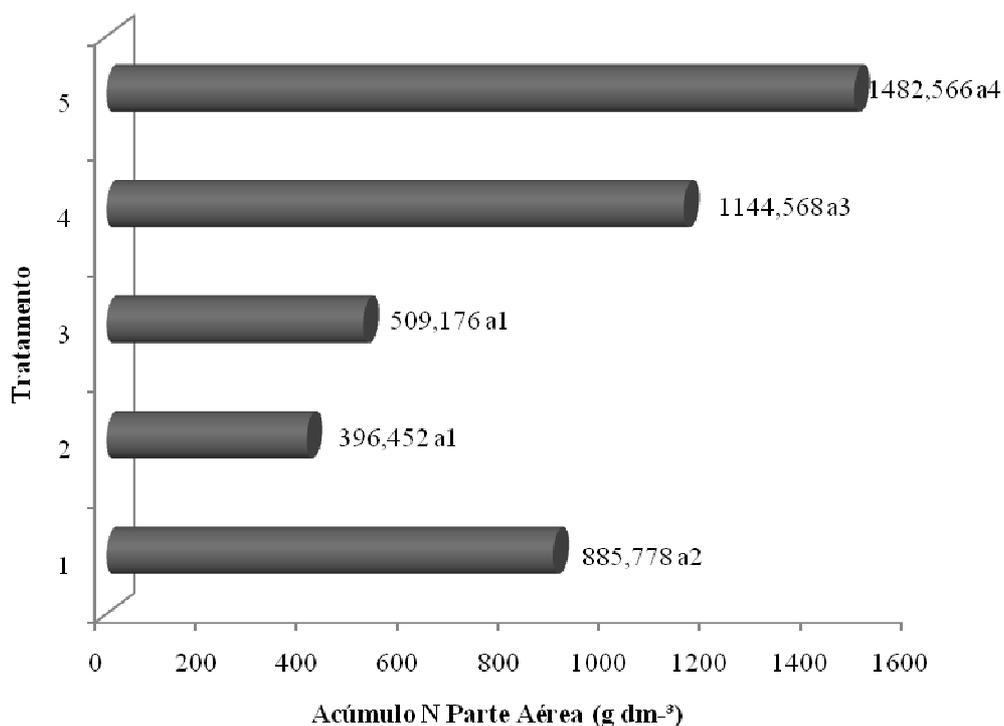


FIGURA 11. Comparação das médias da quantidade acumulada de N (g dm⁻³) na parte aérea do tomateiro cv. Carolina em função de doses de sulfato de amônio e de lodo de esgoto, pelo teste Skott-knot a 5 % de probabilidade

Trocas gasosas

Na tabela 9 estão os dados das médias dos parâmetros fisiológicos do tomateiro cereja no final do florescimento (70 dias após o transplante - DAT) em diferentes doses de lodo de esgoto; observou-se que houve diferença significativa para fotossíntese, condutância estomática e carbono interior, não se verificando o mesmo comportamento para a transpiração.

TABELA 9. Valores médios de transpiração (E), fotossíntese líquida (A), carbono interno (Ci) e condutância estomática (gs) do tomateiro cereja em função dos tratamentos. São Cristóvão (SE) - 2009.

| Tratamento | Transpiração | Condutância estomática | Fotossíntese | Carbono interno |
|------------|---|------------------------|---------------------------------------|-----------------|
| | ----- mmol.m ⁻² .s ⁻¹ ----- | | μmol.m ⁻² .s ⁻¹ | ----- ppm ----- |
| T1 | 3,950 a1 | 289,094 a2 | 13,790 a2 | 273,820 a1 |
| T2 | 3,788 a1 | 223,486 a1 | 18,516 a3 | 312,786 a3 |
| T3 | 3,902 a1 | 235,486 a1 | 15,166 a2 | 302,786 a3 |
| T4 | 4,272 a1 | 331,700 a3 | 13,188 a2 | 290,792 a2 |
| T5 | 3,992 a1 | 283,240 a2 | 8,980 a1 | 263,040 a1 |
| C.V. (%) | 10,29 | 7,63 | 12,83 | 3,58 |

- Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Skott-not a 5% de probabilidade

A transpiração pouco foi influenciada pelos tratamentos aplicados e a condutância estomática foi maior no tratamento 4 (Figuras 12 e 13), no entanto, verificou-se decréscimo das médias dos dois parâmetros avaliados quando utilizou-se o lodo de esgoto na sua maior dose. Ikejiri et al. (2007), estudando avaliação da limitação estomática e mesofílica da assimilação de CO₂ em girassol ornamental cultivado com lodo de esgoto, verificaram diminuição da limitação estomática (S%) com o aumento da dose de lodo de esgoto até 4,6 g L⁻¹ de lodo. Esses autores concluem que tal comportamento sugere que, nutrientes presentes no lodo de esgoto e incorporados às plantas, controlem seu potencial hídrico e dos estômatos, provocando sua abertura ou fechamento.

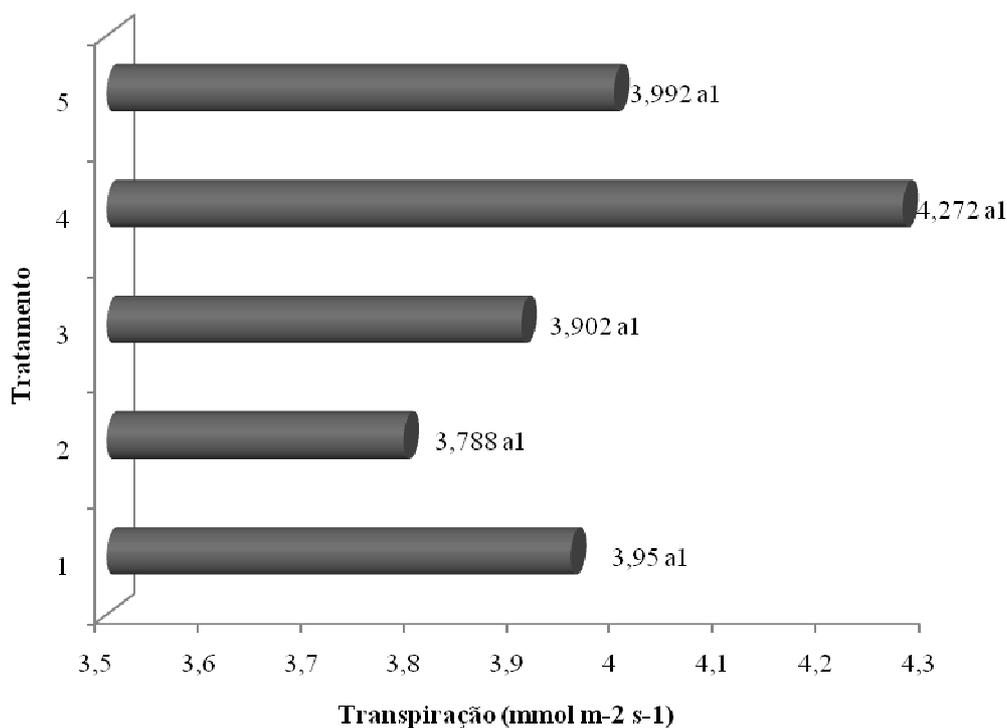


FIGURA 12. Comparação das médias de transpiração ($\text{mmolm}^{-2}.\text{s}^{-1}$) do tomateiro cv. Carolina em função das doses de sulfato de amônio e de lodo de esgoto, pelo teste Skott-knot a 5 % de probabilidade

Efeitos das taxas de biossólido e dos regimes de irrigação produziram mudanças de menor magnitude na condutância estomática (gs) do que na fotossíntese (A). Para *Bouteloua gracilis* (grama azul), com 80 % da capacidade de campo houve aumento de 45 % na gs e 67 % na A, quando a taxa de biossólidos era de $0-18 \text{ Mg ha}^{-1}$. Da mesma forma, quando esta gramínea esteve sob a capacidade de campo de 40 %, o aumento do biossólido entre $7-34 \text{ Mg ha}^{-1}$ diminuiu em 40 % a gs e em 55 % a A. Na gramínea *Hilaria mutica* (tobosagrass), na capacidade de campo de 40 %, a gs caiu para 21 %, considerando que houve queda de A para 49 % com o aumento da taxa de biossólido, entre $0-18 \text{ Mg ha}^{-1}$ (MATA-GONZÁLEZ et al.,2002)

Taiz e Zeiger (2004) referem que o balanço nutricional adequado da planta pode manter sua capacidade fotossintética, o que sugere equilíbrio nutricional das plantas cultivadas com as diferentes concentrações de lodo de esgoto, exceto em sua maior dose, no presente estudo. Deve ser ressaltado que os níveis elevados de amônia e de metais pesados são, entre outras, causas de preocupação quando o destino do lodo de esgoto é agrícola, o que pode explicar o comportamento das plantas, na maior dose de lodo (BETTIOL E CAMARGO, 2000).

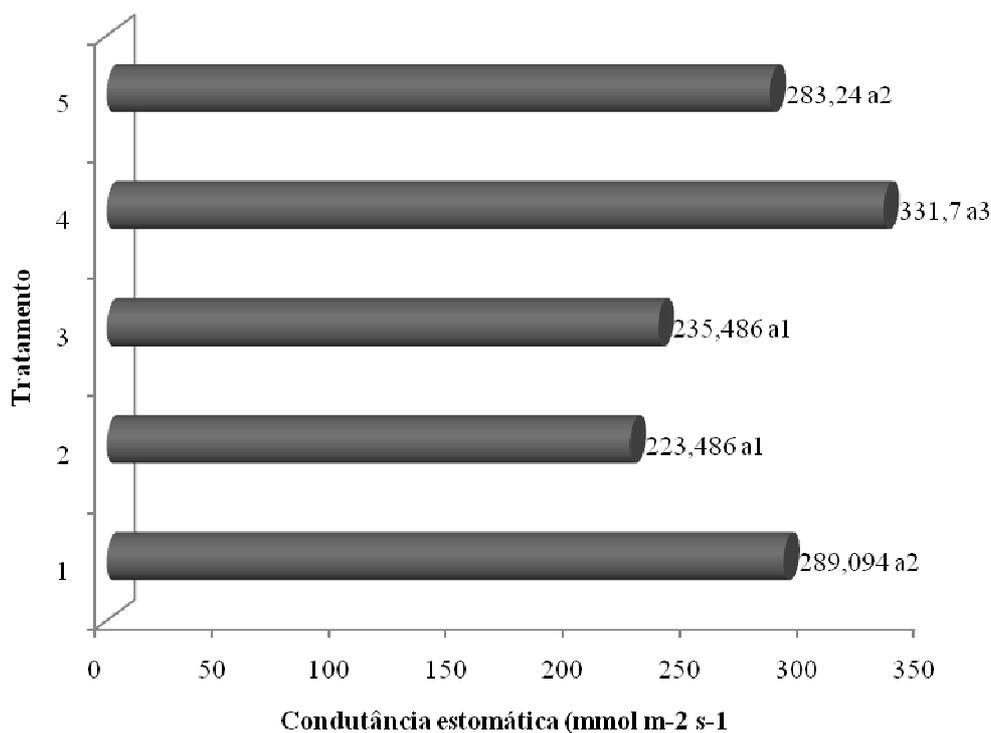


FIGURA 13. Comparação das médias de condutância estomática ($\text{mmol m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) do tomateiro cv. Carolina em função de doses de sulfato de amônio e de lodo de esgoto, pelo teste Skott-knot a 5 % de probabilidade

Com o aumento das doses de lodo de esgoto observou-se queda na concentração do carbono interno das folhas do tomateiro cereja cv. Carolina. Provavelmente, esta concentração interna do carbono no mesófilo foliar esteja ligada à uma maior condutância estomática encontrada na Figura 13. Mais uma vez verifica-se que a assimilação de CO_2 está diretamente relacionada ao aumento da condutância estomática, a qual teve maior média com a concentração da dose de lodo da dose 2, tratamento 4.

Ao mesmo tempo em que houve queda do carbono interno no mesófilo (Figura 14), observa-se, também, diminuição da fotossíntese líquida (Figura 15). Mais uma vez, pode-se inferir que o lodo de esgoto, com o aumento das doses, induziu à abertura estomática, diminuindo a concentração do C no mesófilo e, como consequência, havendo fotossíntese. Tais resultados diverge da hipótese de Cornic (2000), o qual afirma ser a diminuição da capacidade fotossintética um processo de restrição difusiva de CO_2 realizada pelos estômatos, não se tratando de restrição mesofílica.

Para Kerbauy (2004) se a folha ou planta em estudo estiver fotossintetizando, a concentração de CO_2 do sistema diminuirá. Caso não haja reposição de CO_2 absorvido,

sua concentração continuará declinando até atingir o ponto de compensação de CO₂ da fotossíntese. Quando essa concentração de CO₂ é alcançada, a taxa de fotossíntese bruta se igual à taxa de respiração.

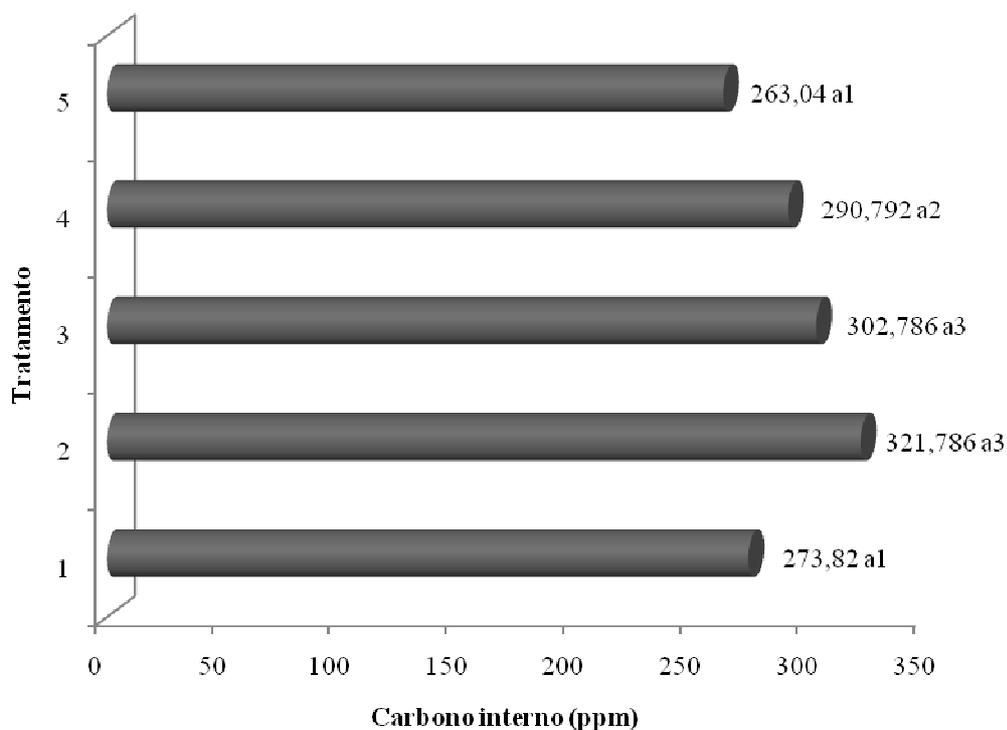


FIGURA 14. Comparação das médias do carbono interno (ppm) do tomateiro cv. Carolina em função de doses de sulfato de amônio e de lodo de esgoto, pelo teste Skott-knot a 5 % de probabilidade

Mata-González et al. (2002), avaliando o impacto fisiológico do uso do lodo em *Bouteloua gracilis* (grama azul) irrigadas a 80% de capacidade de campo, verificaram que essa espécie exibiu um aumento de 67% na fotossíntese líquida com as taxas de lodo de esgoto entre 0 e 18 Mg.ha⁻¹. Entretanto, quando essas taxas aumentaram de 18 Mg ha⁻¹ a 34 Mg ha⁻¹, a fotossíntese líquida caiu para os níveis do tratamento testemunha.

Antolín et al. (2010), estudando a influência de aplicação do lodo de esgoto na capacidade de aclimatação à seca de plantas de alfafa (*Medicago sativa* L. cv. Aragón) verificaram maiores taxas de fotossíntese mas teores de CO₂ intercelular menores do que as plantas sem tratamento, sem diferenças na condutância da folha. Para ele, estas observações sugerem que fatores não-estomáticos foram determinantes na influência da fotossíntese das plantas tratadas com lodo de esgoto. Alguns autores atribuem este

resultado ao maior conteúdo de proteína da folha (como indicado pela concentração de N), avaliado nas plantas tratadas com lodo (MATA-GONZALEZ et al., 2002).

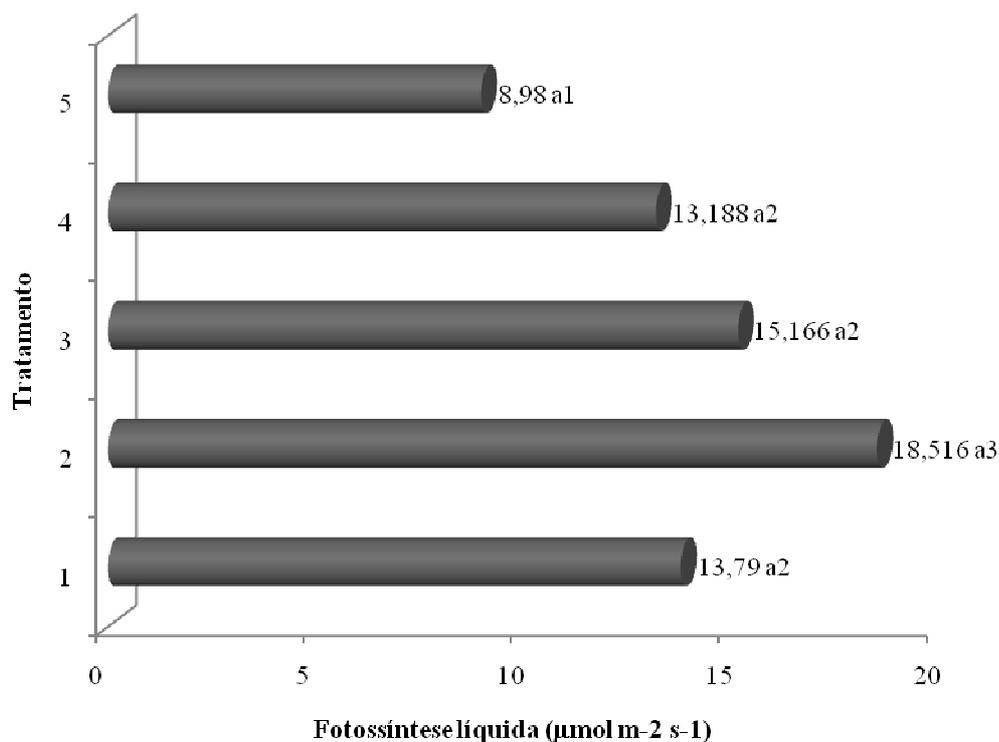


FIGURA 15. Comparação das médias da fotossíntese ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) do tomateiro cv. Carolina função de doses de sulfato de amônio e de lodo de esgoto, pelo teste Skott-knot a 5 % de probabilidade

Esse comportamento pode ser comprovado, observando-se a diminuição da concentração interna de CO_2 (Figura 14) nas plantas cultivadas com diferentes concentrações de lodo de esgoto. Os valores de C, embora com médias baixas, são indicadores de uma maior eficiência fotossintética, já que este elemento participa da fotossíntese. Dessa forma, a condutância estomática está intrinsecamente envolvida ao desempenho fotossintético, uma vez que quanto maior a abertura estomática maior a difusão de dióxido de carbono para a câmara subestomática.

CONCLUSÕES

Os objetivos deste trabalho foram atingidos, dentre os quais o uso eficiente do lodo de esgoto como fertilizante nitrogenado para o cultivo do tomateiro cereja, podendo-se concluir que a aplicação deste resíduo teve influência positiva no crescimento da planta, e em especial, para as variáveis de maior importância econômica para o produtor.

Considerando-se que:

- As doses de lodo de esgoto aumentaram a produção de massa seca radicular e da parte aérea, e afetaram significativamente na quantidade acumulada de N nas raízes e na parte aérea do tomateiro;
- O lodo de esgoto aumentou o número de frutos por planta e a produção do tomateiro;
- O lodo de esgoto pode substituir adubação mineral como fonte de N.
- A transpiração pouco foi influenciada pelo tipo de adubação aplicado e a condutância estomática foi maior no tratamento 4.
- O carbono interno e a taxa de fotossíntese líquida embora tenham valores reduzidos com o aumento das dosagens do lodo de esgoto, demonstram ter havido uma ótima eficiência fotossintética pela planta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTOLÍN, M. C., MURO, I., SÁNCHEZ-DÍAZ, M. Application of sewage sludge improves growth of nodulated alfafa plants under drought conditions. **Environmental and Experimental Botany**, 68, p. 75-82, 2010.

ANDREOLI, C. V., FERNANDES, F. Principais fatores limitantes – metais pesados e patógenos – para o Uso Agrícola do Lodo de Esgotos no Paraná. **Sanare**, Curitiba, v. 7, n. 7, p. 68-72, 1997.

ALTIERI, M. **Agroecologia: as bases científicas da agricultura alternativa**. Rio de Janeiro: PTA/FASE, 240p., 1989.

ALVARENGA, M. A. R. Valor alimentício. In: _____. (Ed.). **Tomate: produção em campo, em casa de vegetação e em hidroponia**. Lavras: UFLA, p. 25-30, 2004.

ARCADIABIO. **Nitrogen use efficient crops**. Disponível em: <<http://www.arcadiabio.com>> Acesso em: 22 de mar. 2010.

ARAÚJO, C.; FONTE, P. C. R.; SEDIYAMA, C. S.; COELHO, M. B. Critérios para a determinação da dose de nitrogênio a ser aplicada no tomateiro em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, n. 25, p. 327-332, 2007.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I. C. B. Avaliações de propriedades físicas de um latossolo vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto por dois anos consecutivos. **Sanare**, Curitiba, v.17, n.17, p.94-101, 2002.

BARBOSA, G. M. de C.; FILHO, J. T.; BRITO, O. R.; FONSECA, I. C. B. Efeito residual do lodo de esgoto na produtividade do milho safrinha. **Revista Bras. de Ciência do Solo**, 31:601-605, 2007, (Nota)

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**. Jaboticabal, SP: FCAV-UNESP, 2003, 41 p.

BERGONCI, J. I.; PAREIRA, P. G. Comportamento do potencial da água na folha e da condutância estomática do milho em função da fração de água disponível no solo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 229-235, 2002.

BERTON, R. S.; CAMARGO, O. A. & VALADARES, J. M. A. S. Absorção de nutrientes pelo milho em resposta a adição de resíduo orgânico a cinco solos paulistas. **R. Bras. Ci. Solo**, 13:187-92, 1989.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna, **Embrapa**. 312p, 2000.

BOEIRA, R. C.; LIGO, M. A. V.; MAXIMILIANO, V. C. B. Emissão de C-CO₂ em amostras de latossolo tratadas com lodos de esgoto – Jaguariúna: **Embrapa Meio Ambiente**, 20 p.; 53, 2009. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento)

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

CARBONELL, G.; PRO, J.; GÓMEZ, N.; BABÍN, M. M.; FERNÁNDEZ, C.; ALONSO, E.; TARAZONA, J. V.; Sewage sludge applied to agricultural soil: Ecotoxicological effects on representative soil organisms. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 72, 1309-1319, 2009.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO SÃO PAULO. **Aplicação de biossólidos em áreas agrícolas: critérios para projeto e operações.** São Paulo, 1999, 30p. (Circular Técnico).

CHIBA, M. C.; MATTIAZZO, M. E.; OLIVEIRA, F. C.; Cultivo de cana-de-açúcar em argissolo tratado com lodo de esgoto. II – Fertilidade do solo e nutrição de planta. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:653-662, 2008.

COGGER, C. G. Seven years of biosolids versus inorganic nitrogen applications to tall fescue, **J. Environ. Qual**, vol. 30: 2188-2194, 2001.

CONAMA: Conselho Nacional do meio ambiente. **Resolução n° 375**, de 29 de agosto de 2006.

CONWAY, G. R. The Properties of Agroecosystems. **Agricultural Systems**. 24:95-117. 1987.

CORNIC, G. Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture not affecting ATP synthesis. **Trends Plant Scie.**, v. 5, p. 187 – 188, 2000.

CURSOS PRECONGRESO. Uso de lodo de esgoto na agricultura. In: **XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, Cancún, México, 2002.

DALMAGO, G. A.; HELDWEIN, A. B.; NIED, A. H.; GRIMM, E. L.; PIVETTA, C. R. Evapotranspiração máxima da cultura de pimentão em estufa plástica em função da radiação solar, da temperatura, da umidade relativa e do déficit de saturação do ar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 785-792, 2006.

DAVID, A.C. **Secagem térmica de lodos de esgoto. Determinação da umidade de equilíbrio.** Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

DE KONNING, A. N. M. **Development and dry matter distribution in glasshouse tomato: a quantitative approach.** Wageningen, (Dissertation –Wageningen Agricultural University), 1994, 240 p.

DYNIA, J. F.; BOEIRA, R. C.; SOUZA, M. D. de. Nitrato no perfil de um latossolo vermelho distroférico cultivado com milho sob aplicações seqüências de lodo de esgoto. In: **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura** / editores técnicos, Wagner Bettiol, Otávio Antonio de Camargo – Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 349 p., 2006.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro nacional de pesquisa de solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília., 1999, 421p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Cultivo do tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) para industrialização. **EMBRAPA – CNPH**, Brasília, jan., 36p., 1994. (Instruções técnicas da Embrapa Hortaliças, 12)

ELLIOTT, H. A.; SINGER, L. M. Effect of water treatment sludge on growth and elemental composition of tomato (*Lycopersicon esculentum*) shoots. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, p. 345-354, 1988.

EVANS, J.R. Photosynthesis and nitrogen relationship in leaves of C₃ plants. **Oecologia**, Berlin, v.78, n.1, p. 9-19, 1989.

FAO, 1989. **Sustainable agricultural production: implications for international agricultural research**. FAO Res. and Tech. Paper 4, 1989, p.131.

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

FERNANDES, F. Estabilização e higienização de lodo biossólidos. In: DUARTE, E. R. **Análise da contaminação parasitária em compostos orgânicos produzidos com biossólidos de esgoto doméstico e resíduos agropecuários**. Ciência Rural, Santa Maria, v.38, n.5, p. 1279-7285, ago, 2008.

FERNÁNDEZ, J. M.; HERNÁNDEZ, D.; PLAZA, C.; POLO, A. Organic matter in degraded agricultural soils amended with composted and thermally-dried sewage sludges. **Sci Total Environ** 378:75–80, 2007.

FERREIRA, M. M. M.; FERREIRA, G. B.; FONTES, P. C. R. Produção do tomateiro em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica em duas épocas de cultivo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 3, p. 468-473, julho-setembro, 2003.

FERREIRA, C. M. **Fundamentos para a implantação e avaliação da produção sustentável de grãos**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2008, 228 p.

FERREIRA, T. L. **Utilização de lodo de esgoto na implantação de cafezal em latossolo vermelho distrófico**. Dissertação (Mestrado em agronomia)- Instituto Agrônômico –IAC. 89 f. 2005.

FIELD, C; MOONEY, H.A. The photosynthesis – relationship in wild plants. In: GIVNISH, T.J. (Ed) **On the economy of plant form and function**. Cambridge: University Press, 1986, p.25-55.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2ª edição revista e ampliada. Viçosa: UFV, 2005, 412 p.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas – o estudo que está por trás do que se vê.** Editora UPF, 2004.

FNP, 2008. **Anuário da agricultura brasileira.** Consultoria e comércio. São Paulo, 502 p.

GERBER, J. M.; SWIADER, J. M.; PECK, T. R. Sewage sludge on vegetables - A mixed Blessing. **Illinois Research**, v. 23, p. 12-13, 1981.

GONÇALVES, F. T. A. **Dinâmica do nitrogênio em solo tratado com lodo de esgoto e cultivado com café.** 2005. Dissertação (Mestrado em Gestão dos Recursos Agroambientais) – Instituto Agrônomo de Campinas, 2005.

GUEDES, M. C. **Ciclagem de nutrientes após aplicação de lodo de esgoto (biossólido) sobre latossolo cultivado com *Eucalyptus Grandis*.** Tese (Doutorado em Silvicultura e Manejo florestal) – Universidade de São Paulo (ESALQ), Piracicaba, 2005, 168 p.

GULMON, S.L.; CHU, C.C. The effects of light and nitrogen on photosynthesis, leaf characteristics and dry matter allocation in the chaparral shrub *Diplacus aurantiacus*. **Oecologia**, Berlin, v. 49, n.2, p.207-212, 1981.

HECHT, S. B. La evolucion del pensamiento agroecologico. **Agroecologia y desarrollo**. Santiago : CLADES, p.2-15, 1991.

HOBSON, G. E.; BEDFORD, L. The composition of cherry tomatoes and its relation to consumer acceptability. **Journal of Horticultural Science**, London, v. 64, n. 3, p. 321-329, 1989.

IKEJIRI, L.; CAMILLI, L.; KLEIN, J. ; RODRIGUES, J. D.; BOARO, C. S. F. Avaliação da limitação estomática e mesofílica da assimilação de co₂ em girassol ornamental cultivado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, supl. 2, p. 855-857, 2007.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal.** 1ª ed. Rio de Janeiro. 2004. 452 p.

KIEHL, E.J.; **Fertilizantes orgânicos.** Piracicaba; Editora Agrônômica “Ceres” Ltda., 1985.

KOZIOSKY, G. V.; CIOCCA, M. de L. S. Energia e sustentabilidade em agroecossistemas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.4, p. 737-745, 2000.

KRAUSS, G.; MORRIS, M. B. **Use of Reclaimed Water and Sludge in Food Crop Production.** National Academy Press, Washington D.C., 1996, 192 p.

LIRA, A. C. S. **Lodo de esgoto em plantações de eucáipto: carbono, nitrogênio e aspectos de fotossíntese,** Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006, 126 f.

LOBO, T. F. **Lodo de esgoto no desenvolvimento, nutrição e produtividade da cultura do Girassol**. Botucatu, 2006, Tese (Agricultura), Faculdade de Ciência Agrônômica, Universidade Estadual Paulista, 'Júlio de Mesquita Filho, 2006, 64p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. – São Carlos: RiMa, 2006, 550p.

LEOPOLD; KRIEDEMANN, In:FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas – o estudo que está por trás do que se vê**. Editora UPF, 2004.

LUDEWIG, U.; KOCH, W. **Amino Acid Transporters in plants**. Center for Plant Molecular Biology, Plant Physiology, University of Tübingen, Auf der Morgenstelle 1, D-72076 Tübingen, Germany.

MAE, T. Physiological nitrogen efficiency in rice: nitrogen utilization, photosynthesis, and yield potential. **Plant and Soil**, The Hague, v.196, n.2, p. 201-210, 1997.

MACHADO, J. O.; BRAZ, L. T. e GRILLI, G. V. G. Caracterização dos frutos de cultivares de tomateiro tipo cereja cultivados em diferentes espaçamentos. In: **43 Congresso Brasileiro de Olericultura**, 2003, Recife (PE). Horticultura Brasileira, Brasília, DF, v.21, n.2, julho, Suplemento 2. CD – ROM, 2003

MARCELIS, L. F. M. Sink strength as a determinant of dry matter partitioning in the whole plant. **Journal of Experimental Botany**, v. 47, p. 1281-1291, 1996.

MARENCO, R.A.; LOPES, N.F. **Fisiologia Vegetal - Fotossíntese, Respiração, Relações Hídricas e Nutrição Mineral**, Ed. UFV, 2007

MARTEN, G. C. Productivity, Stability, Sustainability, Equitability and Autonomy as Properties for Agroecosystem Assessment. **Agricultural Systems**. 26:291-316. 1988.

MARTINS, A. L. C.; BATAGLIA, O. C.; CAMARGO, O. A. & CANTARELLA, H. Produção de grãos e absorção de Cu, Fe, Mn e Zn pelo milho em solo adubado com lodo de esgoto, com e sem calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa – MG, v. 27, n. 3, p. 563-574, maio/jun. 2003.

MATA-GONZÁLEZ, R.; SOSEBEE, R. E.; WAN, C. Physiological impacts of biosolids in desert grasses. **Environmental and Experimental Botany**, 48, p. 139-148, 2002.

MIYAZAWA, M., PAVAN, M. A., MURAOKA, T., CARMO, A. F. S., MELLO, W. J. Análises químicas de tecido vegetal. In: SILVA, F. C. (Org). **Manual de análises química de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 171-223p., 1999.

NASCIMENTO, C. W. A.; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C. e OLIVEIRA, A. B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **R. Bras. Ci. Solo**, 28:385-392, 2004.

NOGUEIRA, T. A. R. **Zinco, Cadmio e Chumbo em plantas de milho e em Latossolo tratado com lodo de esgoto por nove anos consecutivos**. Jaboticabal, Dissertação

(Ciência do Solo), Faculdade de Ciência Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, 2008, 103p.

OLIVEIRA, F. C. **Disposição de lodo e composto de lixo urbano num latossolo vermelho amarelo cultivado com cana-de-açúcar.** Tese (Doutorado em Agronomia/Solo e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

PASCUAL, I; AVILÉS, M; AGUIRREOLEA, J.; SÁNCHEZ-DÍAZ, M. Effect of sanitized and non-sanitized sewage sludge on soil microbial community and the physiology of pepper plants. **Plant Soil**, 310:41–53, 2008.

PATERNIANI, E. Agricultura sustentável nos trópicos. **Estudos avançados** 15 (43), 2001.

PINTO, C. M. F.; CASALI, V. W. D. **Tomate: tecnologia e produção.** 6 (66), p. 8, 1980. (Informe Agropecuário).

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações.** São Paulo, Manole, 2004. 478p.

ROCHA, M. C., AZEREDO, L. S., CÔRREA, F. M., RODRIGUES, R., SILVA, S. L., ABOUDT, A.C. de S. Descritores quantitativos na determinação da divergência genética entre acessos de tomateiro grupo cereja. **Ciência Rural**, Santa Maria, Online., 2008.

ROSOLEM, C. A.; WITACHER, J. P. T.; VANZOLINE, S.; RAMOS, V. J. The significance of root growth on cotton nutrition in an acidic low-P soil. **Plant and Soil**. v.212, p.185-190, 1999.

SEPLAN. **Secretaria de Planejamento.** Boletim técnico de informações gerenciais, 2009.

SCHOWANEK, D., CARR, R., DAVID, H., DOUBEN, P., HALL, J., KIRCHMANN, H., PATRIA, L., SEQUI, P., SMITH, S., WEBB, S., 2004. A risk-based methodology for deriving quality Standards for organic contaminants in sewage sludge for use in agriculture. Conceptual framework. **Regul. Toxicol. Pharmacol.** 40, 227–251, 2004.

SILVA, J. B. C.; GIORDANO, L. B. (Org.). Cultivo de tomate para industrialização. Brasília, DF: Sistemas de Produção, 2ª edição, **Embrapa Hortaliças**, 2006.

SOBRAL, L. F. **Recomendações de corretivos e fertilizantes no Estado de Sergipe.** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiro, 251p., 2007

SOUTO, L. S. **Resposta da cultura da mamona a fertilização com lodo de esgoto.** Botucatu, Tese (Agricultura), Faculdade de Ciência Agrônômica, Universidade Estadual Paulista, ‘Júlio de Mesquita Filho’, 2007, 75 p.

SOUZA, A. F.; MESQUITA FILHO, M. V. de; MEIRELES, S. M. Teores de nutrientes e metais pesados na fitomassa seca de flores de cenoura sob influência de biossólido

aplicado em solo do cerrado. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, n. 2, ago. 2005. Suplemento 2. CD-ROM.

SOUZA, W. J. O. de. **Formas de fósforo em solo tratado com biossólido**. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 92 f., Jaboticabal, 2004.

STEVENSON, F.J. Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients, **John Wiley & Sons**, New York, p. 167-178, 1985.

STRZALKA, K.; KETNER, P. Trocas de CO₂ nas plantas. In: PRASAD, M.N.V. **Plant Ecophysiology**. New York: John Wiley & Sons, p. 393-456, 1997.

SUBLER, S. J., DOMINGUEZ, e C. A. EDWARDS. Assessing biological activity of agricultural biostimulants: Bioassays for plant growth regulators in three soil additives. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, 29:859–866. 1998.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3 ed. Porto Alegre, Artmed., 2004, 719 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 613-622, 2009, 848 p.

TENHUNEN, J. D.; PEARCY, R. W.; LARANCE, O. L. Diurnal variation in leaf conductance gas exchange in natural environments. In: ZEIGER, E.; FARQUHAR, G.; COWAN, I. (Eds.). **Stomatal function**. Stanford: Stanford University, 1987. p. 323-351.

TEO, Y. H., BEYROUTY, C. A., NORMAN, R. J., GBUR, E. E. Nutrient uptake relationship to root characteristics of rice. **Plant Soil**, v.171, p.297-302, 1995.

TIFFNEY, B. H., NIKLAS, K. J. Clonal growth in land plants: a palaeobotanical perspective. In: JACKSON, J. B. C., BUSS, L. W., COOK, R. E. (Ed.). **Population biology and evolution of clonal organisms**. New Haven: Yale University Press, p.35-66, 1985.

TSUTIYA, M.T. Alternativas de disposição final de biossólidos. In: TSUTIYA, M.T.; CAMPARINI, J.B.; ALEM SOBR^o, P.; HESPANHOL, I.; DE CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J. & MARQUES, M.O., eds. **Biossólidos na agricultura**. São Paulo, SABESP, p.133-178, 2001.

VIANA, C.L.B. **Potencialidade do uso agrícola do lodo de esgoto de sistema de valo de oxidação em Sergipe**. Dissertação (mestrado). Núcleo de Pós-Graduação e Estudos em Recursos Naturais, Universidade Federal de Sergipe, 2006.

WONG, S.C. Elevated atmospheric partial pressure of CO₂ and plant growth. I. Interaction of nitrogen nutrition and photosynthetic capacity in C₃ and C₄ plants. **Oecologia**, Berlin, v.44, p. 68-74, 1979.

ZHANG, X., ERVIN, E.H., EVANYLO, G.K., e HAERING, K.C. Impact of Biosolids on Hormone Metabolism in Drought-Stressed Tall Fescue. Publicado em **Crop Sci.**, 49:1893–1901, 2009.

ANEXO

TABELA A.1 Resultado da Análise do Lodo

| MÉDIAS/ ELEMENTO | NITRITO | NITRATO | AMÔNIA | NITROGÊNIO TOTAL |
|---------------------|---------|---------|--------|---------------------|
| | 1,7 | 3,18 | 342,65 | 56613,3 |

RESUMO DE CÁLCULO

Considerando

$$FM = 30\%$$

$$Nd = (FM/100) \times (N_{KJ} - N_{NH_4^+}) + N_{NH_4^+} + (N_{NO_3^-} + N_{NO_2^-})$$

$$Nd = 0,30 \times (56613 - 342,65) + 342,65 + (3,18 + 1,7)$$

$$Nd = 0,30 \times 56270 + 342,65 + 4,88$$

$$Nd = 16,881 + 347,53$$

$$Nd = 17.228,53 \text{ mg Kg} \quad \text{ou} \quad 17,22 \text{ kg t}^{-1}$$

Taxa de aplicação Lodo/ha

$$TA \text{ (Mg ha}^{-1}\text{)} = N_{recom} / N_{disp}$$

$$TA = \frac{220}{17,22} = 12,77 \text{ t. ha}^{-1}$$

Cálculo para vaso de 5 cm³

$$Ta = 12,77 \times 1000.000$$

$$Ta = 12.770.000$$

$$\text{Sendo: } 1 \text{ ha} \times 0,20 \text{ cm (prof)} = 2000,000$$

$$12.770.000 \text{ ----- } 2000.000 \text{ dm}^3$$

$$X \text{ ----- } 5 \text{ dm}^3$$

$$X = 31,92 \text{ g}$$