

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

**EFEITO DE EFLUENTE DE ESGOTO TRATADO E LODO DE
ESGOTO COMPOSTADO NO SOLO E NAS CULTURAS DE TRIGO E
SOJA**

ANA CAROLINA BARBOSA KUMMER

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

BOTUCATU - SP
Dezembro – 2013

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

**EFEITO DE EFLUENTE DE ESGOTO TRATADO E LODO DE
ESGOTO COMPOSTADO NO SOLO E NAS CULTURAS DE TRIGO E
SOJA**

ANA CAROLINA BARBOSA KUMMER

Orientador: Prof. Dr. Helio Grassi Filho

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

BOTUCATU - SP
Dezembro – 2013

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

K96e Kummer, Ana Carolina Barbosa, 1982-
Efeito de efluente de esgoto tratado e lodo de esgoto
compostado no solo e nas culturas de trigo e soja / Ana
Carolina Barbosa Kummer. - Botucatu : [s.n.], 2013
xiv, 178 f. : il., color., grafs., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Fa-
culdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2013
Orientador: Helio Grassi Filho
Inclui bibliografia

1. Águas residuais de irrigação. 2. Lodo de esgoto. 3.
Nitrogênio na agricultura. 4. Trigo. 5. Soja. I. Grassi
Filho, Helio. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciên -
cias Agrônômicas. III. Título.

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "EFEITO DE EFLUENTE DE ESGOTO TRATADO E LODO DE ESGOTO
COMPOSTADO NO SOLO E NAS CULTURAS DE TRIGO E SOJA"

ALUNA: ANA CAROLINA BARBOSA KUMMER

ORIENTADOR: PROF. DR. HELIO GRASSI FILHO

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. HELIO GRASSI FILHO



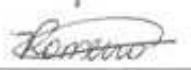
PROFA. DRA. SIMONE DAMASCENO GOMES



PROF. DR. RODRIGO DOMINGUES BARBOSA



PROF. DR. EDUARDO LUIZ DE OLIVEIRA



PROF. DR. JULIO CESAR THOALDO ROMEIRO

Data da Realização: 16 de dezembro de 2013

*“Aquele água era muito mais que um alimento. Nascera da caminhada sob as estrelas,
do canto da roldana, do esforço do meu braço”.*

Saint-Exupéry, Antoine de, 1900-1944

Vocês foram o alicerce para que eu pudesse enfrentar as subidas e descidas da vida, e até
aqui caminhamos juntos.

O amor e as experiências compartilhadas até o início desse doutorado, serviram de
alavanca para que eu pudesse alcançar a alegria de chegar ao destino sonhado e projetado.

O meu agradecimento a vocês, que mesmo distante sempre estiveram presente, me
apoiando nos bons e maus momentos, transmitindo-me a força e o amor necessários para
seguir o meu caminho.

Divido com vocês os méritos desta conquista, porque ela também pertence a vocês.

Aos meus pais,
Erli e Terezinha
(*in memoriam*)

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus, que se fez presente em todos os momentos da minha vida, dando-me a força necessária para enfrentar o meu caminho e seguir.

Aos meus pais por todo amor que dedicaram à mim em seus anos de vida, em especial à minha mãe pelo exemplo de determinação, dedicação, força, generosidade, amor e por ser a grande incentivadora do meu trabalho, dos meus estudos e acima de tudo da minha felicidade.

Ao professor Dr. Helio Grassi Filho, pela orientação, confiança, paciência, atenção e pelos ensinamentos transmitidos no decorrer deste doutorado, os quais foram fundamentais para aprimorar meus conhecimentos.

A Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – FCA/UNESP, campus de Botucatu/SP, e ao Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem pela oportunidade de realizar o curso de doutorado.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo.

A todos os professores da FCA/UNESP, em especial aos professores doutores João Carlos Cury Saad, Eduardo Luiz de Oliveira, Antonio Evaldo Klar e João Luís Zocoler, com os quais aprendi muito nesse período.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural e do Departamento de Solos e Recursos Ambientais, em especial ao Dejair, Rafaela, Israel, José Carlos, Adilson, Antônio, Silvia, Adriana e Pedrinho, por todo auxílio, apoio e atenção no decorrer dos experimentos e nesses anos de estudo e pesquisa.

Aos ex e atuais orientados do Prof. Dr. Helio Grassi Filho: Lais Lorena Queiroz Moreira e Rodolpho Artur de Souza Lima, por auxiliarem na condução do experimento e no processamento das amostras para análise em laboratório, em especial ao Thomaz Figueiredo Lobo, por toda paciência, orientação, explicações e principalmente pela humildade e boa vontade em transmitir seus conhecimentos.

Aos amigos de longa data Douglas, Cacea, Silmara e André, que sempre estiveram na torcida pelas minhas conquistas e meu bem estar.

A todos os amigos que conquistei em Botucatu/SP, uns já não tão próximos, mas que compartilharam essa caminha, trocando experiências, ajuda nos experimentos, atenção e alegrias, o meu muito obrigado.

A Adriana Tanaka, Raimundo, Ivana, Thaise, em especial às amigas Lilian, Susiane e Françoise por todo carinho, amizade, companheirismo, incentivo e ajuda nesses anos de estudo. Com certeza vocês fizeram a diferença e tornam meus dias mais divertidos em Botucatu.

A todos os amigos e colegas de pós-graduação pela convivência e aqueles que de forma direta ou indireta contribuíram para realização desse trabalho.

Aos meus familiares, que sempre estiveram na torcida, orando, me apoiando e incentivando para que eu concluísse mais esta etapa.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	1
SUMMARY	3
1 INTRODUÇÃO.....	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1 Importância do uso de águas de qualidade inferior na agricultura	7
2.2 Reúso de água para a produção agrícola.....	9
2.3 Lodo de estação de tratamento de águas residuárias na agricultura	12
2.4 Características e importância do trigo	16
2.5 Características e importância da soja.....	18
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1 Local do estudo	20
3.2 Clima.....	20
3.3 Condições experimentais	20
3.4 Delineamento experimental	21
3.5 Caracterização do solo	23
3.5 Origem e característica do lodo de esgoto compostado.....	24
3.6 Origem e característica do efluente de esgoto tratado	25
3.7 Irrigação: sistema e manejo	28
3.8 Medições micrometeorológicas	30
3.9 Ensaio I: cultura do trigo	32
3.9.1 Operações de instalação do ensaio	32
3.9.2 Parâmetros avaliados.....	36
3.9.2.1 Componentes de desenvolvimento e produção	36
3.9.2.2 Análise química nas folhas.....	37
3.9.2.3 Análise química nos grãos	37
3.10 Ensaio II: cultura da Soja.....	38
3.10.1 Operações de instalação do ensaio	38
3.10.2 Parâmetros avaliados.....	41
3.10.2.1 Componentes de desenvolvimento e produção	41
3.10.2.2 Análise química nas folhas.....	42

3.10.2.3 Análise química nos grãos	43
3.11 Análise química no solo.....	43
3.12 Análise estatística	44
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1 Cultura do trigo	45
4.1.1 Desenvolvimento e componentes de produção do trigo.....	45
4.1.2 Diagnose foliar em plantas de trigo.....	58
4.1.3 Acúmulo de nutrientes e metais pesados em grãos de trigo.....	68
4.2 Cultura da Soja.....	76
4.2.1 Desenvolvimento e componentes de produção da soja.....	76
4.2.2 Diagnose foliar em plantas de soja.....	89
4.2.3 Acúmulo de nutrientes e metais pesados nos grãos de soja	97
4.3 Análise química do solo.....	104
4.3.1 pH, matéria orgânica (M.O.), CTC e acidez potencial.....	104
4.3.2 Macronutrientes no solo: P, K, Ca, Mg e S.....	110
4.3.3 Soma de bases (SB) e saturação por bases (V%).....	116
4.3.4 Micronutrientes no solo: B, Cu, Fe, Mn e Zn	119
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	125
6 CONCLUSÕES	126
7 REFERÊNCIAS	127
APÊNDICE	141

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Croqui da área experimental: disposição dos vasos dentro de cada parcela experimental no ambiente protegido.	22
Figura 2. Estação de Tratamento de Esgotos – ETE, localizada na Fazenda Experimental Lageado, FCA/UNESP, campus de Botucatu/SP (coordenadas 22°49’55”S, 48°25’49”OGr. e 762m de altitude).	25
Figura 3. Abastecimento do reservatório de EET por carreta tanque (A); Reservatório para armazenamento do EET e ponto de coleta das amostras para análise química (B).	26
Figura 4. Variação diária da temperatura do efluente de esgoto tratado (EET) no interior do reservatório durante o período experimental de realização do ensaio com a cultura do trigo, com registros a partir de 05/06/2012 até 30/08/2012.	28
Figura 5. Variação diária da temperatura do efluente de esgoto tratado (EET) no interior do reservatório durante o período experimental de realização do ensaio com a cultura da soja, com registros a partir de 15/12/2012 até 30/03/2013.	28
Figura 6. Parte da rede hidráulica instalada na parcela experimental irrigada com efluente de esgoto tratado (A) e gotejador autocompensante adaptado na extremidade do microtubo (B).	29
Figura 7. Variação diária da temperatura (Tar, °C) no interior do ambiente protegido durante o período experimental de realização do ensaio com a cultura do trigo, de 21/05/2012 a 30/08/2012.	31
Figura 8. Variação diária da umidade relativa do ar (Uar, %) no interior do ambiente protegido durante o período experimental de realização do ensaio com a cultura do trigo, de 21/05/2012 a 30/08/2012.	31
Figura 9. Variação diária da temperatura (Tar, °C) no interior do ambiente protegido durante o período experimental de realização do ensaio com a cultura da soja, de 26/11/2012 a 08/03/2013.	32
Figura 10. Variação diária da umidade relativa do ar (Uar, %) no interior do ambiente protegido durante o período experimental de realização do ensaio com a cultura da soja, de 26/11/2012 a 08/03/2013.	32
Figura 11. Solo escarificado (A) e “gabarito” utilizado para semeadura do trigo (B).	34
Figura 12. Sulco feito no solo para semeadura da soja (A) e plântulas de soja seis dias após a semeadura, antecedendo o desbaste.	41

Figura 13. Plantas de trigo dos tratamentos T0 e T2 da parcela irrigada com água potável aos 40 DAE, vista lateral (A) vista superior (B).....	47
Figura 14. Número de perfilhos, massa seca da parte aérea, número de espigas por planta, comprimento de espiga, número de espiguetas por espiga, número de grãos por espiga, massa de grãos por espiga e rendimento de grãos, em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente à 0, 80, 120, 160 e 200 kg ha ⁻¹ de N.....	48
Figura 15. Plantas de trigo dos tratamentos T0 e T4 da parcela irrigada com água potável (A) e da parcela irrigada com efluente de esgoto tratado (B).....	59
Figura 16. Teor foliar de macronutrientes: N, P, K, Ca, Mg e S no trigo, em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente à 0, 80, 120, 160 e 200 kg ha ⁻¹ de N.....	61
Figura 17. Teor foliar de micronutrientes: Cu, Fe e Zn no trigo, em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente à 0, 80, 120, 160 e 200 kg ha ⁻¹ de N.....	66
Figura 18. Acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg) e enxofre (S), em grãos de trigo, em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente à 0, 80, 120, 160 e 200 kg ha ⁻¹ de N.....	69
Figura 19. Acúmulo de boro (B) ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn), bário (Ba), molibidênio (Mo) e níquel (Ni), em grãos de trigo, em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente à 0, 80, 120, 160 e 200 kg ha ⁻¹ de N.....	74
Figura 20. Altura de planta aos 40, 60 e 90 DAE, em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente à 0, 66, 99, 132 e 165 kg ha ⁻¹ de N.	78
Figura 21. Diâmetro da haste principal aos 40 e 97 DAE, em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente à 0, 66, 99, 132 e 165 kg ha ⁻¹ de N.....	80
Figura 22. Massa seca da parte aérea, massa seca da raiz, número de nódulos por raiz de planta, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, rendimento de grãos por planta e massa de 100 grãos, em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente à 0, 66, 99, 132 e 165 kg ha ⁻¹ de N.	83
Figura 23. Teor foliar de macronutrientes: N, P, K, Ca, Mg e S na soja, em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente à 0, 66, 99, 132 e 165 kg ha ⁻¹ de N.....	93

Figura 24. Teor foliar de micronutrientes: B, Cu, Fe e Zn na soja, em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente à 0, 66, 99, 132 e 165 kg ha ⁻¹ de N.....	96
Figura 25. Acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) em grãos de soja, em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente à 0, 66, 99, 132 e 165 kg ha ⁻¹ de N.	100
Figura 26. Acúmulo de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), bário (Ba) e molibdênio (Mo), em grãos de soja, em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente à 0, 66, 99, 132 e 165 kg ha ⁻¹ de N.	103
Figura 27. Atributos químicos médios do solo: pH, CTC, matéria orgânica (M.O.) e acidez potencial (H+Al) em função do lodo de esgoto compostado (%).	106
Figura 28. Atributos químicos médios do solo: P, K e Ca no solo, em função do lodo de esgoto compostado (%).	111
Figura 29. Atributos químicos médios do solo: Mg e S, em função do lodo de esgoto compostado (%).	115
Figura 30. Atributos químicos médios do solo: soma de bases (mmol _c dm ⁻³) e saturação por bases (V%), em função do lodo de esgoto compostado (%).	118
Figura 31. Micronutrientes no solo: Cu (mg dm ⁻³) e Fe (mg dm ⁻³), em função do lodo de esgoto compostado (%).	121
Figura 32. Micronutrientes no solo: Mn (mg dm ⁻³) e Zn (mg dm ⁻³), em função do lodo de esgoto compostado (%).	124

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Características químicas iniciais do solo utilizado nos experimentos.....	23
Tabela 2. Característica química do lodo de esgoto compostado.....	25
Tabela 3. Estimativa da quantidade de nitrogênio e fósforo acrescidos no ciclo da cultura do trigo via irrigação com efluente de esgoto tratado.	27
Tabela 4. Estimativa da quantidade de nitrogênio e fósforo acrescidos no ciclo da cultura da soja via irrigação com efluente de esgoto tratado.....	27
Tabela 5. Resultados médios da análise química do solo antecedendo à instalação do experimento com a cultura do trigo.....	35
Tabela 6. Resultados médios da análise química do solo antecedendo à instalação do experimento com a cultura da soja.	39
Tabela 7. Resultados médios do número de perfilhos em plantas de trigo.	46
Tabela 8. Resultados médios da massa seca da parte aérea (MSPA), número de espigas por planta (NEP), comprimento de espiga e número de espiguetas por espiga (NeE).	50
Tabela 9. Resultados médios dos componentes de produção: número de grãos por espiga (NGE), massa de grãos por espigas (MGE), rendimento de grãos por planta (RGP) e massa de 100 grãos (M100), para a cultura do trigo.	54
Tabela 10. Teor foliar de macronutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), em plantas de trigo.....	60
Tabela 11. Teor foliar de micronutrientes: boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) em plantas de trigo.....	65
Tabela 12. Acúmulo de macronutrientes (N, P, K, Mg e S) nos grãos de trigo.	68
Tabela 13. Acúmulo de micronutrientes (B, Fe e Mn) nos grãos de trigo.	72
Tabela 14. Acúmulo de metais pesados (Cu, Zn, Ba, Mo, Ni) em grãos de trigo.....	73
Tabela 15. Resultados médios da altura de plantas de soja (cm) aos 40, 60 e 97 dias após a emergência (DAE).....	77
Tabela 16. Resultados médios do diâmetro da haste principal (mm) em plantas de soja, aos 40, 60 e 97 dias após a emergência (DAE).....	79

Tabela 17. Resultados médios do número de nós vegetativos na haste principal em plantas de soja, aos 40 e 60 dias após a emergência (DAE).....	80
Tabela 18. Resultados médios da massa seca da parte aérea (g planta^{-1}) em plantas de soja, aos 40 e 60 dias após a emergência (DAE).....	81
Tabela 19. Resultados médios da massa seca da parte radicular (g) e número de nódulos em raízes de plantas de soja.	84
Tabela 20. Resultados médios do número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), número de grãos por vagem (NGV), rendimento de grãos, e massa de 100 grãos (M100) em plantas de soja.....	87
Tabela 21. Teor foliar de macronutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), em plantas de soja.....	90
Tabela 22. Teor foliar de micronutrientes: boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) em plantas de soja.	95
Tabela 23. Acúmulo de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nos grãos de soja.....	98
Tabela 24. Acúmulo de micronutrientes (B, Fe e Mn) nos grãos de soja.	101
Tabela 25. Acúmulo de metais pesados (Cu, Zn, Ba, Mo, Ni) em grãos de soja.....	102
Tabela 26. Resultados médios de pH do solo para as três épocas de avaliação.....	105
Tabela 27. Resultados médios do teor de matéria orgânica (g dm^{-3}) do solo.....	107
Tabela 28. Resultados médios da CTC do solo.....	108
Tabela 29. Resultados médios da acidez potencial (H^+Al) do solo.....	109
Tabela 30. Resultados médios da concentração de fósforo (mg dm^{-3})no solo.....	110
Tabela 31. Resultados médios da concentração de potássio (mg dm^{-3}) no solo.....	113
Tabela 32. Resultados médios da concentração de cálcio (mg dm^{-3}) no solo.....	114
Tabela 33. Resultados médios da concentração de magnésio (mg dm^{-3}) no solo.....	114
Tabela 34. Resultados médios da concentração de enxofre (mg dm^{-3}) no solo.....	116
Tabela 35. Resultados médios da soma de bases (mg dm^{-3}) no solo.....	117
Tabela 36. Resultados médios da saturação por bases (V%) no solo.....	117
Tabela 37. Resultados médios da concentração de boro ($\mu\text{g dm}^{-3}$)no solo.....	120

Tabela 38. Resultados médios da concentração de cobre (mg dm^{-3}) no solo.....	120
Tabela 39. Resultados médios da concentração de ferro (mg dm^{-3}) no solo.....	122
Tabela 40. Resultados médios da concentração de manganês (mg dm^{-3}) no solo.....	123
Tabela 41. Resultados médios da concentração de zinco (mg dm^{-3}) no solo.	123

EFEITO DE EFLUENTE DE ESGOTO TRATADO E LODO DE ESGOTO COMPOSTADO NO SOLO E NAS CULTURAS DE TRIGO E SOJA.

Botucatu, 2013. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade estadual Paulista.

Autor: Ana Carolina Barbosa Kummer

Orientador: Helio Grassi Filho

RESUMO

O crescente aumento da população tem elevado a demanda pela água, principalmente na agricultura irrigada, atividade que utiliza em torno de 70% de toda água consumida atualmente. As retiradas permanentes somadas aos usos múltiplos da água contribuem para o aumento de resíduos tais como esgotos domésticos e lodo de esgoto, que por conterem elevado teor de matéria orgânica e nutrientes, tornam-se uma alternativa promissora de uso na agricultura, principalmente quanto à substituição ou complementação dos fertilizantes agrícolas tradicionais que muitas vezes possuem custo elevado. A fim de garantir a disposição e reciclagem adequadas destes, no Brasil, várias linhas de pesquisa tornam-se necessárias, entre elas o reúso agrícola. Nesse sentido, objetivou-se com este estudo avaliar o efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado – EET e da adubação com lodo de esgoto compostado - LEC, como substituto parcial, total e em dose superior à adubação nitrogenada convencional, sobre os parâmetros de desenvolvimento e de produção das culturas de trigo e soja, além dos efeitos sobre os teores nutricionais nas folhas (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn), acúmulo de metais pesados, macro e micronutrientes nos grãos (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Mn, Cu, Zn, Ba, Mo, Ni, As, Cd, Pb, Cr, Hg e Se) bem como seus efeitos nas características químicas do solo (pH, M.O., CTC, H+Al, P, K, Ca, Mg, S, SB, V%, B, Cu, Fe, Mn e Zn). O estudo foi conduzido em ambiente protegido, no Departamento de Solos e Recursos Ambientais, pertencente à FCA/UNESP, campus de Botucatu/SP. Adotou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado em arranjo de parcelas subdivididas, empregando-se nas parcelas 2 tipos de água para irrigação (água potável - AP e EET), e nas subparcelas 7 níveis de adubação nitrogenada, perfazendo um total de 14 tratamentos com 10 repetições. Os

tratamentos estudados dentro de cada parcela foram: T0 - sem adubação nitrogenada; T1 - 100% de adubação nitrogenada mineral; T2 - 50% de adubação nitrogenada mineral mais 50% de adubação nitrogenada proveniente do LEC; Os T3, T4, T5 e T6 corresponderam à 100, 150, 200 e 250% da adubação nitrogenada proveniente do LEC, respectivamente. Os dados relativos às variáveis estudadas (componentes de desenvolvimento e produção, análises químicas do solo, planta e grãos) foram submetidos à análise de variância (ANAVA), sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Em etapa seguinte, para os tratamentos que receberam somente lodo de esgoto compostado, adotou-se análise de regressão. Os resultados obtidos neste estudo mostraram que a substituição da adubação nitrogenada convencional pelo lodo de esgoto compostado, promoveu incremento na produtividade das culturas. Na soja, o lodo teve efeito negativo sobre os componentes de desenvolvimento da cultura e inibiu a formação de nódulos nas raízes, no entanto elevou o rendimento de grãos. Observou-se incrementos significativos nos teores foliares e no acúmulo nos grãos de macro e micronutrientes, nas duas culturas. O acúmulo de metais pesados, principalmente o Zn, nos grãos de trigo e soja, foi significativo com a aplicação das doses crescentes de lodo. A irrigação com EET nas culturas proporcionou aumento no rendimento de grãos. As repetidas aplicações de lodo no solo implicaram no aumento do pH, CTC, teores de M.O., P, K, Ca, S, B, Cu, Fe, Mn, e Zn, reduzindo os teores de Mg e acidez potencial (H+Al).

Palavras-chave: água residuária, reúso, composto orgânico, nitrogênio, *Triticum aestivum* L., *Glycine max* L..

EFFECT OF WASTEWATER AND SEWAGE SLUDGE IN SOIL AND CROPS WHEAT AND SOYBEAN.

Botucatu, 2013. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade estadual Paulista.

Author: Ana Carolina Barbosa Kummer

Adviser: Helio Grassi Filho

SUMMARY

The population growth has increased the demand for water, especially in irrigated agriculture, an activity that uses approximately 70% of all water currently consumed. The permanent withdrawals added to the multiple uses of water contribute to the increase of waste, such as waste water and sewage sludge containing high levels of organic matter and nutrients, become a promising alternative, especially regarding the replacement or complementation fertilizer traditional agriculture, which often have a high cost. To ensure the proper recycling and disposal of these in Brazil several lines of research become necessary, including agricultural reuse. the objective of this study was to evaluate the effect of irrigation with treated sewage effluent - TSE and fertilization with composted sewage sludge - CSS, as partial, complete and superior to conventional nitrogen fertilizer replacement dose on developmental parameters and production of crops of wheat and soybeans, and also the effects on the nutritional content in leaves (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn) accumulation of heavy metals in the macro and micronutrients grains (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Mn, Cu, Zn, Ba, Mo, Ni, As, Cd, Cr, Hg and Se) as well as their effects on the chemical characteristics of the soil (pH, organic matter., CTC, H + Al, P, K, Ca, Mg, S, SB,% V, Cu, Fe, Mn and Zn). The study was conducted in a protected environment at the Departamento de Solos e Recursos Ambientais, belonging to the FCA/UNESP, Botucatu/SP . The adopted experimental design in split plot , using the plots 2 types of irrigation water (potable water - PA and TSE) and the subplots 7 nitrogen levels , making a total of 14 treatments with 10 replications . The treatments studied within each plot were: T0 - nitrogen fertilization; T1 - 100% mineral nitrogen fertilizer, T2 - 50% mineral nitrogen fertilizer and 50% of nitrogen from the CSS; T3, T4, T5 and T6

corresponded to 100, 150, 200 and 250% of the nitrogen from CSS, respectively. Data on variables (components of development and production , chemical analysis of soil , plant and grains) were subjected to analysis of variance (ANAVA) and the means were compared by Tukey test at 5 % significance . In the next step, for treatments that received only composted sewage sludge, was adopted regression analysis. The results of this study showed that the replacement of conventional nitrogen fertilization by CSS, promoted an increase in crop yields. In soybeans, the sludge had a negative effect on the components of crop development and inhibited the formation of root nodules, however increased grain yield. It was noticed that in foliar levels and accumulation in grains of macro and micronutrients in the two cultures increments. The accumulation of heavy metals, especially Zn in wheat grain and soybeans, was significant with the application of increasing doses of sludge. The irrigation with TSE in the cultures led to an increase in grain yield. Repeated applications of sludge in soil resulted in an increase in pH, cation exchange capacity, content of organic matter, P, K, Ca, S, B, Cu, Fe, Mn, and Zn, reducing the levels of Mg and potential acidity ($H + Al$).

Keywords: wastewater, reuse, organic compost, nitrogen, *Triticum aestivum*, L., *Glycine max* L..

1 INTRODUÇÃO

O constante aumento da população tem elevado a demanda por água, tanto para o consumo direto, quanto para o indireto, principalmente na agricultura irrigada, atividade que utiliza em torno de 70 % de toda a água consumida atualmente.

Como consequência das retiradas permanentes e usos múltiplos das águas, tem-se elevado a geração de resíduos, como é o caso dos esgotos domésticos, aumentando a preocupação ambiental quanto ao tratamento e descarte adequados destes, que em sua maioria são dispostos nos corpos d'água receptores, os quais muitas vezes possuem capacidade de assimilação e autodepuração limitadas diante da quantidade e características físico-químicas dos esgotos. Quando dispostos de maneira inadequada, os esgotos domésticos podem reduzir a disponibilidade de água de boa qualidade para fins mais nobres.

Diante do exposto, uma das alternativas para minimizar os problemas ambientais decorrentes da má gestão dos resíduos domésticos é o tratamento do esgoto e seu posterior reúso na irrigação, visando complementar ou suprir por completo a demanda hídrica de áreas agrícolas, principalmente em áreas distantes de grandes mananciais (REÚSO..., 2013). Muitos autores mencionam a possibilidade de substituição parcial de fertilizantes químicos pelos efluentes domésticos, trazendo como consequência a diminuição do impacto ambiental negativo pela redução da contaminação dos cursos d'água; significativo aumento na produção além da economia da quantidade de água utilizada na irrigação.

Do tratamento de esgotos sanitários, resulta além do efluente de esgoto tratado, um resíduo sólido rico em matéria orgânica e nutrientes denominado lodo de esgoto, que necessita de adequada disposição. Entretanto, muitos projetos de tratamento de esgotos não contemplam a disposição final desse lodo, que, se disposto de maneira inadequada, pode causar sérios danos, às vezes irreparáveis, ao meio ambiente. Em geral o lodo de esgoto é destinado aos aterros sanitários, o que pode acarretar em custos elevados para as estações de tratamento de esgotos.

Uma alternativa promissora de disposição final desse resíduo é o aproveitamento em sistemas agrícolas como adubo orgânico (BETIOL; CAMARGO, 2000) uma vez que o lodo de esgoto apresenta elevado teor de matéria orgânica, macro e micronutrientes, servindo como bom condicionador do solo, favorecendo o desenvolvimento e produtividade das culturas.

Visando diminuir os problemas ambientais causados pelo descarte indiscriminado de esgotos domésticos nos rios, diminuir os custos de tratamento e disposição adequados e visando elevar a produtividade agrícola, a utilização de efluentes de esgoto tratados e lodo de esgoto em sistemas agrícolas, tornam-se uma alternativa promissora, principalmente quanto à substituição ou complementação dos fertilizantes agrícolas tradicionais que muitas vezes possuem custo elevado.

Segundo o Prosab (2007), no Brasil, os estudos de reúso são diversos e isolados, sempre buscando destacar a importância e a necessidade do uso controlado de águas de qualidade inferior e/ou lodo de esgoto para atividades menos exigentes.

Nesse sentido este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado e da adubação com lodo de esgoto compostado, como substituto parcial, total e em dose superior à adubação nitrogenada convencional, sobre os parâmetros de desenvolvimento e de produção das culturas de trigo e soja, além dos efeitos sobre os teores nutricionais nas folhas (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn), acúmulo de metais pesados, macro e micronutrientes nos grãos (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Mn, Cu, Zn, Ba, Mo, Ni, As, Cd, Pb, Cr, Hg e Se) bem como seus efeitos nas características químicas do solo (pH, M.O., CTC, H+Al, P, K, Ca, Mg, S, SB, V%, B, Cu, Fe, Mn e Zn).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Importância do uso de águas de qualidade inferior na agricultura

Sendo a água vital para a produção de alimentos, e insumo básico para diversos processos industriais, além de ser essencial para a manutenção da vida na terra tem-se aumentado a preocupação em relação à escassez dos recursos hídricos, uma vez que com o aumento da população e dos usos múltiplos da água a nível mundial, verifica-se que o suprimento global de água tem-se reduzido (TUNDISI, 2003; MANCUSO; SANTOS, 2003). Essa preocupação está relacionada tanto à quantidade quanto à qualidade da água.

Desde a revolução industrial a população mundial vem crescendo exponencialmente, acarretando em maior demanda pela água, tanto para o consumo direto quanto para a utilização em diversos processos produtivos. Nesse contexto a agricultura tem papel de destaque principalmente no que se refere à produção de alimentos. De acordo com Hespanhol (2003) a agricultura depende do suprimento de água de tal maneira que a sustentabilidade da produção de alimentos não poderá ser mantida sem que critérios inovadores de gestão sejam estabelecidos e implementados em curto prazo, uma vez que o aumento da produção agrícola não pode ser efetuado por mera expansão de terra cultivada. Nesse sentido a prática da irrigação e o reaproveitamento de águas de inferior qualidade tornam-se essenciais para o aumento da produtividade agrícola, atividade que demanda em torno de 70% de toda água consumida atualmente.

Segundo Lima et al. (2012), outra questão igualmente importante em relação aos recursos hídricos, refere-se à sua qualidade. Embora a utilização de água

pelas indústrias e uso doméstico represente somente 30% do consumo total de água (ANA, 2009), estas atividades merecem atenção especial pela geração de efluentes líquidos, que normalmente são dispostos nos sistemas aquáticos, podendo comprometer a qualidade da água para fins mais nobres.

E é nesse contexto que surge a preocupação e estudos com referência a novas possibilidades de aproveitamento de efluentes industriais e principalmente domésticos, os quais podem ser usados como fonte alternativa de fertilizantes no meio agrícola, ampliando dessa maneira a demanda hídrica e diminuindo a pressão sobre os mananciais.

Para Silva et al. (2012), no Brasil, esses estudos tem por objetivo resolver problemas decorrentes da utilização de águas de qualidade inferior, como também buscar novas tecnologias que possibilitem a obtenção de novas fontes de abastecimento, visando a sustentabilidade do homem e meio ambiente. Os mesmos autores afirmam ainda que a grande vantagem do reaproveitamento de esgotos domésticos na irrigação de culturas agrícolas está relacionada à minimização da poluição hídrica dos mananciais, economia de água de melhor qualidade, além da diminuição dos gastos com adubação química devido à concentração de nutrientes presentes nos esgotos.

Vale ressaltar que o que confere alta produtividade na agricultura em função do uso de esgotos tratados, é a característica físico-química deste, a qual é determinada tanto pelo processo gerador como pelo sistema de tratamento empregado.

O principal objetivo do tratamento dos esgotos domésticos é a remoção de parasitos, bactérias e vírus, pois são causadores de doenças endêmicas (LÉON; MOSCOSO CAVALLINI, 1999), pois a não remoção de matéria orgânica e de nutrientes é interessante do ponto de vista agrônomo. Atualmente no Brasil, os requisitos de qualidade a serem atingidos para os efluentes sanitários são função de legislação específica (Resolução CONAMA, nº 357/2005 alterada pelas resoluções nº 410/2009 e nº 430/2011), que prevê padrões de qualidade tanto para o efluente quanto para o corpo receptor, onde a remoção dos poluentes no tratamento está associada aos tipos de tratamentos adotados (Von SPERLING, 2005).

Segundo o mesmo autor, os efluentes a serem tratados passam por níveis de tratamentos assim denominados: tratamento preliminar, que visa a remoção dos sólidos grosseiros; tratamento primário, cujo objetivo é a remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica; tratamento secundário, o qual remove grande

parte da matéria orgânica podendo eliminar eventualmente nutrientes como N e P; e tratamento terciário, o qual é pouco utilizado no Brasil, e tem por objetivo a remoção de poluentes específicos.

Nesse sentido, é aconselhável que o tratamento de efluentes para fins de produção agrícola, seja realizado até o nível secundário, pois neste nível, apesar de haver significativa redução da carga orgânica, existirá ainda uma elevada concentração de macro e micronutrientes essenciais para o desenvolvimento das culturas agrícolas (SILVA et al., 2012).

Assim, além da necessidade de pesquisas referente aos níveis de tratamento de efluentes, faz-se necessário também o estudo e desenvolvimento de tecnologias para o aproveitamento de águas de baixa qualidade, de maneira que garantam a qualidade dos solos e das culturas, em conformidade com a legislação vigente.

2.2 Reúso de água para a produção agrícola

O reaproveitamento de efluentes tratados não é uma prática nova, no entanto, há um interesse crescente em relação à necessidade de sua reutilização, principalmente na agricultura.

Há relatos de que na Inglaterra, em meados do século XIX, haviam verdadeiras fazendas de esgotos (sewage farms), cujas águas residuárias eram dispostas no solo a fim de tratamento das mesmas (FOLEGATTI, 1999). Com a adoção desta prática os agricultores observaram melhora na produtividade agrícola e embora tenham encontrado limitações em função do advento da microbiologia sanitária, que em um primeiro momento limitou o uso de efluentes no solo, com alguns ajustes, a prática continuou a ser utilizada.

Shuval et al. (1985) menciona a prática do reúso na Alemanha e Escócia durante a Idade Média. A utilização de dejetos humanos e de animais no solo como fertilizante é bastante antiga também nos países do sul asiático, principalmente na China (DUARTE, 2006). León e Moscoso Cavallini (1999) relataram a existência de mais de 4.000 ha irrigados no Peru, em cidades localizadas na costa desértica. De acordo com Piveli et al. (2009) atualmente o México possui 250.000 ha de terras irrigadas com esgoto, sendo notória a situação da capital, com $45 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de esgoto distribuído em canais e reservatórios, que irrigam 80.000 ha cultivados com forrageiras e cereias.

Nesse contexto, nota-se que há décadas o uso de esgotos em sistemas agrícolas vem sendo praticada em diversas regiões do planeta, cuja

regulamentação da utilização de esgotos sanitários para fins diversos é observada em vários países, os mais distintos em termos de características socioeconômicas e localização geográfica, a exemplo de Israel, México, Peru, Tunísia, Arábia Saudita, Alemanha, Austrália, África do sul, Kwait, China, entre outros (LEÓN; MOSCOSO CAVALLINI, 1999; FLORENCIO et al, 2006).

No Brasil, apesar do reúso ser uma prática utilizada há vários anos de maneira inconsciente através do reúso não planejado, deve ser trabalhado socialmente, pois é observado preconceito quanto a sua forma de utilização por parte do público consumidor (BERNARDI, 2003) e embora o país não conte com uma política que regule o uso de águas residuárias na agricultura, nos últimos anos várias pesquisas vem sendo desenvolvidas, de forma isolada, buscando aperfeiçoar essa técnica de maneira que não acarrete em prejuízos ambientais e econômicos.

Em vista da necessidade de aumento da produtividade agrícola é evidente que a irrigação apresenta papel fundamental no atendimento alimentar da população e nas taxas de consumo per capita por incrementar a produção (MALANO; HOFWEGEN, 1999). Além do aporte de água, a irrigação com esgoto contribui com o aporte de nutrientes, cujas demandas são variáveis em função das características dos solos e das culturas, podendo complementar com parcela significativa, e de forma contínua, a fertilização mineral convencional (PIVELI, et al. 2009).

Dentre as vantagens da utilização de águas residuárias na agricultura, León e Moscoso Cavallini (1999) e Folegatti (1999), citam as seguintes: controle da poluição, economia de água e fertilizantes, reciclagem de nutrientes, aumento da produtividade agrícola e melhoria da qualidade dos solos; e como limitações são mencionadas: contaminação microbiológica de produtos, bioacumulação de elementos tóxicos, salinização e impermeabilização do solo, desequilíbrio de nutrientes no solo, e possível lixiviação de nitrato (SILVA, et al., 2012). Nesse sentido, Veloso et al. (2004) ressaltam a importância de se utilizar plantas com alta demanda por nitrogênio.

De acordo com a WHO (1989) o alto poder fertilizante do efluente e a formação de húmus decorrente da mineralização lenta da matéria orgânica contribuem para a melhoria das propriedades físicas do solo, promovendo maior retenção de água e favorecendo dessa maneira o desenvolvimento das culturas.

Entre os benefícios que potencializam maiores retornos econômicos decorrentes da utilização de efluentes tratados na agricultura, destaca-se o

aumento da produtividade (BERNARDI, 2003). Assim, muitos trabalhos apontam os benefícios resultantes da utilização de efluentes domésticos na agricultura, pelo aumento na produtividade agrícola.

Em estudo realizado pela Universidade Estadual de Campinas/SP, citado por Mota et al. (2006), empregou-se efluente de lagoa anaeróbia na irrigação por sulcos na cultura do milho, e constatou-se que a irrigação com efluente resultou em rendimento comparável ao tratamento controle, ou seja, irrigação com água limpa mais a fertilização com NPK.

Silva (2010) trabalhando com três efluentes secundários (efluente de reator UASB, efluente decanto-digestor associado a filtro anaeróbio, e efluente de filtro anaeróbio) na irrigação da mamona, observou que as plantas irrigadas com água de abastecimento desenvolveram menos (em termos de altura de planta, diâmetro do caule e número de folhas) em relação àquelas irrigadas com efluentes. Também constatou aumento na produtividade de sementes quando comparado à produtividade das plantas irrigadas somente com água de abastecimento. O autor atribuiu esse aumento na produtividade da mamoneira ao aporte de nutrientes via água residuária, uma vez que não foi utilizada adubação inicial, concluindo que o uso de tais águas foi suficiente para promover produção rentável. No entanto Simões et al. (2013) observaram diminuição na altura de planta, diâmetro do colo, massa da raiz e volume da raiz em plantas de mamona, em função do aumento das concentrações de efluente de esgoto tratado. Contudo os autores atribuíram essa resposta negativa ao teor de sódio presente na água residuária, o qual foi três vezes maior do que o teor de sódio encontrado na água de poço. FALTA PESQUISA DE SÓDIO

Adotando-se a irrigação com efluente tratado, em geral observa-se aumento na produtividade das culturas em pelo menos 50% (DEON, 2010) ou ainda aumento na produtividade de maneira equivalente aos tratamentos de adubação convencional empregados e irrigação com água de abastecimento (FIDELES FILHO et al., 2005; NICHELI, 2009; MEDEIROS et al., 2010). Também é observado melhora significativa no desenvolvimento das plantas em função do uso de efluentes de esgoto tratados (FIDELES FILHO et al., 2005; PELISSARI et al., 2009; NICHELI, 2009; SOUSA NETO et al., 2012).

Ressalta-se que a constatação de resultados semelhantes obtidos pela irrigação com efluente em comparação com uso de água potável, demonstram o potencial fertilizante e nutricional dos efluentes tratados e a viabilidade técnica e

econômica do reúso de efluente de esgoto tratado na irrigação, principalmente pela economia de insumos (REGO et al., 2005; BASTOS, et al., 2005).

Vale mencionar ainda que as experiências brasileiras com uso de efluente tratado em sistemas agrícolas como substituto total ou parcial dos fertilizantes minerais, mostram efeito positivo de acúmulo de nutrientes no solo (SOUSA NETO et al., 2012) contribuindo para maior aporte de N, K, Ca, Mg e P (NICHELI, 2009), além de estimular a atividade microbiana no solo (SIMÕES et al, 2013).

Segundo Piveli et al. (2009) o sistema solo-planta manejado adequadamente promove a absorção e retenção dos elementos do efluente de esgoto tratado, incorporando-os à massa seca das culturas, sem que ocorra acúmulo no solo e contaminação do lençol freático. Isto é, promove a ciclagem de nutrientes, reduzindo a demanda por fertilização.

2.3 Lodo de estação de tratamento de águas residuárias na agricultura

No Brasil, o setor de saneamento enfrenta dificuldades crescentes no que se refere ao gerenciamento de resíduos gerados nos processos de potabilização da água e tratamento de esgotos, embora nos últimos anos muitos investimentos tenham sido realizados objetivando a ampliação destes serviços (ANDREOLI, 2006).

O tratamento de esgotos domésticos gera um subproduto denominado lodo de esgoto (LE), que apresenta elevado teor de matéria orgânica e nutrientes entre outros elementos. Dessa maneira, quando submetido ao processo de tratamento, o lodo adquire características que permitem sua utilização em sistemas agrícolas. Assim, o lodo de esgoto é o resíduo semissólido, que se obtém após o tratamento das águas residuárias (esgotos) ou servidas com a finalidade de torná-las menos poluídas possível.

Embora muitas cidades brasileiras ainda não contem com coleta e tratamento adequados de esgotos, a geração de lodo vem aumentando, devido ao crescimento, melhoria de qualidade de vida e desenvolvimento sócio-econômico da população. Dados do Prosab (2010) mostram que a coleta de esgotos no país atende cerca de 40% da população urbana, sendo 40% desse volume coletado e tratado adequadamente, com perspectivas significativas de crescimento e de geração de lodo.

Atualmente, a destinação racional do lodo de esgoto proveniente de ETE se faz necessária diante dos problemas ambientais que podem ser causados pelo seu

acúmulo. A fim de garantir a disposição adequada deste, no Brasil, varias linhas de pesquisa tornam-se necessárias, entre elas o reúso agrícola.

Quanto às alternativas mais usuais para aproveitamento e/ou destino final de lodos, podem ser citados: incineração, disposição oceânica, recuperação de áreas degradadas, reúso industrial, disposição em aterro sanitário, aplicações em plantações florestais, bem como o uso agrícola.

Essa disposição de esgotos na agricultura é uma prática antiga, com relatos de seu uso na China, Ocidente (Prússia) desde 1560 e na Inglaterra por volta de 1800 (BETTIOL; CAMARGO, 2006). No século XIX e início do século XX, os sistemas de tratamento consistiam na disposição direta do esgoto nos solos. Com o desenvolvimento de novas tecnologias de tratamento primário, secundário e precipitação química, o tratamento por disposição no solo decaiu em importância; voltando a crescer o uso agrícola nos anos 40 e 50 em virtude das pressões exercidas sobre as autoridades em função do incremento na produção de lodo (ANDREOLI et al., 2001).

Para Hays (1977), a utilização do lodo de esgoto em solos agrícolas é uma prática antiga e que faz parte da agricultura tradicional, apresentando outros aspectos que favorecem a utilização dos resíduos gerados pelas estações de tratamento de esgotos na agricultura, dentre os quais: (a) limitação quanto à disposição em corpos d'água, uma vez que podem causar a eutrofização das águas e desta forma elevar os níveis de poluição; (b) os custos para repor nutrientes em solos esgotados são altos, e o lodo de esgoto é uma fonte destes nutrientes, podendo se aproveitar o potencial mineral do resíduo; e (c) custo de algumas tecnologias para disposição do lodo, como incineração e deposição em aterro sanitário. Dessa maneira, considerando a questão econômica, a possibilidade de reaproveitar o resíduo torna-se cada vez mais atrativa.

Nesse contexto, da mesma forma que o reúso de água, o uso de composto orgânico cresceu acentuadamente em todo mundo, como resposta à necessidade de aumentar a produção de alimentos sem aplicação de fertilizantes sintéticos e adubação química (LIMA et al., 2012).

Segundo Santos (2001) o uso agrícola se destaca por sua economicidade e adequação ambiental. Pode-se dizer que, normalmente, o lodo de esgoto disponibiliza ao solo quantidades de nutrientes suficientes para as culturas, porém, nem sempre de maneira equilibrada e em formas disponíveis para as plantas em curto prazo. Neste sentido, deve-se conhecer a composição química dos lodos, bem como a dinâmica

dos nutrientes após aplicação no solo, de forma a obter os benefícios agrônômicos, evitando os impactos ambientais negativos (BETTIOL; CAMARGO, 2006). Vale lembrar que devem ser observados critérios ambientais e sanitários, como controle de agentes patogênicos, contaminantes químicos e micropoluentes orgânicos a fim de garantir a qualidade do lodo, que está relacionado com o sistema que o gerou.

A utilização do LE na agricultura é considerada interessante por combinar disposição com reciclagem (BETTIOL; CAMARGO, 2000), uma vez que o lodo é rico em matéria orgânica, macro e micronutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas, sendo recomendada sua aplicação como condicionador do solo e ou fertilizante (BETTIOL; CAMARGO, 2006), proporcionando também economia de recursos naturais, pela diminuição da fertilização mineral (ZEITUONI, 2005).

Dessa maneira, a disposição de lodo no solo promove melhoria nas características físicas, especialmente na estruturação do solo, em virtude dos benefícios que a matéria orgânica presente no resíduo (BATAGLIA et al., 1983; MARQUES, 1996; FIA et al., 2005) representa para o solo, interferindo favoravelmente na capacidade de aeração, retenção de água, drenagem e resistência à erosão; a matéria orgânica é transformada em húmus, através da ação de microrganismos e os nutrientes gerados desta transformação contribuem para a fertilidade do solo aumentando a disponibilidade dos mesmos para as plantas, trazendo ainda como benefício o efeito residual para culturas subseqüentes (ANDREOLLI et al., 1997; SOBRINHO, 2000, ZEITUONI, 2005). Uma vez que aplicação de lodo de esgoto no solo pode causar alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas destes, há necessidade de se conhecer o que ocorre com essas características, tendo em vista que cada uma delas desempenha papel fundamental no solo e no funcionamento do agroecossistema (GHINI; BETTIOL, 2009).

Quanto aos aspectos químicos, a utilização de lodo de esgoto no solo pode proporcionar elevação do pH (BERTON et al., 1989), da capacidade de troca de cátions (SILVA et al., 1995; SILVA et al., 2001; TRANNIN, 2004; REI et al., 2009; LOBO, 2010), da fração húmica da matéria orgânica (BATAGLIA et al., 1983; MARQUES, 1996; FIA et al., 2005; LOBO, 2010), além de proporcionar elevação na condutividade elétrica e nos teores de P e carbono orgânico (NASCIMENTO et al., 2004).

No Brasil, muitas pesquisas mostram os benefícios advindos da utilização do lodo de esgoto no meio agrícola, seja para a recuperação de áreas degradadas (TEIXEIRA et al., 2007), ou seja como substituto parcial ou total da adubação química

convencional em espécies florestais (ANDRADE et al., 2005; PELISSARI et al., 2009), frutíferas (BARBOSA, 2008; FORTES, 2011; ROMEIRO, 2012; MOREIRA, 2013) ou em culturas como trigo, soja, algodão, milho, feijão, cana-de-açúcar, entre outras (BERTON et al., 1989; CERDA et al., 2004; FIGUEIRÊDO et al., 2005; VIEIRA et al., 2005a; VIEIRA et al. 2005b; CHUEIRI et al., 2007; CHIBA et al., 2008; BEHLING et al., 2009; LOBO, 2010).

Betiol et al. (1983) relataram que o lodo de esgoto digerido pode ser utilizado como fonte de nutrientes para o milho e o arroz, uma vez que em estudo realizado pelos mesmos autores, não foi observado diferença entre os tratamentos com adubação convencional e lodo. Em trabalho realizado por Andreolli et al. (1997) observou-se aumento na produtividade com o uso de lodo no cultivo da bracatinga (*Mimosa scabrella*) consorciada com o milho e feijão. Os mesmos autores constataram retorno financeiro quatro vezes maior com o uso do lodo de esgoto quando comparado a adubação mineral. Do mesmo modo Cerda et al. (2004) trabalhando com trigo adubado com lodo de esgoto, observaram que a produtividade nos tratamentos que se empregou lodo se equivaleram aos tratamentos em que se utilizou adubação convencional. Em trabalho realizado por Vieira et al. (2005a) os autores observaram, aumento na produtividade da soja com uso de 3 e 6 t ha⁻¹ de lodo, produzindo cerca de 547 e 163 kg ha⁻¹ de grãos a mais, respectivamente do que os tratamentos testemunha e com adubação mineral.

Nogueira et al. (2006) avaliaram o efeito da adubação com diferentes formas de lodo de esgoto sobre a fertilidade do solo e produtividade de grãos de milho e de feijão consorciados. Os autores constataram que a aplicação de lodo de esgoto tratado com cal aumentou a alcalinidade do solo e, também, a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Behling et al. (2009) também constataram melhora no potencial produtivo em área tratada com lodo, em substituição à adubação mineral.

Lobo (2010) estudando o manejo de lodo de esgoto em rotações de culturas, concluiu que o aumento da dose de lodo de esgoto no solo promove um incremento no rendimento de grãos e da matéria seca da aveia, trigo, triticale, girassol e feijão.

Dessa maneira, o lodo de esgoto pode ser utilizado como substituto total ou parcial dos fertilizantes minerais, desde que atendam aos requisitos necessários quanto à concentração de metais pesados e patógenos (SILVA et al. (2002).

Para Andreolli et al. (1999) o reaproveitamento de lodo de esgoto em nível mundial vem se revelando uma alternativa promissora, do ponto de vista técnico, econômico e ambiental, trazendo como contribuição o fechamento do ciclo ecológico dos nutrientes minerais e colocando à disposição do produtor rural um insumo de baixo custo com excelentes qualidades agronômicas.

2.4 Características e importância do trigo

O trigo (*Triticum aestivum*) é uma planta da família das gramíneas e foi uma das primeiras espécies a serem cultivadas pelo homem, estando associada ao desenvolvimento da civilização ocidental e da agricultura moderna (FORNASIERI FILHO, 2008). De acordo com o mesmo autor, esta cultura pode ser cultivada em quase toda parte do planeta, devido a grande variedade de cultivares existentes (cerca de 17 mil), possuindo a maior área semeada entre as culturas alimentícias, representando 20% de toda área mundial cultivada. O principal produto desta cultura é o grão, o qual é uma fonte valiosa de carboidratos, proteínas e fibras (FORNASIERI FILHO, 2008), sendo consumido na forma de pão, massa alimentícia, bolo e biscoito, podendo ser utilizado também como ração animal, quando não atinge a qualidade exigida para consumo humano. No que se refere à produtividade, o trigo ocupa o primeiro lugar em volume de produção mundial. No Brasil, a produção anual oscila entre 5 e 6 milhões de toneladas, todavia o consumo anual tem se mantido em torno de 10 milhões de toneladas. (EMBRAPA, 2013).

Segundo dados da CONAB (2013), a área plantada de trigo na safra 2013/14 apresenta um incremento de 15,1% em relação à safra anterior, atingindo 2.181,8 mil hectares contra 1.895,4 mil hectares na safra 2012/13, cuja recuperação da parcela da área que deixou de ser cultivada nos últimos anos está relacionada com a melhoria dos preços praticados na safra anterior em função da menor produção mundial e brasileira, que repercutiu favoravelmente junto aos produtores e induziu ao aumento na área. Assim, a produção nacional de trigo para o exercício 2013/14 deverá atingir 4.813,8 mil toneladas, representando um incremento de 9,9% em relação à safra passada, fruto do aumento de 15,1% da área plantada.

No Brasil, o trigo é cultivado em vários estados como Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Mato Grosso do Sul e São Paulo, com a finalidade de produzir grãos (INFORMAÇÕES..., 2011). Cerca de 90% da produção de trigo do país está no Sul do Brasil, sendo introduzido paulatinamente na região do cerrado, sob irrigação

ou sequeiro Nesse sentido, a cultura sob o aspecto de produção, tem sido estudada intensivamente, pelo menos em alguns estados brasileiros (EMBRAPA, 2013a).

Sendo o N o elemento mais exigido pela cultura do trigo, apresentando dinâmica complexa no solo e podendo ser perdido por lixiviação e por volatilização (TEIXEIRA FILHO, et al., 2008) muitos trabalhos tem sido desenvolvidos objetivando avaliar a produtividade do trigo em função de diferentes doses de N e mediante a utilização de diferentes cultivares e densidades de semeadura.

Zagonel et al. (2002), avaliando doses de nitrogênio (0, 45, 90 e 135 kg ha⁻¹) em plantas de trigo, constataram aumento do número de espigas por área e no rendimento de grãos na dose máxima de N. Da mesma forma, Teixeira Filho et al. (2007) estudando a resposta de cultivares de trigo irrigados por aspersão ao nitrogênio em cobertura na região do Cerrado, observaram aumento no comprimento de espigas, número de espiguetas por espiga, no teor de N foliar, na massa de 100 grãos e na produtividade de grãos até a dose de 70 kg ha⁻¹ de N.

Estudando plantas de trigo, Espíndula et al. (2010a) concluíram que as doses de N (40, 60, 80, 100 e 120 kg ha⁻¹) promoveram resposta quadrática da produtividade dos grãos, com ponto de máxima estimado na dose de 96,8 kg ha⁻¹, assim como Martini Junior et al. (2011) observaram que a dose de 90 kg ha⁻¹ de N proporcionou incremento na produtividade de grãos e no número de grãos por espiga de trigo.

A maioria dos trabalhos na literatura brasileira relata a resposta do trigo em função de doses de N mineral, sendo raros os trabalhos com a utilização de compostos orgânicos e/ou água residuária.

Em trabalho realizado por Cerda et al. (2004) os autores concluíram que o maior rendimento de massa seca em planta de trigo foi obtido com o uso de lodo líquido (8 t ha⁻¹), visto que as médias de rendimento de grãos dos tratamentos adubados com lodo desidratado se equivaleram às medias dos tratamentos com fertilizante inorgânico. Já Chueiri et al. (2007) estudando o lodo de esgoto alcalinizado (LEA) como complemento da adubação mineral concluíram que o LEA afetou negativamente os parâmetros morfológicos e a matéria seca das plantas de trigo. No entanto Lobo (2010) observou aumento linear crescente no rendimento de grãos de trigo em função do incremento de lodo de esgoto no solo (0 a 40 t ha⁻¹).

Neste contexto, a alta exigência de nitrogênio pela cultura do trigo faz com que sejam relevantes os estudos que avaliem fontes alternativas e doses de N para a cultura.

2.5 Características e importância da soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das mais importantes culturas na economia mundial, destacando-se pela porcentagem de proteína nos grãos, os quais são usados pela agroindústria, para a produção de óleo vegetal e rações para alimentação animal, indústria química e de alimentos, sendo crescente o uso como fonte alternativa de biocombustível. É a oleaginosa mais cultivada no mundo, sendo os Estados Unidos o principal produtor, enquanto o Brasil está em segundo lugar (COSTA NETO; ROSSI, 2000).

De acordo com o segundo levantamento realizado pela Conab (2013), a respeito da intenção do plantio da safra brasileira de soja na temporada 2013/14, registrou-se incremento de área variando de 3,7 a 6,4%, o que confirma a opção do produtor nacional em priorizar esse plantio em detrimento de outras alternativas, uma vez que a oleaginosa nas últimas temporadas, tem sido beneficiada por preços remuneradores no momento da comercialização. Ainda segundo a Conab (2013) estima-se para a safra 2013/2014, um intervalo na produção variando de 87.859,4 a 90.224,9 mil toneladas, representando um incremento variando de 7,8 a 10,7%, constituindo-se assim, em um novo recorde na produção nacional.

O crescimento da cultura da soja no Brasil está associada não somente à expansão de terras agriculturáveis, mas também aos avanços científicos e tecnológicos no setor produtivo, seja pelo manejo de pragas e doenças ou principalmente pelo manejo dos solos, adubação e calagem (FREITAS, 2011). O mesmo autor relata que os avanços científicos em tecnologias para manejo de solos, com técnicas de correção da acidez, o processo de inoculação das sementes para fixação biológica do nitrogênio e a adubação balanceada com macro e micronutrientes, permitiram à cultura expressar sua potencialidade nas diversas condições edafoclimáticas do território brasileiro.

Assim como para o trigo, o rendimento de grãos da soja depende da cultivar (em função do potencial genético) e de fatores como disponibilidade hídrica e de nutrientes, os quais podem ser limitantes à fotossíntese e conseqüentemente à produtividade da cultura (KUSS et al. 2006).

Segundo Farias (2008), a agricultura moderna exige o uso de insumos em quantidades adequadas, de modo que atenda os critérios econômicos e, ao

mesmo tempo, conserve o solo, possibilitando manter ou elevar a produtividade das culturas.

É extensa a literatura sobre o manejo da soja (EMBRAPA, 1982; EMBRAPA, 1994; FARIAS et al., 2007; EMBRAPA, 2013b). No entanto existem poucas informações relacionadas ao estudo dessa cultura cultivada sob adubação nitrogenada, uma vez que segundo Taiz e Zieger (2004) o N nas leguminosas é absorvido na forma de N_2 e transformado em NH_4 através do processo simbiótico com bactérias. E há relatos de que o uso de lodo de esgoto como fertilizante pode estimular ou inibir o processo de nodulação, e mesmo assim promover elevada produtividade.

Em estudo realizado por Souza et al. (2009) avaliando os efeitos da aplicação do lodo produzido em ETE na nodulação e rendimento de grãos da soja e em atributos biológicos do solo, os autores concluíram que a aplicação de lodo de esgoto em doses de até 6 t ha^{-1} não afetou significativamente a nodulação da soja, com rendimento de grãos nos tratamentos com lodo, equivalente a dos tratamentos fertilizados com N, P e K minerais. Já Lobo et al. (2012a) observaram aumento no número de nódulos em função do incremento de lodo de esgoto no solo, até a dose de 20 t ha^{-1} , em que a partir desse valor os valores decresceram. Behling et al. (2009) relataram que o uso de lodo em substituição adubação mineral, em doses crescentes, incrementou em até 1.224 kg ha^{-1} a produtividade de soja, quando comparado à testemunha, melhorando o potencial produtivo da área.

Segundo o mesmo autor a elevada oferta de N mineral para as plantas de soja, pode acarretar, em alta absorção de N do solo, implicando, na redução da fixação biológica de nitrogênio, pois em condições de alta disponibilidade de N, as plantas reduzem a fixação nos nódulos. De acordo com Deninson e Harter (1995) a adição de adubos nitrogenados em leguminosas pode ter efeito adverso na fixação biológica de N devido a diminuição de disponibilidade de oxigênio na respiração nodular.

Nesse sentido é de grande importância os estudos que avaliem os efeitos decorrentes da aplicação de lodos de esgoto, lembrando que os efeitos nas plantas são decorrentes da cultivar utilizada, solo, região e característica do resíduo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do estudo

O estudo foi conduzido no Departamento de Solos e Recursos Ambientais, pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, FCA/UNESP, campus de Botucatu/SP, que se encontra a aproximadamente 789 m de altitude, com as coordenadas geográficas 22°52’55” de latitude Sul e 48°26’22” de longitude Oeste (CUNHA; MARTINS, 2009).

3.2 Clima

O clima da região, segundo o método de Köppen, é do tipo Cfa, caracterizado como clima temperado quente (mesotérmico) úmido, com deficiência hídrica nos meses de abril, julho e agosto, e período chuvoso nos meses de primavera-verão, apresentando índices relativamente elevados (precipitação média anual de 1.428 mm). A temperatura média anual é de 20,5°C, sendo a temperatura média do mês mais quente superior a 22°C (CUNHA; MARTINS, 2009).

3.3 Condições experimentais

Realizaram-se dois ensaios em ambiente protegido, com as culturas de trigo e soja em ciclos sucessivos empregando-se a mesma estrutura de pesquisa. O primeiro ensaio envolveu o cultivo de trigo entre maio e agosto de 2012, e o segundo, o cultivo de soja entre novembro de 2012 e março de 2013. Em ambos empregou-se o lodo de esgoto compostado em substituição à adubação nitrogenada convencional, e irrigação

com água potável – AP e efluente de esgoto tratado - EET, conforme delineamento experimental. A realização de dois ensaios no mesmo local foi definida visando à avaliação do potencial cumulativo de nutrientes oriundos do lodo de esgoto e suas relações com as plantas, além da avaliação das possíveis alterações ocorridas nas características do solo pelas repetidas aplicações de lodo de esgoto compostado.

Os experimentos foram conduzidos em vasos de PVC (Policloreto de Vinil – plástico), com volume útil de 42,5L, os quais foram arranjados em estufa agrícola com orientação predominante Leste-Oeste, medindo 25,0 X 7,0 m, com pé-direito de 3,0 m, modelo arco, cobertura com PEBD (Polietileno de Baixa Densidade) 150 micras anti-UV, e janelas de ventilação superiores, as quais eram abertas pela manhã e fechadas no final da tarde para controle da temperatura.

Antecedendo a instalação dos experimentos, nos mesmos vasos foram cultivados dois ciclos consecutivos também com trigo e soja, semeados em maio e novembro de 2011, respectivamente, com aplicações de lodo de esgoto compostado e irrigação com água potável e efluente de esgoto tratado, seguindo o mesmo delineamento experimental deste estudo.

3.4 Delineamento experimental

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado em arranjo de parcelas subdivididas, adotando-se nas parcelas dois tipos de água para irrigação (AP e EET), e nas subparcelas sete níveis de adubação nitrogenada, perfazendo um total de quatorze tratamentos com dez repetições. Neste caso, cada repetição e/ou unidade experimental foi representada por um vaso, totalizando cento e quarenta unidades experimentais (Figura 1).

A adubação nitrogenada foi baseada na dose de N recomendada para o pleno desenvolvimento das culturas (RAIJ et al., 1997; LOBO et al., 2012a). Nos tratamentos que receberam lodo de esgoto, os níveis de adubação foram definidos em função da substituição parcial, total ou superior da dose recomendada, pelo equivalente deste elemento presente no lodo de esgoto compostado.

A distribuição dos tratamentos nas parcelas experimentais seguiu o princípio da aleatorização (BANZATTO; KRONKA, 2008), e são assim descritos:

- T0 = sem adubação nitrogenada;
- T1 = 100% de adubação nitrogenada mineral;

- T2 = 50% de adubação nitrogenada mineral + 50% de adubação nitrogenada proveniente do lodo de esgoto compostado;
- T3 = 100% de adubação nitrogenada proveniente do lodo de esgoto compostado;
- T4 = 150% de adubação nitrogenada proveniente do lodo de esgoto compostado;
- T5 = 200% de adubação nitrogenada proveniente do lodo de esgoto compostado; e
- T6 = 250% de adubação nitrogenada proveniente do lodo de esgoto compostado.

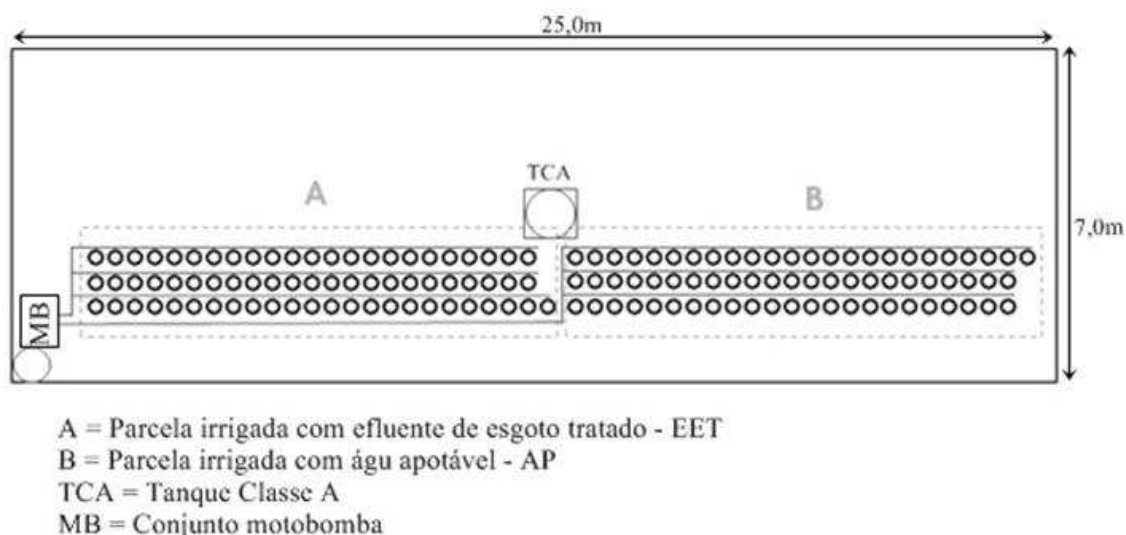


Figura 1. Croqui da área experimental: disposição dos vasos dentro de cada parcela experimental no ambiente protegido.

As quantidades de lodo de esgoto compostado foram calculadas em função do teor de nitrogênio presente no material orgânico e da fração mineralizável de N. A Resolução do CONAMA nº 375 de 2006, que define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário, estabelece uma taxa de mineralização de 10% para o lodo compostado. No entanto, optou-se por trabalhar com uma taxa de mineralização de 30%, uma vez que as taxas estabelecidas por esta resolução são baseadas em valores norte-americanos, específica para solos de clima temperado difere das condições tropicais (ANDRADE, et al., 2010). Os valores empregados em cada tratamento para os ensaios com trigo e soja são relatados nos itens 3.9 e 3.10, respectivamente.

Todos os tratamentos receberam adubações químicas complementares com P_2O_5 e K_2O , conforme descrito nos itens 3.9 e 3.10, a fim de satisfazer as necessidades nutricionais das culturas quanto aos elementos P e K, de acordo com recomendação proposta por Raij et al. (1997).

3.5 Caracterização do solo

O solo utilizado no experimento é originalmente classificado como Latossolo Vermelho Distrófico de textura média, segundo Carvalho et al. (1983) e revisado por normas da Embrapa (2006). Foi coletado de uma área experimental pertencente à FCA/UNESP, campus de Botucatu/SP, denominada “Patrulha”. Esse tipo de solo apresenta como principal característica a presença de horizonte B latossólico. São solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, em geral fortemente ácidos, com baixa saturação por bases, distróficos ou alumínicos, típicos das regiões equatoriais e tropicais, ocorrendo também em zonas subtropicais.

Os resultados da análise química inicial do solo podem ser observados na Tabela 1, a qual foi realizada pelo Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Solos e Recursos Ambientais, pertencente à FCA/UNESP - Botucatu/SP, segundo metodologia descrita por Raij et al. (2001).

Tabela 1. Características químicas iniciais do solo utilizado nos experimentos

pH	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
CaCl ₂	mmol dm ⁻³							
4,1	13	65	0,3	2	1	3,3	68	5
P _{resina}	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn		M.O.
mg dm ⁻³								g dm ⁻³
3	18	0,34	1,1	62	0,3	0,5		13

Por ocasião do início de cada ensaio, como os vasos já vinham sendo manejados com lodo de esgoto compostado e EET, foram realizadas análises química básica e de micronutrientes do solo de todos os tratamentos, com o objetivo de saber qual era o estado inicial do mesmo e também para se fazer a recomendação das doses de adubo mineral e de lodo de esgoto a serem aplicadas por tratamento.

Assim, das dez repetições e/ou vasos de cada tratamento, escolheu-se aleatoriamente oito, de onde retitou-se amostras simples de solo, na faixa de profundidade de 0-20 cm. As amostras foram homogeneizadas duas a duas, perfazendo quatro amostras compostas, por tratamento. Estas foram encaminhadas ao Laboratório de Fertilidade do Solo, sendo determinados os teores de macronutrientes (K, P, Ca, Mg, S) e micronutrientes disponíveis (B, Cu, Zn, Mn e Fe), além de características químicas como pH, teor de matéria orgânica (M.O.), capacidade de troca catiônica (CTC), Alumínio trocável (Al⁺), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB) e saturação por bases (V%).

As amostras foram analisadas conforme metodologia descrita por Raij et al. (2001). Os resultados médios dessas análises estão apresentados nos itens 3.9 e 3.10.

3.5 Origem e característica do lodo de esgoto compostado

O lodo de esgoto compostado teve por origem a estação de tratamento de esgotos – ETE do município de Jundiaí/SP, construída e administrada pela Companhia de Saneamento de Jundiaí/SP – CSJ. A estação possui duas lagoas de aeração e quatro de decantação, atendendo uma população de cerca de 330.000 habitantes além de um parque industrial, totalizando uma carga equivalente a uma população de 1 milhão de habitantes em termos de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio).

Nessa ETE, como resultado do processo de tratamento do efluente de esgoto, é gerado um lodo que é misturado com casca de eucalipto, podas urbanas picadas e bagaço de cana-de-açúcar. Toda essa mistura é submetida ao processo de compostagem termofílica, com aeração por processo de revolvimento mecânico, cuja oxidação é promovida pela atividade de microrganismos. Esse processo atinge temperaturas elevadas (acima de 55°C) por mais de 30 dias promovendo a eliminação de organismos causadores de doenças e consequentemente diminuindo os riscos ambientais de sua utilização. O resultado final desse processo é o composto orgânico de lodo de esgoto, o qual é aditivado com gesso agrícola (Ca_2SO_4) com o objetivo de diminuir as perdas de amônia do processo, ajudando a evitar odores e também atração de vetores, além de enriquecer o material com cálcio e enxofre. Esse composto orgânico é registrado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA como fertilizante orgânico composto, classe D, produto de uso seguro na agricultura.

Para o desenvolvimento do experimento, esse composto orgânico de lodo de esgoto foi transportado até as dependências do Departamento de Solos e Recursos Ambientais - Botucatu/SP, e guardado sob lona plástica até o momento da utilização. Do montante do resíduo estocado foi retirada uma amostra composta a qual foi enviada ao Laboratório de Fertilizantes e Corretivos pertencente ao mesmo departamento, sendo determinados os teores de macro e micronutrientes (nitrogênio, cálcio, magnésio, enxofre, sódio, boro, cobre, ferro, manganês e zinco), teores de P_2O_5 e K_2O , umidade (%), além das características químicas como pH, matéria orgânica (M.O.), carbono (C) e relação carbono/nitrogênio (C/N), segundo metodologia descrita no LANARV (1988). Os

resultados da análise química do lodo de esgoto compostado estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Característica química do lodo de esgoto compostado.

N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	Umid.	M.O.	C
----- % -----								
1,10	1,28	0,13	1,56	0,22	1,09	43,63	20,16	11,20
Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn		C/N	pH
----- mg kg ⁻¹ matéria seca -----								
1658	123	179	1439	161	870		10/1	6,20

3.6 Origem e característica do efluente de esgoto tratado

Utilizou-se efluente de esgoto tratado proveniente da estação de tratamento de esgotos - ETE da cidade de Botucatu/SP, operada pela SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), localizada na Fazenda Experimental Lageado pertencente à FCA/UNESP, campus de Botucatu/SP. O sistema de tratamento é constituído por um desarenador, seguido de tanque de equalização, reator anaeróbico de fluxo ascendente (RAFA/UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanket) e decantadores primário e secundário, conforme a Figura 2.



Fonte: Google Earth (acesso em 03/07/2013).

Figura 2. Estação de Tratamento de Esgotos – ETE, localizada na Fazenda Experimental Lageado, FCA/UNESP, campus de Botucatu/SP (coordenadas 22°49'55"S, 48°25'49"OGr. e 762m de altitude).

A estação foi projetada para atender inicialmente 98.000 habitantes podendo chegar a 130.000 habitantes em 2035. Atualmente a ETE trata cerca de 386 L s^{-1} de esgoto, com vazão média de tratamento é de 355 L s^{-1} , com máxima prevista de 588 L s^{-1} .

Ao sair da ETE o esgoto é lançado no Rio Lavapés que está enquadrado na Classe IV segundo o Decreto nº 10.755 de 22 de novembro de 1977 que dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976. É um rio que há anos sofre com problemas de poluição, os quais foram amenizados desde que a ETE iniciou suas atividades em 2006.

Durante os ciclos de cultivo, a cada semana o EET era captado na saída da ETE (Ponto 2, Figura 2) com carreta tanque, transportada até o Departamento de Solos e Recursos Ambientais e depositada em reservatório de fibra de vidro com capacidade para 1000L, o qual se encontrava do lado externo da estufa, conforme apresentado na Figura 3, A.

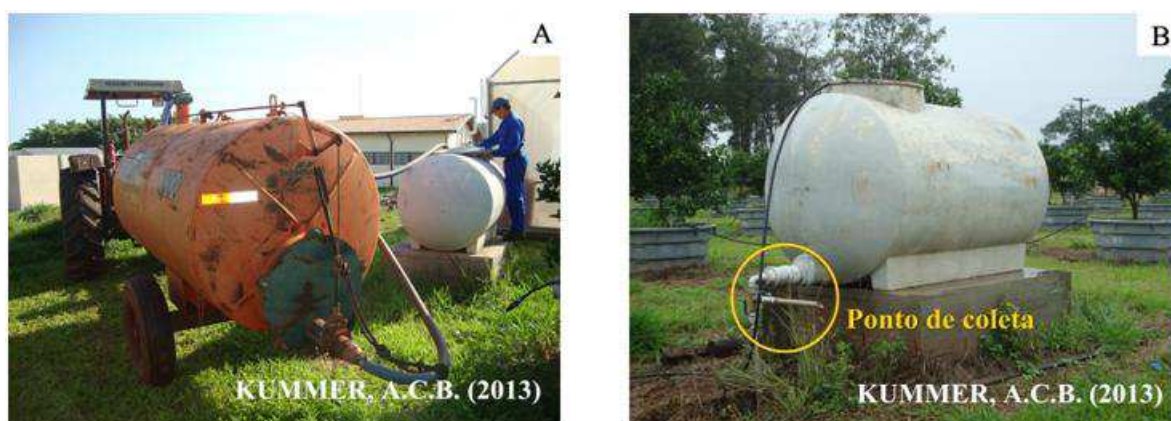


Figura 3. Abastecimento do reservatório de EET por carreta tanque (A); Reservatório para armazenamento do EET e ponto de coleta das amostras para análise química (B).

Com o objetivo de se caracterizar o EET quanto ao pH, condutividade elétrica, macro e micronutrientes, foi realizado um monitoramento com coletas semanais na saída do reservatório (Figura 3, B). As coletas e a preservação das amostras seguiu metodologia descrita em APHA (2005). As análises químicas do EET foram realizadas baseadas na metodologia proposta por Malavolta et. al (1997) para avaliação do estado nutricional das plantas. As análises do teor de K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn foram realizadas por espectrofotometria de absorção atômica. As análises do teor de P

foram realizadas pela colorimetria do metavanadato. Os teores de S e N foram determinados pela turbidimetria do sulfato de bário e pelo semi-Kjeldahl, respectivamente.

A partir da caracterização do EET foram estimadas as quantidades totais de N e P adicionadas via irrigação no decorrer do ciclo de cada cultura. Os resultados são apresentados nas Tabela 3 e 4 para trigo e soja, respectivamente.

Tabela 3. Estimativa da quantidade de nitrogênio e fósforo acrescidos no ciclo da cultura do trigo via irrigação com efluente de esgoto tratado.

Estádio*	Período (dias)	EET			
		N	P	N	P
		(mg vaso ⁻¹)		(kg ha ⁻¹)	
Emergência e início do perfilhamento	0-24	143,87	3,87	9,58	0,26
Início da elongação ao final do emborrachamento	25-41	157,53	12,73	10,49	0,85
Início do espigamento ao final do florescimento	42-69	1160,80	96,73	77,28	6,44
enchimento de grãos					
Grãos em massa e início da maturação	70-98	1567,87	135,60	104,39	9,03
Total		3.030,07	248,93	201,74	16,57

*Estádio de desenvolvimento da cultura.

Tabela 4. Estimativa da quantidade de nitrogênio e fósforo acrescidos no ciclo da cultura da soja via irrigação com efluente de esgoto tratado.

Estádio*	Período (dias)	EET			
		N	P	N	P
		(mg vaso ⁻¹)		(kg ha ⁻¹)	
S-V2	0-9	18,25	10,95	1,22	0,73
V2-R1	10-41	198,87	24,15	13,24	1,61
R1-R5/R6	42-73	263,67	45,01	17,55	3,00
R7-R8	74-97	221,20	62,17	14,73	4,14
Total		701,98	142,28	46,74	9,47

*Estádio de desenvolvimento da cultura; **S: semeadura; V2: folha desenvolvida no primeiro nó acima do unifoliolado; R1: início da floração; R5: início da formação da semente; R6: semente cheia; R7: início da maturidade; R8: maturidade completa.

Realizou-se concomitantemente o monitoramento da temperatura do EET, através de um sensor modelo 107L (Campbell Scientific Inc.) instalado na parte central do reservatório, que se encontrava conectado a um sistema de aquisição de dados automático da Campbell Scientific Inc., com registros dos valores médios, máximos e mínimos diários. As variações diárias da temperatura do líquido no interior do reservatório

são apresentadas nas Figura 4 e 5, para o período experimental com as culturas de trigo e de soja, respectivamente.

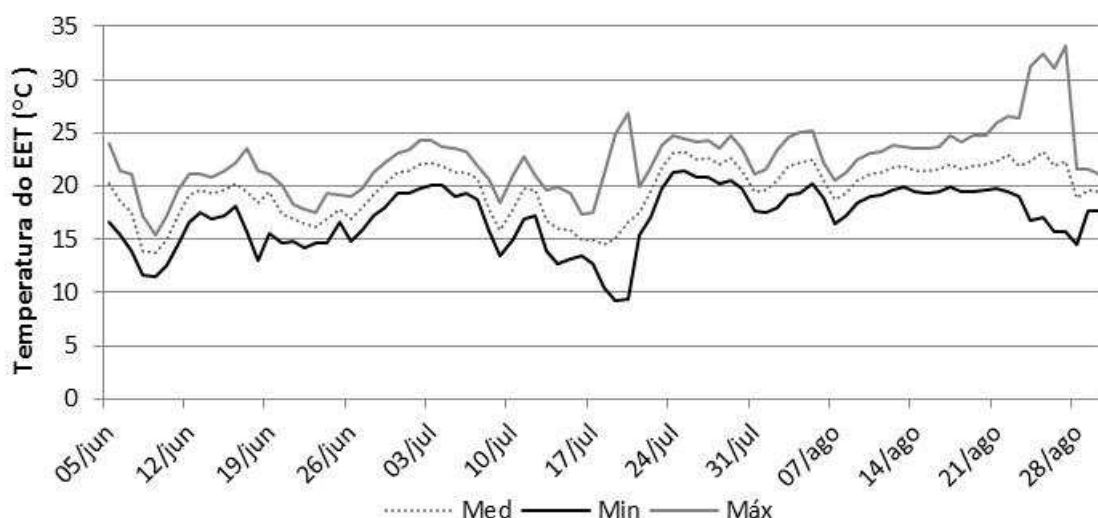


Figura 4. Variação diária da temperatura do efluente de esgoto tratado (EET) no interior do reservatório durante o período experimental de realização do ensaio com a cultura do trigo, com registros a partir de 05/06/2012 até 30/08/2012.

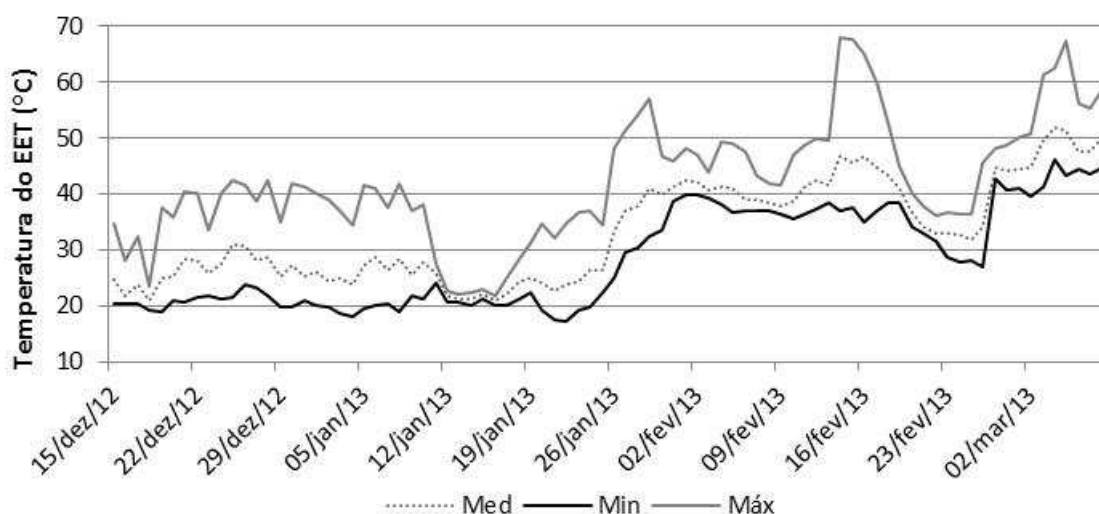


Figura 5. Variação diária da temperatura do efluente de esgoto tratado (EET) no interior do reservatório durante o período experimental de realização do ensaio com a cultura da soja, com registros a partir de 15/12/2012 até 30/03/2013.

3.7 Irrigação: sistema e manejo

O fornecimento de água às plantas foi realizado via irrigação localizada por gotejamento, diariamente, através de dois sistemas independentes, sendo um para cada parcela experimental. Cada sistema foi composto por um conjunto motobomba marca Ferrari, modelo IDB-35, de 1/3 de CV responsável pela pressurização do sistema,

além de um filtro de discos de 1 e 1/2” 50 microns e um manômetro para verificação da pressão de trabalho, que era regulada a 10 m.c.a.

A rede hidráulica do sistema foi constituída de tubulação PELDB (mangueiras de polietileno da Agrojet) de 26,3 mm na linha principal e de 13,8 mm nas linhas laterais, onde foram inseridos microtubos PELBED (microtubos de polietileno) de 5 mm de diâmetro interno. Na extremidade do microtubo foi adaptado gotejador marca Netafim autocompensante com vazão nominal de 4 L h⁻¹, compreendendo 1 gotejador por vaso como pode ser visualizado na Figura 6.

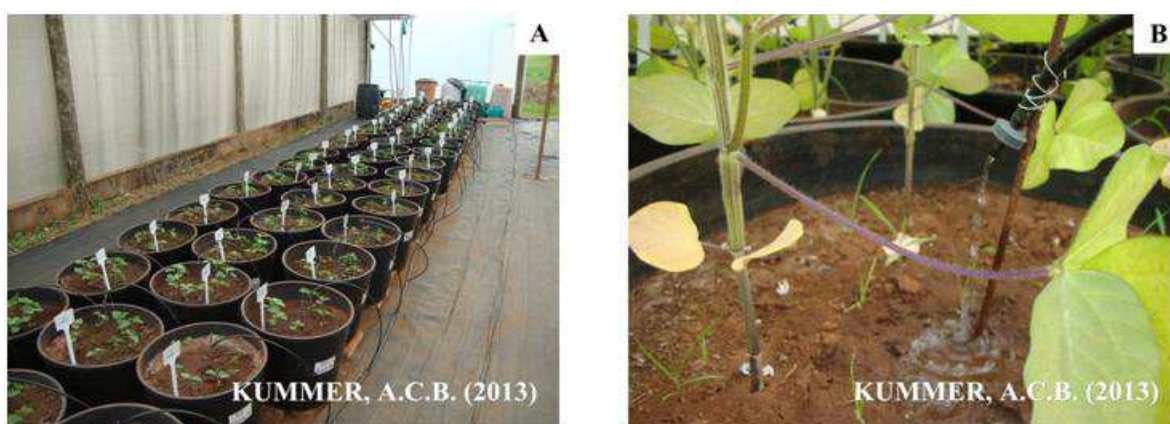


Figura 6. Parte da rede hidráulica instalada na parcela experimental irrigada com efluente de esgoto tratado (A) e gotejador autocompensante adaptado na extremidade do microtubo (B).

A água potável foi proveniente da rede de abastecimento público de água do município de Botucatu/SP, operada pela Sabesp (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo). A água era reservada em caixa d'água com capacidade para 500L disposta no interior da estufa, cujo reabastecimento era realizado automaticamente de acordo com o volume utilizado na irrigação. Esta foi efetuada diariamente de maneira a repor a quantidade de água utilizada pelas plantas devido à evapotranspiração da cultura, estimada diariamente a partir da evaporação da água do Tanque Classe A, instalado na parte central do ambiente protegido.

A evapotranspiração da cultura (ET_c) foi determinada pela seguinte equação:

$$ET_c = ET_o \times K_c$$

Onde:

- ETo é a evapotranspiração obtida pelo produto entre a evaporação do tanque Classe A (ECA) e o coeficiente do tanque (Kp), o qual foi determinado pelo método de Snyder (1992), que segundo Cunha (2011) é um dos métodos mais adequados quando se trabalha em condições de ambiente protegido na região de Botucatu/SP; e
- Kc é a o coeficiente de cultura, para o qual adotou-se valores específicos em função do estágio fenológico da cultura. Para o trigo esses valores foram de 0,32, 1,57 e 0,60 nas fases inicial, intermediária e final, respectivamente (GUERRA et al., 2003; INFORMAÇÕES..., 2011). Valores de 0,50 na fase inicial, 1,50 na fase intermediária e 0,91 na fase final, foram utilizados para a cultura da soja (BERLATO et al., 1986; FARIAS et al., 2001). Para valores intermediários do período médio de duração, o coeficiente de cultura (Kc) foi obtido por interpolação.

Assim, a lâmina de água a ser aplicada em cada unidade experimental foi determinada pela equação:

$$Lap = \frac{ETc \times A}{Ef}$$

Onde:

Lap = Lâmina a ser aplicada;

ETc = Evapotranspiração da cultura;

A = Área do vaso

Ef = Eficiência do sistema de irrigação (95%).

Vale ressaltar que o tempo de irrigação foi obtido pela razão entre a lâmina a ser aplicada e a intensidade de aplicação do gotejador.

3.8 Medições micrometeorológicas

Foram registrados os dados de temperatura (Tar, °C) e umidade relativa do ar (URar, %) no interior do ambiente protegido durante todo período experimental, através de dois termopares conectados à um sistema de aquisição de dados

automático da Campbell Scientific Inc. modelo CR23X, programado para varredura dos sensores a cada minuto, e armazenando valores médios, mínimos, máximos e/ou totais, a cada 10 minutos. As variações de temperatura e umidade relativa do ar para o primeiro ensaio são expostas nas Figuras 7 e 8 e para o segundo ensaio nas Figuras 9 e 10, respectivamente.

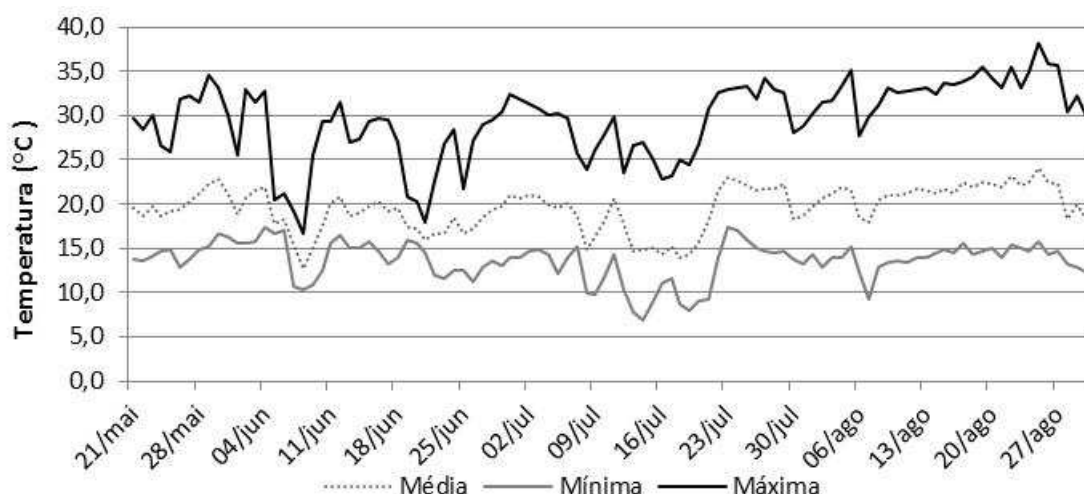


Figura 7. Variação diária da temperatura (T_{ar} , °C) no interior do ambiente protegido durante o período experimental de realização do ensaio com a cultura do trigo, de 21/05/2012 a 30/08/2012.

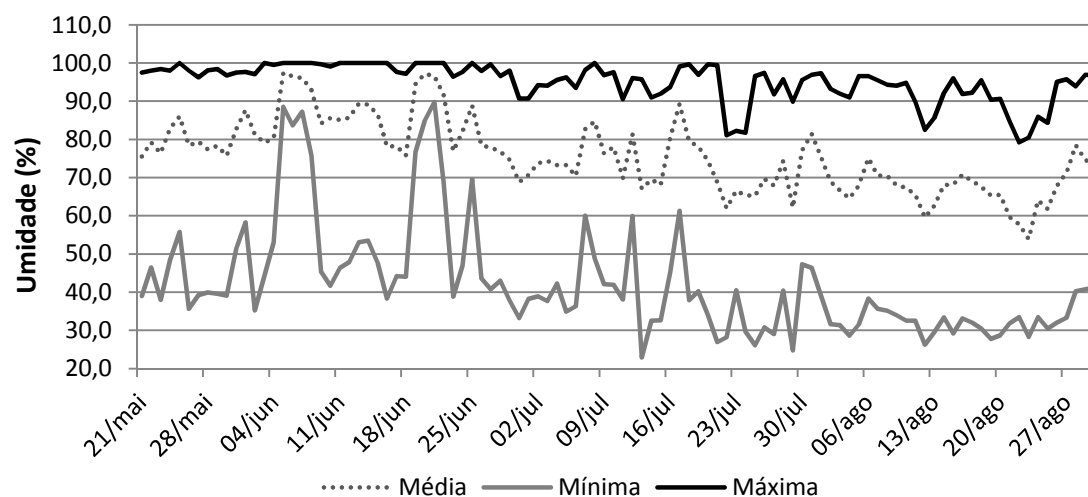


Figura 8. Variação diária da umidade relativa do ar (U_{ar} , %) no interior do ambiente protegido durante o período experimental de realização do ensaio com a cultura do trigo, de 21/05/2012 a 30/08/2012.

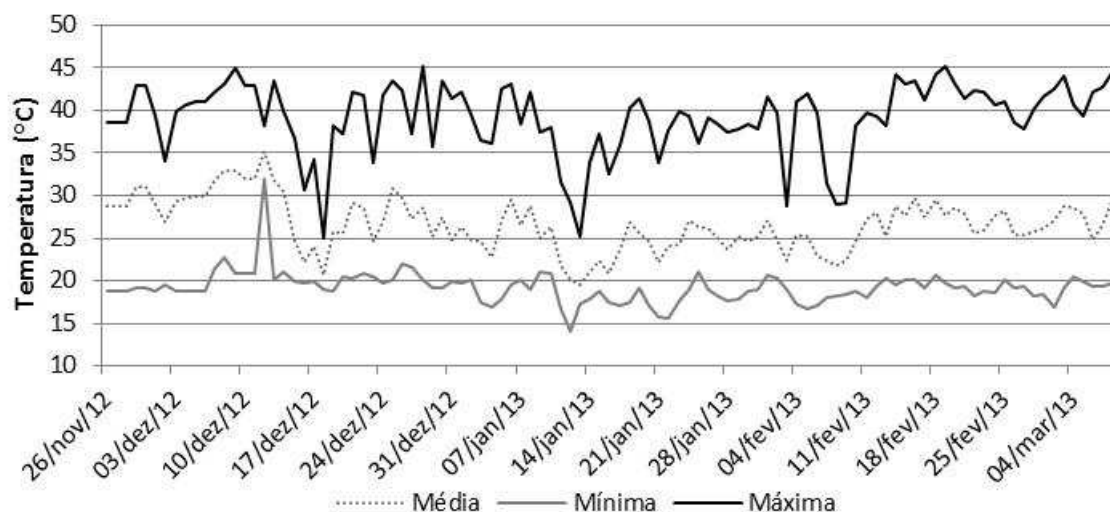


Figura 9. Variação diária da temperatura (T_{ar} , °C) no interior do ambiente protegido durante o período experimental de realização do ensaio com a cultura da soja, de 26/11/2012 a 08/03/2013.

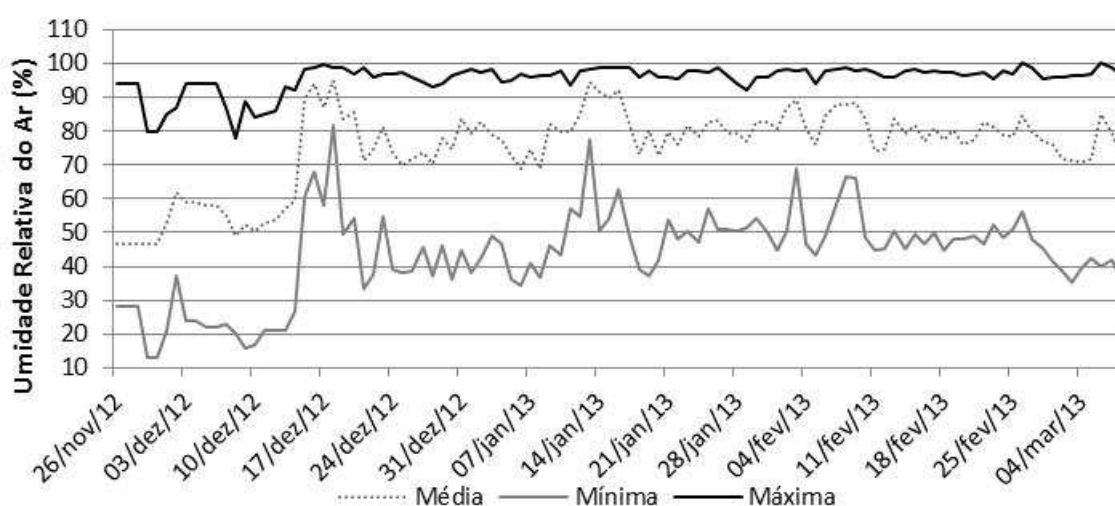


Figura 10. Variação diária da umidade relativa do ar (U_{ar} , %) no interior do ambiente protegido durante o período experimental de realização do ensaio com a cultura da soja, de 26/11/2012 a 08/03/2013.

3.9 Ensaio I: cultura do trigo

3.9.1 Operações de instalação do ensaio

A seguir são detalhadas as operações iniciais realizadas na fase de instalação do ensaio com a cultura do trigo.

– **Análise química do solo** – Antecedendo à instalação do experimento foi realizada a caracterização química do solo de cada tratamento para fins de adubação e calagem quando necessário. Os resultados médios dessas análises são apresentados na Tabela 5.

– **Adubação mineral e calagem** – De posse dos resultados da análise química e de acordo com a recomendação da adubação para a cultura do trigo (RAIJ et al., 1997) foram calculadas as doses de N, P e K necessários para o pleno desenvolvimento da cultura. Os fertilizantes escolhidos para compor a adubação mineral foram Superfósfato Triplo (ST), Cloreto de Potássio (KCl) e Uréia. A adubação com ST e KCl foi realizada em todos os tratamentos de maneira a uniformizar o solo em 150 mg dm^{-3} de P e 80 mg dm^{-3} de K. Quanto ao N a recomendação foi de 40 mg dm^{-3} , equivalente à 80 kg ha^{-1} (RAIJ et al., 1997). Para o T1 foram aplicados $12,5 \text{ mg dm}^{-3}$ de N via uréia na semeadura, até 10 dias após a emergência - DAE das plântulas, e o restante, $27,5 \text{ mg dm}^{-3}$ de N em cobertura, ou seja, 30 DAE. Já para o T2 a recomendação de N mineral foi de 20 mg dm^{-3} , sendo aplicados $12,5 \text{ mg dm}^{-3}$ na semeadura e $7,5 \text{ mg dm}^{-3}$ em cobertura. O N necessário para completar o exigido pela cultura (40 mg dm^{-3}) foi adicionado via lodo de esgoto. Somente o solo do T0 da parcela experimental irrigada com EET apresentou necessidade de elevação da saturação de bases a 70%, onde foram aplicados 11 g de calcário (PRNT=90%) por vaso.

– **Adubação via lodo de esgoto** – O cálculo das doses de lodo de esgoto a serem empregadas em cada tratamento, foi baseado na quantidade de N presente do resíduo orgânico e na taxa de mineralização do N do lodo de esgoto. Considerando que para 100 kg de lodo na base seca tem-se 1,1 kg de N (Tabela 2); e que 30% desse N serão mineralizados no primeiro ano (Norma CETESB P 4.230; Resolução CONAMA nº 375/2006), as quantidades de lodo de esgoto destinadas para cada tratamento foram:

- T0 – tratamento sem lodo de esgoto (dose 0);
- T1 – tratamento sem lodo de esgoto (dose 0);
- T2 – 153 g/vaso, dose equivalente à aproximadamente 12 t ha^{-1} (metade da dose de N recomendada, via lodo de esgoto – $40 \text{ kg de N ha}^{-1}$);
- T3 – 305 g/vaso, dose equivalente à aproximadamente 24 t ha^{-1} (100% da dose de N recomendada, via lodo de esgoto – $80 \text{ kg de N ha}^{-1}$);
- T4 – 458 g/vaso, dose equivalente à aproximadamente 36 t ha^{-1} (150% da dose de N recomendada, via lodo de esgoto – $120 \text{ kg de N ha}^{-1}$);

- T5 – 610 g/vaso, dose equivalente à aproximadamente 48 t ha⁻¹ (200% da dose de N recomendada, via lodo de esgoto – 160 kg de N ha⁻¹); e
- T6 – 763 g/vaso, dose equivalente à aproximadamente 60 t ha⁻¹ (250% da dose de N recomendada, via lodo de esgoto – 200 kg de N ha⁻¹);
- **Preparo dos vasos** – Para cada vaso retirou-se o solo contido em toda a camada de 0-20 cm, o qual era colocado sobre lona plástica, incorporando-se os adubos minerais, o lodo de esgoto compostado e o calcário (quando necessário), procurando dar a maior uniformidade possível. Para facilitar a aplicação do resíduo orgânico, as quantidades de lodo de esgoto referentes a cada tratamento foram separadas em sacos plásticos até o momento da incorporação. Após elevar a umidade do solo até 70% da capacidade de campo, os vasos foram cobertos com lona plástica e mantidos incubados por 18 dias. No dia 18/05/2012 os vasos foram descobertos e o solo escarificado na profundidade de 5 cm com garfo de jardim para facilitar a semeadura (Figura 11, A).
- **Semeadura** – Em 21/05/2012 foi realizada a semeadura adotando-se 30 sementes/vaso. A cultivar utilizada foi a CD150 da Coodetec (Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola, Cascavel/PR) resultante do cruzamento da CD104 com a CD108. É uma cultivar de porte baixo, com altura média de planta de 68 cm, moderadamente suscetível à oídio. Com o objetivo de distribuir as sementes de maneira equidistante, foram feitos “gabaritos” em EVA (Etil Venil Acetato – borracha sintética), recortados no formato da área do vaso e furados em espaços de aproximadamente 3 cm (Figura 11, B). Após a emergência, procedeu-se o desbaste, restando 24 plantas por vaso.

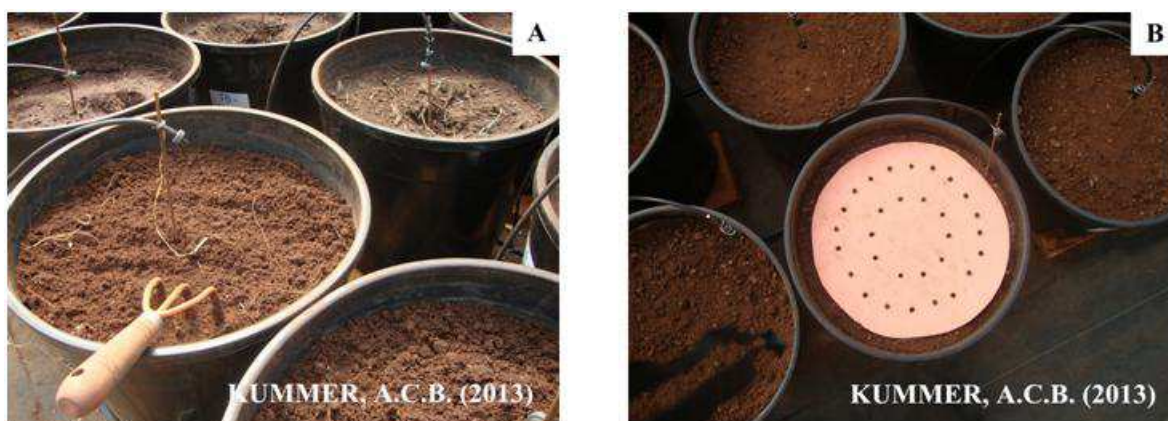


Figura 11. Solo escarificado (A) e “gabarito” utilizado para semeadura do trigo (B).

Tabela 5. Resultados médios da análise química do solo antecedendo à instalação do experimento com a cultura do trigo.

Parcela	Trat.	pH	M.O.	P _{resina}	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³				mmol _c dm ⁻³							mg dm ⁻³			
EET	T0	5,5	20	5	0	27	0,6	24	16	41	68	60	23	0,21	0,6	34	0,5	0,5
	T1	6,0	23	8	0	19	0,5	32	23	55	75	74	26	0,14	0,5	27	0,3	0,4
	T2	6,3	23	13	0	19	0,8	49	26	76	95	80	26	0,24	0,8	27	0,5	4,1
	T3	6,3	20	19	0	19	0,6	48	26	74	93	80	39	0,34	1,0	27	0,7	10,0
	T4	6,3	22	46	0	14	0,5	62	25	87	101	87	45	0,25	2,2	34	0,9	20,4
	T5	6,2	23	33	0	16	0,6	54	23	77	94	82	92	0,35	1,7	32	1,0	18,2
	T6	6,3	21	37	0	16	0,6	52	20	73	89	82	96	0,29	2,2	37	1,3	21,2
AP	T0	6,1	19	6	0	15	0,6	33	24	58	73	79	11	0,18	0,5	24	0,4	1,2
	T1	6,4	20	3	0	16	0,4	37	27	64	80	80	10	0,19	0,5	22	0,4	0,2
	T2	6,5	20	14	0	14	0,6	49	29	79	92	85	11	0,17	0,6	22	0,6	2,8
	T3	6,5	20	32	0	12	0,6	71	32	104	116	90	60	0,19	1,5	29	1,0	12,6
	T4	6,2	25	36	0	16	0,4	55	26	81	97	83	65	0,22	1,9	38	1,2	16,0
	T5	6,7	25	28	0	12	0,6	58	32	91	102	88	54	0,17	1,3	29	0,9	12,0
	T6	6,5	20	31	0	13	0,5	55	27	82	96	86	61	0,19	1,2	27	0,8	11,2

*EET: efluente de esgoto tratado; AP: água potável; Trat.: tratamentos; M.O.: matéria orgânica; SB: saturação de bases; CTC: capacidade de troca de cátions; V%: percentagem de saturação por bases.

Durante o ciclo da cultura foram realizados tratos culturais como controle de praga e retirada de plantas daninhas.

3.9.2 Parâmetros avaliados

No decorrer da fase experimental foram avaliadas variáveis relativas ao desenvolvimento e à produção da cultura do trigo.

3.9.2.1 Componentes de desenvolvimento e produção

- **Número de perfilhos** – A emissão de perfilhos foi avaliada aos 60 DAE de maneira não destrutiva, sendo determinado com base em amostras aleatórias de 10 plantas na unidade experimental (vaso), tendo como resultado os valores médios do número de perfilhos por planta.
- **Massa seca da parte aérea** – por ocasião da maturidade fisiológica, aos 98 DAE, todas as 24 plantas de cada vaso foram colhidas, excluindo-se raízes e espigas. O material colhido (colmo + folhas) foi reservado em sacos de papel identificados com as respectivas unidades experimentais e tratamentos. Estes foram dispostos em estufa com temperatura em torno de 65°C e circulação forçada de ar, até peso constante. O material foi pesado em balança de precisão (0,001g) obtendo-se os resultados de massa seca, expressos em g vaso⁻¹.
- **Número de espigas por planta** – na colheita, as espigas foram separadas em sacos de papel identificados com os respectivos tratamentos. Em laboratório foi realizada a contagem, cujo o número de espigas por planta foi obtido pela razão entre o número total de espigas na unidade experimental e o número total de plantas.
- **Comprimento da espiga** – com uma régua graduada foi mensurado, em centímetros, o comprimento médio de cinco espigas escolhidas ao acaso de cada unidade experimental, excluindo-se as aristas.
- **Número de espiguetas por espiga** – definido a partir do número médio de espiguetas de três espigas escolhidas ao acaso por unidade experimental.
- **Número de grãos por espiga** – obtido a partir do número médio de grãos de 10 espigas, as quais foram escolhidas de maneira que melhor representassem a unidade experimental.
- **Massa de grãos por espiga** – mensurado através da razão entre a massa de grãos em 10 espigas corrigida para 13% de umidade e o número de espigas.

- **Rendimento de grãos por plantas** – primeiramente determinou-se a massa total de grãos por unidade experimental e/ ou vaso através do produto da massa de grãos em 10 espigas e o número total de espigas dividido por 10. Assim, o rendimento de grãos por planta resultou da razão entre a massa total de grãos por vaso pelo número total de plantas na mesma unidade, que compreendia 24 plantas.
- **Massa de 100 grãos** – avaliada utilizando-se oito repetições de 100 grãos, por tratamento, cujas massas foram determinadas em balança de precisão (0,001g), seguindo os critérios estabelecidos nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1992), sendo o resultado final expresso em gramas.

3.9.2.2 Análise química nas folhas

Por ocasião do início da floração, realizou-se a diagnose foliar com coleta da folha bandeira de três plantas de cada unidade experimental (vaso), perfazendo uma amostra composta de 30 folhas por tratamento. Procedeu-se a lavagem destas, com detergente e água deionizada, colocadas em sacos de papel identificados com os respectivos tratamentos e mantidas em estufa com ventilação forçada de ar a 65°C até peso constante. Em etapa seguinte as amostras foram moídas em moinho tipo Willey e levadas ao Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da FCA/UNESP – Botucatu/SP, para determinação, em triplicata, dos elementos químicos presentes no tecido vegetal. Dessa maneira determinou-se os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997).

3.9.2.3 Análise química nos grãos

Para cada tratamento obteve-se 10 amostras de grãos, a partir da trilhagem de 10 espigas por unidade experimental. Do total de amostras, foram escolhidas três ao acaso, sendo o material mantido em estufa com ventilação forçada de ar a 65°C até peso constante e moído em moinho tipo Willey. Em etapa seguinte, as amostras já preparadas, foram encaminhadas ao Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, FCA/UNESP – Botucatu/SP, para determinação analítica de macro e micronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997). Para as mesmas amostras determinou-se os teores de As, Ba, Cd, Pb, Cr, Hg, Mo, Ni e Se, realizadas por ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry) e/ou espectrofotometria de absorção atômica - modelo AA-6800

SHIMADZU pela técnica de forno de grafite ou via chama, espectrofotometria UV/VIS (Ultra violeta/Visível), dependendo do elemento.

3.10 Ensaio II: cultura da Soja

3.10.1 Operações de instalação do ensaio

A seguir são detalhadas as operações iniciais realizadas na fase de instalação do ensaio com a cultura da soja.

– **Análise química do solo** – Assim como para o ensaio I, antecedendo à instalação do experimento foi realizada a caracterização química do solo de cada tratamento, para fins de adubação e calagem quando necessário. Os resultados médios dessas análises são apresentados na Tabela 6.

– **Adubação mineral e calagem** – De posse dos resultados da análise química e de acordo com a recomendação da adubação para a cultura da soja (RAIJ et al., 1997) foram calculadas as doses de P e K necessários para o pleno desenvolvimento da cultura. Os fertilizantes escolhidos para compor a adubação mineral foram Superfosfato Triplo (ST) e Cloreto de Potássio (KCl). Nos tratamentos T2, T3, T4, T5 e T6 das parcelas irrigadas com AP e EET, a recomendação foi de $8,7 \text{ mg dm}^{-3}$ de P. Nos T1 (AP e EET) foram aplicados $10,9 \text{ mg dm}^{-3}$ de P, enquanto que para os T0 (AP e EET) a dose foi de $17,5 \text{ mg dm}^{-3}$ de P. A recomendação de N foi baseada no trabalho de Lobo et al. (2012a) que obtiveram uma melhor resposta no número de nódulos da raiz de soja com aplicação de 20 t ha^{-1} de lodo de esgoto. Assim, os cálculos foram baseados na quantidade de N presente no lodo compostado, resultando numa recomendação de 33 mg dm^{-3} de N (equivalente à 66 kg ha^{-1} de N) aplicados via uréia. Não houve necessidade de elevar a saturação de bases do solo dos tratamentos.

Tabela 6. Resultados médios da análise química do solo antecedendo à instalação do experimento com a cultura da soja.

Parcela	Trat.	pH	M.O.	P _{resina}	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³				mmol _c dm ⁻³							mg dm ⁻³			
EET	T0	6,0	21	13	0	23	0,6	37	23	60	83	72	136	0,20	0,8	34	0,4	1,1
	T1	5,2	21	34	0	39	0,5	30	16	47	86	55	231	0,32	1,2	57	1,1	9,5
	T2	6,3	23	96	0	17	0,3	52	25	78	95	82	214	0,31	1,7	45	1,7	21,3
	T3	6,0	22	94	0	23	0,1	49	19	68	91	75	37	0,36	2,3	50	1,6	27,5
	T4	6,4	29	131	0	16	0,3	84	29	114	130	87	260	0,55	3,4	54	2,6	49,5
	T5	6,2	26	129	0	19	0,2	77	28	106	125	85	262	0,50	3,6	58	2,4	45,5
	T6	6,3	27	108	0	18	0,8	70	27	98	116	84	273	0,56	3,1	56	2,4	44,0
AP	T0	6,3	21	8	0	13	0,2	34	24	59	72	82	5	0,14	0,4	27	0,6	2,4
	T1	6,2	22	30	0	16	0,1	37	25	61	77	80	5	0,12	0,3	27	0,5	2,2
	T2	5,7	26	65	0	25	0,1	42	19	61	86	71	84	0,27	2,0	49	1,1	23,0
	T3	6,0	25	80	0	24	0,2	46	18	65	88	73	88	0,32	2,3	46	1,1	25,3
	T4	6,1	31	174	0	22	0,2	68	24	92	113	81	245	0,39	3,3	55	2,1	38,8
	T5	6,5	28	260	0	13	0,3	82	31	114	127	90	251	0,37	2,9	49	2,3	43,8
	T6	6,0	29	193	0	22	0,3	73	20	93	116	81	35	0,45	5,2	77	2,2	59,5

*EET: efluente de esgoto tratado; AP: água potável; Trat.: tratamentos; M.O.: matéria orgânica; SB: saturação de bases; CTC: capacidade de troca de cátions; V%: percentagem de saturação por bases.

– **Adubação via lodo de esgoto** – O cálculo das doses de lodo de esgoto a serem empregadas em cada tratamento, foi baseado na quantidade de N presente do resíduo orgânico e na taxa de mineralização do N do lodo de esgoto. Considerando que para 100 kg de lodo na base seca tem-se 1,1 kg de N (Tabela 2); e que 30% desse N serão mineralizados no primeiro ano, as quantidades de lodo de esgoto destinadas para cada tratamento foram:

- T0 – tratamento sem lodo de esgoto (dose 0).
- T1 – tratamento sem lodo de esgoto (dose 0) – 66 kg ha⁻¹ de N mineral via uréia;
- T2 – 125 g/vaso, dose equivalente à aproximadamente 10 t ha⁻¹ (metade da dose de N recomendada, via lodo de esgoto – 33 kg ha⁻¹ de N mineral + 33 kg de N via lodo);
- T3 – 250 g/vaso, dose equivalente à aproximadamente 20 t ha⁻¹ (100% de N da dose recomendada, via lodo de esgoto – 66 kg ha⁻¹ de N);
- T4 – 375 g/vaso, dose equivalente à aproximadamente 30 t ha⁻¹ (150% de N da dose recomendada, via lodo de esgoto – 99 kg ha⁻¹ de N);
- T5 – 500 g/vaso, dose equivalente à aproximadamente 40 t ha⁻¹ (200% de N da dose recomendada, via lodo de esgoto – 132 kg ha⁻¹ de N);
- T6 – 625 g/vaso, dose equivalente à aproximadamente 50 t ha⁻¹ (250% de N da dose recomendada, via lodo de esgoto – 165 kg ha⁻¹ de N).

– **Preparo dos vasos** – Para cada vaso retirou-se o solo contido em toda a camada de 0-20 cm, o qual era colocado sobre lona plástica, incorporando-se os adubos minerais e o lodo de esgoto compostado, procurando dar a maior uniformidade possível. Para facilitar a aplicação do resíduo orgânico, as quantidades de lodo de esgoto referentes a cada tratamento foram separadas em sacos plásticos até o momento da incorporação. A umidade do solo dos vasos foi elevada até 70% da capacidade de campo e três dias depois o solo foi escarificado na profundidade de 5 cm com garfo de jardim para facilitar a semeadura.

– **Semeadura** – Realizada em 26/11/2012 adotando-se oito sementes por vaso. A cultivar utilizada foi a Monsoy 7211 RR, de porte alto, fertilidade alta e moderadamente resistente à oídio. As sementes foram inoculadas imediatamente antes da semeadura com Gelfix 5, inoculante para soja da Natural Urbana. Foi utilizado um riscador de madeira para marcar um sulco de aproximadamente 1,5 cm de profundidade, o qual seguiu a circunferência do

vaso onde as sementes foram dispostas de maneira equidistante (Figura 12, A). Após a emergência (Figura 12 B) procedeu-se o desbaste, restando três plantas por vaso.

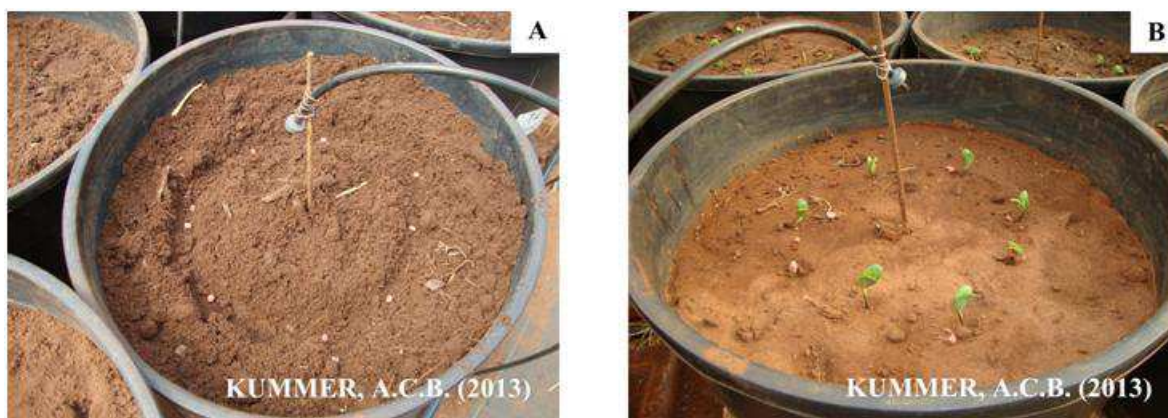


Figura 12. Sulco feito no solo para semeadura da soja (A) e plântulas de soja seis dias após a semeadura, antecedendo o desbaste.

Durante o ciclo da cultura foram realizados tratos culturais como controle de praga e retirada de plantas daninhas.

3.10.2 Parâmetros avaliados

Observou-se diferentes variáveis relativas ao desenvolvimento e à produção da cultura, sendo que no decorrer da fase experimental foram realizadas análises por método destrutivo aos 40 e 60 DAE, restando, na maturidade fisiológica de colheita, somente uma planta por unidade experimental (vaso).

3.10.2.1 Componentes de desenvolvimento e produção

- **Altura de planta** – mensurada aos 40, 60 e 97 DAE, utilizando uma régua de madeira graduada. É a distância, em centímetros, compreendida entre a base e o ápice da haste principal, avaliada em uma planta por unidade experimental.
- **Número de nós vegetativos** – referente-se à contagem de número de nós presentes na haste principal, avaliado aos 40 e 60 DAE.
- **Diâmetro da haste principal** – mensurado com paquímetro digital, em milímetros, medindo-se a região compreendida entre o colo da planta e a cicatriz do nó cotiledonar, aos 40, 60 e 97 DAE.
- **Massa de matéria seca da parte aérea** – por ocasião da colheita de uma planta por unidade experimental, aos 40 e 60 DAE, foi determinada a massa de matéria seca, em g planta⁻¹. As amostras (haste, folhas, pecíolo e vagens) foram levadas para secagem em

estufa a 65°C com ventilação de ar forçado, até obter peso constante e aferiram-se suas massas.

– **Número de nódulos na raiz** – na colheita separou-se a parte aérea das raízes, as quais foram acondicionadas em recipiente contendo uma solução de 30% álcool e 70% água, a fim de conservar as mesmas até o momento da avaliação. Assim, as raízes eram retiradas dos recipientes e colocadas sob papel branco e com auxílio de uma pinça procedeu-se a contagem do número de nódulos de cada planta.

– **Massa de matéria seca da raiz** – após a contagem do número de nódulos, as raízes foram lavadas em água corrente. Todo o material, ou seja, parte radicular mais os nódulos que eventualmente desprendiam-se da raiz, foram levados à estufa com ventilação de ar forçado à 65°C até peso constante, e em etapa seguinte, aferiram-se suas massas.

– **Número de vagens por planta** – determinado através de contagem das vagens verdes e secas de cada planta.

– **Número de grãos por vagem** – as vagens foram debulhadas, sendo contados os grãos em contador eletrônico e, pela relação entre número de grãos e de vagens, foi determinado o número de grãos por vagem.

– **Número de grãos por planta** – definido pela contagem do número total de grãos por planta, através de um contador eletrônico.

– **Massa de 100 grãos** – avaliada utilizando-se oito repetições de 100 grãos, por tratamento, cujas massas foram determinadas em balança de precisão (0,001g) seguindo os critérios estabelecidos nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1992), sendo o resultado final expresso em gramas.

– **Rendimento de grãos** – determinado pela massa de grãos presente em cada planta, corrigida para 13% de umidade, expresso em g planta⁻¹, lembrando que cada unidade experimental continha apenas uma planta na fase final.

3.10.2.2 Análise química nas folhas

No final do florescimento, foi realizada a diagnose foliar, com coleta da primeira folha amadurecida a partir da ponta do ramo, excluindo-se o pecíolo. Como a coleta foi efetuada a partir de uma planta por vaso, obteve-se uma amostra composta por tratamento, onde a análise química dos elementos avaliados se deu em triplicada. As folhas foram lavadas com detergente e água deionizada, colocadas em sacos de papel identificados com os tratamentos, mantidas em estufa com ventilação forçada de

ar a 65°C até peso constante, e moídas em moinho tipo Willey. Posteriormente encaminharam-se as amostras para o Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, da FCA/UNESP, Botucatu/SP, para que fossem determinados os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997).

3.10.2.3 Análise química nos grãos

Por ocasião da maturidade fisiológica de colheita, aos 97 DAE foi realizada a colheita da última planta que restava em cada unidade experimental, separando-se as vagens e em etapa seguinte os grãos, obtendo-se dessa maneira 10 amostras de grãos por tratamento. Destas, foram escolhidas três ao acaso, sendo o material mantido em estufa com ventilação forçada de ar a 65°C até peso constante e moído em moinho tipo Willey. Posteriormente as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, FCA/UNESP – Botucatu/SP, para que fossem determinados os teores de macro e micronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) de acordo com metodologia proposta por Malavolta et al. (1997). Para as mesmas amostras determinou-se os teores de metais pesados (As, Ba, Cd, Pb, Cr, Hg, Mo, Ni e Se) por ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry) e/ou espectrofotometria de absorção atômica - modelo AA-6800 SHIMADZU pela técnica de forno de grafite ou via chama, espectrofotometria UV/VIS (Ultra violeta/Visível), dependendo do elemento.

3.11 Análise química no solo

Objetivando avaliar o comportamento dos parâmetros químicos do solo em função da irrigação com diferentes tipos de águas e das repetidas aplicações de lodo de esgoto compostado, uma vez que os solos já vinham sendo manejados com o lodo antes da instalação dos experimentos, coletou-se amostras de solo de todos os tratamentos em três épocas distintas, assim descritas:

- Primeira coleta: antecedendo à instalação da cultura do trigo, após duas aplicações de lodo de esgoto compostado, cujas adubações foram realizadas em culturas antecedentes, ou seja, soja (ano 2011/2012) em sucessão ao trigo (ano 2011).
- Segunda coleta: após a colheita do trigo (ano 2012) e antecedendo à instalação com a cultura da soja, após a terceira aplicação de lodo de esgoto compostado no solo;
- Terceira coleta: realizada após a colheita da soja (ano 2012/2013), após a quarta aplicação de lodo de esgoto compostado no solo.

Escolheu-se aleatoriamente 8 unidades experimentais por tratamento de onde retitou-se amostras simples de solo, na faixa de profundidade de 0-20 cm, com auxílio de um trado tipo rosca de $\frac{3}{4}$ ". As amostras foram homogeneizadas duas a duas, perfazendo quatro amostras compostas por tratamento, para determinação dos teores de P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, além de características químicas como pH, teor de matéria orgânica (M.O.), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), CTC e saturação por bases (V%), segundo metodologia descrita por Raij et al. (2001).

3.12 Análise estatística

Os dados relativos às variáveis estudadas (componentes de produção, análises químicas do solo, planta e grãos) foram analisados estatisticamente por meio do software SISVAR e submetidos à análise de variância à 5% de probabilidade, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Optou-se por refazer a análise estatística dos tratamentos que receberam somente lodo de esgoto compostado, adotando-se a análise de regressão. A presença de significância para esta análise possibilitou a confecção de gráficos, mostrando o comportamento dos parâmetros estudados em função do aumento da dose do composto orgânico.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados e discussões referentes aos parâmetros de desenvolvimento e de produção avaliados nas culturas de trigo e de soja, além dos parâmetros referentes às características químicas das plantas (folhas e grãos) e do solo, coletado em três épocas distintas. Para facilitar a leitura do trabalho, optou-se por apresentar no apêndice as tabelas de resumo da análise de variância do delineamento experimental em parcelas subdivididas e da análise de regressão. Desse modo, no corpo do texto são apresentadas as tabelas com a comparação de médias em que se observou diferença estatística significativa a 5% de probabilidade, com os respectivos coeficientes de variação e diferença mínima significativa. Além disso, são apresentados os gráficos de regressão para os tratamentos em que se utilizou somente o lodo de esgoto compostado em doses crescentes à substituição da adubação nitrogenada convencional.

4.1 Cultura do trigo

4.1.1 Desenvolvimento e componentes de produção do trigo

Aos 60 DAE procurou-se avaliar a emissão de perfilhos, visto que é uma variável que pode interferir na produção da cultura, pois se espera que um maior número de perfilhos acarrete em maior rendimento. Fornasieri Filho (2008) relata que o perfilhamento é o processo fisiológico que possibilita à planta tirar vantagem das boas condições de cultivo, onde sob condições normais de campo, pode produzir um total de

três perfilhos no colmo principal. Dessa forma, na Tabela 7 são apresentados os valores médios do número de perfilhos por planta, obtido pela contagem em 10 plantas escolhidas ao acaso por unidade experimental.

Tabela 7. Resultados médios do número de perfilhos em plantas de trigo.

Tipo de Água	Tratamentos ⁽¹⁾						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Número de perfilhos por planta							
AP	1,07 Be	1,98 Bd	2,61 Bbc	2,17 Bcd	2,87 Aab	3,36 Aa	3,36 Aa
EET	2,15 Ac	2,51 Abc	3,03 Aab	3,03 Aab	2,89 Aab	3,12 Aa	3,08 Aa
CV1(%) = 17,69; CV2(%) = 14,40; DMS1 = 0,38; DMS2 = 0,53							

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 80 kg ha⁻¹ N mineral; T2 = 40 kg ha⁻¹ N mineral + 40 kg ha⁻¹ N via lodo; T3, T4, T5 e T6 refere-se à 80, 120, 160 e 200 kg ha⁻¹ N via lodo, respectivamente. *AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela. **Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Sabe-se que o nitrogênio constitui um dos nutrientes mais exigidos pela cultura do trigo com a função, entre outros, de estimular o crescimento vegetativo. Assim, na Tabela 7, observa-se que a resposta da cultura em termos de número de perfilhos foi influenciada pelos níveis de adubação nitrogenada, pela fonte de fertilizante, bem como pelo tipo de água utilizada na irrigação. Houve interação significativa entre parcela e subparcela, com maior emissão de perfilhos nos tratamentos T5 e T6, onde se empregaram as maiores doses de lodo de esgoto.

É notada diferença estatística no perfilhamento do trigo entre as parcelas irrigadas com AP e EET até o T3, com médias superiores para os tratamentos irrigados com o efluente. Nos tratamentos T4, T5 e T6 o uso de diferentes águas não interferiu significativamente no número de perfilhos, provavelmente porque a quantidade de nitrogênio disponibilizado pelo lodo de esgoto foi capaz de suprir a demanda da cultura, sem efeitos significativos para doses superiores de N.

Essa diferença entre os tratamentos que receberam menor e maior dose de lodo foi observada visualmente no decorrer do experimento através da cobertura do solo pela quantidade de perfilhos emergidos, como mostrado na Figura 13, sendo maior a cobertura do solo nos tratamentos que se utilizou adubação nitrogenada.

Para os tratamentos controle (T0), ou seja, que não receberam adubação nitrogenada, a média do número de perfilhos na parcela irrigada com EET em relação à irrigada com AP, diferiu significativamente, com aumento no número de

perfilhos em torno de 50%. Isto mostra que os nutrientes advindos do esgoto sanitário favoreceram o incremento no número de perfilhos, atendendo mesmo que em parte, a demanda da cultura.

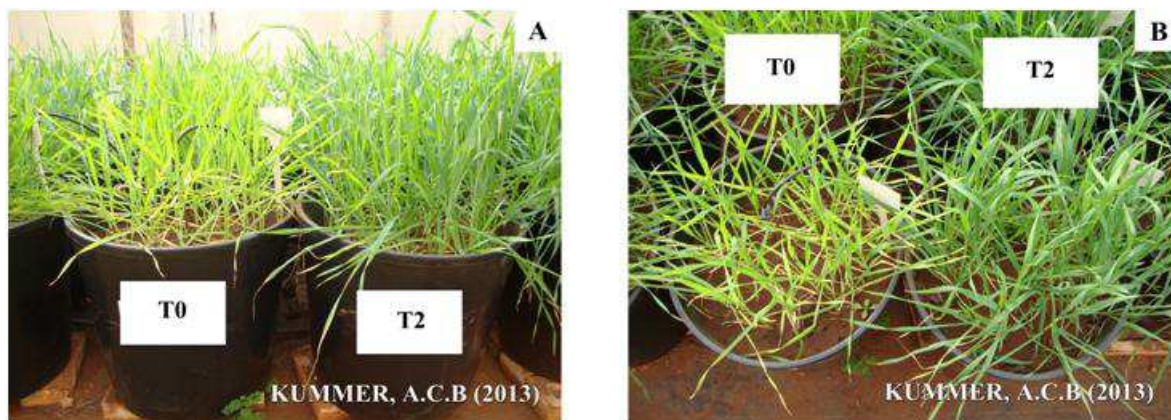


Figura 13. Plantas de trigo dos tratamentos T0 e T2 da parcela irrigada com água potável aos 40 DAE, vista lateral (A) vista superior (B).

Em relação aos T1, T2 e T3, tratamentos que receberam a mesma quantidade de N, nota-se que a variação foi significativa entre as fontes utilizadas, ou seja, N mineral e lodo de esgoto, posto que este último promoveu melhores resultados com médias mais elevadas. Isso se reflete também na utilização de EET, com resultados superiores aos encontrados com uso de água potável.

Analisando o comportamento desta variável em função somente dos tratamentos adubados com lodo de esgoto compostado (Figura 14), observa-se que os valores médios de perfilhamento ajustaram-se à equação cúbica na parcela irrigada com AP e equação quadrática na parcela irrigada com EET, de forma crescente, em função das quantidades do composto orgânico.

Sabe-se que o número de perfilhos em plantas de trigo é dependente da variedade, bem como das condições de cultivo. Segundo Mundstock (1999) o trigo apresenta a propriedade de preencher os espaços vazios na lavoura, pela capacidade de emissão de perfilhos com espigas férteis, compensando possíveis falhas na semeadura. Nesse caso, procurou-se utilizar espaçamentos semelhantes, adotando-se o mesmo número de plantas por unidade experimental em plantio adensado, eliminando a possibilidade da variação do número de perfilhos ser devido à falhas na semeadura.

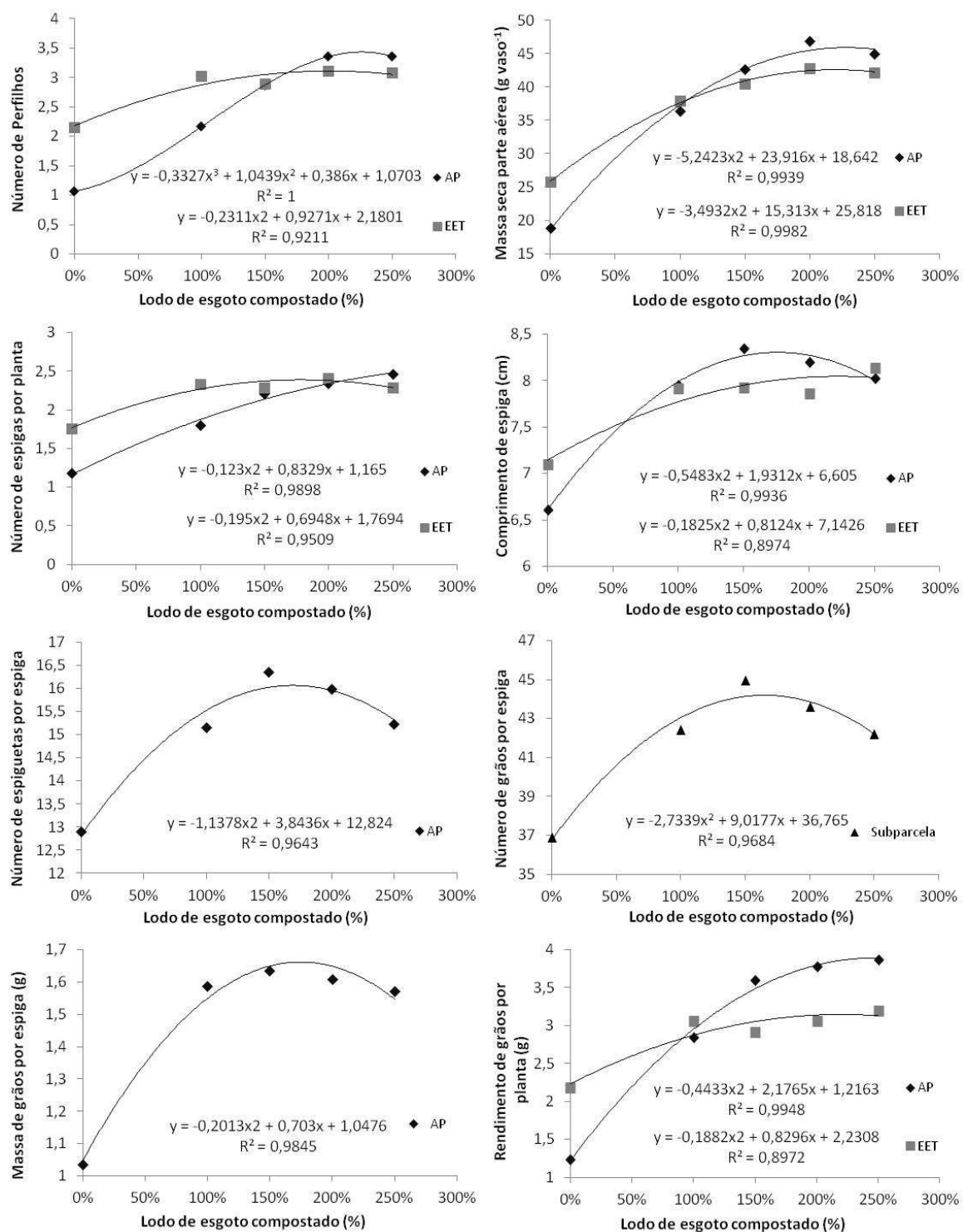


Figura 14. Número de perfilhos, massa seca da parte aérea, número de espigas por planta, comprimento de espiga, número de espiguetas por espiga, número de grãos por espiga, massa de grãos por espiga e rendimento de grãos, em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente à 0, 80, 120, 160 e 200 kg ha⁻¹ de N.

Na Tabela 7 nota-se que nos tratamentos que receberam adubação nitrogenada mineral (T1), tanto da parcela irrigada com AP quanto da parcela irrigada com

EET, o número médio de perfilhos não ultrapassou o valor de 3 unidades, respondendo portanto, com valores superiores à este, nos tratamentos com maior quantidade de N. Roman et al. (2008) estudando a variabilidade espacial do número médio de perfilhos e rendimento da cultura de trigo, realizaram um levantamento da emissão de perfilhos por planta aos 60 DAE. Os autores encontraram médias de perfilhamento de 1,59 para a cultivar CD101 e 1,67 para a CD103, valores menores aos dos encontrados nesse estudo para condições normais de cultivo (T1).

Vários trabalhos na literatura relatam a variação da emissão de perfilhos do trigo em função da densidade de plantas, espaçamento, variedade, doses de N e época de aplicação da adubação nitrogenada em cobertura (FREITAS et al. 1995; ROMAN et al., 2008; ZAGONEL et al., 2002; TEIXEIRA FILHO et al. 2008; VIANA e KIEHL, 2010; NUNES et al. 2011; PRANDO et al. 2012; COSTA et al. 2013) sendo escassos os trabalhos com lodo de esgoto e/ou água residuária em trigo.

Para Freitas et al. (1994) algumas cultivares de trigo podem responder positivamente até 120 kg ha^{-1} de N. Nunes et al. (2011) observaram aumento no número de perfilhos em função de doses crescentes de N mineral (0, 30, 60, 90, 120 e 150 kg ha^{-1}) alcançando valor máximo de 3,47 na dose de 110 kg ha^{-1} . Neste estudo é observado que o trigo respondeu positivamente em termos de número de perfilhos até 200% de lodo de esgoto, quantidade equivalente à dose de $160 \text{ kg de N ha}^{-1}$ (Figura 14).

Embora o trigo tenha apresentado resposta positiva aos tratamentos em termos de número de perfilhos, nem sempre o aumento dessa variável reflete em maiores produtividades. Segundo Roman et al. (2008) citando Tonet (1999), o trigo tem por característica desenvolver muitos perfilhos, que, na maioria das vezes, não são férteis, e dessa maneira, o potencial de perfilhamento da espécie não está expresso em rendimento de grãos. Ainda, de acordo com Aude et al. (1994), somente após a fase de fecundação é que ocorre o desenvolvimento das estruturas do embrião e uma vez que o potencial de grãos já está determinado, o rendimento de grãos é função da taxa de acúmulo de matéria seca e duração do período de enchimento dos grãos. À vista disso, no final do ciclo da cultura foram avaliadas algumas variáveis relativas à produção do trigo, tendo como objetivo definir se as condições oferecidas em termos de adubação com composto orgânico e irrigação com EET foram satisfatórias para o pleno desenvolvimento da cultura. Assim, nas Tabelas 8 e 9 são apresentados os resultados médios dos componentes de produção avaliados na cultura do trigo.

Os tratamentos propostos neste estudo promoveram alterações importantes tanto nas características das plantas como na produtividade e seus componentes. A massa seca da parte aérea, o número de espigas, o comprimento de espigas e o número de espiguetas foram influenciados significativamente pelo uso de diferentes águas na irrigação, pelos níveis de adubação assim como pela fonte de fertilizante, apresentando interação significativa entre parcela e subparcela para todas as variáveis estudadas (Tabela 8). Da mesma maneira esses fatores tiveram influência sobre o número de grãos por espiga, a massa de grãos por espiga e o rendimento de grãos por planta (Tabela 9). Para a massa de 100 grãos não foi constatada interação significativa entre parcela e subparcela, mostrando que a variação em função dos níveis de adubação foi independente do tipo de água utilizada.

Tabela 8. Resultados médios da massa seca da parte aérea (MSPA), número de espigas por planta (NEP), comprimento de espiga e número de espiguetas por espiga (NeE).

Tipo de Água	Tratamentos ⁽¹⁾						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Massa seca da parte aérea (g vaso⁻¹)							
AP	18,90 Be	29,49 Ad	38,45A cb	36,47 Ac	42,66 A abc	46,87 Aa	44,95 Aab
EET	25,79 Ac	34,06 Ab	41,65 Aa	37,89 A ab	40,48 Aab	42,77 Aa	42,20 Aa
CV1(%) = 15,06; CV2(%) = 13,29; DMS1 = 4,75; DMS2 = 6,78							
Número de espigas por planta							
AP	1,18 Bc	1,84 Bb	2,21 Aa	1,80 Bb	2,21 Aa	2,34 Aa	2,46 Aa
EET	1,75 Ab	2,14 Aa	2,35 Aa	2,34 Aa	2,29 Aa	2,41 Aa	2,29 Ba
CV1(%) = 13,45; CV2(%) = 10,43; DMS1 = 0,23; DMS2 = 0,32							
Comprimento de espiga (cm)							
AP	6,61 Bc	7,27 Bb	7,82 Aab	7,96 Aa	8,35 Aa	8,21 Aa	8,03 Aa
EET	7,10 Ab	7,78 Aa	8,05 Aa	7,92 Aa	7,93 Ba	7,86 Aa	8,13 Aa
CV1(%) = 5,16; CV2(%) = 5,78; DMS1 = 0,38; DMS2 = 0,59							
Número de espiguetas por espiga							
AP	12,90 Bc	14,23 Abc	14,90 Aab	15,17 Aab	16,36 Aa	16,00 Aa	15,23 Aab
EET	14,23 Aa	14,47 Aa	15,30 Aa	15,00 Aa	15,33 Ba	14,84 Ba	15,00 Aa
CV1(%) = 6,69; CV2(%) = 8,08; DMS1 = 0,99; DMS2 = 1,58							

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 80 kg ha⁻¹ N mineral; T2 = 40 kg ha⁻¹ N mineral + 40 kg ha⁻¹ N via lodo; T3, T4, T5 e T6 refere-se à 80, 120, 160 e 200 kg ha⁻¹ N via lodo, respectivamente. *AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela. **Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O maior acúmulo de massa seca foi observado nos tratamentos com as maiores doses de lodo de esgoto (T5 e T6), com valor máximo no T5 da parcela irrigada com AP, sem diferir, portanto, das médias do mesmo tratamento da parcela

irrigada com o efluente. O uso deste foi significativo no T0, proporcionando incremento de 36% na massa seca da parte aérea, quando comparado às médias do T0 da parcela irrigada com AP, indicando que as plantas aproveitaram melhor o N derivado do efluente para produzir maior quantidade de massa seca.

Resultados semelhantes foram encontrados por Duarte (2006) avaliando os efeitos do reúso de efluente doméstico tratado e água potável (com e sem adubação mineral) em plantas de pimentão, concluindo que o aporte de nutrientes advindos do esgoto sanitário promoveu uma maior produção de matéria seca nas plantas que foram irrigadas com água residuária, além de constatar que a biomassa seca média das plantas adubadas com N mineral foi estatisticamente superior às médias da biomassa das plantas que não receberam fertilizante nitrogenado. Entretanto, em trabalho realizado por Nichele (2009), foi constatado que a irrigação com efluente de reator anaeróbio se equívaleu ao tratamento com adubação mineral e irrigação com água tratada quanto à produção de matéria seca e rendimento de grãos de milho, superando a irrigação com efluente de lagoa de polimento, este provavelmente limitado pela menor adição de N.

Vale ressaltar que os efluentes utilizados em diversos estudos podem variar tanto em quantidade, quanto em qualidade, principalmente no que diz respeito à concentração de nutrientes, os quais são função da atividade que os gerou, bem como do sistema de tratamento empregado. Assim, as culturas podem beneficiar-se ou não do uso de efluentes, a depender da característica físico-química do resíduo.

Comparando-se os tratamentos T1, T2 e T3, as maiores médias são observadas nos T2 (AP e EET) mostrando que o uso de 100% de lodo de esgoto resultou em maior acúmulo de massa seca, se comparado à adubação nitrogenada 100% mineral. Em estudo semelhante conduzido por Lobo et. al (2012b) avaliou-se o rendimento de matéria seca da aveia preta em função de lodo de esgoto e adubação nitrogenada. Os autores concluíram que o aumento da dose do resíduo orgânico proporcionou incremento no rendimento de matéria seca da aveia até a dose máxima de 120 kg ha^{-1} de N via lodo de esgoto, assim como neste estudo. Do mesmo modo Araújo et al. (2009) observaram que aos 100 dias após a semeadura da braquiária, o tratamento com a maior dose de lodo (equivalente à quatro vezes a exigência de N) proporcionou aumentos significativos na produção de massa seca da parte aérea.

Tanto na parcela irrigada com AP quanto na irrigada com EET, os modelos de regressão que melhor se ajustaram à massa seca da parte aérea de plantas de

trigo foi o quadrático, de maneira crescente até 160 kg ha^{-1} de N via lodo de esgoto compostado (Figura 14). Segundo Schröder et al. (2000) esse aumento nos valores de massa seca da parte aérea em função de diferentes doses de N são geralmente esperados, uma vez que o N contribui para o crescimento vegetativo das plantas atuando principalmente nas taxas de iniciação e expansão foliar, no tamanho final das folhas e no alongamento do caule.

Zagonel et al. (2002), avaliaram a densidade de plantas e doses de N via uréia, com e sem regulador de crescimento em trigo, e não observaram diferença estatística entre as médias de massa seca em função do aumento das doses de N (0,45, 90 e 135 kg ha^{-1}). No entanto Da Ros et. al. (2003) encontraram resposta das plantas de trigo à aplicação de adubação nitrogenada mineral, com variação significativa entre as doses totais aplicadas (0, 30 e 90 kg ha^{-1}) com maiores médias de massa seca observadas na dose de 90 kg ha^{-1} de N. Do mesmo modo, Viana e Kiehl (2010), avaliando a produção de massa seca da parte aérea de plantas de trigo cultivadas em vasos, concluíram que à medida que aumentaram as doses de N associadas às maiores doses de K, a produção de massa seca da parte aérea foi incrementada com valores máximos entre 16 e 18 g vaso^{-1} .

Em relação ao número de espigas por planta, comprimento de espiga e número de espiguetas por espiga, nota-se que o uso do lodo de esgoto compostado promoveu aumento nas médias, com os maiores valores observados nos tratamentos T4, T5 e T6 (Tabela 8). Freitas et al. (1995), avaliando a resposta da produção de grãos e características agronômicas de diferentes cultivares de trigo à adubação nitrogenada, também observaram efeitos significativos para doses de N (0, 60 e 120 kg ha^{-1}) em relação aos números de espiguetas por espiga, não constatando efeitos significativos no comprimento de espiga. Para as mesmas variáveis Teixeira Filho et al. (2007) verificaram que tanto o número de espiguetas por espiga quanto o comprimento de espigas aumentaram significativamente com as doses de N, aumento no número de espigas por metro até a dose de 74 kg ha^{-1} . Já em estudo realizado por Teixeira Filho et al. (2008) avaliando o desempenho agrônomo de cultivares de trigo em resposta a população de plantas e a níveis de adubação nitrogenada (0, 30, 60, 90, 120 e 150 kg ha^{-1}), os autores não encontraram diferença estatística entre as médias das variáveis: comprimento de espiga (cm), número de espiguetas por espiga, número de grãos por espiga e número de grãos por espiguetas, em função das diferentes doses de N.

No tratamentos controle (T0) é observado que o efluente proporcionou um aumento significativo nas médias das variáveis, quando comparado às médias da parcela irrigada com AP, chegando a aumentar em até 48% o número de espigas por planta. Provavelmente o aumento das médias desta variável (NEP) está relacionado ao aumento no número de perfilhos observado neste estudo, pelo uso de efluente de esgoto tratado.

Segundo Aude et al. (1994) o número de espiguetas por espiga depende de fatores externos ambientais e nutricionais, além de fatores inerentes à própria cultivar. Assim, na Tabela 8 observa-se que a adubação nitrogenada teve efeito significativo sobre esta variável. Nos tratamentos T1, T2 e T3, nota-se que as variáveis apresentaram comportamento diferente. O maior número de espigas por planta foi observado nos tratamentos T2, tanto na parcela irrigada com AP quanto na irrigada com EET, embora para esta última, as médias não tenham diferido significativamente em relação às fontes de adubação nitrogenada. Para o comprimento de espiga e número de espiguetas por espiga, as médias foram superiores nos tratamentos com 100% de lodo (T3) quando comparado aos tratamentos com 100% de adubação nitrogenada mineral (T1), não apresentando diferença significativa na parcela irrigada com EET.

Na Figura 14, observa-se que as médias do número de espigas por planta e comprimento de espiga, ajustaram-se melhor ao modelo de regressão quadrático, com aumento dos valores médios de NEP até a dose de 200 kg ha^{-1} com uso de AP e 160 kg ha^{-1} com uso de EET. A melhor resposta do comprimento de espiga foi obtida na parcela irrigada com AP na dose de 120 kg ha^{-1} de N via lodo.

As médias do número de grãos por espiga, massa de grãos por espiga e rendimento de grãos por planta foram estatisticamente mais elevadas nos tratamentos T4, T5 e T6, aonde empregou-se as maiores doses de N por lodo de esgoto (Tabela 9).

O efeito do EET é observado nos tratamentos T3, T4 e T5 com médias inferiores a dos tratamentos da parcela irrigada com AP, para o número de grãos por espiga e a massa de grãos por espiga, em que esta última apresentou diferença significativa entre os T0. A resposta da MGE na análise de regressão não foi significativa para as médias dos tratamentos irrigados com o efluente, mostrando ajuste quadrático para as médias dos tratamentos irrigados com a água potável. Já para a NGE a equação que melhor se ajustou foi a quadrática para as médias da subparcela, independente do tipo de

água utilizada, apresentando um maior número de grãos na dose de 120 kg ha⁻¹ de N via lodo de esgoto. Resultados semelhantes foram encontrados por Cazetta et. al (2007) que observaram aumento linear no número de grãos por espiga de trigo, em função de doses crescentes de N (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹), com maiores médias na dose máxima.

Tabela 9. Resultados médios dos componentes de produção: número de grãos por espiga (NGE), massa de grãos por espigas (MGE), rendimento de grãos por planta (RGP) e massa de 100 grãos (M100), para a cultura do trigo.

Tipo de Água	Tratamentos ⁽¹⁾						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Número de grãos por espiga							
AP	34,71 Ac	38,44 Ac	41,11 Aabc	46,60 Aab	49,53 Aa	47,74 Aab	44,24 Aabc
EET	39,04 Aa	38,86 Aa	42,47 Aa	38,21 Ba	40,41 Ba	39,43 Ba	40,17 Aa
CV1(%) = 17,15; CV2(%) = 17,92; DMS1 = 6,50; DMS2 = 9,91							
Massa de grãos por espiga (g)							
AP	1,04 Bc	1,36 Ab	1,36 Ab	1,59 Aab	1,64 Aa	1,61 Aab	1,57 Aab
EET	1,26 Aa	1,33 Aa	1,28 Aa	1,32 Ba	1,26 Ba	1,28 Ba	1,41 Aa
CV1(%) = 14,07; CV2(%) = 14,47; DMS1 = 0,18; DMS2 = 0,27							
Rendimento de grãos por planta (g)							
AP	1,24 Bd	2,50 Ac	3,03 Abc	2,85 Ac	3,60 Aab	3,78 Aa	3,87 Aa
EET	2,19 Ab	2,83 Aab	3,02 Aa	3,06 Aa	2,92 Ba	3,06 Ba	3,20 Ba
CV1(%) = 19,87; CV2(%) = 17,28; DMS1 = 0,49; DMS2 = 0,70							
Massa de 100 grãos (g)							
AP	-	-	-	-	-	-	-
EET	-	-	-	-	-	-	-
Médias	3,36 bc	3,65 ab	3,30 c	3,57 abc	3,35 bc	3,46 abc	3,75 a
CV1(%) = 6,97; CV2(%) = 8,83; DMS4 = 0,33							

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 80 kg ha⁻¹ N mineral; T2 = 40 kg ha⁻¹ N mineral + 40 kg ha⁻¹ N via lodo; T3, T4, T5 e T6 refere-se à 80, 120, 160 e 200 kg ha⁻¹ N via lodo, respectivamente. *AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela; DMS4 = diferença mínima significativa da subparcela. **Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em se tratando do rendimento de grãos, o melhor resultado foi obtido pela combinação do uso de 250% de lodo de esgoto compostado (160 kg ha⁻¹ de N) e irrigação com AP (Tabela 9), pois a partir do T3 o efluente provocou uma diminuição significativa no rendimento de grãos se comparado às médias dos tratamentos irrigados com AP. Isso fica mais bem visualizado na Figura 14, pois tanto para a parcela irrigada com AP quanto para a irrigada com o efluente, as médias se ajustaram à equação quadrática, com aumento no rendimento de grãos em função das quantidades crescentes de lodo.

Freitas et al. (1995) observaram aumento linear na resposta de genótipos de trigo, em relação à produção de grãos, a três doses de N, em condições de

irrigação por aspersão após a cultura do arroz, com produção máxima observada quando se utilizou 120 kg ha^{-1} de N. Da mesma maneira Teixeira Filho et al. (2007) encontraram resposta positiva na produtividade do trigo pela aplicação de doses de N, até a dose de 69 kg ha^{-1} , e recomendaram a aplicação de 70 kg ha^{-1} de N em cobertura visando a alta produtividade. Penckowski et al. (2009) relataram que as diferentes doses de N (90, 135, 180, 225 kg ha^{-1}) não proporcionaram diferença estatística significativa nas médias de número de perfilhos, espigas por metro quadrado, espiguetas por espiga, grãos por espiga, massa de 1000 grãos e produtividade, concluindo que os componentes de produção não foram afetados pelo aumento das doses de N porque o suprimento de N foi adequado com a menor dose utilizada (90 kg ha^{-1}). Zagonel et al. (2002), observaram que com o aumento da dose de N (0; 45; 90 e 135 kg ha^{-1}), ocorreu um aumento do número de espigas por área e no rendimento de grãos na dose máxima de 135 kg ha^{-1} de N. Da Ros et al. (2003), avaliaram a disponibilidade de N para as culturas de milho e trigo cultivadas sobre resíduos culturais com alta relação C/N, com diferentes épocas de doses de N mineral, e encontraram que as maiores produtividades de grãos de milho e trigo foram obtidas com a utilização das doses mais elevadas de N (90 kg ha^{-1}). Da mesma maneira, em estudo realizado por Pietro-Souza et al. (2013) os autores concluíram que as melhores respostas do trigo à adubação nitrogenada ocorrem nas doses entre 80 a $195,6 \text{ mg dm}^{-3}$. Esses resultados assemelham-se aos encontrados neste estudo, em que a melhor resposta das plantas de trigo ocorreu a partir do uso de 120 kg ha^{-1} até 200 kg ha^{-1} de N (dose máxima), que equivale à 60 e 100 mg dm^{-3} de N via lodo de esgoto, respectivamente, sem considerar portanto, o efeito residual no solo devido às aplicações anteriores.

Nos T0, o uso de efluente de esgoto tratado proporcionou um incremento de 76,6% no rendimento de grãos, quando comparado à parcela irrigada com água potável. Do mesmo modo, Azevedo e Oliveira (2005) observaram que o efluente de tratamento de esgoto contribuiu para o aumento da produção de plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.), cultivar Hokuho Ky, conduzidos em estufa.

As médias da massa de 100 grãos não foram influenciadas pelo uso de AP e nem pelo uso do efluente. Entretanto apresentou variação em função das doses de lodo de esgoto, com a maior média (3,75g) no T6. Freitas et al. (1995) não detectaram efeitos significativos para doses de N na massa de 100 grãos. Zagonel et al. (2002) também não observaram diferença no peso de 1000 grãos de trigo em diferentes doses de N (0 a 135 kg ha^{-1}) assim como Frizzoni et. al. (1996) que concluíram que o N pouco contribuiu

para o incremento no peso de 1000 grãos, observando que níveis elevados de N (160 e 320 kg ha⁻¹) e lâminas de irrigação (240 e 274 mm) reduziram as médias desta variável. Cazetta et al. (2007) e Espíndula et al. (2010a) obtiveram resultados inversos aos dos encontrados neste estudo, uma vez que a massa de 1000 grãos de trigo apresentou redução linear em função do aumento de doses de N (0 a 120 kg ha⁻¹). Frizzoni et al. (1996) explica que a redução na massa de 1000 grãos pode ser atribuída à maior competição entre os grãos por nutrientes e fotoassimilados, uma vez que o incremento das doses de N proporcionam um aumento no número de espigas e número de grãos por metro quadrado. No entanto Teixeira Filho et al. (2007) constataram que as doses crescentes de N (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹) aumentaram a massa de 100 grãos até a dose de 68 kg ha⁻¹ de N.

A alta exigência de N pela cultura do trigo faz com que sejam relevantes os estudos que avaliem diferentes doses e fontes de N. Entretanto no Brasil, a maioria dos trabalhos avaliando a resposta do trigo em função de doses de N, utiliza fertilizante mineral na adubação, sendo raros os trabalhos com a utilização de compostos orgânicos.

Nesse sentido, Cerda et al. (2004) investigaram a utilização de lodo de esgoto desidratado e líquido (em duas quantidades: 4 e 8 t ha⁻¹ base seca) em plantas de trigo, e concluíram que o maior rendimento de massa seca foi obtido com o uso de lodo líquido (8 t ha⁻¹), posto que as médias de rendimento de grãos dos tratamentos adubados com lodo desidratado se equivaleram às medias dos tratamentos com fertilizante inorgânico. Já Araújo et al. (2005) objetivando avaliar o efeito do composto de lodo têxtil (em solução nutritiva) sobre plântulas de soja e trigo, observaram diminuição na massa da matéria seca total, altura da parte aérea e comprimento radicular das plântulas de soja e trigo com o aumento da concentração do composto, a partir de 38 g L⁻¹, em que concentrações maiores do composto de lodo têxtil afetaram, de forma prejudicial, as plântulas de soja e trigo. Também Chueiri et al. (2007) estudando o lodo de esgoto alcalinizado (LEA) como complemento da adubação mineral concluíram que o LEA afetou negativamente os parâmetros morfológicos e a matéria seca das plantas de trigo.

No entanto, outros trabalhos mostram os benefícios da utilização do lodo de esgoto em complementação ou substituição à adubação mineral. Em condições semelhantes ao deste estudo, Lobo (2010) avaliou o efeito do lodo de esgoto em substituição à adubação nitrogenada mineral, e encontrou ajuste quadrático para o rendimento de grãos e aumento linear na massa de 100 grãos de plantas de tritcale na dose

máxima de lodo (35 t ha^{-1}). A massa seca apresentou ajuste quadrático com decréscimo nas médias na dose máxima de lodo de esgoto. Também Bettiol et al. (1983) concluíram que o lodo de esgoto digerido (na dose de $9,0 \text{ t ha}^{-1}$ base seca), pode ser utilizado como fonte de nutrientes para o milho e arroz, pois não apresentaram diferença estatística significativa se comparado aos tratamentos que receberam fertilização mineral recomendada.

Segundo Teixeira Filho et al. (2010) pequenas doses de N limitam a produtividade, enquanto que doses elevadas podem causar queda de produtividade, podendo também trazer prejuízo ao meio ambiente pela lixiviação de nitrato para o lençol freático e prejuízo ao produtor por gasto desnecessário com a compra do adubo nitrogenado. Para Zagonel et al. (2002) e Pentkownki (2009) o uso de elevadas doses de N é um fator positivo para o aumento da produtividade, porém, pode resultar no acamamento da cultura que, quando ocorre na fase de enchimento de grãos, limita a translocação de carboidratos nas plantas, interferindo negativamente na produção e na qualidade dos grãos. Nesse sentido ressalta-se a importância de se estudar fontes alternativas e doses de N na cultura do trigo, lembrando que a utilização dessas são função da região, tipo de solo, clima e cultivar.

Em geral a maioria das variáveis avaliadas neste estudo apresentou decréscimo em suas médias em resposta à dose máxima de lodo de esgoto compostado e uso de EET, visto que doses elevadas de lodo correspondem à doses elevadas de N. Nesse sentido, resultados semelhantes foram encontrados por outros autores que avaliaram a resposta da cultura em função do aumento de doses de N mineral no solo. Nunes et al. (2011) visando avaliar o efeito de adubos verdes, associados a doses de N mineral ($0, 30, 60, 90, 120$ e 150 kg ha^{-1}) em adubação de cobertura no desempenho agrônomo da cultura do trigo em sistema de plantio direto, encontraram decréscimo na curva de ajuste da regressão quadrática para o rendimento de grãos e número de perfilhos, na maior dose de N (150 kg ha^{-1}). Resultados semelhantes foram encontrados por Boschini (2010) para a produtividade do trigo (kg ha^{-1}), em estudo da produtividade e qualidade de grãos de trigo influenciados por N e lâminas de água. Espíndula et al. (2010a) encontraram aumento linear para o número de grãos por espiga, número de espigas por metro quadrado e massa seca da parte aérea, até a dose de 120 kg ha^{-1} , enquanto que as médias de produtividade se ajustaram à equação quadrática com máxima entre as doses de 80 e 100 kg ha^{-1} , onde a partir dessas, apresentaram queda até a dose máxima (120 kg ha^{-1}). Prando et al. (2012)

também observaram aumento linear nas médias do número de espigas por metro quadrado e rendimento de grãos de trigo, até a dose de 120 kg ha⁻¹.

O decréscimo das médias dessas variáveis em função de altas doses de N pode estar associado ao teor de matéria orgânica no solo, pois neste estudo provavelmente houve incremento de matéria orgânica no solo pelo uso de lodo de esgoto compostado e também pelo uso do efluente de esgoto tratado, o que provavelmente alterou a relação C/N, limitando o fornecimento de N às plantas (VICTORIA et al., 1992), fazendo com que o trigo não respondesse satisfatoriamente às doses elevadas de N via lodo compostado.

4.1.2 Diagnóstico foliar em plantas de trigo

Os teores de macro e micronutrientes relatados na literatura como adequados para o teor foliar, são indicações muito gerais, uma vez que podem ser influenciados por condições de solo, clima e variedade da cultura (Malavolta et al., 1997). No entanto, Cantarella et al. (1997) relata que os teores foliares de macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S, considerados adequados para a cultura do trigo são: 20 a 34 g kg⁻¹, 2,1 a 3,3 g kg⁻¹, 15 a 30 g kg⁻¹, 2,5 a 10 g kg⁻¹, 1,5 a 4 g kg⁻¹, 1,5 a 3 g kg⁻¹, respectivamente.

Na Tabela 10, observa-se que a maioria das médias dos teores de macronutrientes, não se ajustaram aos valores relatados por Cantarella et al. (1997). Os teores médios de N, P, K, Mg e S nas folhas de trigo, apresentaram diferença estatística em função dos níveis de adubação nitrogenada, fonte de fertilizante e irrigação com AP e EET, apresentando interação significativa entre parcela e subparcela. Os teores médios de Ca nas folhas também apresentaram diferença estatística em função dos fatores estudados, entretanto não demonstrou efeito de interação entre os mesmos, apontando que a variação no teor de Ca em folhas de trigo em função dos níveis de adubação foi independente do tipo de água utilizada na irrigação, e vice versa.

Vale ressaltar que aos 40 DAE foi observada visualmente coloração verde claro nas plantas dos tratamentos que não receberam adubação nitrogenada (T0), quando comparadas às plantas dos demais tratamentos (Figura 15). Essa variação na cor também foi observada entre as parcelas irrigadas com diferentes águas, em que o uso de EET, conferiu coloração verde mais escuro às plantas, quando comparadas à da parcela irrigada com AP, indicando que provavelmente as plantas de trigo apresentaram deficiência de N nesse período, uma vez que o sintoma de deficiência de N é caracterizado

por amarelecimento das folhas mais velhas e, dependendo da intensidade e da evolução da deficiência, pode atingir toda a planta (MALAVOLTA et al., 1997; FORNASIERI FILHO, 2008).

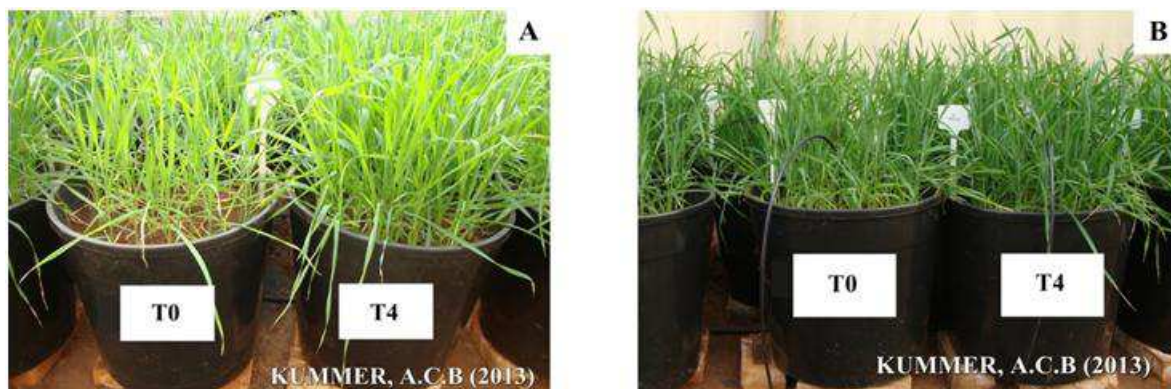


Figura 15. Plantas de trigo dos tratamentos T0 e T4 da parcela irrigada com água potável (A) e da parcela irrigada com efluente de esgoto tratado (B).

No entanto, para o N, a média de $29,0 \text{ g kg}^{-1}$ encontrada no T0 da parcela irrigada com AP, está na faixa considerada adequada, enquanto que os demais tratamentos apresentaram teores acima dos considerados adequados (Tabela 10). Esses resultados assemelham-se aos de Lobo (2010) que estudando as culturas de trigo e triticle, também encontrou teores foliares elevados de N em função do uso de lodo de esgoto. O autor atribuiu o aumento desses valores ao fato de que a cultura que antecedia o triticle era o feijão, com relação C/N baixa em sua palha, o que provavelmente facilitou a mineralização do N do feijão para o triticle.

De forma geral, todos os tratamentos irrigados com EET apresentaram aumento no teor de N nas folhas de trigo, em comparação aos tratamentos irrigados com AP. Além disso, os tratamentos com lodo de esgoto apresentaram teores significativamente maiores que a testemunha (T0). Provavelmente o N contido tanto no efluente quanto no lodo de esgoto foi prontamente mineralizado e absorvido pela cultura trigo, talvez, devido à baixa relação C/N do lodo utilizado nesse experimento (10/1, Tabela 2). Nota-se que houve diferença significativa entre as parcelas nos tratamentos controle (T0), visto que a irrigação com o efluente proporcionou um incremento no teor de N em folhas de trigo cerca de 36% maior em relação às médias do T0 da parcela irrigada com AP, demonstrando a contribuição do efluente em termos de N, uma vez que o monitoramento apontou níveis elevados deste elemento no decorrer do experimento (APÊNDICE).

Tabela 10. Teor foliar de macronutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), em plantas de trigo.

Tipo de Água	Tratamentos ⁽¹⁾							Médias
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
N (g kg ⁻¹)								
AP	29,00 Be	38,67 Bd	39,33 Bcd	38,33 Bd	40,33 Abc	41,33 Bab	42,00 Ba	-
EET	39,67 Ac	42,00 Aab	43,33 Aa	42,33 Aab	41,00 Abc	43,00 Aa	41,00 Abc	-
CV1(%) = 0,77; CV2(%) = 1,52; DMS1 = 0,81; DMS2 = 1,50								
P (g kg ⁻¹)								
AP	1,63 Bf	2,10 Be	2,20 Bd	2,37 Bc	3,10 Aa	3,00 Ab	3,00 Ab	-
EET	2,57 Abc	2,40 Aad	2,70 Ba	2,50 Ac	2,60 Bb	2,63 Bab	2,63 Bab	-
CV1(%) = 1,22; CV2(%) = 1,39; DMS1 = 0,06; DMS2 = 0,09								
K (g kg ⁻¹)								
AP	14,33 Bcd	12,00 Be	10,00 Bf	15,00 Bc	16,00 Bb	13,66 Bd	17,33 Ba	-
EET	15,33 Ad	14,00 Ae	14,00 Ae	19,33 Ab	19,00 Ab	18,00 Ac	20,66 Aa	-
CV1(%) = 2,21; CV2(%) = 2,45; DMS1 = 0,63; DMS2 = 0,98								
Ca (g kg ⁻¹)								
AP	-	-	-	-	-	-	-	5,10 A
EET	-	-	-	-	-	-	-	4,81 B
Médias	3,83 c	5,17 ab	5,67 a	5,00 b	5,00 b	5,00 b	5,00 b	
CV1(%) = 6,49; CV2(%) = 4,41; DMS3 = 0,19; DMS4 = 0,60								
Mg (g kg ⁻¹)								
AP	3,13 Ac	4,47 Aa	3,80 Ab	2,60 Bd	2,97 Bcd	3,23 Ac	3,17 Ac	-
EET	2,67 Bb	3,07 Bab	3,27 Ba	3,33 Aa	3,30 Aa	3,23 Aa	3,17 Aa	-
CV1(%) = 5,26; CV2(%) = 5,76; DMS1 = 0,31; DMS2 = 0,48								
S (g kg ⁻¹)								
AP	2,17 Be	2,60 Bd	3,37 Aa	2,90 Bc	3,30 Aa	3,10 Ab	3,37 Aa	-
EET	3,00 Ac	3,40 Aa	3,40 Aa	3,00 Ac	3,30 Ab	3,07 Ac	3,00 Bc	-
CV1(%) = 1,01; CV2(%) = 1,01; DMS1 = 0,05; DMS2 = 0,08								

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 80 kg ha⁻¹ N mineral; T2 = 40 kg ha⁻¹ N mineral + 40 kg ha⁻¹ N via lodo; T3, T4, T5 e T6 refere-se à 80, 120, 160 e 200 kg ha⁻¹ N via lodo, respectivamente. *AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela; DMS3 e 4 = diferença mínima significativa da parcela e subparcela, respectivamente. **Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As médias do teor foliar de N nos tratamentos T1, T2 e T3, tratamentos que foram adubados com a mesma quantidade de N por fontes diferentes, pouco diferiram entre si, apresentando diferença estatística significativa entre parcela e subparcela, com maior acúmulo de N observado no T2 da parcela irrigada com EET.

A análise de regressão mostra que com o aumento das doses de lodo houve aumento no teor de N em folhas de trigo, com ajuste à equação cúbica para as médias da parcela irrigada com AP, enquanto que as médias da parcela irrigada com o efluente se ajustaram à equação quadrática (Figura 16). Conclui-se que as quantidades de

N absorvidas pela cultura do trigo foram significativamente maiores à medida que se aumentou a quantidade de lodo aplicado ao solo.

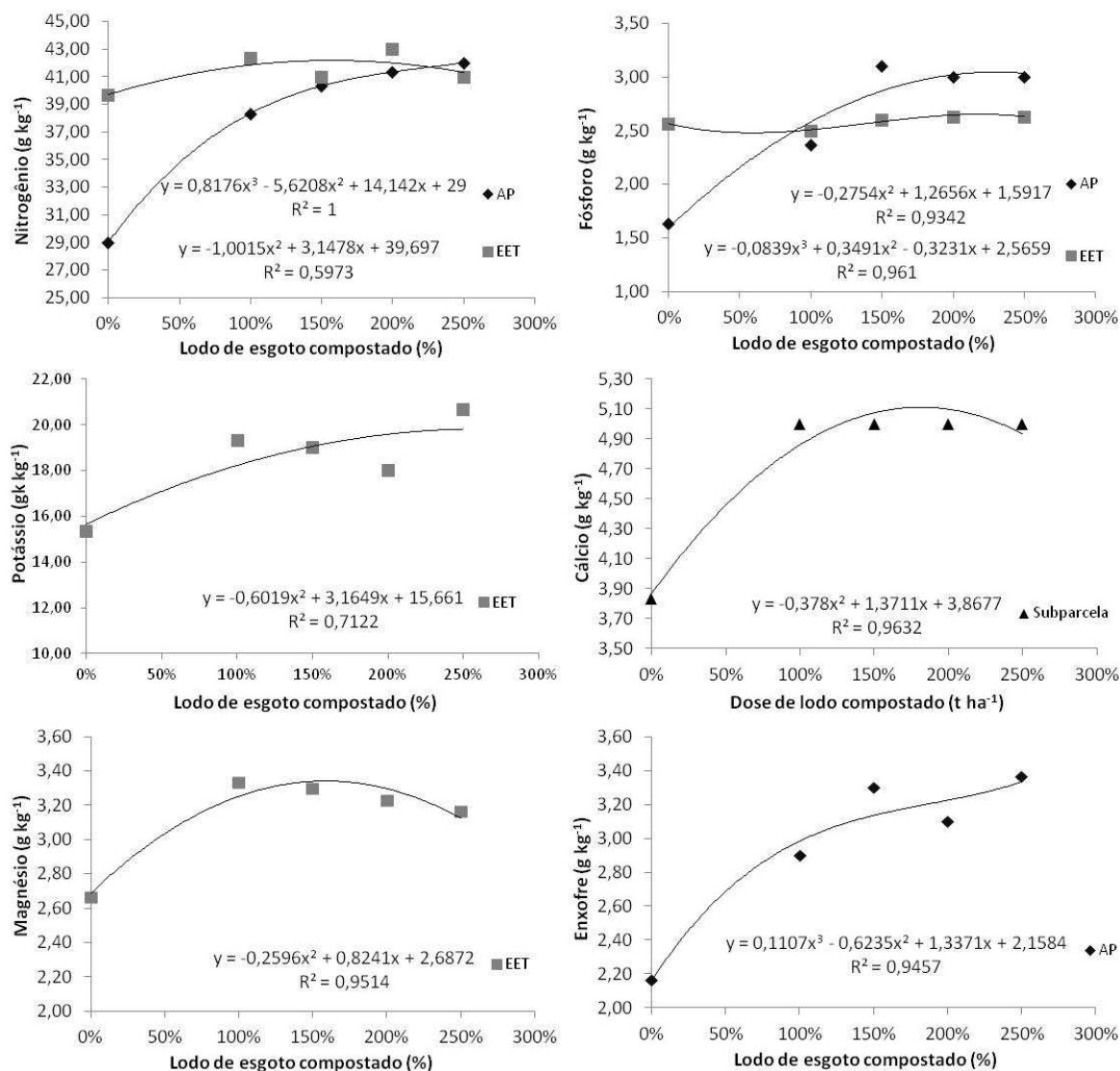


Figura 16. Teor foliar de macronutrientes: N, P, K, Ca, Mg e S no trigo, em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente à 0, 80, 120, 160 e 200 kg ha⁻¹ de N.

Assim como neste estudo, Penckowski et al. (2009), estudando a influencia de redutor de crescimento aplicado em diferentes épocas e de quatro doses de N (90, 135, 180 e 225 kg ha⁻¹) em plantas de trigo, concluíram que o aumento da dose de N aumentou o teor do nutriente na planta. Em concordância, Teixeira Filho et al. (2010), avaliaram fontes, épocas de aplicação, e doses de N (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) em trigo irrigado em plantio direto, e observaram altos teores de N foliar, os quais foram muito superiores aos da faixa adequada (20-34 g kg⁻¹) descrita por Cantarella et al. (1997). Prando

et al. (2012) encontraram aumento linear nos teores de N em folhas de trigo, em função de doses crescentes de N (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹). Em relação ao uso de lodo de esgoto em substituição à adubação nitrogenada mineral, Lobo (2010) também observou acúmulo linear crescente de N em folhas de trigo e tritcale em função do aumento de doses de lodo de esgoto no solo.

Nos teores foliares de P (Tabela 10), observa-se que as médias se enquadraram à faixa de valores considerados adequados, exceto para a média do T0 da parcela irrigada com AP, indicando que houve deficiência de P nesse tratamento. Em comparação dos T0 entre as parcelas estudadas, é observado que o efluente proporcionou um incremento de P em folhas de trigo na ordem de 57% em relação às médias do T0 da parcela com AP. As médias dos T1, T2 e T3 variaram significativamente entre si, à medida que o uso de lodo de esgoto substituindo 100% da adubação mineral (T3), conferiu melhores resultados, com maior acúmulo de P quando comparado aos tratamentos T1, apontando ainda, maior acúmulo nos tratamentos irrigados com o efluente. O mesmo foi observado por Berton, et al. (1989) que estudando a absorção de nutrientes pelo milho em resposta à adição de lodo de esgoto, constataram que o P contido no lodo de esgoto se apresentou disponível às plantas, observado pelas maiores quantidades absorvidas nos tratamentos que receberam o resíduo em comparação com o tratamento controle (testemunha).

Na Figura 16 é observado que os teores de P na parcela irrigada com EET não tiveram grande variação em função dos tratamentos empregados, com ajuste cúbico em suas médias, enquanto que na parcela irrigada com AP as médias apresentaram ajuste quadrático, com aumento em função das doses crescente de lodo de esgoto compostado. Já em estudo realizado por Lobo (2010), o autor concluiu que não houve relação significativa entre os teores P encontrados em folhas do tritcale em função do aumento das doses de lodo.

Para o K algumas médias não se ajustaram à faixa de valores considerada adequada, apresentando deficiência desse elemento os tratamentos T0, T1, T2 e T5 da parcela irrigada com AP e os T1 e T2 da parcela irrigada com EET. Houve diferença significativa entre parcela e subparcela, com as maiores médias do acúmulo de K em folhas de trigo observadas com o uso do efluente tratado. Entre os tratamentos com a mesma quantidade de N por fontes diferentes, nota-se diferença significativa entre as

médias, com maior acúmulo de K nos tratamentos onde foi utilizado 100% de lodo de esgoto em substituição à adubação nitrogenada convencional.

A análise de regressão não foi significativa para as médias da parcela irrigada com AP, apresentando, portanto, ajuste quadrático para as médias da parcela com uso do efluente, com incremento de K em folhas de trigo em função das doses crescentes de lodo de esgoto. O maior acúmulo de K foi obtido nos tratamentos com as maiores doses de lodo, apresentando valores de 17,33 e 20,66 g kg⁻¹, nas parcelas irrigadas com AP e EET, respectivamente.

Os teores médios de Ca encontrados nas folhas de trigo, nos diferentes tratamentos, estão dentro da faixa considerada adequada (2,5 a 10,0 g kg⁻¹). A equação que melhor se ajustou às médias do acúmulo de Ca foi a quadrática, como pode ser observado na Figura 16. Também é observado que o incremento de Ca com o uso de AP foi cerca de 6% maior do que com o uso de EET, independente dos níveis de adubação empregados. Esses resultados coincidem com os de Lobo (2010) que encontrou teores de Ca em folhas de triticle dentro da faixa considerada adequada, não apresentando diferença estatística em função do aumento de doses de lodo no solo. Já Berton et. al. (1989) observaram que as quantidades de Ca absorvidas pela cultura do milho foram significativamente maiores para os tratamentos que receberam lodo de esgoto.

Na Tabela 10 observa-se que para todos os tratamentos os teores médios de Mg estão dentro da faixa considerada adequada, que é de 1,5 a 4,0 g kg⁻¹. Nos tratamentos T1, T2 e T3, é observado que na parcela irrigada com AP, houve diferença estatística significativa entre os tratamentos, uma vez que o uso de 100% de adubação nitrogenada mineral promoveu maior acúmulo de Mg nas folhas de trigo. Resultados contrários foram obtidos por Berton et al. (1989) em plantas de milho, das quais os teores de Mg foram superiores nos tratamentos com lodo de esgoto. Já Lobo (2010) observou incremento linear nos teores foliares de Mg em plantas de trigo, com aumento da dose de lodo no solo, assim como neste estudo.

Já para a parcela irrigada com o efluente, o uso de 100% de lodo de esgoto não diferiu das médias daqueles com 50% de lodo de esgoto mais 50% de adubação nitrogenada mineral. A análise de regressão (Figura 16) mostra um ajuste quadrático para as médias da parcela irrigada com EET, sem efeito para o uso de AP.

Algumas médias para o acúmulo de S em folhas de trigo ultrapassaram os valores considerados adequados (1,5 a 3,0 g kg⁻¹). Comparando-se os

tratamentos T0 das parcelas, observa-se que o EET proporcionou um incremento de 38% no acúmulo de S quando comparado às médias da parcela irrigada com AP. Houve diferença entre os T1, T2 e T3, indicando que o uso de 50% adubação nitrogenada mineral com 50% de adubação nitrogenada via lodo de esgoto, proporcionou maior acúmulo de S em folhas de trigo. A análise de regressão mostra ajuste quadrático para o teor de S, aumentando de maneira crescente em função das quantidades de lodo de esgoto, com acúmulo máximo quando se empregou 200% de lodo de esgoto em substituição à adubação nitrogenada mineral. Já Lobo (2010) encontrou aumento linear nos teores de S em folhas de trigo e triticales, em função de doses de lodo de esgoto.

Assim como para os macronutrientes, os micronutrientes, B, Cu, Fe, Mn e Zn, tiveram variações dentro da faixa considerada adequada por Cantarella et al. (1997): 5 a 20 mg kg⁻¹, 5 a 25 mg kg⁻¹, 10 a 300 mg kg⁻¹, 25 a 150 mg kg⁻¹ e 20 a 70 mg kg⁻¹, respectivamente (Tabela 11).

Para todos os micronutrientes, à exceção do Cu, houve interação entre parcela e subparcela, apontando que a variação nos teores desses elementos em folhas de trigo é função tanto dos dois tipos de água utilizada na irrigação, quanto dos níveis de adubação adotados no experimento.

Todos os tratamentos, à exceção do T4 da parcela irrigada com AP, apresentaram médias no teor de B superiores aos considerados adequados em folhas de trigo. Fato este também constatado por Lobo (2010) que encontrou teores de B superiores aos considerados adequados por Cantarella et al. (1997) para a cultura do triticales. O autor justificou esse aumento ao efeito residual de B no solo, pelas aplicações do elemento na cultura do girassol, cultivado na mesma área em 2 ciclos anteriores.

Neste estudo, a cultura que antecedeu o trigo, foi a soja, e provavelmente o acúmulo de B pode estar associado ao efeito residual ocasionado pelas repetidas aplicações de lodo de esgoto nos 2 ciclos de cultivo que antecederam esse experimento. Analisando somente os T1, T2 e T3, é notado que com uso de AP as médias nesses tratamentos variaram significativamente entre si, visto que o T3 proporcionou maior acúmulo de B se comparado aos demais. Já para a parcela irrigada com o efluente, as médias não diferiram entre si.

Tabela 11. Teor foliar de micronutrientes: boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) em plantas de trigo.

Tipo de Água	Tratamentos ⁽¹⁾							Médias
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
B (mg kg ⁻¹)								
AP	22,33 Bc	21,00 Bd	22,00 Bc	25,00 Ab	19,00 Be	21,00 Ad	27,00 Aa	-
EET	24,00 Aa	23,00 Ab	22,67 Ab	22,67 Bb	22,67 Ab	21,00 Ac	24,00 Ba	-
CV1(%) = 0,68; CV2(%) = 1,44; DMS1 = 0,43; DMS2 = 0,84								
Cu (mg kg ⁻¹)								
AP	-	-	-	-	-	-	-	9,48 B
EET	-	-	-	-	-	-	-	10,23 A
Médias	10,17 abc	9,67 abc	9,33 bc	8,83 c	9,33 bc	11,00 a	10,67 ab	
CV1(%) = 6,45; CV2(%) = 8,21; DMS3 = 0,54; DMS4 = 1,50								
Fe (mg kg ⁻¹)								
AP	860,67 Aa	195,67 Ab	192,00 Ab	176,00 Abc	162,33 Ac	162,33 Ac	176,33 Bbc	-
EET	164,00 Bb	166,33 Bb	175,00 Ab	159,33 Ab	151,33 Ab	176,33 Ab	237,00 Aa	-
CV1(%) = 5,00; CV2(%) = 4,15; DMS1 = 18,61; DMS2 = 25,06								
Mn (mg kg ⁻¹)								
AP	38,33 Ab	40,00 Bb	35,00 Bc	49,33 Aa	32,00 Bc	33,67 Ac	27,33 Ad	-
EET	38,00 Ac	46,00 Ab	71,33 Aa	49,00 Ab	39,67 Ac	24,33 Bd	20,33 Be	-
CV1(%) = 1,73; CV2(%) = 3,13; DMS1 = 1,65; DMS2 = 3,01								
Zn (mg kg ⁻¹)								
AP	20,67 Bf	19,33 Bg	36,00 Be	39,33 Bd	45,33 Bc	56,00 Ab	61,33 Aa	-
EET	26,00 Af	36,33 Ae	46,33 Ad	47,00 Acd	50,00 Abc	52,33 Bb	58,00 Ba	-
CV1(%) = 3,33; CV2(%) = 2,86; DMS1 = 2,37; DMS2 = 3,22								

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 80 kg ha⁻¹ N mineral; T2 = 40 kg ha⁻¹ N mineral + 40 kg ha⁻¹ N via lodo; T3, T4, T5 e T6 refere-se à 80, 120, 160 e 200 kg ha⁻¹ N via lodo, respectivamente. *AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela; DMS3 e 4 = diferença mínima significativa da parcela e subparcela, respectivamente. **Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na Figura 17 é possível observar que as médias dos teores de Cu ajustaram-se à equação quadrática, apresentando aumento a partir de 100% de lodo até a dose máxima. A variação das médias dos teores de Cu em função dos diferentes níveis de adubação foi independente do tipo de água utilizada, e vice versa, não apresentando significância para a análise de regressão. O incremento no teor de Cu nas folhas de trigo pelo uso de efluente foi cerca de 8% maior em comparação às médias da parcela irrigada com AP. No entanto os resultados se enquadram na faixa de valores considerada adequada para a cultura (5 a 25 mg kg⁻¹).

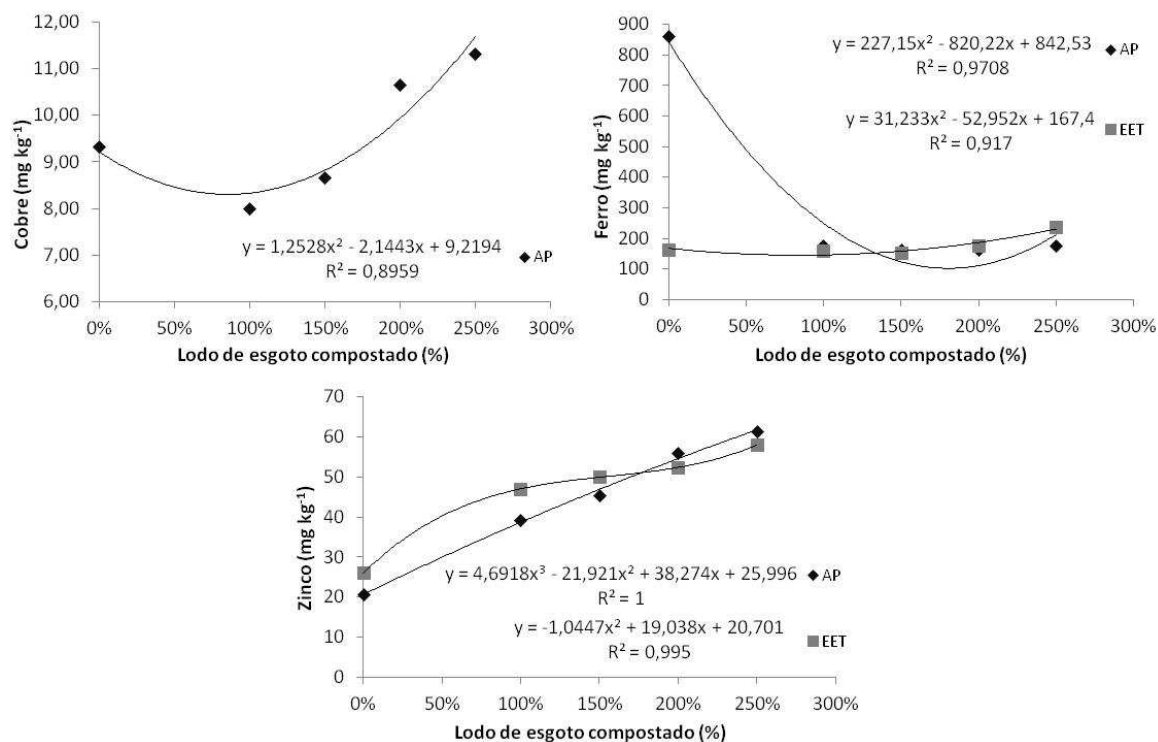


Figura 17. Teor foliar de micronutrientes: Cu, Fe e Zn no trigo, em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente à 0, 80, 120, 160 e 200 kg ha⁻¹ de N.

Os teores de Fe se enquadraram à faixa considerada adequada (10 a 300 mg kg⁻¹), com exceção das médias do T0 onde se utilizou água potável, que foram muito superiores ao esperado. O uso de 100% de lodo de esgoto compostado em substituição à adubação mineral não influenciou significativamente o teor de Fe nas folhas de trigo irrigado com EET. A análise de regressão mostra ajuste quadrático tanto para as médias da parcela com uso de EET quanto da parcela irrigada com AP (Figura 17). Em condições semelhantes as deste estudo, Lobo (2010) também observou decréscimo no teor foliar de Fe em plantas de trigo até valor constante, em função do aumento de doses de lodo no solo.

As médias dos teores de Mn encontrados neste estudo se ajustaram à faixa de valores considerados adequados para a cultura do trigo (25 a 150 mg kg⁻¹), à exceção do T6 irrigado com efluente. Houve variação significativa entre os tratamentos T1, T2 e T3, com ênfase na parcela de AP, uma vez que o lodo de esgoto em substituição à adubação nitrogenada convencional, promoveu maior acúmulo de Mn nas folhas. Embora a análise de regressão não tenha sido significativa para este elemento, nota-se na Tabela

11, que os resultados se assemelharam aos de Lobo (2010) que encontraram acréscimo quadrático no teor foliar de Mn em trigo, em função do aumento de doses de lodo.

Para o Zn, os teores médios de todos os tratamentos encontram-se na faixa considerada ideal (20 a 70 mg kg⁻¹), exceto o T2 irrigado com AP. Em comparação somente dos T1, T2 e T3, assim como para o Mn, nota-se que o maior acúmulo de Zn foi proporcionado com o uso de 100% lodo de esgoto se comparado aos outros dois tratamentos, na parcela irrigada com AP. Na Figura 17 é observado que as médias dos tratamentos irrigados com AP apresentaram ajuste linear crescente em função das doses do composto orgânico, assim como Lobo (2010) que também observou incremento linear nos teores foliares de Zn no trigo, com aumento da dose de lodo no solo em substituição à adubação nitrogenada convencional. Para a parcela irrigada com EET, o ajuste das médias dos tratamentos foi o quadrático, também com aumento crescente até a dose máxima de lodo. Em estudo realizado por Berton et al. (1989) os autores observaram que a aplicação de lodo de esgoto até 80 t ha⁻¹, ocasionou aumento na absorção dos elementos Zn e Cu, assim como neste estudo. Também Ferreira et al. (2001) avaliando o efeito da adubação com N, Mo e Zn em plantas de milho, observaram aumento de 73%, 21% e 27% nos teores foliares de Zn aos 25, 45 e 63 DAE, em relação à testemunha.

Chueiri et al. (2007) avaliaram o efeito de lodo de esgoto alcalinizado e fertilizante mineral sobre parâmetros do solo e de plantas de trigo, e concluíram que o lodo elevou os teores de N, K, Mg e Cu da parte aérea do trigo, enquanto o fertilizante os reduziu, indicando efeito de concentração e diluição, respectivamente. De maneira geral, o mesmo é observado neste experimento, uma vez que o lodo de esgoto elevou o teores desses elementos (N, K, Mg e Cu) nas folhas de trigo. No entanto os mesmos autores observaram ainda um aumento nos teores de Mn e decréscimo nos teores de Zn, resultados contrários aos dos observados neste estudo, que em geral, indicou que o lodo de esgoto promoveu aumento nos teores de Zn e decréscimo nos teores de Mn em folhas de trigo. Ressalta-se ainda que a variação do comportamento dos teores dos elementos nas folhas de trigo, dos tratamentos irrigados com EET, pode ser justificada pela variação da característica físico-química do resíduo ao longo do período experimental (APÊNDICE).

4.1.3 Acúmulo de nutrientes e metais pesados em grãos de trigo

Segundo Coelho et al. (2001) as doses de adubação nitrogenada podem influenciar o teor proteico dos grãos, uma vez que este é extremamente influenciado pelo teor de N na planta no período compreendido entre a floração e a maturação. Assim Espíndula et al. (2010b) afirma que a composição mineral de grãos é importante para a definição da qualidade nutricional do alimento bem como da qualidade fisiológica das sementes, devendo ser considerada no estabelecimento dos níveis adequados de adubação. Nesse sentido no final do ciclo da cultura, foram analisados os grãos de trigo em termos de macro, micronutrientes e metais pesados, a fim de entender o comportamento dessas variáveis em função da adubação com lodo de esgoto e irrigação com EET.

Na Tabela 12 são apresentados os resultados médios do acúmulo de macronutrientes nos grãos de trigo.

Tabela 12. Acúmulo de macronutrientes (N, P, K, Mg e S) nos grãos de trigo.

Tipo de Água	Tratamentos ⁽¹⁾						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Nitrogênio (mg planta⁻¹)							
AP	23,09 Be	60,06 Bd	65,57 Bcd	58,82 Bd	79,24 Abc	91,91 Aab	103,28 Aa
EET	59,77 Ab	84,97 Aa	85,61 Aa	91,82 Aa	86,51 Aa	93,83 Aa	93,89 Aa
CV1(%) = 21,63; CV2(%) = 17,26; DMS1 = 13,57; DMS2 = 18,54							
Fósforo (mg planta⁻¹)							
AP	2,93 Bc	6,51 Ab	7,77 Ab	8,54 Ab	12,13 Aa	11,71 Aa	11,49 Aa
EET	5,53 Ad	6,71 Acd	7,76 Abc	9,18 Aab	9,33 Bab	9,59 Bab	10,35 Aa
CV1(%) = 20,23; CV2(%) = 17,43; DMS1 = 1,44; DMS2 = 2,04							
Potássio (mg planta⁻¹)							
AP	5,77 Bd	10,85 Bc	13,11 Abc	14,23 Ab	19,21 Aa	18,89 Aa	19,37 Aa
EET	9,48 Ab	14,16 Aa	14,10 Aa	15,30 Aa	13,61 Ba	12,24 Bab	13,87 Ba
CV1(%) = 19,47; CV2(%) = 17,27; DMS1 = 2,29; DMS2 = 3,27							
Magnésio (mg planta⁻¹)							
AP	1,86 Bd	3,67 Ac	4,24 Abc	3,80 Ac	5,16 Aab	5,04 Aab	5,29 Aa
EET	2,99 Ad	3,78 Acd	4,03 Abc	4,29 Aabc	4,28 Babc	4,90 Aab	5,12 Aa
CV1(%) = 20,25; CV2(%) = 17,37; DMS1 = 0,71; DMS2 = 1,00							
Enxofre (mg planta⁻¹)							
AP	1,94 Bd	4,00 Bc	5,04 Abc	4,36 Bc	5,64 Ab	6,12 Aab	6,97 Aa
EET	3,72 Ab	5,29 Aa	5,44 Aa	5,92 Aa	5,54 Aa	6,17 Aa	6,08 Aa
CV1(%) = 21,02; CV2(%) = 17,36; DMS1 = 0,89; DMS2 = 1,24							

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 80 kg ha⁻¹ N mineral; T2 = 40 kg ha⁻¹ N mineral + 40 kg ha⁻¹ N via lodo; T3, T4, T5 e T6 refere-se à 80, 120, 160 e 200 kg ha⁻¹ N via lodo, respectivamente. *AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela. **Médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Verifica-se que houve interação significativa entre parcela e subparcela, com o acúmulo de macronutrientes nos grãos, influenciado pelo uso de lodo de esgoto, bem como pelo uso de efluente tratado. Em geral os maiores acúmulos foram provocados pelo uso de doses elevadas do composto orgânico (Figura 18).

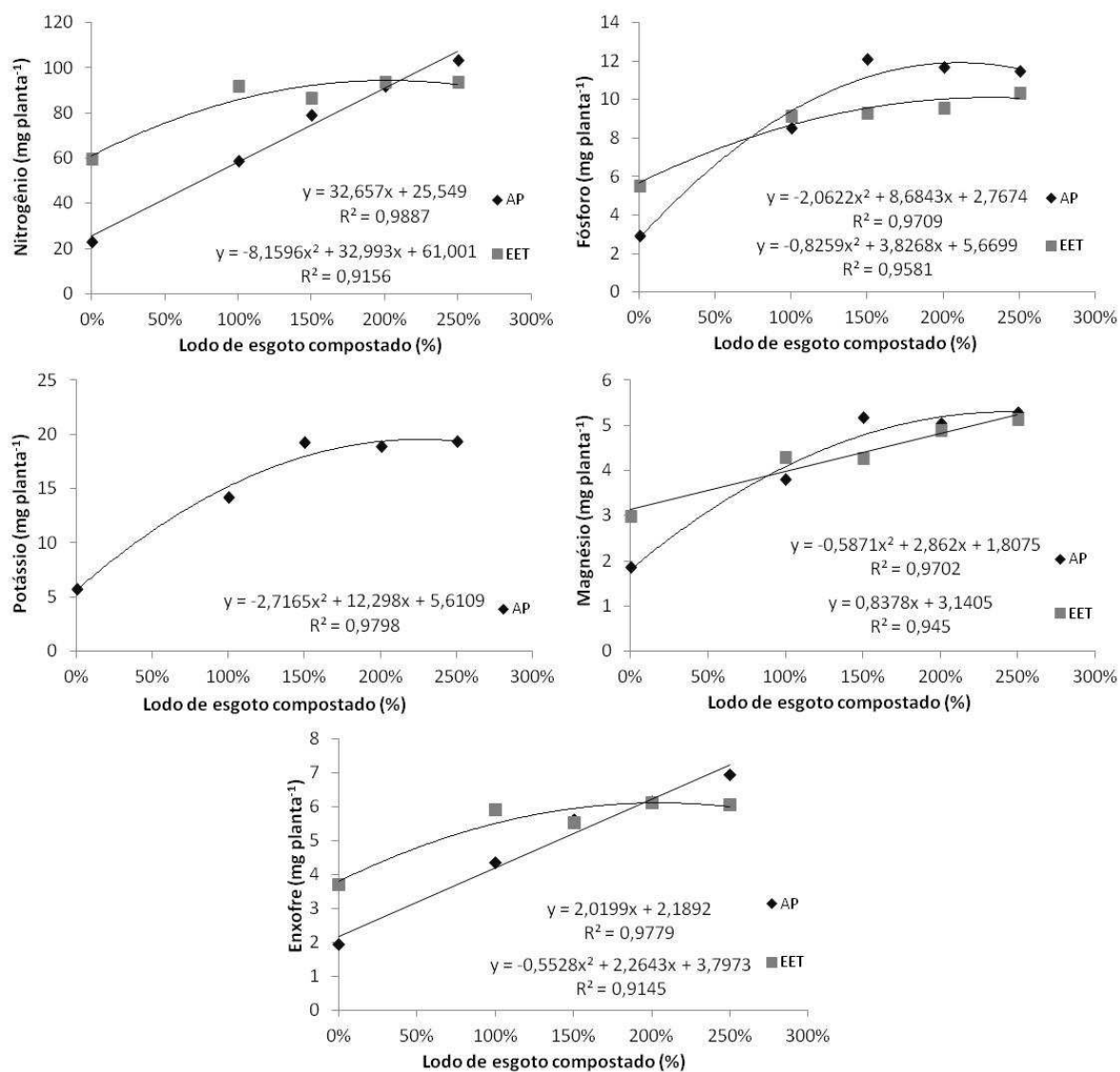


Figura 18. Acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg) e enxofre (S), em grãos de trigo, em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente à 0, 80, 120, 160 e 200 kg ha⁻¹ de N.

Para os elementos N, K, Mg e S, nota-se que o maior acúmulo foi proporcionado pelo uso da dose máxima de lodo de esgoto (250%) com água potável, embora não tenha diferido estatisticamente da parcela com uso do efluente, enquanto que para o K, o maior acúmulo foi obtido no T4 irrigado com AP, não diferindo portanto, dos

T5 e T6 da mesma parcela. Provavelmente esse aumento no teor de N em grãos de trigo para os tratamentos com a maior dose de lodo, esteja associado à maior quantidade de N disponibilizado nos estágios iniciais da cultura e no enchimento de grãos. Resultados semelhantes foram encontrados por Warraich et al. (2002) que avaliaram entre outros, o efeito de doses de N (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹) sobre a qualidade dos grãos de trigo e encontraram que a porcentagem de N nos grãos aumentou significativamente à medida que se aumentaram as doses de N no solo, com acúmulo máximo na dose de 180 kg de N ha⁻¹ enquanto que as porcentagens de fósforo tiveram resposta inversa. Neste estudo o acúmulo máximo de N também foi obtido com a maior dose de lodo quando irrigado sob condições normais (com AP), que nesse caso equivale à dose máxima de N, ou seja, 200 kg ha⁻¹.

Comparando-se os T1, T2 e T3, tratamentos estes, que receberam as mesmas quantidades de N, observa-se que a variação entre as médias foi pouca ou nenhuma, indicando que o lodo de esgoto, pode substituir totalmente a adubação nitrogenada mineral, sem prejuízos em termos de acúmulo de macronutrientes nos grãos de trigo.

Entre os tratamentos testemunha, nota-se que o uso de EET promoveu acúmulo de 159%, 89%, 64%, 61% e 92% a mais de N, P, K, Mg e S, respectivamente, quando comparado ao T0 da parcela irrigada somente com AP, mostrando que o aporte de nutrientes oriundos do efluente doméstico foi significativo para o acúmulo destes elementos nos grãos. Ferreira et al. (2001) também observaram que o incremento nas doses de N, aumentou o teor de S, P e K em grãos de milho, uma vez que a taxa de translocação de P para os grãos depende do nível de fornecimento de N para a planta.

O acúmulo de macronutrientes foi favorecido pelas aplicações crescentes de lodo compostado no solo, pois na Figura 18 observa-se que o acúmulo N e S na parcela irrigada com AP aumentaram linearmente em função das doses de lodo, assim como para a parcela irrigada com EET, que obtiveram ajuste quadrático em suas médias. Lobo (2010) também observou aumento linear na exportação de N em grãos de trigo com aumento de doses de lodo no solo.

Para P, K e Mg as médias dos tratamentos irrigados com AP ajustaram-se à equação quadrática, assim como as médias do acúmulo de P na parcela irrigada com o efluente. Já as médias de acúmulo de Mg ajustaram-se ao modelo linear com o uso de EET. O aumento de Mg em função do incremento do composto orgânico já

era aguardado, pois segundo Espíndula et al. (2010b) espera-se que os níveis de clorofila aumentem em função da aplicação de doses crescentes de N, trazendo como consequência o aumento dos níveis de Mg^{2+} , o que resulta em maior concentração de Mg^{2+} para translocação e, conseqüentemente, maior concentração de Mg^{2+} nos grãos.

Da mesma forma, Coelho et al. (2001), avaliaram os feitos das doses e do parcelamento da adubação nitrogenada sobre a composição mineral e exportação de nutrientes de grãos de trigo irrigado e constataram efeitos quadráticos significativos sobre a exportação de N, P, K, Mg e S de forma ascendente em função das doses de N. Para Magro (2009), que avaliou o efeito de composto orgânico em plantas de brócolis, foi observado aumento linear para o acúmulo de N, P, K, S e Mg nas sementes, com o aumento das doses de composto orgânico até 120 t ha^{-1} . O autor atribuiu esse aumento crescente do acúmulo de macronutrientes pelas sementes em função do composto, ao aumento linear na produção de sementes. O mesmo pode ter ocorrido neste estudo, a julgar pela resposta da cultura em termos de rendimento de grãos, o qual foi crescente em função do incremento do composto orgânico no solo.

Em condições semelhantes ao deste estudo, Lobo (2010) avaliou a exportação de nutrientes em grãos de trigo em função de doses crescente de lodo de esgoto no solo, encontrando aumentos lineares na exportação de P, K, Ca, Mg e S com aumento das doses do resíduo. Da mesma forma Espíndula et al. (2010b), estudaram a composição mineral de grãos de trigo, o qual foi submetido à doses de sulfato de amônio (SA) e regulador de crescimento, em que o N total e S, nos grãos, aumentou linearmente, com o acréscimo das doses de SA, que em contrapartida promoveram decréscimo linear na concentração de P e K. Os autores também relataram que as doses de SA não influenciaram na concentração de Mg^{2+} nos grãos.

Cabe salientar que, enquanto o N é benéfico à cultura e confere melhor qualidade ao produto uma vez que está diretamente relacionado ao teor de proteína nos grãos, os elevados teores de P nestes, podem trazer efeitos adversos à saúde humana, segundo (SCHULTHESS et al., 1997), pois o ácido fítico, constituído de 49 a 80% de P-total dos grãos de trigo, reduz a disponibilidade de Mg, Ca, Fe e Zn na dieta baseada neste cereal, provocando deficiência desses minerais (COELHO et al. 2001). Os mesmos autores concluíram que um cultivar de trigo ideal deve ter em seus grãos um alto teor de N e baixo teor de P. Neste estudo o acúmulo crescente de P em função das doses de lodo de esgoto pode estar associado à presença desse elemento no composto orgânico.

De acordo com Coelho et al. (2001) outros nutrientes também influenciam as qualidades de grãos de trigo, embora tenham atuação pouco conhecida. Nesse sentido, procurou-se avaliar também o acúmulo de micronutrientes e de metais pesados nos grãos, cujas médias estão apresentadas nas Tabelas 13 e 14, respectivamente.

Tabela 13. Acúmulo de micronutrientes (B, Fe e Mn) nos grãos de trigo.

Tipo de Água	Tratamentos ⁽¹⁾						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Boro ($\mu\text{g planta}^{-1}$)							
AP	8,25	11,68	16,14	12,33	14,41	15,11	19,37
	Be	Ad	Ab	Acd	Abcd	Abc	Aa
EET	11,66 7	12,27	15,11	12,24	9,72	10,20	13,87
	Abc	Aabc	Aa	Aabc	Bc	Bc	Bab
CV1(%) = 18,67; CV2(%) = 17,78; DMS1 = 2,13; DMS2 = 3,12							
Ferro ($\mu\text{g planta}^{-1}$)							
AP	54,02	94,27	112,98	95,82	135,66	177,53	170,42
	Bd	Bc	Abc	Bc	Ab	Aa	Aa
EET	84,55	120,85	129,93	146,89	139,96	173,38	156,83
	Ad	Ac	Abc	Aabc	Abc	Aa	Aab
CV1(%) = 21,41; CV2(%) = 17,62; DMS1 = 22,60; DMS2 = 31,28							
Manganês ($\mu\text{g planta}^{-1}$)							
AP	32,99 Be	77,58 Ac	70,61 Bcd	117,63 Ba	55,23 Bd	100,73 Aab	89,08 Abc
EET	52,48 Ac	53,82 Bc	154,11 Aa	153,01 Aa	109,83 Ab	91,79 Ab	49,08 Bc
CV1(%) = 22,12; CV2(%) = 17,82; DMS1 = 15,60; DMS2 = 21,40							

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 80 kg ha⁻¹ N mineral; T2 = 40 kg ha⁻¹ N mineral + 40 kg ha⁻¹ N via lodo; T3, T4, T5 e T6 refere-se à 80, 120, 160 e 200 kg ha⁻¹ N via lodo, respectivamente. *AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela. **Médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O acúmulo de micronutrientes (Tabela 13) e de metais pesados (Tabela 14) nos grãos de trigo foi influenciado pelos níveis de adubação, fonte de fertilizante e água de irrigação, apresentando significância estatística para a interação parcela x subparcela. Em geral, os maiores acúmulos foram provocados pela utilização das maiores doses de lodo de esgoto (T5 e T6). No entanto o acúmulo de Mn nos grãos de trigo, foi superior no T2 irrigado com EET, com média de 154,11 $\mu\text{g planta}^{-1}$. Nas mesmas condições, o acúmulo de B apresentou média elevada, não ultrapassando, portanto o acúmulo encontrado no T6 da parcela irrigada com AP. Já o acúmulo de B observado no T2 irrigado com AP foi estatisticamente superior aos tratamentos com dose máxima de lodo.

Tabela 14. Acúmulo de metais pesados (Cu, Zn, Ba, Mo, Ni) em grãos de trigo.

Tipo de Água	Tratamentos ⁽¹⁾						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Cobre ($\mu\text{g planta}^{-1}$)							
AP	8,25 Bd	15,85 Bc	20,18 Abc	18,98 Abc	22,81 Aab	22,67 Ab	27,11 Aa
EET	13,85 Ab	21,72 Aa	18,13 Aab	17,34 Ab	15,55 Bb	17,34 Bb	17,07 Bb
CV1(%) = 18,87; CV2(%) = 17,45; DMS1 = 2,99; DMS2 = 4,34							
Zinco ($\mu\text{g planta}^{-1}$)							
AP	19,79 Ad	47,55 Bd	156,36 Bc	170,77 Bbc	212,50 Ab	294,62 Aa	305,98 Aa
EET	45,19 Ad	159,56 Ac	200,44 Abc	225,44 Aab	247,85 Aab	273,33 Aa	251,79 Ba
CV1(%) = 23,92; CV2(%) = 18,71; DMS1 = 36,10; DMS2 = 48,88							
Bário ($\mu\text{g planta}^{-1}$)							
AP	0,48 Be	1,40 Ae	11,73 Aa	7,16 Ac	9,41 Ab	8,50 Abc	4,37 Ad
EET	2,45 Abc	1,83 Ac	5,18 Ba	5,51 Ba	3,72 Bb	3,05 Bbc	3,38 Bb
CV1(%) = 21,14; CV2(%) = 20,45; DMS1 = 0,91; DMS2 = 1,34							
Molibdênio ($\mu\text{g planta}^{-1}$)							
AP	0,30 Bc	0,33 Bc	1,07 Ab	1,23 Ab	1,93 Aa	1,94 Aa	1,99 Aa
EET	0,56 Ad	0,92 Ac	0,55 Bd	0,79 Bcd	1,03 Bbc	1,23 Bb	1,59 Ba
CV1(%) = 20,02; CV2(%) = 18,85; DMS1 = 0,19; DMS2 = 0,28							
Níquel ($\mu\text{g planta}^{-1}$)							
AP	0,25 Be	0,53 Ad	0,57 Acd	0,74 Abc	0,82 Aab	0,98 Ba	0,92 Aa
EET	0,43 Ad	0,37 Bd	0,62 Ac	0,64 Ac	0,72 Ac	1,15 Aa	0,89 Ab
CV1(%) = 20,32; CV2(%) = 18,03; DMS1 = 0,12; DMS2 = 0,17							

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 80 kg ha⁻¹ N mineral; T2 = 40 kg ha⁻¹ N mineral + 40 kg ha⁻¹ N via lodo; T3, T4, T5 e T6 refere-se à 80, 120, 160 e 200 kg ha⁻¹ N via lodo, respectivamente. *AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela. **Médias seguidas de mesma letra (maiúscula na coluna e minúscula na linha), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na Figura 19 nota-se que as médias de acúmulo de B e Fe para a parcela irrigada com AP, apresentaram ajuste linear crescente em função do incremento do composto orgânico no solo, enquanto que para a parcela irrigada com EET, as médias de acúmulo de Fe apresentaram ajuste quadrático, sem efeito significativo para o acúmulo de B.

Ao se analisar os tratamentos testemunha (T0) observa-se que o uso de EET proporcionou incremento no acúmulo de B, Fe, Mn, Cu, Zn, Ba, Mo e Ni de 41, 57, 59, 69, 128, 410, 87 e 72% respectivamente, quando comparado às médias dos tratamentos irrigados somente com água potável. Outra característica observada foi que o efluente promoveu variações significativas em relação aos tratamentos estudados, que pode ter ocorrido, como mencionado anteriormente, devido às variações das características físico-químicas do efluente no decorrer da fase experimental.

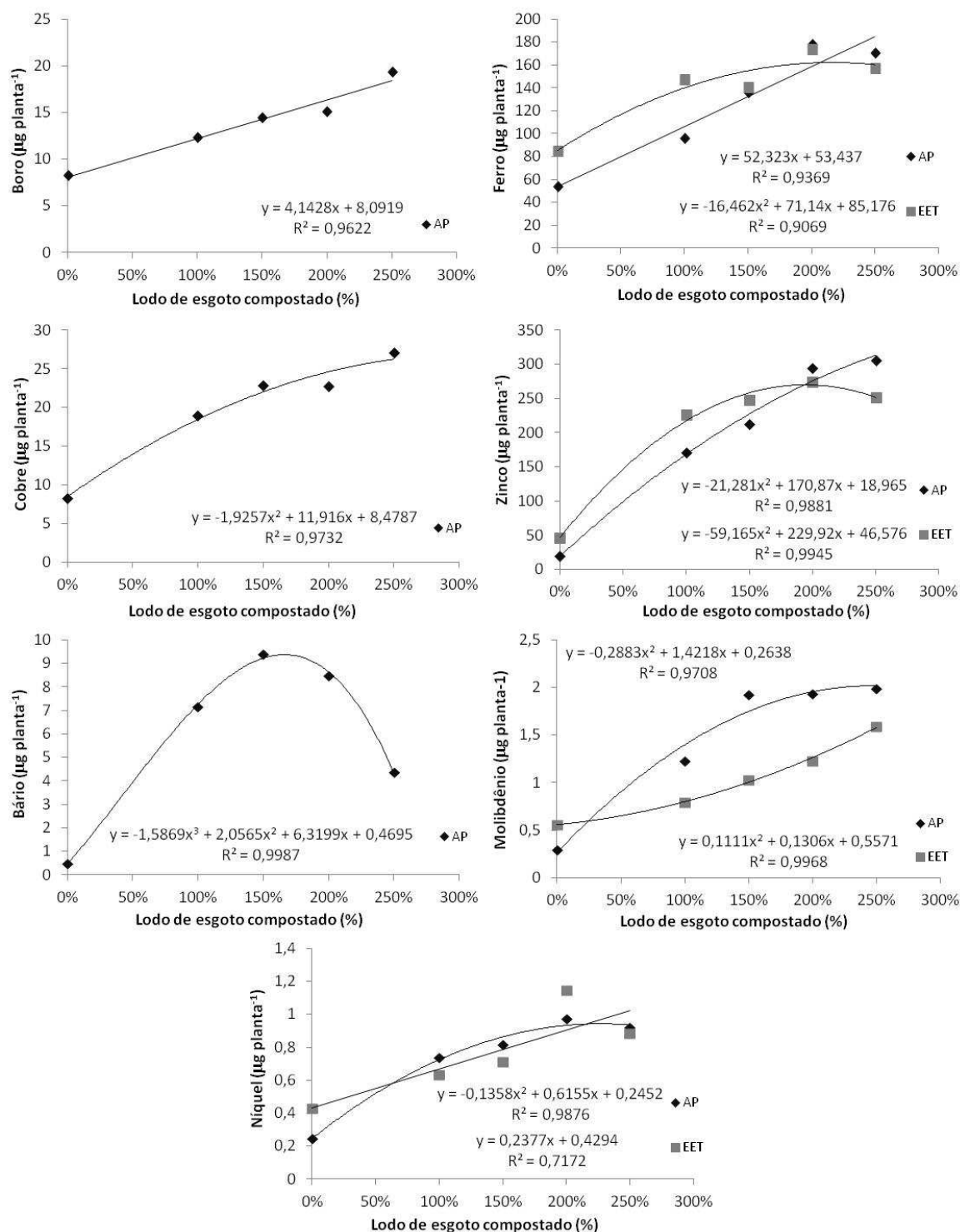


Figura 19. Acúmulo de boro (B) ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn), bário (Ba), molibidênio (Mo) e níquel (Ni), em grãos de trigo, em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente à 0, 80, 120, 160 e 200 kg ha⁻¹ de N.

Ferreira et al. (2001) também observaram aumento no teor de Zn em grãos de milho (6,6%), avaliando o efeito da adubação com N, Mo e Zn na cultura. Os autores associaram esse aumento à maior absorção com aplicação de Zn, sendo

armazenado nas partes vegetativas e com posterior translocação para os grãos. Há que se destacar também que, segundo a ANVISA (1965), os limites máximos de tolerância em alimentos (matéria seca) de Zn, especialmente para cereais, é de 50 mg kg^{-1} . Portanto, o aumento no acúmulo de Zn neste estudo em função do incremento do composto orgânico no solo, foi proporcionado não somente pelo aumento no rendimento de grãos, como também pela presença do elemento nos grãos, que em função dos tratamentos empregados, se apresentou acima dos limites estabelecidos para cereais. Esse aumento no teor de Zn pode estar relacionado ao incremento proporcionado pelas repetidas aplicações de lodo de esgoto. Quanto ao Cu, embora o acúmulo tenha apresentado ajuste quadrático em suas médias na parcela irrigada com AP, em função das doses de lodo de esgoto, os teores deste elemento ficaram muito aquém dos estabelecidos pela ANVISA (1965).

As médias de acúmulo desses elementos nos tratamentos T1, T2 e T3 diferiram muito pouco entre si, com exceção do Ba, cujas médias de acúmulo apresentaram diferença expressiva, mostrando que o uso de 100% de lodo de esgoto em substituição à adubação nitrogenada mineral, incrementa significativamente o acúmulo deste elemento nos grãos de trigo.

Na Figura 19 é observado que as médias de acúmulo de Cu, Zn, Mo e Ni nos grãos, ajustaram-se à equação quadrática em função do incremento de doses do composto orgânico, enquanto que o acúmulo de Ba apresentou ajuste cúbico em suas médias. Espíndula et al. (2010b) também notaram aumento nas concentrações de Cu e Zn em grãos de trigo, em função do incremento das doses de sulfato de amônio no solo (SA), em que o Mn respondeu de forma quadrática e a concentração de Fe não foi influenciada pelas doses de SA. Resultados semelhantes foram obtidos por Coelho et al. (2001) que estudando a cultura do trigo em quatro doses de N ($30, 60, 90$ e 120 kg ha^{-1}) observaram ponto máximo de Cu ($32,22 \text{ g ha}^{-1}$) e Zn ($253,19 \text{ g ha}^{-1}$) obtidos com as doses intermediárias de $81,4$ e $78,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, respectivamente.

Do mesmo modo Ferreira et al. (2001) observaram que os teores de Cu e Mn em grãos de milho mostraram relação linear crescente em função das doses de N ($0, 70, 140$ e 210 kg ha^{-1}). Em estudo realizado por Rangel et al. (2006) avaliando o efeito de aplicações de lodos de esgoto sobre os teores de metais pesados em grãos de milho, os autores verificaram uma tendência de aumento nos teores de Cu, Mn, Ni, Pb e Zn com a sequência de três cultivos. Também Lobo (2010) trabalhando com trigo e doses crescentes de lodo, encontrou aumento linear na exportação de B, Cu, Mn e Zn nos grãos, em função

do incremento do resíduo orgânico no solo enquanto que para a exportação de Fe o ajuste foi quadrático também crescente.

Além dos elementos apresentados nas Tabelas 13 e 14, foram analisados os teores de arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cromo (Cr), mercúrio (Hg) e selênio (Se), os quais não puderam ser determinados, porque suas concentrações estavam abaixo do limite de detecção e/ou não apresentaram resposta suficiente para se aplicar análise estatística (APÊNDICE). Dessa maneira não foram determinados os acúmulos para esses elementos.

4.2 Cultura da Soja

4.2.1 Desenvolvimento e componentes de produção da soja

Assim como para o trigo, são vários os fatores que podem interferir na produtividade da soja como altura de plantas, número de nós na haste principal, número de vagens por planta e grãos por vagem, entre outros, os quais são influenciados pela época de semeadura, cultivar, condições climáticas e adubação. Nesse sentido procurou-se avaliar características do desenvolvimento e de produção da cultura da soja, visando definir se as condições oferecidas em termos de adubação com lodo de esgoto compostado e irrigação com efluente de esgoto tratado foram satisfatórias para o pleno desenvolvimento da cultura. Dessa maneira, aos 40, 60 e 97 dias após a emergência – DAE foram analisados parâmetros como: altura e diâmetro da haste principal, número de nós vegetativos e massa seca da parte aérea, cujos resultados estão apresentados nas Tabelas 15, 16, 17 e 18, respectivamente.

Na Tabela 15, observa-se que, para as três épocas de avaliação, a altura de plantas foi influenciada significativamente pelo uso de lodo de esgoto e pelo efluente tratado, apresentando interação significativa entre os dois fatores, com as maiores médias de altura de plantas obtidas nos tratamentos T0 com uso do efluente, os quais diferiram significativamente dos T0 irrigados com AP. Ainda em relação aos tratamentos controle (testemunha) é observado que o EET proporcionou incremento na altura de plantas de soja de 22, 23 e 12% aos 40, 60 e 97 DAE, respectivamente, se comparado à parcela irrigada com AP.

Nota-se também, que a altura de planta reduziu em função do aumento das doses de lodo (Figura 20), apresentando ajuste linear para as médias da parcela irrigada com EET aos 40 DAE, e da parcela irrigada com AP aos 60 DAE. As demais médias ajustaram-se à equação quadrática.

Tabela 15. Resultados médios da altura de plantas de soja (cm) aos 40, 60 e 97 dias após a emergência (DAE).

Tipo de Água	Tratamentos ⁽¹⁾						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Altura de planta 40 DAE							
AP	44,60 Bbc	49,80 Aab	53,60 Aa	47,10 Aabc	48,00 Aabc	40,70 Ac	40,80 Ac
EET	54,20 Aa	52,70 Aab	51,60 Aab	42,30 Ac	45,00 Abc	41,80 Ac	39,40 Ac
CV1(%) = 15,34; CV2(%) = 12,80; DMS1 = 5,91; DMS2 = 8,23							
Altura de planta 60 DAE							
AP	81,00 Ba	91,10 Aab	73,20 Aabc	69,10 Abcd	67,60 Acd	64,30 Ad	62,70 Ad
EET	100,00 Aa	75,10 Bb	79,80 Ab	72,20 Ab	66,60 Ab	68,40 Ab	64,70 Ab
CV1(%) = 16,07; CV2(%) = 12,53; DMS1 = 9,61; DMS2 = 13,00							
Altura de plantas aos 97 DAE							
AP	100,70 Ba	99,90 Aa	88,50 Aab	76,40 Abc	79,60 Abc	71,92 Ac	71,00 Ac
EET	112,50 Aa	88,60 Ab	83,40 Ab	77,20 Ab	74,50 Ab	75,70 Ab	77,00 Ab
CV1(%) = 17,20; CV2(%) = 12,72; DMS1 = 11,49; DMS2 = 15,17							

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 66 kg ha⁻¹ N mineral; T2 = 33 kg ha⁻¹ N mineral + 33 kg ha⁻¹ N via lodo; T3, T4, T5 e T6 refere-se à 66, 99, 132 e 165 kg ha⁻¹ N via lodo, respectivamente. *AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela. **Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Analisando somente os T1, T2 e T3, tratamentos que receberam a mesma quantidade de adubação nitrogenada via lodo de esgoto, observa-se que as médias entre os tratamentos foram mais contrastantes entre si na parcela irrigada com EET, não apresentando diferença significativa entre as médias da parcela irrigada com AP, à exceção do T1, aos 60 DAE (Tabela 15). Também é notado que, mesmo em alguns casos não apresentando diferença estatística significativa, a substituição da adubação nitrogenada mineral por adubação 100% via lodo, promoveu redução na altura das plantas de soja.

Resultados semelhantes foram observados por Baumgartner et al. (2005) que estudaram o efeito de 4 águas (de poço, residuária de piscicultura, residuária de lagoa de estabilização de dejetos suíno e água residuária de uma lagoa de produção de algas alimentada com resíduo de biodigestor) no desempenho da cultura da alface. Os autores observaram que a aplicação do dejetos suíno influenciou o desenvolvimento da cultura, reduzindo seu crescimento e concluíram que embora as águas residuárias sejam ricas em

nutrientes, elas não proporcionaram as mesmas taxas de crescimento que o tratamento convencional e alegaram que essa diferença ocorreu pela elevada carga de nutrientes tais como potássio e sódio, os quais segundo Ayers e Estcott (1991) podem dificultar a extração de água e outros nutrientes. Já neste estudo o uso somente de EET elevou as médias de altura de plantas, enquanto que o uso conjunto de efluente e composto orgânico teve resposta inversa, provavelmente pelo excesso de elementos disponibilizado no solo pelos dois resíduos.

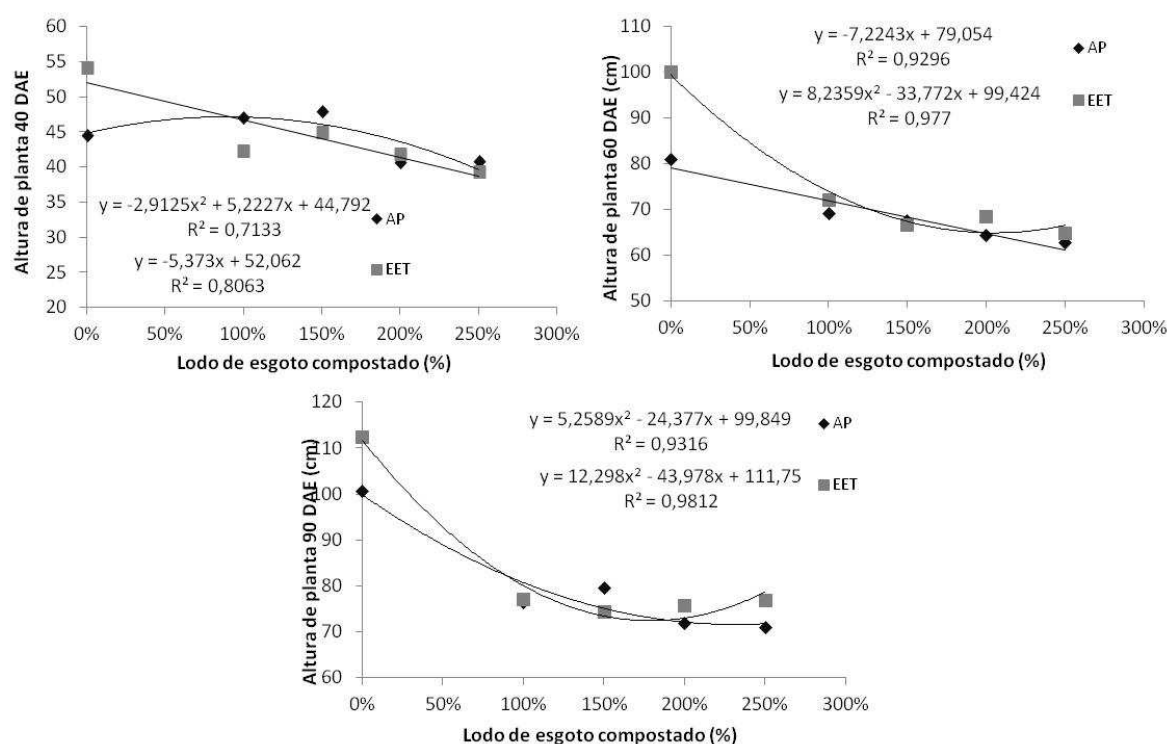


Figura 20. Altura de planta aos 40, 60 e 90 DAE, em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente à 0, 66, 99, 132 e 165 kg ha⁻¹ de N.

Araújo et al. (2005), investigando a resposta de plântulas de soja sob adubação com composto de lodo têxtil, encontraram diminuição significativa na altura da parte aérea, com ajuste quadrático decrescente em função das doses de lodo, assim como observado neste estudo. Já Lobo et al. (2012c) trabalhando em condições semelhantes ao deste experimento, concluíram que a dose de 150% de N proveniente do lodo de esgoto proporcionou um incremento na altura de plantas de girassol.

Em relação ao diâmetro da haste principal (Tabela 16), observa-se que aos 40 DAE, não houve interação significativa entre parcela e subparcela. A partir dos 60 DAE os níveis de adubação em conjunto com o uso de efluente de esgoto tratado,

influenciaram significativamente as médias de diâmetro. Nota-se que aos 40 DAE os níveis de adubação influenciaram significativamente o diâmetro da haste principal em plantas de soja, uma vez que a maior média foi observada no T1, tratamento este que recebeu 100% de adubação nitrogenada mineral. Também é observado que o uso de EET estimulou as plantas de maneira que apresentaram médias estatisticamente superiores às da parcela irrigada com AP.

Tabela 16. Resultados médios do diâmetro da haste principal (mm) em plantas de soja, aos 40, 60 e 97 dias após a emergência (DAE).

Tipo de Água	Tratamentos ⁽¹⁾							Médias
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
Diâmetro da haste 40 DAE (mm)								
AP	-	-	-	-	-	-	-	4,29 B
EET	-	-	-	-	-	-	-	4,72 A
Médias	4,78 ab	5,03 a	5,04 a	4,41 bc	4,24 bc	4,04 c	4,01 c	
CV1(%) = 16,72; CV2(%) = 13,13; DMS3 = 0,27; DMS4 = 0,56								
Diâmetro da haste 60 DAE (mm)								
AP	5,67 Ba	6,00 Aa	5,97 Aa	5,32 Aa	5,29 Aa	5,85 Aa	5,45 Aa	-
EET	6,93 Aa	5,66 Abc	6,15 Aabc	5,34 Abc	5,47 Abc	6,35 Aab	5,31 Ac	-
CV1(%) = 11,66; CV2(%) = 13,44; DMS1 = 0,65; DMS2 = 1,02								
Diâmetro da haste 97 DAE (mm)								
AP	5,97 Ba	6,65 Aa	6,58 Aa	5,94 Aa	6,25 Aa	5,98 Aa	6,35 Aa	-
EET	7,49 Aa	6,39 Aab	6,39 Aab	5,99 Ab	6,00 Ab	6,11 Ab	5,71 Ab	-
CV1(%) = 16,33; CV2(%) = 14,47; DMS1 = 0,87; DMS2 = 1,24								

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 66 kg ha⁻¹ N mineral; T2 = 33 kg ha⁻¹ N mineral + 33 kg ha⁻¹ N via lodo; T3, T4, T5 e T6 refere-se à 66, 99, 132 e 165 kg ha⁻¹ N via lodo, respectivamente. *AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela. DMS3 e 4 = diferença mínima significativa da parcela e subparcela, respectivamente. **Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Aos 60 e 97 DAE, os maiores valores foram observados no T0 da parcela irrigada com o efluente, os quais diferiram significativamente da parcela irrigada com AP. Nesse caso, o aumento no diâmetro da haste foi de 22% aos 60 DAE e 25% aos 97 DAE, com uso de efluente em comparação à água potável.

A influência do lodo de esgoto sobre esta variável é melhor observada na Figura 21. As médias do diâmetro da haste principal apresentaram ajuste linear decrescente em função do incremento do composto orgânico no solo, resultados estes, diferentes dos encontrados por Lobo et al. (2012c) em condições semelhantes ao deste experimento, que observaram que a dose de 150% de N proveniente do lodo de esgoto proporcionou incremento no diâmetro do caule de plantas de girassol.

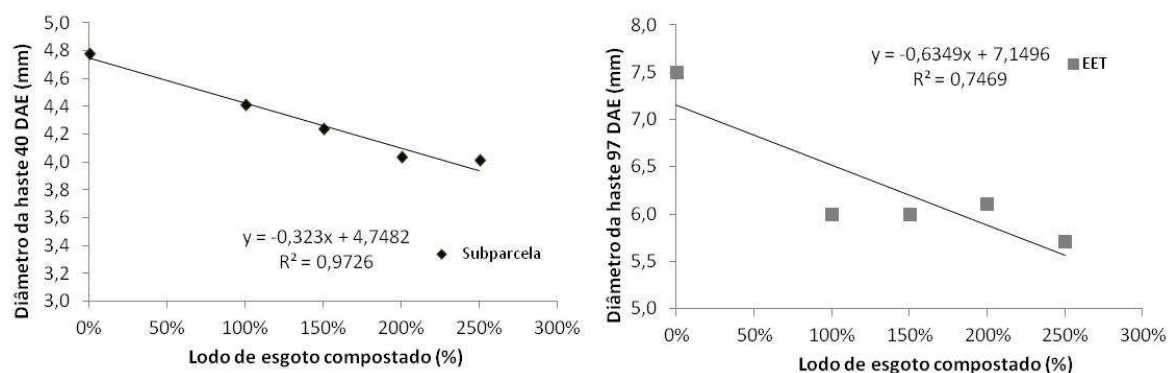


Figura 21. Diâmetro da haste principal aos 40 e 97 DAE, em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente à 0, 66, 99, 132 e 165 kg ha⁻¹ de N.

Na Tabela 17 são apresentados os resultados médios para o número de nós vegetativos na haste principal das plantas de soja, as quais apresentaram significâncias nas variações de suas médias aos 40 e 60 DAE. Vale ressaltar que segundo Farias et al. (2007), o nó é a parte do caule onde a folha se desenvolve e é usado para a determinação dos estádios vegetativos porque é permanente, enquanto que a folha é temporária, podendo desprender do caule; lembrando ainda que os nós cotiledonares não são considerados, uma vez que não possuem folhas verdadeiras. Assim, a identificação do número de nós vegetativos é importante para reconhecer a fase vegetativa a qual a planta de soja se encontra, visando o manejo mais adequado da cultura.

Tabela 17. Resultados médios do número de nós vegetativos na haste principal em plantas de soja, aos 40 e 60 dias após a emergência (DAE).

Tipo de Água	Tratamentos ⁽¹⁾						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Número de nós vegetativos 40 DAE							
AP	-	-	-	-	-	-	-
EET	-	-	-	-	-	-	-
Médias	7,60 c	8,35 ab	8,70 a	8,05 abc	8,25 abc	7,85 bc	7,70 bc
CV2(%) = 9,48; DMS4 = 0,73							
Número de nós vegetativos 60 DAE							
AP	11,5 Bb	13,3 Aa	11,8 Aab	11,9 Aab	11,9 Aab	13,1 Aab	12,4 Aab
EET	13,0 Aa	12,0 Ba	11,5 Aa	12,5 Aa	12,6 Aa	12,8 Aa	11,7 Aa
CV1(%) = 9,39; CV2(%) = 10,28; DMS1 = 1,08; DMS2 = 1,67							

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 66 kg ha⁻¹ N mineral; T2 = 33 kg ha⁻¹ N mineral + 33 kg ha⁻¹ N via lodo; T3, T4, T5 e T6 refere-se à 66, 99, 132 e 165 kg ha⁻¹ N via lodo, respectivamente. *AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela; DMS4 = diferença mínima significativa da subparcela. **Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Aos 40 DAE observa-se que o número de nós foi influenciado pelos níveis de adubação adotados, com a maior média no T1, onde adotou-se somente adubação nitrogenada mineral, sem efeito significativo para o uso de AP e EET. Já aos 60 DAE observou-se interação parcela x subparcela, com o maior valor encontrado no T1 com uso de AP, sem diferir estatisticamente do mesmo tratamento irrigado com o efluente. Na testemunha (T0) observa-se que o incremento de número de nós foi de 13% com uso de efluente quando comparado ao uso de AP. A variação das médias do número de nós em função das doses de lodo compostado, não foi significativa para a análise de regressão (APÊNDICE).

O lodo de esgoto compostado assim como o EET apresentou influencia significativa sobre o rendimento de massa seca por planta, com interação entre parcela e subparcela aos 40 DAE (Tabela 18).

Tabela 18. Resultados médios da massa seca da parte aérea (g planta^{-1}) em plantas de soja, aos 40 e 60 dias após a emergência (DAE).

Tipo de Água	Tratamentos							
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Médias
Massa seca parte aérea 40 DAE								
AP	4,83 Bab	6,35 Aa	5,99 Ba	5,13 Aab	5,50 Aab	3,80 Ab	3,57 Ab	-
EET	6,70 Aab	6,93 Aa	7,89 Aa	4,74 Abc	4,88 Abc	4,58 Ac	4,24 Ac	-
CV1(%) = 31,41; CV2(%) = 26,81; D.M.S.1 = 1,41; d.m.s.2 = 1,98								
Massa seca parte aérea 60 DAE								
AP	-	-	-	-	-	-	-	12,10 B
EET	-	-	-	-	-	-	-	16,61 A
CV1(%) = 17,41; DMS3 = 0,89								

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 66 kg ha^{-1} N mineral; T2 = 33 kg ha^{-1} N mineral + 33 kg ha^{-1} N via lodo; T3, T4, T5 e T6 refere-se à 66, 99, 132 e 165 kg ha^{-1} N via lodo, respectivamente. *AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela; DMS3 = diferença mínima significativa da parcela. **Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na testemunha (T0) observa-se que o efluente proporcionou 39% de incremento de massa seca da parte aérea, quando comparado ao T0 irrigado com AP, assim como Santos Júnior et al. (2011) que estudando a cultura do girassol, encontraram que água residuária de esgoto doméstico influenciou positivamente a fitomassa seca da parte aérea. Já Baumgartner et. al. (2005) observaram redução na massa de matéria seca de alface, em função do uso de água residuária de lagoa de estabilização de dejetos suínos quando comparado ao uso de água de poço.

Embora o EET não tenha provocado diferenças significativas nos T1, T2 e T3 em relação aos mesmos tratamentos da parcela com AP, nota-se que as fontes de fertilizantes tiveram efeito significativo, pois o uso de 100% de lodo de esgoto proporcionou decréscimo nas médias de massa seca, quando comparado às médias do T1, que recebeu adubação nitrogenada 100% mineral. Resultados distintos foram encontrados por Araujo (2003) que observaram que os tratamentos que receberam a maior dosagem de lodo, sendo um estritamente doméstico (Franca/SP) e outro com presença de dejetos industriais (Barueri/SP), na quarta incorporação do resíduo na área, proporcionaram aumentos significativos de massa seca quando comparado aos tratamentos que receberam doses menores de lodo, adubação mineral e testemunhas absolutas. Vieira et. al (2005b) também verificaram que as médias de massa seca de plantas de feijoeiro adubadas com lodo de esgoto, foram estatisticamente superiores às medias de massa seca do tratamento que recebeu adubação mineral, considerando a mesma quantidade de N. Já Lobo et. al. (2012a) encontraram que o rendimento de matéria seca de plantas de soja inoculadas aumentou até a dose de 26 t ha⁻¹ de lodo compostado e, após esta dosagem, ocorreu um decréscimo no rendimento.

Aos 60 DAE não foi observada interação significativa entre os fatores estudados (Tabela 18), com efeito estatístico em relação ao uso de diferentes águas, visto que o efluente possibilitou um maior rendimento de massa seca por planta (16,61 g vaso⁻¹).

Analizando o comportamento desta variável somente em relação ao uso de lodo de esgoto compostado (Figura 22) observa-se que as médias ajustaram-se à equação linear decrescente, ou seja, com o aumento das doses de lodo houve um decréscimo na massa seca da parte aérea, aos 40 DAE, independente do uso de efluente. Assim como neste estudo, Araujo et al. (2005) observaram que o aumento das concentrações de composto de lodo têxtil, acima de 19 g L⁻¹ provocou diminuição significativa na massa da matéria seca de plantas de soja. Já Lobo et al. (2012d) observaram aumento no rendimento de matéria seca do feijoeiro, em função do aumento das doses de lodo de esgoto, assim como Lobo e Grassi Filho (2007) que constataram que a utilização de lodo de esgoto como fonte de N trouxe incrementos significativos na matéria seca de plantas de girassol.

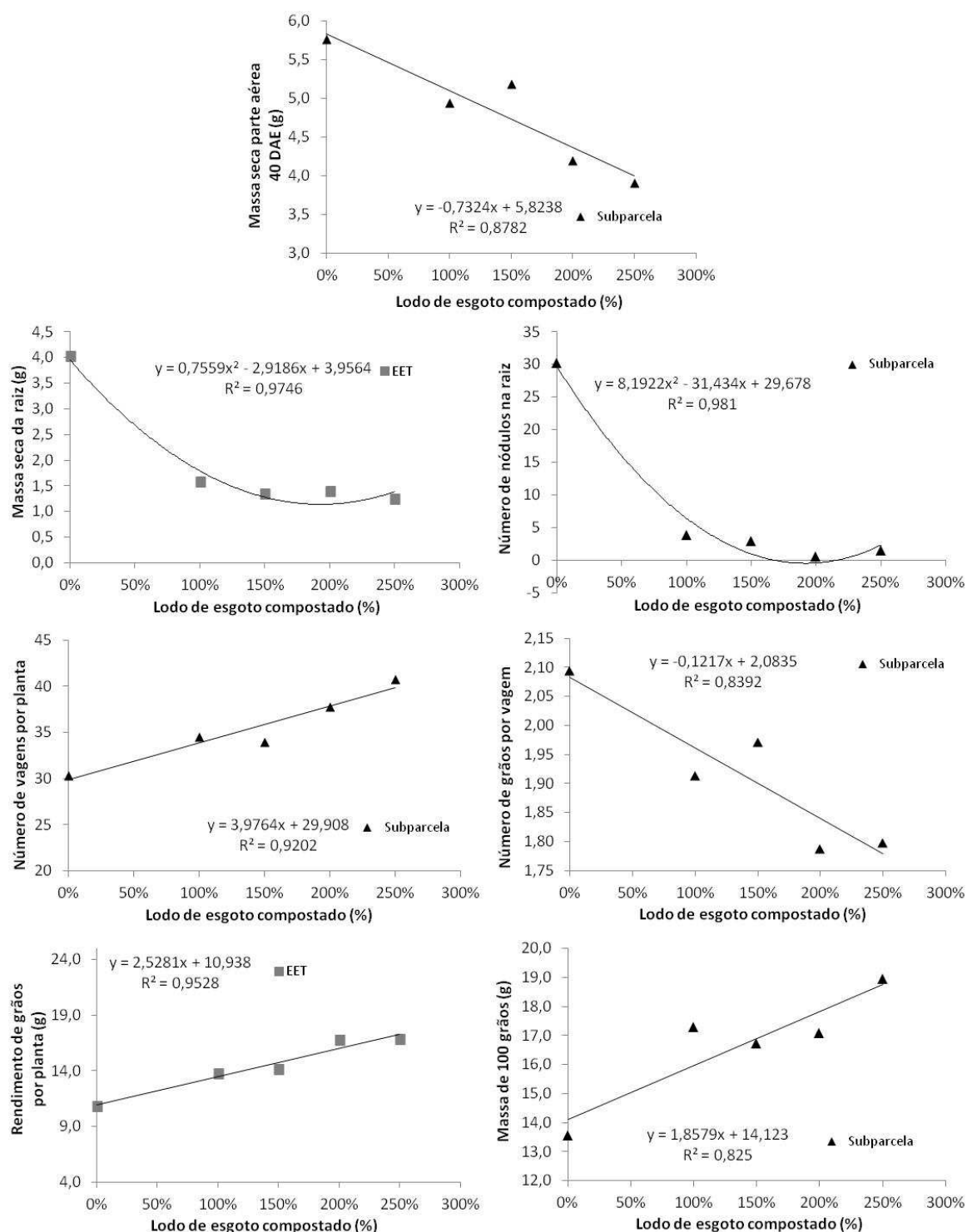


Figura 22. Massa seca da parte aérea, massa seca da raiz, número de nódulos por raiz de planta, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, rendimento de grãos por planta e massa de 100 grãos, em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente à 0, 66, 99, 132 e 165 kg ha⁻¹ de N.

Após a colheita da soja, aos 97 DAE quando as plantas se encontravam na maturidade fisiológica, foram avaliados outros parâmetros como massa seca da parte radicular e número de nódulos na raiz, além das variáveis relativas à produção da cultura: número de vagens por planta, número de grãos por planta, número de grãos por vagem e rendimento de grãos, cujos resultados estão apresentados nas Tabelas 19 e 20, respectivamente.

Tabela 19. Resultados médios da massa seca da parte radicular (g) e número de nódulos em raízes de plantas de soja.

Tipo de Água	Tratamentos						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Massa seca da parte radicular (g)							
AP	1,47 Ba	1,45 Aa	1,44 Aa	1,19 Aa	1,19 Aa	1,01 Aa	0,99 Aa
EET	4,02 Aa	2,01 Ab	1,75 Ab	1,57 Ab	1,33 Ab	1,40 Ab	1,24 Ab
CV1(%) = 48,05; CV2(%) = 48,83; DMS1 = 0,68; DMS2 = 1,03							
Número de nódulos na raiz							
AP	12,50 Ba	0,90 Aa	6,60 Aa	6,60 Aa	5,60 Aa	1,00 Aa	2,20 Aa
EET	48,00 Aa	23,10 Bb	4,60 Ab	1,20 Ab	0,10 Ab	0,10 Ab	0,60 Ab
CV1(%) = 268,85; CV2(%) = 273,29; DMS1 = 19,57; DMS2 = 29,52							

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 66 kg ha⁻¹ N mineral; T2 = 33 kg ha⁻¹ N mineral + 33 kg ha⁻¹ N via lodo; T3, T4, T5 e T6 refere-se à 66, 99, 132 e 165 kg ha⁻¹ N via lodo, respectivamente. *AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela. **Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Assim como para as outras variáveis, a massa seca da parte radicular e o número de nódulos na raiz foram influenciados pelos níveis de adubação nitrogenada e pelo uso de EET, apresentando interação significativa entre parcela e subparcela, uma vez que o efluente elevou as médias da massa seca da parte radicular (Tabela 19).

Para os tratamentos controle (testemunha) é observado que o efluente favoreceu o incremento de massa seca da raiz em 73% se comparado ao T0 irrigado com água potável. Esse aumento no rendimento da massa seca no T0 pode estar associado à nodulação, uma vez que o maior número de nódulos foi observado quando se utilizou EET no tratamento sem adubação nitrogenada (T0), mostrando que a quantidade de N fornecida pelo efluente não foi suficiente para promover a inibição na formação de nódulos da planta e que provavelmente os elementos contidos no efluente, estimularam a fixação biológica. Desta maneira, pode-se afirmar que o maior desenvolvimento das plantas (Tabela 15) cultivadas no solo que recebeu apenas EET (T0), foi proporcionado

pelo maior aporte de N advindo da mineralização no solo e da simbiose com o rizóbio nos nódulos das raízes (Tabela 19), isso porque as concentrações de micronutrientes no efluente, importantes nas etapas do processo simbiótico, possivelmente colaboraram com a fixação de N e conseqüentemente com o desenvolvimento da planta, mesmo em condições de menor disponibilidade de N mineral.

Já a partir do T2, nota-se que, embora sem diferença estatística, o uso do efluente com o lodo, reduziu o número de nódulos em relação aos demais tratamentos irrigados com AP, indicando que a associação desses dois resíduos limitou a formação de nódulos nas plantas de soja. Nas mesmas condições, a massa seca de raiz a partir do T1, embora também sem diferença estatística, apresentou médias maiores nos tratamentos irrigados com o efluente, apontando que esta resposta não está associada ao número de nódulos, mas ao desenvolvimento radicular, provavelmente estimulado pelo uso de EET.

Comparando-se os tratamentos que receberam a mesma quantidade de N, mas por formas e fontes diferentes (T1, T2 e T3) e independente da água utilizada na irrigação, observa-se que não houve diferença estatística entre eles, implicando que o uso de 100% lodo de esgoto não diferiu estatisticamente da adubação nitrogenada 100% mineral.

Em geral as médias foram maiores para os T0, mostrando que o aumento na dose de lodo compostado em substituição à adubação mineral promoveu um decréscimo no número de nódulos, ou seja, o lodo provavelmente teve efeito inibitório sob a formação de nódulos na planta (Figura 22). Mendes et al. (2008) também observaram que de maneira geral, a aplicação de 200 kg ha^{-1} de N influenciou negativamente a nodulação da soja.

Isto pode ser explicado pelo fato de que, a concentração de N normalmente diminui a formação de nódulos e a fixação de N_2 (WATERER; VESSEY, 1993) e ainda de acordo com Moreira e Siqueira (2006), quando aumenta-se o N no solo, seja este mineral ou orgânico, a fixação biológica começa a decair. Bottomley & Myrold (2007) explicam que em suas formas minerais, NO_3^- e NH_4^+ , o N contido no solo, pode afetar tanto a fixação biológica, quanto a nodulação, por inibir a formação ou causar senescência dos nódulos já formados nas plantas.

Souza et al. (2009) estudaram os efeitos da aplicação do lodo produzido em ETE na nodulação e rendimento de grãos da soja e em atributos biológicos

do solo, trabalhando com doses que variaram de 1,5 a 6,0 t ha⁻¹ de lodo. Os autores concluíram que a aplicação de lodo de esgoto em doses de até 6 t ha⁻¹ não afetou significativamente a nodulação da soja, ou seja, uma dosagem bem menor das utilizadas neste experimento. Já Lobo et al. (2012a) estudando o crescimento e fixação biológica do N em soja cultivada com doses de lodo de esgoto compostado (0,10, 20,30 e 40 t ha⁻¹), concluíram que aumentando a dose de lodo em até 20t ha⁻¹ há um acréscimo no número de nódulos na soja, enquanto que a partir de doses superiores a este valor, a resposta é inversa, ou seja, há um decréscimo no número de nódulos na planta.

Resultados semelhantes foram encontrados nesse trabalho, no entanto, o emprego de 200% de lodo de esgoto (equivalente à 20 t ha⁻¹ de lodo) já foi suficiente para causar inibição sobre o número de nódulos, provavelmente pelo efeito residual provocado pelas repetidas aplicações do composto orgânico em ciclos antecessores. Segundo Boeira e Maximiliano (2004) o N contido no lodo encontra-se nas formas orgânicas necessitando ser mineralizado para que as plantas possam aproveitá-lo; e de acordo com Behling et al. (2009) a elevada oferta de N-mineral para as plantas de soja, pode acarretar, em alta absorção de N-mineral do solo, implicando, na redução da fixação biológica de N, onde em condições de alta disponibilidade de N-mineral, as plantas não nodulam ou reduzem a fixação nos nódulos.

Na literatura é observado que os constituintes dos resíduos orgânicos podem interferir tanto na taxa de mineralização do N presente no resíduo, quanto na resposta das culturas, principalmente leguminosas, pela inibição da fixação biológica de N (BOEIRA et al. 2002; ARAUJO, 2003; BEHLING et al. 2009). Alguns trabalhos apontam ainda que o solo enriquecido com lodo de esgoto favorece e/ou estimula a fixação biológica, devido a alguns elementos presentes no lodo de esgoto (ARAUJO, 2003; VIEIRA et al. 2005a; LOBO et al. 2012a), uma vez que os nutrientes contidos no lodo podem ser benéficos para o crescimento microbiano, o que pode aumentar a atividade de microrganismos do solo, inclusive a dos rizóbios (ABD-ALLA et al. 1999).

Porém, neste estudo nota-se que o lodo não estimulou a fixação biológica, devido às baixas médias no número de nódulos observado nos tratamentos em que se empregaram doses elevadas do composto orgânico, ainda mais, quando associado ao EET (Tabela 19).

Na Figura 22, o comportamento do número de nódulos pode ser melhor visualizado em função das doses de lodo de esgoto, cujas médias ajustaram-se à

equação quadrática, independente do tipo de água utilizada na irrigação. Já para a massa seca da parte radicular, as médias dos tratamentos da parcela irrigada com EET ajustaram-se à equação quadrática, sem efeito significativo na regressão para as médias dos tratamentos da parcela irrigada com AP (APÊNDICE).

Na Tabela 20 e Figura 22, nota-se que as reduções que ocorreram no número de nódulos não afetaram o rendimento de grãos, a massa de 100 grãos e o número de vagens por planta, uma vez que provavelmente o N mineralizado pelo lodo de esgoto supriu a demanda da cultura.

Tabela 20. Resultados médios do número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), número de grãos por vagem (NGV), rendimento de grãos, e massa de 100 grãos (M100) em plantas de soja.

Tipo de Água	Tratamentos							Médias
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
Número de vagens por planta								
AP	-	-	-	-	-	-	-	28,33 B
EET	-	-	-	-	-	-	-	41,25 A
Médias	30,30 b	33,08 b	33,08 b	34,52 ab	33,97 ab	37,76 ab	40,80 a	
CV1(%) = 25,38; CV2(%) = 22,77; DMS3 = 3,14; DMS4 = 7,53								
Número de grãos por planta								
AP	-	-	-	-	-	-	-	53,06 B
EET	-	-	-	-	-	-	-	81,39 A
CV1(%) = 24,64; DMS1 = 5,88								
Número de grãos por vagem								
AP	2,10 Aab	1,91 Aacb	2,19 Aa	1,92 Aabc	1,83 Abc	1,64 Bc	1,67 Bc	-
EET	2,09 Aa	2,01 Aa	2,01 Aa	1,91 Aa	2,11 Aa	1,94 Aa	1,92 Aa	-
CV1(%) = 11,28; CV2(%) = 13,71; DMS1 = 0,22; DMS2 = 0,35								
Rendimento de grãos (g planta ⁻¹)								
AP	-	-	-	-	-	-	-	7,83 B
EET	-	-	-	-	-	-	-	14,60 A
Médias	8,31 b	10,93 ab	11,85 a	11,27 a	10,86 ab	11,78 a	13,50 a	
CV1(%) = 27,75; CV2(%) = 25,13; DMS1 = 1,11; DMS2 = 2,68								
Massa de 100 grãos (g)								
AP	-	-	-	-	-	-	-	15,23 B
EET	-	-	-	-	-	-	-	18,56 A
Médias	13,55 b	17,33 a	17,34 a	17,30 a	16,74 a	17,08 a	18,95 a	
CV1(%) = 7,90; CV2(%) = 13,03; DMS1 = 0,54; DMS2 = 2,35								

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 66 kg ha⁻¹ N mineral; T2 = 33 kg ha⁻¹ N mineral + 33 kg ha⁻¹ N via lodo; T3, T4, T5 e T6 refere-se à 66, 99, 132 e 165 kg ha⁻¹ N via lodo, respectivamente. *AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela; DMS3 e 4 = diferença mínima significativa da parcela e subparcela, respectivamente. **Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O lodo de esgoto compostado e o EET tiveram efeito sobre os componentes de produção retratados na Tabela 20, à exceção do NGP, o qual foi influenciado significativamente somente pelo uso de diferentes águas, pois o efluente proporcionou incremento de 53% em relação ao uso de AP. Já para o NGV foi observada interação significativa entre parcela e subparcela, indicando que os níveis de adubação são dependentes do tipo de água utilizada (EET e AP). O melhor resultado, ou seja, a maior média de NGV foi obtida quando se utilizou 50% de adubação mineral com 50% de lodo de esgoto e irrigação com água potável. Os tratamentos sem adubação nitrogenada, irrigados tanto com efluente quanto com AP, também apresentaram médias elevadas em comparação aos demais tratamentos (T1, T3, T4, T5 e T6). Esses resultados confirmam o que foi observado no decorrer do desenvolvimento da soja, onde as vagens (visualmente) para o T0 eram maiores do que as dos T4, T5 e T6, que receberam 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, respectivamente.

Como pode ser observado na Tabela 20, o aumento no rendimento de grãos de soja irrigada com EET foi cerca de 86% maior em relação à soja irrigada com AP. Esse efeito também se reflete sobre o número de vagens por planta e massa de 100 grãos, com incrementos de 45 e 22%, respectivamente. Em relação aos T1, T2 e T3, para as mesmas variáveis, nota-se pouca ou nenhuma diferença estatística, no entanto, observa-se que as médias dos T3 de NVP e rendimento de grãos foram superiores aos dos tratamentos adubados somente com N mineral, apontando que o lodo de esgoto pode ser substituído 100% pela adubação nitrogenada convencional, sem prejuízos em termos de produção. Resultados semelhantes foram encontrados por Vieira et al. (2005a) que obtiveram maior produtividade com uso das duas maiores doses de lodo, ou seja, 3 e 6 t ha⁻¹, produzindo cerca de 547 e 163 kg ha⁻¹ de grãos a mais, respectivamente do que os tratamentos testemunha e com adubação mineral. Também Behling et al. (2009) relataram que o uso de lodo em substituição adubação mineral, em doses crescentes, propiciou incremento de até 1.224 kg ha⁻¹ na produtividade de soja, comparada à testemunha, melhorando o potencial produtivo da área. Já Figueirêdo et al. (2005) que estudaram o efeito da irrigação com água residuária e adubação com lodo de esgoto na produção do algodão colorido, não encontraram efeito significativo com uso de lodo de esgoto, enquanto que a água residuária promoveu aumentos superiores a 400% na variável produção de algodão em caroço e incremento de mais de 255% na produção de algodão pluma.

Na Figura 22 é observado que as médias de NVP, RGP e M100 apresentaram ajuste linear crescente, enquanto que as médias do NGV ajustaram-se à equação linear decrescente, em função do incremento de composto orgânico no solo. Esses resultados confirmam o que foi observado visualmente no decorrer do experimento, onde as plantas de soja adubadas com níveis elevados de lodo de esgoto, apresentaram muitas vagens com tamanho reduzido, enquanto que os T0, por exemplo, apresentaram poucas vagens, mas de tamanho superior às vagens dos tratamentos T6. Embora com tamanho reduzido (compreendendo um ou dois grãos), a quantidade de vagens apresentada nos tratamentos com maior dose de lodo, foi suficiente para superar os demais tratamentos em termos de rendimento de grãos.

4.2.2 Diagnose foliar em plantas de soja

De acordo com Resende (2008) a diagnose foliar é uma técnica necessária para se detectar a necessidade de correções de distorções, ocasionadas por possíveis desequilíbrios nutricionais, aperfeiçoar o manejo da adubação além de indicar se os fertilizantes aplicados ao solo estão sendo realmente aproveitados e se os nutrientes fornecidos estão balanceados conforme as exigências da cultura. Nesse sentido, nas Tabelas 21 e 22 são apresentados os resultados médios dos teores foliares de macro e micronutrientes, respectivamente, encontrados para a cultura da soja, com a utilização de lodo de esgoto compostado e EET como fontes de nutrientes, lembrando que segundo Raij et al. (1997), os teores foliares de macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S, considerados adequados para a cultura da soja são: 40 a 54 g kg⁻¹, 2,5 a 5,0 g kg⁻¹, 17 a 25 g kg⁻¹, 4 a 20 g kg⁻¹, 3,0 a 10,0 g kg⁻¹, 2,1 a 4,0 g kg⁻¹, respectivamente.

Na Tabela 21, observa-se que os teores médios de N, P, K, Ca, Mg e S nas folhas de soja apresentaram diferença estatística em função dos níveis de adubação nitrogenada, fonte de fertilizante e irrigação com AP e EET, apresentando interação significativa entre parcela e subparcela, das quais as médias dos teores desses elementos apresentaram variação em relação aos teores foliares relatados por Raij et al. (1997) para essa cultura.

A variação significativa nos teores de K em função do uso de diferentes águas é observada somente nos T2, T3 e T4, cujas médias se elevaram com o uso do efluente (Tabela 21). Para os T1, T2 e T3, que receberam a mesma quantidade de adubação nitrogenada, é notada diferença estatística, com as maiores médias nos T3,

indicando que o uso de lodo de esgoto compostado em substituição à adubação nitrogenada convencional eleva os teores de K nas folhas de soja. Do mesmo modo Junio et al. (2012) observaram que o teor de potássio na folha de milho aumentou com o incremento das doses de composto de lodo de esgoto (0 a 75 t ha⁻¹), até a aplicação de 34,5 t ha⁻¹. Já os teores de K neste trabalho foram incrementados até a dose máxima de lodo, ou seja, até 50 t ha⁻¹.

Tabela 21. Teor foliar de macronutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), em plantas de soja.

Tipo de Água	Tratamentos ⁽¹⁾						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
N (g kg⁻¹)							
AP	29,00 Ade	26,67 Bde	28,67 Be	33,00 Bc	31,00 Bcd	38,00 Bb	46,00 Ba
EET	26,00 Bd	41,00 Ac	39,67 Ac	45,00 Ab	46,33 Ab	51,00 Aa	52,33 Aa
CV1(%) = 1,14; CV2(%) = 3,15; DMS1 = 1,51; DMS2 = 2,94							
P (g kg⁻¹)							
AP	1,40 Bf	1,60 Be	2,23 Bd	2,47 Bc	2,80 Ab	3,10 Aa	3,10 Aa
EET	1,77 Af	2,00 Ae	2,50 Ad	2,87 Abc	2,80 Ac	3,03 Ba	2,90 Bb
CV1(%) = 1,25; CV2(%) = 1,42; DMS1 = 0,06; DMS2 = 0,09							
K (g kg⁻¹)							
AP	10,00 Ab	8,33 Acd	7,67 Bd	9,00 Bbc	9,67 Bb	12,00 Aa	12,67 Aa
EET	10,66 Ab	9,00 Ac	9,00 Ac	11,33 Aab	11,00 Ab	11,33 Aab	12,33 Aa
CV1(%) = 3,25; CV2(%) = 5,20; DMS1 = 0,76; DMS2 = 1,33							
Ca (g kg⁻¹)							
AP	9,00 Acd	7,67 Bd	10,00 Abc	10,00 Abc	10,67 Aab	12,00 Aa	10,67 Aab
EET	8,00 Ab	9,00 Aab	9,33 Aab	9,33 Aab	10,00 Aa	10,33 Ba	9,67 Aa
CV1(%) = 7,47; CV2(%) = 5,40; DMS1 = 1,17; DMS2 = 1,45							
Mg (g kg⁻¹)							
AP	4,83 Ad	5,07 Bcd	5,60 Aa	5,23 Abc	5,40 Aabc	5,53 Aab	5,20 Abc
EET	4,77 Ab	5,40 Aa	4,77 Bb	4,80 Bb	4,83 Bb	4,87 Bb	4,77 Bb
CV1(%) = 2,60; CV2(%) = 2,82; DMS1 = 0,24; DMS2 = 0,37							
S (g kg⁻¹)							
AP	1,60 Bd	1,50 Be	1,90 Bc	2,13 Ab	2,47 Aa	2,50 Aa	2,43 Aa
EET	1,77 Ae	2,00 Ad	2,20 Ab	2,17 Abc	2,30 Ba	2,13 Bbc	2,10 Bc
CV1(%) = 1,05; CV2(%) = 1,91; DMS1 = 0,05; DMS2 = 0,10							

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 66 kg ha⁻¹ N mineral; T2 = 33 kg ha⁻¹ N mineral + 33 kg ha⁻¹ N via lodo; T3, T4, T5 e T6 refere-se à 66, 99, 132 e 165 kg ha⁻¹ N via lodo, respectivamente. *AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela. **Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação aos tratamentos testemunha, não observou-se diferença estatística significativa entre as parcelas. Na Figura 23, o efeito do lodo de esgoto sobre os teores de K fica mais bem visualizado, em que as médias dos tratamentos

irrigados com EET apresentaram ajuste linear crescente em função das doses de lodo, enquanto que os tratamentos irrigados com AP apresentaram ajuste quadrático em suas médias. Conclui-se que o uso de lodo associado ao efluente elevou os teores foliares de K, sem, no entanto, enquadrá-los à faixa considerada adequada para a cultura da soja. Vale ressaltar que da mesma maneira Lobo (2010) encontrou ajuste quadrático no teor foliar de K em folhas de feijoeiro em função do incremento de lodo de esgoto no solo, uma vez que as médias decresceram com o uso de 20 t ha⁻¹ de lodo e a partir de então apresentaram aumento até a dose de 40 t ha⁻¹. O mesmo foi observado neste estudo na parcela irrigada com AP, com aplicação de 100% de lodo no solo (20 t ha⁻¹) e aumento a partir de então até a dose máxima de 250% lodo (50 t ha⁻¹).

Os teores de N e P apresentaram comportamento semelhante, onde a partir dos T3 e T2, para N e P, respectivamente, ambos irrigados com EET, o uso do resíduo líquido elevou os teores desses elementos de modo que se ajustaram à faixa adequada para a cultura da soja (N 40 a 54 g kg⁻¹ e P 2,5 a 5,0 g kg⁻¹).

Para o N, a irrigação com EET influenciou significativamente a média de todos os tratamentos, com resultados superiores aos dos encontrados na parcela irrigada com AP, à exceção da testemunha (T0), uma vez que o efluente provocou decréscimo de 10% no teor foliar de N, quando comparado ao mesmo tratamento irrigado com AP. Já para o P, o uso conjunto de lodo e efluente, provocaram decréscimos nas médias dos T5 e T6, quando comparado aos mesmos tratamentos irrigados com AP, enquanto que para a testemunha (T0) o efluente proporcionou incremento de 26% no teor de P nas folhas de soja. Do mesmo modo Vieira et al. (2005b) estudando plantas de feijoeiro observaram que o teor de N total na parte aérea, tanto aos 46 como aos 58 DAE, aumentou com as doses de lodo. Corrêa et al. (2008), por três anos seguidos, observaram incrementos lineares nos teores de N e P em folhas de soja cultivada com lodo de esgoto de biodigestor.

Aumentos nas doses de composto de lodo de esgoto proporcionaram aumentos lineares nos teores de N e P nas folhas de milho em trabalho realizado por Junio et al. (2012) confirmando que, mesmo após um ano de sua aplicação no solo e duas safras consecutivas de milho, o lodo de esgoto ainda disponibiliza esses nutrientes às plantas. Embora neste trabalho o lodo de esgoto compostado tenha contribuído para o incremento de N nas folhas de soja, este não foi suficiente para adequar

esses teores aos considerados adequados para a cultura, principalmente na parcela irrigada com AP.

Observou-se que a substituição da adubação nitrogenada mineral (T1) pelo lodo de esgoto compostado (T3) elevou significativamente as médias do teor de N e P nas folhas de soja, sem prejuízos à cultura. Esse resultado fica melhor visualizado quando se analisa somente as doses de lodo (Figura 23) com as médias do teor de N e P elevadas em função da aplicação de lodo de esgoto no solo, com ajuste cúbico crescente tanto com uso de AP quanto para o uso do EET.

Partindo do princípio que as doses crescentes de lodo no solo, pelo processo de mineralização, liberaram mais N ao solo a ponto de inibir o processo de fixação biológica de N, pela redução do número de nódulos observado no item 4.2.1, percebe-se que esse N não foi assimilado como o esperado pela cultura, uma vez que os teores de N nas folhas, principalmente com uso de AP, encontraram-se abaixo da faixa considerada adequada para a cultura (40 a 54 g kg⁻¹), à exceção do T6.

A utilização de doses crescentes de lodo de esgoto elevou significativamente as médias dos teores de Ca e Mg em relação à testemunha, sem efeitos adversos à cultura, uma vez que os teores desses elementos se encontraram dentro da faixa adequada (Ca – 4 a 20 g kg⁻¹ e Mg – 3 a 10 g kg⁻¹). Em relação aos T1, T2 e T3 das duas parcelas, observa-se pouca ou nenhuma diferença, contudo o uso de 100% de lodo elevou as médias de teor de Ca, quando comparado às médias do tratamento que recebeu somente adubação nitrogenada mineral (T1). Nas mesmas condições, para o Mg é observado que na parcela irrigada com AP o melhor resultado foi obtido pela combinação de lodo com adubação mineral (T2) enquanto que na parcela irrigada com o EET a maior média do teor de Mg foi adquirida com o emprego de 100% de adubação mineral. Kikuti et al. (2006) avaliaram teores de macronutrientes na parte aérea de feijoeiro em função de doses de N (0, 70, 140 e 210 kg ha⁻¹) e fósforo obtendo aumento linear nos teores de Mg em função das doses crescentes de N. No entanto Junio et al. (2012) não observaram influência de doses crescentes de lodo (0, 25, 50 e 75 t ha⁻¹) sobre os teores de Ca, de Mg e de S em folhas de milho. Os mesmos autores constataram que o teor de Mg e S, apresentaram valores inferiores aos considerados suficientes para suprir a demanda nutricional da cultura, sem no entanto, observar sintomas visuais de deficiência.

Efeito semelhante foi observado neste experimento para P e principalmente o N, posto que os tratamentos T0, T1, T2, T3, T4 e T5 irrigados com AP

apresentaram teor foliar de N abaixo do considerado ideal para a cultura. Na mesma parcela, o teor de N se enquadrava na faixa adequada somente com uso de 50 t ha⁻¹ de lodo (250% de lodo).

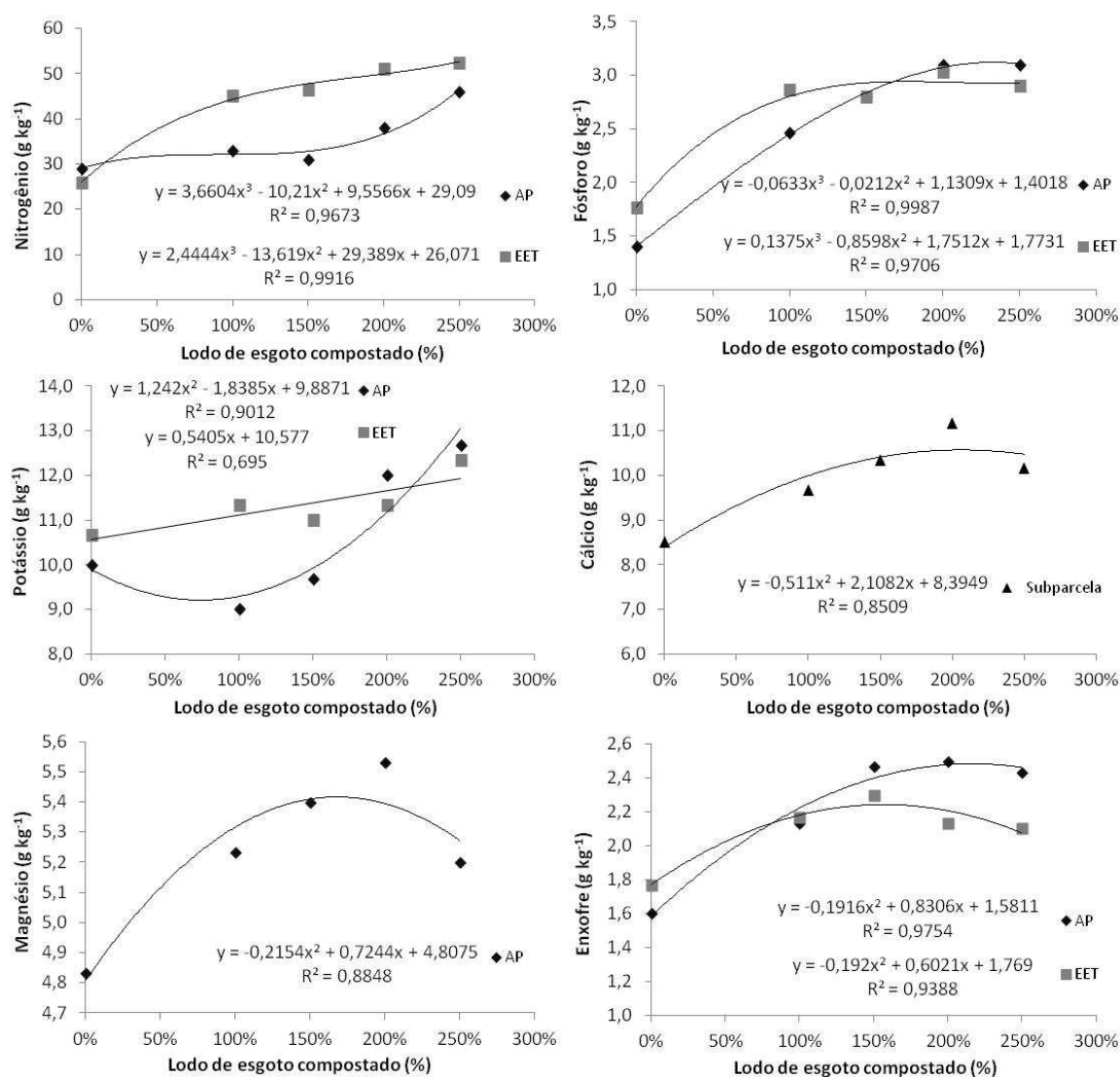


Figura 23. Teor foliar de macronutrientes: N, P, K, Ca, Mg e S na soja, em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente a 0, 66, 99, 132 e 165 kg ha⁻¹ de N.

A análise de regressão mostra que independente do tipo de água usada na irrigação, os teores de Ca foram influenciados positivamente pelo incremento do composto orgânico no solo, apresentando ajuste quadrático em suas médias (Figura 23). Quanto ao Mg, as médias dos teores dos tratamentos irrigados com AP ajustaram-se à equação quadrática, enquanto que a regressão não foi significativa para o uso de EET.

Em estudo realizado por Lobo (2010) em plantas de feijoeiro o autor encontrou ajuste quadrático para o acúmulo de P, Ca e Mg, à medida que a dose máxima de lodo de esgoto (40 t ha^{-1}) promoveu maior acúmulo desses elementos.

Parte das médias do teor foliar de S neste trabalho se ajustou à faixa considerada adequada para a cultura da soja ($2,1$ a $4,0 \text{ g kg}^{-1}$), principalmente com uso de lodo de esgoto, em que este contribuiu com incrementos significativos de S se comparado à testemunha. Nota-se também que o uso de EET na testemunha proporcionou incremento de 10% em relação ao T0 da parcela irrigada com AP. A substituição do lodo de esgoto (T3) pela adubação nitrogenada mineral (T1) elevou o teor de S na parcela irrigada com AP enquanto que na parcela irrigada com o efluente, o maior acúmulo foi proporcionado com o uso de 50% de lodo e 50% de adubação nitrogenada mineral. Na Figura 23 é possível verificar que os teores médios nas duas parcelas (AP e EET) ajustaram-se ao modelo quadrático de regressão, onde com o uso de efluente tratado os teores médios foram inferiores aos dos irrigados com água potável.

Assim como para os macronutrientes, os micronutrientes, B, Cu, Fe, Mn e Zn, tiveram variações dentro da faixa considerada adequada por Raij et al. (1997): 21 a 55 mg kg^{-1} , 10 a 30 mg kg^{-1} , 50 a 350 mg kg^{-1} , 20 a 100 mg kg^{-1} e 20 a 50 mg kg^{-1} , respectivamente, (Tabela 22).

Para todos os micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) houve interação entre parcela e subparcela, apontando que a variação nos teores desses elementos em folhas de soja é função tanto dos dois tipos de água utilizada na irrigação, quanto dos níveis de adubação adotados no experimento. Analisando somente os tratamentos testemunha observa-se que o EET não proporcionou incrementos significativos nos teores de micronutrientes nas folhas da cultura.

Todos os tratamentos, à exceção do T4 e T5 da parcela irrigada com AP, apresentaram médias no teor de B superiores aos considerados adequados em folhas de soja. A partir do T4 o efluente influenciou nos teores médios desse elemento, os quais foram inferiores a dos tratamentos irrigados com AP, visto que o maior teor de B foi observado no tratamento que recebeu 250% de lodo compostado (T5). Nos T1, T2 e T3 das duas parcelas, verifica-se que as médias variaram significativamente entre si, com as maiores médias nos T3, apontando que a utilização de lodo de esgoto (T3) em substituição de 100% da adubação nitrogenada mineral, eleva os teores de B nas folhas de soja, no entanto, sem efeito de toxidez. Na Figura 24, é possível observar que as médias dos teores

de B da parcela irrigada com o efluente, ajustaram-se à equação quadrática, com decréscimo no teor desse elemento a partir de 150% de lodo de esgoto compostado.

Tabela 22. Teor foliar de micronutrientes: boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) em plantas de soja.

	Tratamentos ⁽¹⁾						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
B (mg kg⁻¹)							
AP	40,33 Ad	39,00 Ad	48,67 Ac	52,00 Ac	63,33 Ab	69,33 Aa	52,67 Ac
EET	39,00 Ac	36,33 Ac	49,33 Aab	50,67 Aa	52,00 Ba	50,00 Ba	45,67 Bb
CV1(%) = 4,65; CV2(%) = 2,97; DMS1 = 3,61; DMS2 = 4,21							
Cu (mg kg⁻¹)							
AP	8,67 Abc	9,33 Aabc	7,33 Ac	7,33 Ac	9,00 Abc	10,67 Aab	11,33 Aa
EET	7,67 Aab	7,67 Ab	8,67 Aab	9,00 Aab	9,00 Aab	9,33 Aab	10,67 Aa
CV1(%) = 13,09; CV2(%) = 9,04; DMS1 = 1,90; DMS2 = 2,28							
Fe (mg kg⁻¹)							
AP	82,67 Aa	57,67 Bbc	55,00 Bc	65,67 Bb	64,33 Bb	82,00 Ba	85,67 Aa
EET	56,57 Be	82,33 Ac	72,67 Ad	76,33 Acd	84,67 Abc	95,00 Aa	91,33 Aab
CV1(%) = 53,74; CV2(%) = 4,30; DMS1 = 7,04; DMS2 = 8,88							
Mn (mg kg⁻¹)							
AP	18,00 Ade	16,00 Be	20,33 Bcd	20,67 Bc	20,33 Bcd	34,00 Aa	25,67 Ab
EET	18,67 Ad	25,33 Abc	33,33 Aa	33,67 Aa	26,67 Ab	25,33 Bbc	24,00 Ac
CV1(%) = 4,38; CV2(%) = 4,10; DMS1 = 1,83; DMS2 = 2,62							
Zn (mg kg⁻¹)							
AP	34,00 Ag	42,67 Bf	86,67 Be	105,67 Bd	116,67 Bc	175,67 Aa	164,33 Bb
EET	35,33 Af	63,67 Ae	96,33 Ad	116,00 Ac	120,67 Ac	152,33 Ba	131,67 Ab
CV1(%) = 1,59; CV2(%) = 1,85; DMS1 = 3,06; DMS2 = 4,85							

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 66 kg ha⁻¹ N mineral; T2 = 33 kg ha⁻¹ N mineral + 33 kg ha⁻¹ N via lodo; T3, T4, T5 e T6 refere-se à 66, 99, 132 e 165 kg ha⁻¹ N via lodo, respectivamente. *AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela. **Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os teores de Cu e Fe se enquadraram à faixa considerada adequada (Cu - 10 a 30 mg kg⁻¹ e Fe - 50 a 350 mg kg⁻¹), apresentando variações significativas com o uso de lodo de esgoto compostado, com as maiores médias observadas nos tratamentos que receberam as maiores doses do composto orgânico. Para o Cu, nos tratamentos que aplicaram-se as mesmas quantidades de adubação nitrogenada (T1, T2 e T3), irrigados com AP, observou-se o maior teor no T1, enquanto que com o uso de efluente o maior acúmulo foi no T3. Já para o Fe, os resultados foram inversos, pois com uso de AP observou-se maiores teores no T3, e com uso de efluente, no T1. Para o Fe, a análise de regressão mostrou ajuste linear crescente na parcela irrigada com efluente e ajuste quadrático com uso de AP, enquanto que para o Cu nesta parcela o ajuste foi cúbico e com o uso de

efluente o ajuste foi quadrático crescente, ou seja, o aumento das doses de lodo de esgoto no solo promoveram incrementos significativos de Cu e Fe nas folhas se soja (Figura 24).

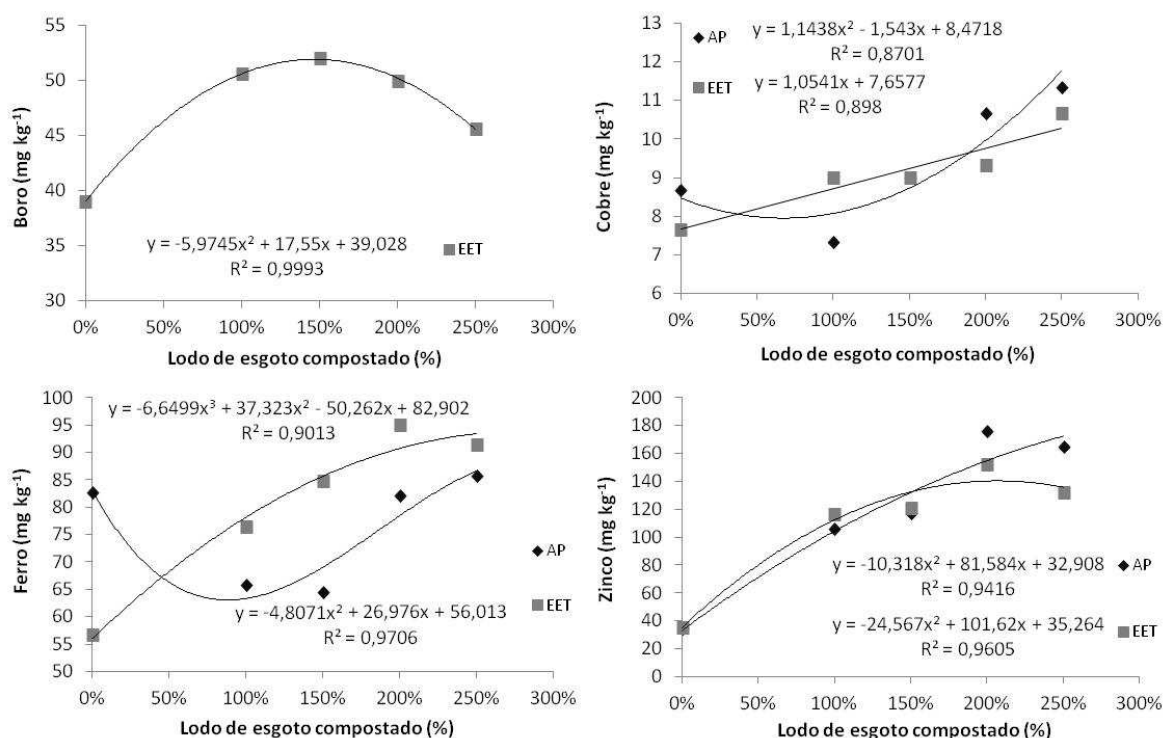


Figura 24. Teor foliar de micronutrientes: B, Cu, Fe e Zn na soja, em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente à 0, 66, 99, 132 e 165 kg ha⁻¹ de N.

Com exceção dos T0 e T1 irrigados com AP e do T0 irrigado com EET, todas as médias se enquadraram à faixa de teores de Mn considerados adequados (20 a 100 mg kg⁻¹) para a cultura. Assim como para os outros elementos, as doses de lodo promoveram incrementos de Mn significativos em relação à testemunha. Ao se comparar os T1, T2 e T3, observa-se que a substituição da adubação mineral pelo lodo de esgoto promoveu incremento significativo desse elemento nas folhas de soja. Quanto à análise de regressão, esta não foi significativa (APENDICE). Do mesmo modo observa-se variações significativas com o uso de efluente, que em geral, promoveu incrementos significativos de Mn.

Quanto ao Zn, este apresentou teores elevados e acima dos considerados adequados (20 a 50 mg kg⁻¹) para a cultura, em todos os tratamentos inclusive nas testemunhas. Comparando-se os tratamentos T1, T2, e T3, é observado que a substituição da adubação mineral pelo lodo de esgoto incrementou significativamente os

teores de Zn nas folhas de soja, apresentando teores acima de 100 mg kg^{-1} . O comportamento desta variável em relação somente às doses de lodo de esgoto é melhor verificado na Figura 24, uma vez que os teores de Zn das parcelas irrigadas com AP e EET apresentaram ajuste quadrático em suas médias, com aumento nos teores nas folhas de soja à medida que se adicionaram quantidades crescentes de composto orgânico no solo.

Embora se tenha constatado elevada concentração de Zn nas folhas de soja, não foi observada deficiência de Cu, cujos resultados se encontraram na faixa adequada para a cultura, pois a absorção desse elemento poderia ser inibida pela elevada concentração de Zn no solo (SILVA et al. 2007) devido às repetidas aplicações de lodo, uma vez que existe uma relação de antagonismo na absorção de Cu e Zn (Alloway, 1995 citado por Silva et al. (2007). Estudando plantas de feijoeiro Lobo (2010) encontrou resultados semelhantes aos deste estudo para a exportação de Cu e Zn, com ajuste quadrático crescente em função do incremento de lodo de esgoto no solo. O mesmo autor encontrou ainda, resultados opostos para os elementos B e Fe, onde para este último o ajuste foi quadrático decrescente.

Em geral, o aumento nos teores dos macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S, e dos micronutrientes Cu, Fe e Zn no tecido foliar da soja, devido ao aumento das doses de lodo de esgoto compostado no solo, podem ser explicados também, pelo efeito de concentração desses elementos a medida que a produção de matéria seca (Item 4.2.1 – Figura 21) foi diminuída pela presença do lodo de esgoto.

4.2.3 Acúmulo de nutrientes e metais pesados nos grãos de soja

De acordo com Sfredo e Carrão-Panizzi (1990), pelo fato de se observar elevado teor de proteína nos grãos, entre 36 a 42%, a soja apresenta grande demanda por N. Nesse sentido foi avaliada a exportação de macro e micronutrientes e metais pesados nos grãos da cultura, cujos valores médios estão apresentados nas Tabelas 23, 24 e 25, respectivamente.

Assim como os parâmetros de desenvolvimento, produção e diagnose foliar da soja foram afetados pelo uso de lodo de esgoto compostado e de efluente de esgoto tratado, o acúmulo de macro e micronutrientes nos grãos também apresentaram variações significativas em função do uso desses dois resíduos. Observa-se na Tabela 23 que houve interação entre parcela e subparcela para o acúmulo de N e Ca, com as maiores médias proporcionadas pela maior dose de lodo (250%) e uso de EET.

Tabela 23. Acúmulo de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nos grãos de soja.

Tratamentos ⁽¹⁾								
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Médias
Nitrogênio (mg planta⁻¹)								
AP	0,34 Bb	0,45 Bab	0,53 Bab	0,53 Bab	0,43 Bab	0,37 Bab	0,62 Ba	-
EET	0,62 Ab	0,83 Aab	0,85 Aab	0,77 Aab	0,87 Aa	0,97 Aa	0,93 Aa	-
CV1(%) = 28,23; CV2(%) = 25,43; DMS1 = 0,16; DMS2 = 0,23								
Fósforo (mg planta⁻¹)								
AP	-	-	-	-	-	-	-	47,03 B
EET	-	-	-	-	-	-	-	93,55 A
Médias	41,79 d	55,25 cd	70,09 bc	73,78 b	75,40 b	83,00 ab	92,72 a	
CV1(%) = 26,30; CV2(%) = 24,90; DMS1 = 6,57; DMS2 = 16,63								
Potássio (mg planta⁻¹)								
AP	-	-	-	-	-	-	-	124,12 B
EET	-	-	-	-	-	-	-	253,81 A
Médias	122,42 c	171,68 b	201,68 ab	188,20 ab	195,42 ab	213,80 ab	229,53 a	
CV1(%) = 26,55; CV2(%) = 24,62; DMS1 = 17,82; DMS2 = 44,22								
Cálcio (mg planta⁻¹)								
AP	17,36 Bb	23,57 Bab	28,98 Ba	29,22 Aa	22,64 Aab	20,40 Bab	27,05 Bab	-
EET	36,09 Aab	34,51 Aab	40,01 Aa	27,54 Ab	28,33 Ab	33,52 Aab	39,34 Aa	-
CV1(%) = 30,77; CV2(%) = 27,23; DMS1 = 7,61; DMS2 = 10,86								
Magnésio (mg planta⁻¹)								
AP	-	-	-	-	-	-	-	21,85 B
EET	-	-	-	-	-	-	-	44,08 A
Médias	24,62 c	31,45 bc	34,70 ab	30,86 bc	31,48 bc	36,69 ab	40,95 a	
CV1(%) = 26,75; CV2(%) = 24,53; DMS1 = 3,13; DMS2 = 7,68								
Enxofre (mg planta⁻¹)								
AP	-	-	-	-	-	-	-	20,93 B
EET	-	-	-	-	-	-	-	37,71 A
Médias	20,90 c	27,14 bc	31,99 ab	30,84 ab	28,64 b	30,03 ab	35,73 a	
CV1(%) = 28,10; CV2(%) = 25,42; DMS1 = 2,93; DMS2 = 7,08								

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 66 kg ha⁻¹ N mineral; T2 = 33 kg ha⁻¹ N mineral + 33 kg ha⁻¹ N via lodo; T3, T4, T5 e T6 refere-se à 66, 99, 132 e 165 kg ha⁻¹ N via lodo, respectivamente. *AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela; DMS3 e 4 = diferença mínima significativa da parcela e subparcela, respectivamente. **Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para P, K, Mg e S essa interação não foi significativa, indicando que as alterações nas médias de acúmulo de macronutrientes em função dos níveis de lodo, foram independentes do tipo de água utilizada na irrigação e vice versa.

Em análise somente dos T1, T2 e T3, observa-se que não houve diferença estatística para o acúmulo de N, tanto com uso de AP, quanto com o uso de EET, mostrando que a adubação mineral pode ser substituída pelo lodo de esgoto sem prejuízos

em termos de acúmulo de N nos grãos de soja. Já para o Ca, o uso de efluente diminuiu o acúmulo no T3, apresentando melhor resultado no T2, enquanto que na parcela em que utilizou água potável, para o T3, obteve-se o maior acúmulo quando comparado aos T1 e T2 da mesma parcela. Nos tratamentos testemunha observa-se que o EET promoveu incremento de 82% de acúmulo de N e 108% de acúmulo de Ca, assim como Freire et al. (2005) que estudando o efeito da aplicação de água residuária tratada (ART) e adubação nitrogenada sobre a composição química de sementes de algodoeiro herbáceo, constataram aumento de 70% no teor de N nas sementes com uso de ART.

Para os demais elementos, o maior acúmulo foi favorecido pelo uso das maiores doses de lodo de esgoto compostado, o que também foi constatado nas parcelas com a irrigação com EET, cujos incrementos nas médias de P, K, Mg e S foram de 98, 104, 102 e 80%, respectivamente, quando comparados às médias da parcela com AP.

O comportamento dessas variáveis em função somente do lodo de esgoto compostado, fica melhor visualizado na Figura 25, com ajuste quadrático para o acúmulo de Ca, enquanto que para N, P, K, Mg e S o ajuste foi linear crescente em função das doses de lodo de esgoto compostado no solo. Em condições semelhantes ao deste experimento, Lobo (2010) avaliando a cultura do feijoeiro em função de doses crescentes de lodo de esgoto (0 a 40 t ha⁻¹), observou aumento linear crescente no acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, enquanto para o S o ajuste foi quadrático também crescente, assim como neste estudo.

Em relação aos micronutrientes (Tabela 24) e metais pesados (Tabela 25), é observado interação significativa entre parcela e subparcela para o acúmulo de B, Mn, Cu, Zn, Ba, Mo e Ni, enquanto que para o Fe não houve interação, demonstrando que a variação nas médias em função dos níveis de adubação foram independentes do tipo de água utilizada na irrigação. No entanto é observado que o EET proporcionou incremento significativo no teor de Fe, ou seja, 92% a mais do que com uso de AP. Para os metais pesados Ba, Mo e Ni, entre os T0, nota-se que o efluente não incrementou o acúmulo desses elementos a ponto de haver diferença estatística entre eles.

As doses mais elevadas de lodo de esgoto (T5 e T6) acarretaram em maiores acúmulos de Mn, Cu, Zn, Ba, Mo, e Ni. Já para o B, o maior acúmulo foi proporcionado com o uso de 50% de adubação mineral e 50% de lodo de esgoto, na parcela irrigada com EET. Esses resultados assemelham-se aos de Rangel et al. (2006), que

observaram no segundo ano de cultivo, aumento linear crescente nos teores de Ni e Zn em grãos de milho, cultivado com doses crescentes de lodo de esgoto.

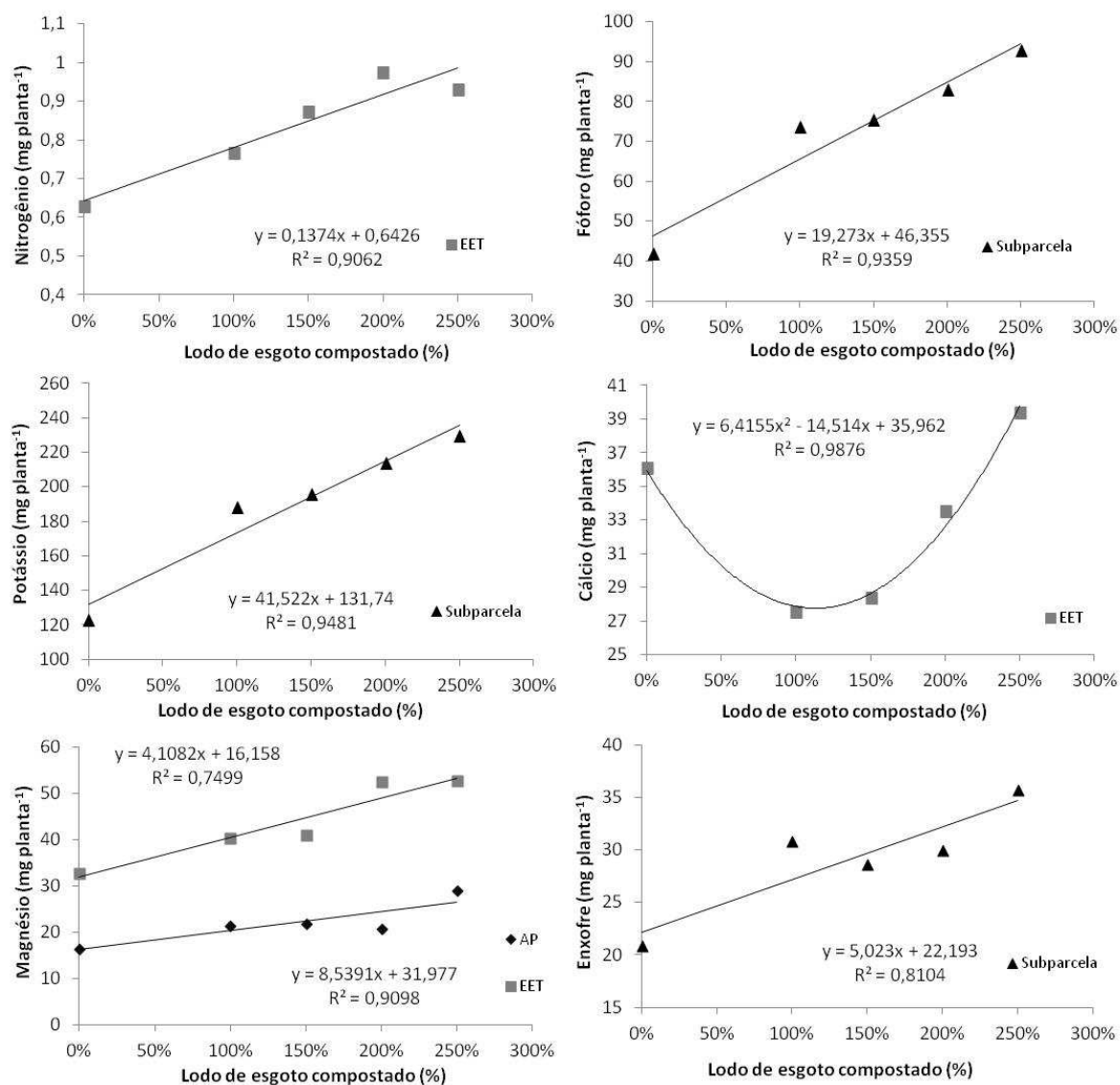


Figura 25. Acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) em grãos de soja, em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente à 0, 66, 99, 132 e 165 kg ha⁻¹ de N.

Vieira et al. (2009) avaliando a concentração de metais pesados em grãos de soja cultivada em solo suplementado com lodo de esgoto, no primeiro ano de cultivo, não observaram aumento significativo nos teores de Ca, Mg, Fe, Zn e Cu nos grãos. Entretanto constataram aumento significativo no teor de Mo com uso de lodo de esgoto, o qual seguiu a mesma tendência no segundo ano de cultivo, o que, segundo os autores, é um fator importante quando se considera a fixação biológica de N, uma vez que

aumento nos teores de Mo no solo ou mesmo nas sementes podem aumentar a eficiência do processo simbiótico.

Tabela 24. Acúmulo de micronutrientes (B, Fe e Mn) nos grãos de soja.

Tratamentos ⁽¹⁾								
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Médias
Boro ($\mu\text{g planta}^{-1}$)								
AP	81,01 Bc	82,51 Bc	217,37 Bab	254,24 Bab	203,75 Bab	176,79 Bbc	307,72 Ba	-
EET	350,07 Ac	453,55 Aabc	530,15 Aa	426,80 Aabc	406,11 Abc	486,11 Aab	455,18 Aabc	-
CV1(%) = 27,52; CV2(%) = 24,87; DMS1 = 74,46; DMS2 = 107,19								
Ferro ($\mu\text{g planta}^{-1}$)								
AP	-	-	-	-	-	-	-	656,29 B
EET	-	-	-	-	-	-	-	1262,25 A
Médias	681,83 c	885,94 bc	951,88 b	971,89 ab	957,25 b	1077,90 ab	1188,19 a	
CV1(%) = 26,79; CV2(%) = 24,87; DMS1 = 91,25; DMS2 = 226,72								
Manganês ($\mu\text{g planta}^{-1}$)								
AP	98,37 Bc	108,44 Bc	142,02 Bbc	189,95 Bb	135,84 Bbc	174,53 Bbc	273,91 Ba	-
EET	202,10 Ad	325,38 Abc	320,09 Abc	266,18 Acd	278,61 Acd	385,53 Aab	460,80 Aa	-
CV1(%) = 26,36; CV2(%) = 23,73; DMS1 = 54,02; DMS2 = 77,66								

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 66 kg ha⁻¹ N mineral; T2 = 33 kg ha⁻¹ N mineral + 33 kg ha⁻¹ N via lodo; T3, T4, T5 e T6 refere-se à 66, 99, 132 e 165 kg ha⁻¹ N via lodo, respectivamente. *AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela; DMS3 e 4 = diferença mínima significativa da parcela e subparcela, respectivamente. **Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Neste estudo o acúmulo de Mo foi muito superior nas doses elevadas de lodo de esgoto e quando comparado os T1, T2 e T3, observa-se que a substituição da adubação nitrogenada mineral pelo lodo de esgoto compostado acarretou em maior acúmulo de Mo.

Isso fica explícito na Figura 26, cujas médias de acúmulo de B, Fe e Zn apresentaram ajuste linear crescente em função das doses de lodo de esgoto. Já as médias de acúmulo de Cu, Mn e Ba ajustaram-se à equação quadrática crescente. Para o acúmulo de Mo, com uso de EET as médias também se ajustaram á equação quadrática, enquanto que com o uso de AP, as médias tiveram ajuste linear crescente. Lobo (2010) também observou incrementos significativos para o acúmulo de B, Cu, Fe, Mn e Zn, em grãos de feijoeiro em função de doses crescentes de lodo de esgoto (0, 20, 30 e 40 t ha⁻¹).

Tabela 25. Acúmulo de metais pesados (Cu, Zn, Ba, Mo, Ni) em grãos de soja.

Tipo de Água	Tratamento ⁽¹⁾						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Cobre ($\mu\text{g planta}^{-1}$)							
AP	44,37 Bc	56,58 Bc	86,95 Bbc	111,05 Bb	118,23 Bab	120,13Bab	169,08 Ba
EET	133,53 Ab	211,99 Aa	225,06 Aa	206,52 Aa	217,22 Aa	240,26 Aa	236,02 Aa
CV1(%) = 25,55; CV2(%) = 24,36; DMS1 = 34,74; DMS2 = 51,13							
Zinco ($\mu\text{g planta}^{-1}$)							
AP	298,97 Bd	351,24 Bcd	611,54 Bbc	692,58 Bab	628,87 Bbc	587,05 Bbcd	980,65 Ba
EET	498,03 Ad	1074,73 Ac	1210,33 Ac	1115,18 Ac	1251,39 Abc	1530,95 Aab	1713,95 Aa
CV1(%) = 26,16; CV2(%) = 24,58; DMS1 = 203,77; DMS2 = 298,04							
Bário ($\mu\text{g planta}^{-1}$)							
AP	3,23 Ac	4,41 Bc	16,16 Bb	28,01 Aa	21,92 Aab	19,89 Bab	25,01 Bab
EET	4,83 Ae	34,60 Abc	43,03 Ab	31,29 Acd	23,22 Ad	55,01 Aa	42,67 Ab
CV1(%) = 29,41; CV2(%) = 27,53; DMS1 = 6,44; DMS2 = 9,40							
Molibdênio ($\mu\text{g planta}^{-1}$)							
AP	12,04 Af	25,01 Aef	59,03 Acd	43,44 Bde	102,41 Aab	83,88 Abc	115,83 Aa
EET	24,40 Ad	36,87 Acd	59,92 Abc	78,46 Aab	95,26 Ba	87,64 Aa	85,15 Bab
CV1(%) = 25,63; CV2(%) = 30,53; DMS1 = 16,30; DMS2 = 26,02							
Níquel ($\mu\text{g planta}^{-1}$)							
AP	1,69 Ab	1,74 Bb	2,52 Bb	7,92 Aa	3,44 Bb	6,71 Ba	6,96 Ba
EET	3,14 Ae	8,96 Abc	6,89 Acd	7,78 Abcd	5,84 Ad	15,52 Aa	10,07 Ab
CV1(%) = 30,38; CV2(%) = 27,24; DMS1 = 1,65; DMS2 = 2,37							

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 66 kg ha⁻¹ N mineral; T2 = 33 kg ha⁻¹ N mineral + 33 kg ha⁻¹ N via lodo; T3, T4, T5 e T6 refere-se à 66, 99, 132 e 165 kg ha⁻¹ N via lodo, respectivamente. *AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela. **Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No entanto, é importante ressaltar que a maioria dos trabalhos encontrados na literatura remetem ao uso de lodo de esgoto não compostado (ANJOS; MATTIAZZO, 2000; RANGEL et al., 2006; NOGUEIRA et al., 2007; VIEIRA et al., 2009), os quais muitas vezes podem conter elementos considerados tóxicos, como metais pesados, que em concentrações elevadas podem trazer prejuízos à plantas e aos homens. No presente trabalho, foi utilizado lodo de esgoto compostado de ETE, registrado no MAPA como composto orgânico classe “D” e nesse sentido não apresentaria riscos quanto a sua utilização na agricultura. No entanto, é observado que o aumento das doses de lodo, associado talvez, ao efeito residual, promoveram acúmulo muito elevado, principalmente nos teores de Zn.

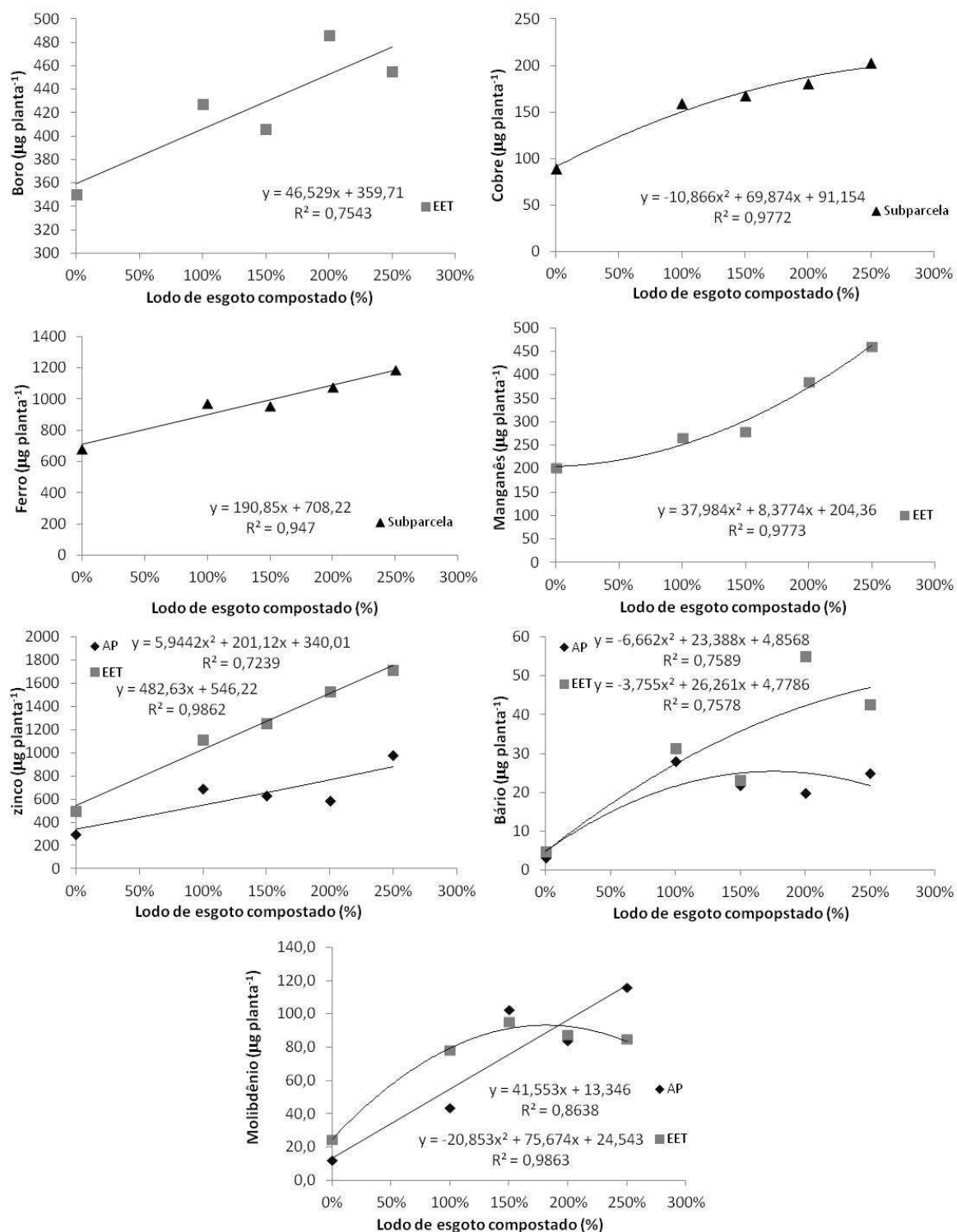


Figura 26. Acúmulo de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), bário (Ba) e molibdênio (Mo), em grãos de soja, em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente à 0, 66, 99, 132 e 165 kg ha⁻¹ de N.

Partindo do princípio de que o acúmulo de elementos nos grãos é função tanto dos teores desses elementos quanto do rendimento, há que se ficar atento à

concentração desses elementos nos grãos de maneira que não atinjam níveis críticos de toxidez sugeridos pela ANVISA (1965) ou pela ABIA (1985).

O acúmulo de selênio (Se), mercúrio (Hg), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cromo (Cr) e arsênio (As) não puderam ser determinados, uma vez que os teores desses elementos estavam abaixo do limite de detecção, segundo o método utilizado e/ou não apresentaram resposta suficiente para se aplicar análise estatística. Os limites de detecção para Se, Hg e As foram de 700, 8 e 560 $\mu\text{g kg}^{-1}$, respectivamente (APÊDICE).

4.3 Análise química do solo

Ao se analisar os dados para as três épocas de coleta, nota-se comportamento semelhante para todas as variáveis. Dessa maneira, realizou-se concomitantemente as discussões para cada época e variável, a fim de se evitar repetição.

4.3.1 pH, matéria orgânica (M.O.), CTC e acidez potencial

Os valores de pH no solo para as três épocas estudadas estão apresentados na Tabela 26. Para a primeira e segunda épocas nota-se que o uso de efluente de esgoto tratado elevou estatisticamente a acidez do solo para a maioria dos tratamentos, discordando dos resultados de Medeiros et al. (2005) que observaram aumento nos valores de pH, em função da aplicação de água residuária (AR) no solo, e atribuíram esse aumento à característica de alcalinidade da AR (pH médio 7,23).

Na terceira época não foi observada variações significativas no pH com uso de EET. No entanto a diferença fica evidenciada somente na testemunha, posto que o efluente elevou em 6% o pH do solo em relação ao T0 irrigado com AP, o qual, por sua vez, apresentou acidez elevada (pH = 5,90).

Esse decréscimo nos valores de pH na parcela irrigada com efluente pode estar relacionada às reações de nitrificação do N amoniacal, que nesse processo libera H^+ para o solo. No entanto, esse comportamento é mais fortemente observado com o uso de lodo de esgoto em trabalhos como os de Simonete et al. (2003), Galdos et al. (2004) e Lobo (2010) que observaram redução no pH em função do aumento de lodo de esgoto, e atribuíram esse comportamento à liberação de ácidos orgânicos no solo pela mineralização da matéria orgânica.

Tabela 26. Resultados médios de pH do solo para as três épocas de avaliação.

Tipo de Água	Tratamentos ⁽¹⁾						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
pH – 1ª época							
AP	6,09 Ac	6,39 Ab	6,49 Ab	6,50 Bb	6,21 Ac	6,70 Aa	6,49 Ab
EET	5,50 Bc	6,00 Bb	6,30 Ba	6,29 Ba	6,29 Aa	6,19 Ba	6,30 Ba
CV1(%) = 1,48; CV2(%) = 1,30; DMS1 = 0,13; DMS2 = 0,18							
pH – 2ª época							
AP	6,29 Aab	6,19 Abc	5,70 Ad	6,01 Ac	6,11 Bbc	6,49 Aa	6,00 Bc
EET	6,00 Bb	5,20 Bc	6,30 Ba	6,00 Ab	6,41 Aa	6,20 Bab	6,29 Aa
CV1(%) = 3,55; CV2(%) = 0,25; DMS1 = 0,26; DMS2 = 0,24							
pH – 3ª época							
AP	5,90 Bc	6,00 Abc	6,20 Aab	6,20 Aab	6,30 Aa	6,30 Aa	6,39 Aa
EET	6,29 Aa	6,20 Aab	6,00 Ab	6,00 Ab	6,30 Aa	6,31 Aa	6,30 Aa
CV1(%) = 3,50; CV2(%) = 0,16; DMS1 = 0,27; DMS2 = 0,24							

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 100% de adubação nitrogenada mineral; T2 = 50% de adubação nitrogenada mineral + 50% de adubação nitrogenada proveniente do lodo de esgoto compostado - LEC; T3, T4, T5 e T6 refere-se à 100, 150, 200 e 250% da adubação nitrogenada proveniente do LEC, respectivamente. *AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela. **Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Boeira et al. (2002) avaliaram a mineralização do N em solo tropical tratado com lodo anaeróbio de origem estritamente urbana (Franca, SP) e outro com presença de despejos industriais (Barueri, SP) e observaram acidificação no solo decorrente das aplicações de lodo. Betiol e Fernandes (2004) avaliando um solo cultivado com milho e adubado com lodo de esgoto de Barueri, SP, em doses de 2, 4 e 8 vezes da concentração de N mineral recomendada à cultura, observaram variação no pH do solo de 6,1 na testemunha a 5,2 na maior dose de lodo. Os autores atribuíram esta diminuição nos valores de pH do solo ao fato do não tratamento com cal durante seu processamento.

No presente trabalho não foi observado decréscimo no pH em função do incremento do composto orgânico no solo, contrariando os resultados encontrados por esses autores. Nesse sentido, a análise de regressão mostra (Figura 27) ajuste quadrático crescente nas médias de pH em função das doses crescentes de lodo de esgoto compostado no solo. Resultados semelhantes ao deste estudo foram obtidos por Berton et al. (1989) que estudaram a cultura do milho em resposta à adição de lodo de esgoto a cinco solos paulistas e constataram que o lodo incorporado ao solo agiu como corretivo de acidez, elevando o pH e reduzindo o teor de alumínio trocável no solo. Fia et al. (2005) observaram elevação do pH do solo de 4,7 a 6,8 com aplicação de 168,4 t ha⁻¹ de

lodo de esgoto doméstico tratado com cal, assim como Rei et al. (2009), que verificaram elevação nas médias de pH em função das doses crescentes de lodo de esgoto.

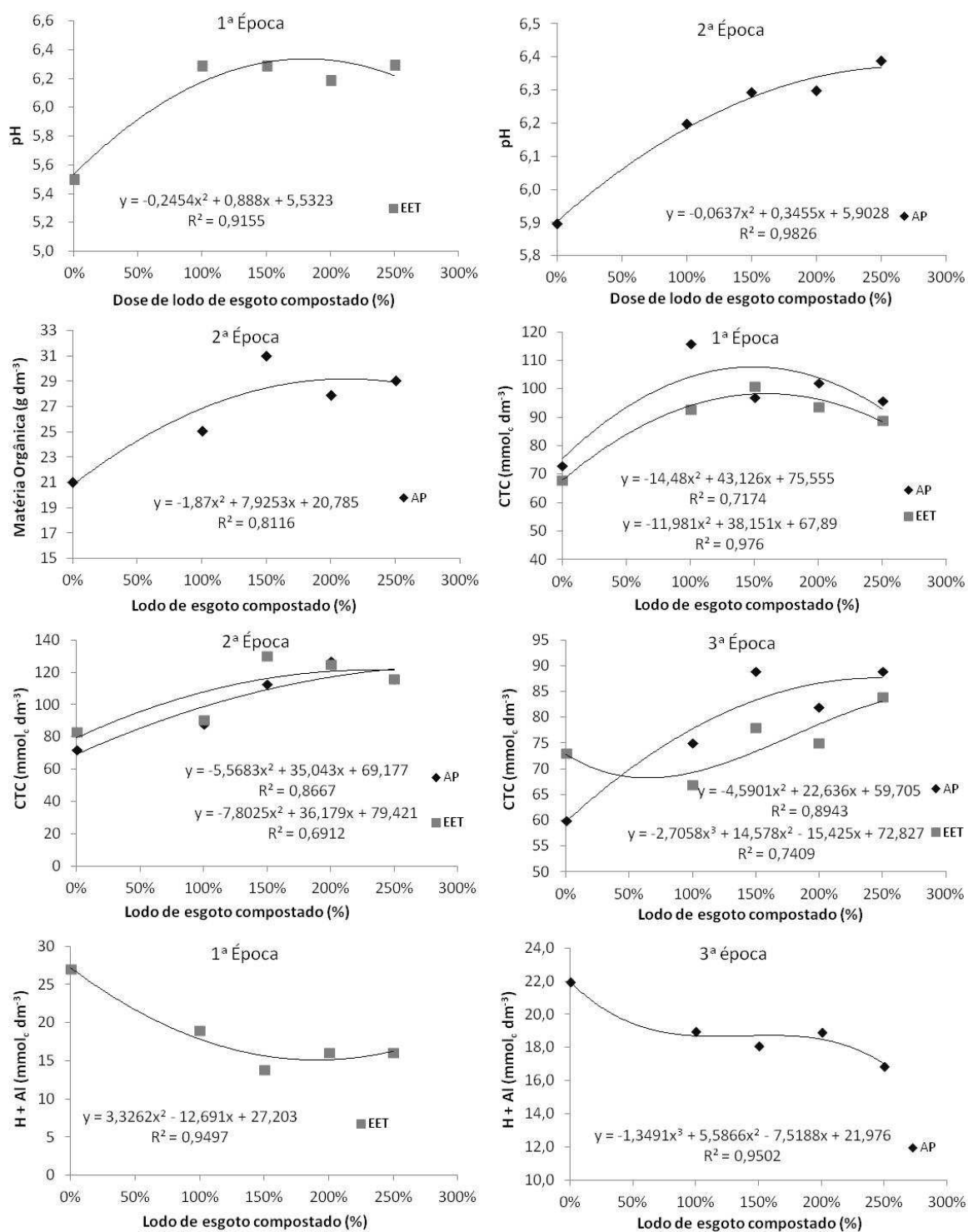


Figura 27. Atributos químicos médios do solo: pH, CTC, matéria orgânica (M.O.) e acidez potencial (H+Al) em função do lodo de esgoto compostado (%).

O aumento do pH observado neste estudo pode estar associado ao tipo de composto orgânico utilizado, uma vez que Chiba et al. (2008) relatou que o lodo estabilizado pode elevar o pH do solo, resultando em aumento da CTC.

O teor de matéria orgânica no solo teve seus valores muito variáveis em função dos níveis de adubação e do uso de efluente na irrigação (Tabela 27).

Tabela 27. Resultados médios do teor de matéria orgânica (g dm^{-3}) do solo.

Tipo de Água	Tratamentos ⁽¹⁾						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Matéria Orgânica (g dm^{-3}) - 1ª época							
AP	19,11 Ab	19,99 Bb	20,06 Bb	19,99 Ab	25,03 Aa	24,90 Aa	19,90 Bb
EET	19,99 Ac	23,04 Aa	23,07 Aa	20,12 Abc	21,91 Bab	22,94 Ba	21,06 Abc
CV1(%) = 3,22; CV2(%) = 3,95; DMS1 = 1,13; DMS2 = 1,82							
Matéria Orgânica (g dm^{-3}) - 2ª época							
AP	21,05 Ae	21,98 Ae	26,03 Acd	25,10 Ad	31,05 Aa	27,90 Abc	29,06 Aab
EET	20,96 Ac	21,08 Ac	22,93 Bc	21,95 Bc	29,03 Aa	26,09 Ab	26,94 Aab
CV1(%) = 8,62; CV2(%) = 0,53; DMS1 = 2,65; DMS2 = 2,44							
Matéria Orgânica (g dm^{-3}) - 3ª época							
AP	18,12 Ba	19,89 Aa	18,99 Aa	18,90 Ba	20,06 Aa	20,00 Ba	20,09 Ba
EET	22,07 Abc	19,08 Ad	19,89 Acd	24,90 Aa	22,01 Abc	23,03 Aab	27,90 Aa
CV1(%) = 10,37; CV2(%) = 0,84; DMS1 = 2,65; DMS2 = 2,45							

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 100% de adubação nitrogenada mineral; T2 = 50% de adubação nitrogenada mineral + 50% de adubação nitrogenada proveniente do lodo de esgoto compostado - LEC; T3, T4, T5 e T6 refere-se à 100, 150, 200 e 250% da adubação nitrogenada proveniente do LEC, respectivamente. *AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela. **Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a primeira e segunda épocas, os maiores teores de M.O. foram obtidos nos T4 irrigados com AP, enquanto que na terceira época o maior teor foi proporcionado com a dose máxima de lodo associado ao uso de EET. Caovilla et al. (2010) verificaram aumento na matéria orgânica no solo decorrentes da aplicação de água residuária de suinocultura no solo. No entanto, no presente estudo, nota-se que o efluente pouco contribuiu para o incremento da MO no solo, talvez pela própria característica do efluente.

Em geral o lodo proporcionou incremento de M.O. no solo, como observa-se na Figura 27, posto que as médias apresentaram ajuste quadrático crescente em função das doses do composto orgânico. Em trabalhos desenvolvidos por Bataglia et al. (1983), Marques (1996), Fia et al. (2005), Rei et al. (2009) e Lobo (2010) foi observado

resultados semelhantes, onde o uso de lodo incrementou os teores de matéria orgânica no solo.

Quanto à CTC do solo (Tabela 28) observaram-se variações significativas.

Tabela 28. Resultados médios da CTC do solo.

Tipo de Água	Tratamentos ⁽¹⁾						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
CTC - 1ª época							
AP	73,07 Af	80,10 Ae	92,10 Bd	116,02 Aa	97,02 Bc	102,12 Ab	95,94 Ac
EET	67,96 Bf	74,90 Be	95,07 Ab	92,90 Bc	100,90 Aa	93,91 Bbc	89,10 Bd
CV1(%) = 1,72; CV2(%) = 0,70; DMS1 = 1,94; DMS2 = 1,93							
CTC - 2ª época							
AP	71,95 Bf	77,04 Be	85,96 Bd	88,12 Bd	113,09 Bc	126,97 Aa	126,97 Ab
EET	83,09 Ag	85,91 Af	95,00 Ad	90,91 Ae	130,12 Aa	124,93 Ab	124,93 Ac
CV1(%) = 2,15; CV2(%) = 0,17; DMS1 = 2,65; DMS2 = 2,45							
CTC - 3ª época							
AP	59,93 Bf	69,09 Ae	77,91 Ac	75,10 Ad	89,03 Aa	82,06 Ab	88,90 Aa
EET	73,06 Ac	59,02 Bf	62,10 Be	66,92 Bd	78,08 Bb	75,10 Bc	84,05 Ba
CV1(%) = 2,92; CV2(%) = 0,21; DMS1 = 2,66; DMS2 = 2,45							

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 100% de adubação nitrogenada mineral; T2 = 50% de adubação nitrogenada mineral + 50% de adubação nitrogenada proveniente do lodo de esgoto compostado - LEC; T3, T4, T5 e T6 refere-se à 100, 150, 200 e 250% da adubação nitrogenada proveniente do LEC, respectivamente. *AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela. **Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O lodo de esgoto proporcionou incrementos significativos nas médias em relação à testemunha, fato este que pode estar relacionado à M.O., uma vez que o lodo também contribuiu para o incremento desta variável no solo. Silva et al. (1995) avaliando teores de nutrientes e de metais pesados em cana de açúcar (soqueira), cultivada em solo adubado com lodo de esgoto, observaram aumento na CTC do solo em função dos teores de matéria orgânica. Também Silva et al. (2001) verificaram aumento linear na CTC do solo em função de doses crescentes de lodo de esgoto. O mesmo foi observado por Trannin (2004), Rei et al. (2009) e Lobo (2010).

Ao analisar somente os T0, nota-se que na primeira época o uso de AP fez com que se elevasse a CTC do solo, ocorrendo o inverso nas épocas seguintes. A análise de regressão (Figura 27) foi significativa tanto para o uso de AP quanto para o uso de EET, pois as médias para as três épocas ajustaram-se à equação quadrática crescente,

com exceção das médias da parcela irrigada com efluente na terceira época, que apresentaram ajuste cúbico.

A acidez potencial (H+Al) também apresentou variações significativas em função dos fatores estudados (Tabela 29). O EET elevou as médias de H+Al no solo para as duas primeiras épocas, enquanto que na terceira época o efluente pouco influenciou as médias dos tratamentos.

Tabela 29. Resultados médios da acidez potencial (H+Al) do solo.

Tipo de Água	Tratamentos ⁽¹⁾						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
H+Al - 1ª época							
AP	15,10 Bab	16,01 Ba	13,93 Bbc	12,77 Bc	16,10 Aa	11,96 Bc	13,11 Bbc
EET	27,05 Aa	19,05 Ab	19,05 Ab	18,95 Ab	13,89 Bd	16,10 Ac	16,10 Ac
CV1(%) = 6,28; CV2(%) = 5,50; DMS1 = 1,44; DMS2 = 2,01							
H+Al - 2ª época							
AP	13,07 Bd	15,93 Bc	25,06 Aa	24,24 Aab	21,95 Ab	13,07 Bd	22,06 Ab
EET	22,99 Ab	38,97 Aa	17,12 Bcd	22,93 Ab	16,10 Bd	19,05 Ac	18,01 Bcd
CV1(%) = 10,80; CV2(%) = 0,92; DMS1 = 2,75; DMS2 = 2,42							
H+Al - 3ª época							
AP	21,95 Aa	21,89 Aa	19,05 Ab	19,00 Ab	18,10 Ab	18,95 Ab	16,89 Ab
EET	17,91 Bb	17,00 Bb	21,08 Aa	18,00 Ab	17,91 Ab	16,89 Ab	18,10 Ab
	11,52	0,87	2,65	2,45			

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 100% de adubação nitrogenada mineral; T2 = 50% de adubação nitrogenada mineral + 50% de adubação nitrogenada proveniente do lodo de esgoto compostado - LEC; T3, T4, T5 e T6 refere-se à 100, 150, 200 e 250% da adubação nitrogenada proveniente do LEC, respectivamente. *AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela. **Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em geral é observado que o incremento de lodo de esgoto compostado (Figura 27) diminuiu a acidez potencial do solo. No entanto Lobo (2010) avaliando os parâmetros químicos do solo na camada de 0-20 cm de profundidade, após a aveia cultivada com lodo de esgoto, observou incremento linear na acidez potencial, justificado pelo aumento da CTC fornecida pela matéria orgânica do lodo.

O decréscimo da acidez potencial no presente estudo pode ser reflexo do pH, uma vez que o lodo de esgoto compostado promoveu aumento nesta variável. Resultados semelhantes foram constatados por Melo et al. (2001), que observaram aumento de pH e diminuição de H+Al em função do uso de lodo de esgoto.

4.3.2 Macronutrientes no solo: P, K, Ca, Mg e S

Com relação aos teores de macronutrientes (P, K, Ca, Mg e S) nota-se aumento significativo com aplicações de lodo de esgoto (Figuras 28 e 29) e variações significativas com o uso de EET na irrigação.

Na Tabela 30 observa-se que os teores de P no solo foram incrementados significativamente com as doses elevadas de lodo de esgoto compostado (T4, T5 e T6). A influencia do EET fica melhor visualiza na terceira época, uma vez que o efluente promoveu incrementos significativos de P no solo para os T0, T1, T2, T3 e T4. Para a mesma época, o incremento de P na testemunha irrigada com EET foi próximo de 200%. Resultados discordantes ao deste estudo foram observados por Duarte et al. (2008) estudando os efeitos da aplicação de efluente tratado no solo, que não encontraram alterações significativas nas concentrações de P e pH.

Tabela 30. Resultados médios da concentração de fósforo (mg dm^{-3}) no solo.

Tipo de Água	Tratamentos ⁽¹⁾						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
P (mg dm^{-3}) - 1ª época							
AP	5,93 Ae	5,61 Be	13,91 Ad	32,03 Ab	35,99 Ba	28,98 Bc	31,43 Bbc
EET	5,43 Af	7,98 Af	13,09 Ae	18,93 Bd	45,94 Aa	33,12 Ac	37,04 Ab
CV1(%) = 5,50; CV2(%) = 6,20; DMS1 = 1,93; DMS2 = 3,01							
P (mg dm^{-3}) - 2ª época							
AP	8,05 Bg	30,10 Bf	65,02 Be	80,11 Bd	174,10 Ac	259,90 Aa	192,98 Ab
EET	12,98 Ae	34,14 Ad	95,88 Ac	93,92 Ac	130,91 Ba	129,00 Ba	108,08 Bb
CV1(%) = 2,23; CV2(%) = 0,20; DMS1 = 2,77; DMS2 = 2,45							
P (mg dm^{-3}) - 3ª época							
AP	16,04 Bf	18,03 Bf	54,88 Be	80,06 Bd	170,90 Bb	167,97 Ac	178,95 Aa
EET	51,00 Af	49,93 Af	76,10 Ae	107,03 Ad	186,04 Aa	167,97 Ac	172,10 Bb
CV1(%) = 2,02; CV2(%) = 0,12; DMS1 = 2,65; DMS2 = 2,44							

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 100% de adubação nitrogenada mineral; T2 = 50% de adubação nitrogenada mineral + 50% de adubação nitrogenada proveniente do lodo de esgoto compostado - LEC; T3, T4, T5 e T6 refere-se à 100, 150, 200 e 250% da adubação nitrogenada proveniente do LEC, respectivamente. *AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela. **Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em estudo realizado por Galdos et al. (2004) avaliando atributos químicos de um solo tratado com lodo de esgoto e cultivado com milho, os autores concluíram que os teores de P disponíveis no solo onde foi incorporado lodo foram semelhantes aos do tratamento com adubo químico e sem lodo.

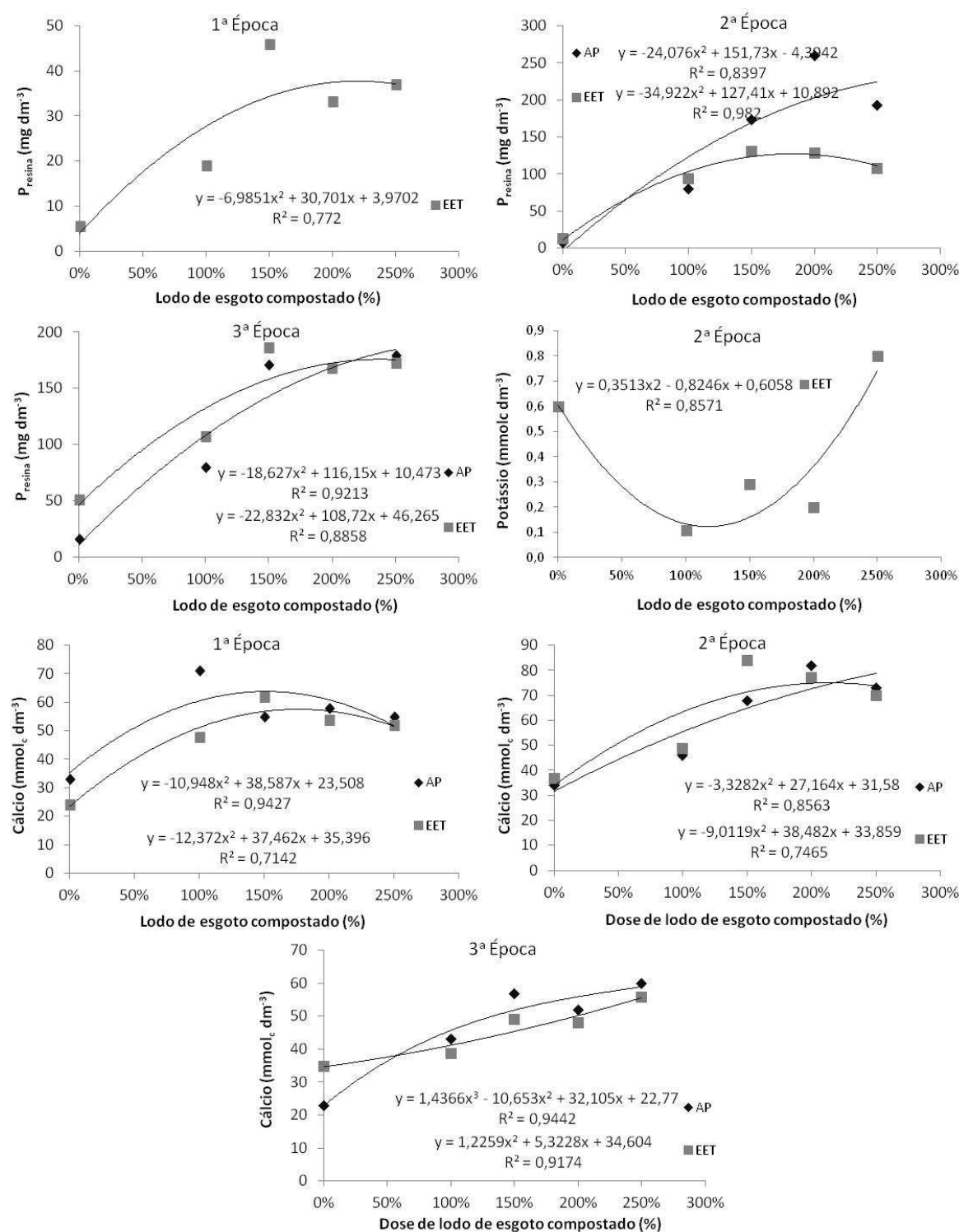


Figura 28. Atributos químicos médios do solo: P, K e Ca no solo, em função do lodo de esgoto compostado (%).

Já Simonete et al. (2003) estudando o efeito de lodo de esgoto em um Argissolo, encontraram aumento linear nos teores de fósforo do solo, até a dose de 50 t ha⁻¹, assim como Fia et al. (2005) que observaram aumento considerável na concentração

de fósforo no solo que encontraram aumento linear significativo desta variável, até doses superiores à 150 t ha^{-1} . Lobo (2010) também encontrou teores elevados de P no solo com uso de doses elevadas de lodo de esgoto no cultivo da aveia e trigo.

Para este experimento observa-se que os incrementos das médias dos teores de P no solo ajustaram-se à equação quadrática (Figura 28), independente da época, sempre de forma crescente até 250% de lodo de esgoto compostado.

Ao se analisar somente os tratamentos que receberam a mesma quantidade de adubação nitrogenada (T1, T2, T3) fica evidenciado que o lodo de esgoto compostado utilizado neste estudo incrementou significativamente os teores de P no solo quando comparado à adubação mineral.

Esse aumento nos teores de P no solo pode estar relacionado não somente ao P disponibilizado pelo composto orgânico e EET, mas pelo sistema de irrigação adotado, uma vez que Caovilla et al. (2010) relataram que a irrigação por gotejamento propiciou tendência de acúmulo significativa de P e K na superfície de um Latossolo Vermelho cultivado com soja e irrigado com água residuária de suinocultura.

Para o K é observado ajuste quadrático (Figura 28) visto que a partir de 100% de lodo de esgoto os valores aumentaram significativamente até a dose máxima (250%). Na primeira época o maior teor de K foi obtido com o uso de 50% de adubação nitrogenada mineral e 50% de adubação nitrogenada via lodo de esgoto, na parcela irrigada com EET (Tabela 31). Da segunda época em diante os valores se elevaram significativamente a partir do T4. Não foi observado efeito do efluente para a primeira época, enquanto que na terceira época, a influencia foi somente no T4. Lobo (2010) após o cultivo da aveia e trigo constatou que com o aumento da dose de lodo ocorreu decréscimo de K no solo e posterior acréscimo, assim como observado neste estudo na Figura 28.

Esse decréscimo no K com a utilização de 100% de lodo de esgoto compostado (Figura 28) pode estar associado à extração efetuada pelas plantas (FIA et al., 2005), pois com o incremento do composto orgânico no solo provavelmente favoreceu a disponibilidade desse cátion no meio, mesmo que em pequenas quantidades.

Nota-se também que para a primeira época não houve diferenças estatísticas quanto ao uso de efluente, em concordância com os estudos de Duarte et al. (2008).

Tabela 31. Resultados médios da concentração de potássio (mg dm^{-3}) no solo.

Tipo de Água	Tratamentos ⁽¹⁾						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
K ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) - 1ª época							
AP	0,59 Aab	0,39 Ab	0,61 Aa	0,59 Aab	0,39 Ab	0,61 Aa	0,50 Aab
EET	0,59 Ab	0,50 Ab	0,80 Aa	0,61 Aab	0,50 Ab	0,59 Ab	0,61 Aab
CV1(%) = 32,12; CV2(%) = 8,99; DMS1 = 0,22; DMS2 = 0,20							
K ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) - 2ª época							
AP	0,20 Ba	0,11 Ba	0,11 Aa	0,20 Aa	0,20 Aa	0,31 Aa	0,31 Ba
EET	0,60 Aab	0,49 Abc	0,29 Acd	0,11 Ad	0,29 Acd	0,20 Ad	0,80 Aa
CV1(%) = 3,87; CV2(%) = 0,29; DMS1 = 2,65; DMS2 = 2,45							
K ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) - 3ª época							
AP	0,30 Ab	0,31 Ab	0,40 Aab	0,49 Aab	0,49 Bab	0,51 Aab	0,60 Aa
EET	0,51 Abc	0,49 Abc	0,49 Abc	0,31 Ac	0,91 Aa	0,61 Ab	0,70 Aab
CV1(%) = 42,63; CV2(%) = 3,34; DMS1 = 0,27; DMS2 = 0,25							

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 100% de adubação nitrogenada mineral; T2 = 50% de adubação nitrogenada mineral + 50% de adubação nitrogenada proveniente do lodo de esgoto compostado - LEC; T3, T4, T5 e T6 refere-se à 100, 150, 200 e 250% da adubação nitrogenada proveniente do LEC, respectivamente. *AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela. **Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os teores de Ca no solo foram incrementados significativamente com a aplicação de lodo de esgoto compostado no solo, com as médias para a primeira época apresentando ajuste quadrático crescente até o uso de 150% de lodo (Figura 28). Na segunda época as médias do teor de Ca no solo ajustaram-se à equação quadrática enquanto que na terceira época o ajuste foi cúbico com o uso de AP e quadrático com uso de EET.

Analisando os tratamentos T1, T2 e T3 (Tabela 32), observa-se que a substituição da adubação mineral pelo lodo de esgoto compostado incrementou significativamente o teor de Ca no solo. Os maiores acúmulos de desse elemento foram proporcionados no T4 irrigado com o efluente, T3 e T6 irrigados com AP, para a segunda, primeira e terceira épocas de avaliação, respectivamente.

Da mesma maneira que o incremento de lodo compostado elevou às médias de Ca, este reduziu os teores de Mg no solo (Tabela 33). Esse efeito fica mais bem visualizado na Figura 29, principalmente na terceira época, à medida que o incremento do composto orgânico no solo diminuiu os teores de Mg tanto na parcela irrigada com AP, quanto na irrigada com EET.

Tabela 32. Resultados médios da concentração de cálcio (mg dm^{-3}) no solo.

Tipo de Água	Tratamentos ⁽¹⁾						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Ca ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) - 1ª época							
AP	33,09 Af	36,23 Ae	48,96 Ad	71,12 Aa	54,95 Bc	58,09 Ab	54,95 Ac
EET	23,96 Be	32,04 Bd	48,96 Ac	47,91 Bc	61,99 Aa	53,90 Bb	52,10 Bb
CV1(%) = 3,58; CV2(%) = 1,17; DMS1 = 2,15; DMS2 = 2,00							
Ca ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) - 2ª época							
AP	34,10 Bg	36,88 Af	41,93 Be	45,97 Bd	67,95 Bc	82,10 Aa	73,00 Ab
EET	36,88 Af	30,06 Bg	52,04 Ad	49,01 Ae	84,12 Aa	77,04 Bb	69,97 Bc
CV1(%) = 3,87; CV2(%) = 0,29; DMS1 = 2,65; DMS2 = 2,45							
Ca ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) - 3ª época							
AP	23,03 Bd	29,96 Ac	41,84 Bd	43,09 Ad	56,96 Ab	52,00 Ac	59,93 Aa
EET	34,92 Ad	29,96 Ae	30,96 Ae	38,88 Bc	49,03 Bb	48,04 Bb	55,97 Ba
CV1(%) = 4,92; CV2(%) = 0,45; DMS1 = 2,57; DMS2 = 2,27							

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 100% de adubação nitrogenada mineral; T2 = 50% de adubação nitrogenada mineral + 50% de adubação nitrogenada proveniente do lodo de esgoto compostado - LEC; T3, T4, T5 e T6 refere-se à 100, 150, 200 e 250% da adubação nitrogenada proveniente do LEC, respectivamente. *AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela. **Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 33. Resultados médios da concentração de magnésio (mg dm^{-3}) no solo.

Tipo de Água	Tratamentos ⁽¹⁾						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Mg ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) - 1ª época							
AP	24,00 Ad	27,02 Abc	29,05 Ab	32,00 Aa	25,88 Acd	31,92 Aa	27,02 Abc
EET	16,08 Bd	22,94 Bb	26,11 Aa	25,88 Ba	25,15 Aab	23,02 Bb	20,00 Bc
CV1(%) = 10,14; CV2(%) = 1,59; DMS1 = 0,92; DMS2 = 2,82							
Mg ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) - 2ª época							
AP	23,98 Ab	24,95 Ab	18,94 Bc	18,11 Ac	23,90 Bb	30,97 Aa	19,99 Bc
EET	23,07 Ac	16,01 Be	25,03 Abc	18,94 Ad	29,09 Aa	28,03 Ba	27,06 Aab
CV1(%) = 9,24; CV2(%) = 0,50; DMS1 = 2,65; DMS2 = 2,43							
Mg ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) - 3ª época							
AP	14,89 Bbc	17,91 Aa	15,92 Aab	12,90 Acd	13,11 Acd	10,98 Ad	11,94 Ad
EET	20,10 Aa	11,94 Bb	9,95 Bbc	9,95 Bbc	10,91 Abc	10,02 Abc	9,06 Bc
CV1(%) = 16,92; CV2(%) = 1,16; DMS1 = 2,66; DMS2 = 2,45							

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 100% de adubação nitrogenada mineral; T2 = 50% de adubação nitrogenada mineral + 50% de adubação nitrogenada proveniente do lodo de esgoto compostado - LEC; T3, T4, T5 e T6 refere-se à 100, 150, 200 e 250% da adubação nitrogenada proveniente do LEC, respectivamente. *AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela. **Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a primeira época é observado que o maior teor de Mg foi proporcionado no T3 (100% de lodo de esgoto) com água potável (Tabela 33). Na segunda época o maior teor foi encontrado no T5 irrigado com água potável. No entanto para a última época o maior valor de Mg foi obtido no T0 da parcela irrigada com EET.

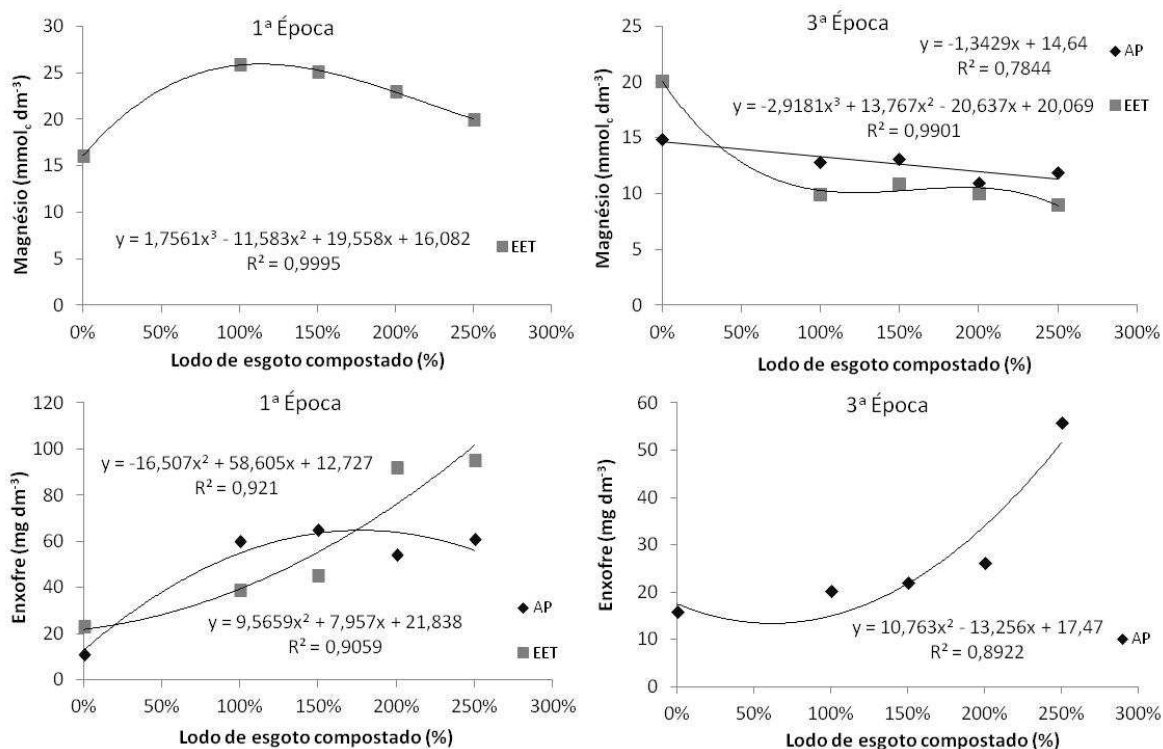


Figura 29. Atributos químicos médios do solo: Mg e S, em função do lodo de esgoto compostado (%).

Os teores de S no solo comportaram-se conforme o esperado nas três épocas de avaliação, ou seja, apresentaram aumentos significativos em função das doses de lodo de esgoto aplicadas (Tabela 34). Também é observado que o EET promoveu incrementos significativos nas médias desse elemento, principalmente na segunda época, ou ainda, após o cultivo do trigo. A análise de regressão (Figura 29) mostra melhor esse comportamento, pois para a primeira e segunda épocas as médias se ajustaram à equação quadrática, sempre com tendência crescente às doses de lodo de esgoto. Lobo (2010) avaliando aos parâmetros químicos de fertilidade do solo após o cultivo do trigo adubado com lodo de esgoto verificou aumento linear crescente em função das doses de lodo (0, 20, 30 e 40 t ha⁻¹), assim como observado neste estudo.

Tabela 34. Resultados médios da concentração de enxofre (mg dm^{-3}) no solo.

Tipo de Água	Tratamentos ⁽¹⁾						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
S ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) - 1ª época							
AP	11,03 Bd	10,03 Bd	11,00 Bd	60,01 Ab	64,96 Aa	53,94 Bc	61,10 Bb
EET	22,97 Af	25,99 Ae	25,94 Ae	39,00 Bd	45,03 Bc	91,96 Ab	95,07 Aa
CV1(%) = 4,30; CV2(%) = 1,26; DMS1 = 2,34; DMS2 = 2,16							
S ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) - 2ª época							
AP	4,98 Bf	4,94 Bf	84,05 Bd	87,94 Ac	244,98 Bb	250,88 Ba	35,10 Be
EET	135,90 Ae	230,99 Ac	214,04 Ad	36,95 Bf	259,96 Ab	261,92 Ab	272,97 Aa
CV1(%) = 1,43; CV2(%) = 0,08; DMS1 = 2,66; DMS2 = 2,44							
S ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) - 3ª época							
AP	15,91 Ad	7,98 Be	14,91 Ad	20,12 Bc	21,97 Bc	26,04 Bb	55,82 Aa
EET	11,00 Bf	11,93 Af	16,96 Ae	25,11 Ad	63,08 Aa	37,11 Ac	43,08 Bb
CV1(%) = 8,47; CV2(%) = 0,80; DMS1 = 2,76; DMS2 = 2,44							

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 100% de adubação nitrogenada mineral; T2 = 50% de adubação nitrogenada mineral + 50% de adubação nitrogenada proveniente do lodo de esgoto compostado - LEC; T3, T4, T5 e T6 refere-se à 100, 150, 200 e 250% da adubação nitrogenada proveniente do LEC, respectivamente. *AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela. **Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.3.3 Soma de bases (SB) e saturação por bases (V%)

A soma de bases (SB) foi influenciada significativamente com as aplicações de lodo de esgoto (Tabela 35). As médias aumentaram com o incremento do composto orgânico no solo, como pode ser visualizado na Figura 29, em que as médias tanto da parcela irrigada com AP quanto a da irrigada com EET, apresentarem ajuste quadrático para a primeira época e cúbico para a segunda época de análise, sempre de maneira crescente. Esse comportamento já era esperado uma vez que a soma de bases é calculada em função das bases trocáveis Ca, Mg e K do solo. Dessa maneira a SB apresentou comportamento semelhante ao Ca e K.

Os resultados da saturação por bases (V%) apresentaram comportamento semelhante aos do pH (Tabela 36), uma vez que segundo Lobo (2010) existe uma interação positiva entre pH e V%. Outro fator que contribuiu para a elevação da V% no solo é o aumento nos teores de Ca^{2+} no solo.

Tabela 35. Resultados médios da soma de bases (mg dm^{-3}) no solo.

Tipo de Água	Tratamentos ⁽¹⁾						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
SB ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) - 1ª época							
AP	65,46 Ad	64,09 Ad	76,02 Ac	104,00 Aa	80,92 Bc	90,92 Ab	82,09 Bc
EET	40,92 Bd	55,10 Bc	79,92 Ab	73,95 Bb	87,01 Aa	77,06 Bb	73,00 Ab
CV1(%) = 4,16; CV2(%) = 5,39; DMS1 = 5,22; DMS2 = 8,59							
SB ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) - 2ª época							
AP	58,88 Ad	61,11 Ad	60,90 Bd	64,89 Bc	91,90 Bb	113,90 Aa	93,08 Bb
EET	60,10 Af	46,94 Bg	77,88 Ad	67,97 Ae	114,02 Aa	105,88 Bb	97,98 Ac
CV1(%) = 2,73; CV2(%) = 0,22; DMS1 = 2,67; DMS2 = 2,47							
SB ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) - 3ª época							
AP	37,24 Be	47,96 Ad	58,11 Ac	56,10 Ac	70,93 Aa	63,11 Ab	72,01 Aa
EET	55,90 Ac	42,02 Be	41,02 Be	48,92 Bd	60,92 Bb	58,96 Bb	65,95 Ba
CV1(%) = 3,55; CV2(%) = 0,74; DMS1 = 2,38; DMS2 = 2,20							

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 100% de adubação nitrogenada mineral; T2 = 50% de adubação nitrogenada mineral + 50% de adubação nitrogenada proveniente do lodo de esgoto compostado - LEC; T3, T4, T5 e T6 refere-se à 100, 150, 200 e 250% da adubação nitrogenada proveniente do LEC, respectivamente. *AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela. **Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 36. Resultados médios da saturação por bases (V%) no solo.

Tipo de Água	Tratamentos ⁽¹⁾						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
V% - 1ª época							
AP	79,00 Ad	80,01 Ad	85,04 Abc	89,90 Aa	83,03 Bc	88,11 Aa	86,00 Ab
EET	59,99 Be	74,07 Bd	79,96 Bc	79,93 Bc	86,88 Aa	82,12 Bb	81,92 Bbc
CV1(%) = 2,32; CV2(%) = 0,57; DMS1 = 2,28; DMS2 = 2,09							
V% - 1ª época							
AP	81,88 Ab	79,91 Ab	70,90 Bc	72,99 Ac	80,95 Bb	89,88 Aa	80,94 Bb
EET	72,11 Be	54,90 Bf	81,90 Ac	74,98 Ad	87,11 Aa	84,90 Bab	84,11 Abc
CV1(%) = 2,78; CV2(%) = 0,20; DMS1 = 2,68; DMS2 = 2,47							
V% - 1ª época							
AP	63,88 Be	68,98 Ad	75,07 Ac	74,95 Ac	79,09 Aab	77,04 Abc	81,08 Aa
EET	75,98 Aa	71,06 Ab	65,95 Bc	73,00 Ab	77,11 Aa	78,01 Aa	78,03 Ba
CV1(%) = 2,91; CV2(%) = 0,18; DMS1 = 2,65; DMS2 = 2,43							

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 100% de adubação nitrogenada mineral; T2 = 50% de adubação nitrogenada mineral + 50% de adubação nitrogenada proveniente do lodo de esgoto compostado - LEC; T3, T4, T5 e T6 refere-se à 100, 150, 200 e 250% da adubação nitrogenada proveniente do LEC, respectivamente. *AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela. **Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na Figura 30 é observado que da mesma maneira que se aumentaram as médias de SB os valores de V% também se elevaram com o incremento de lodo de esgoto compostado no solo.

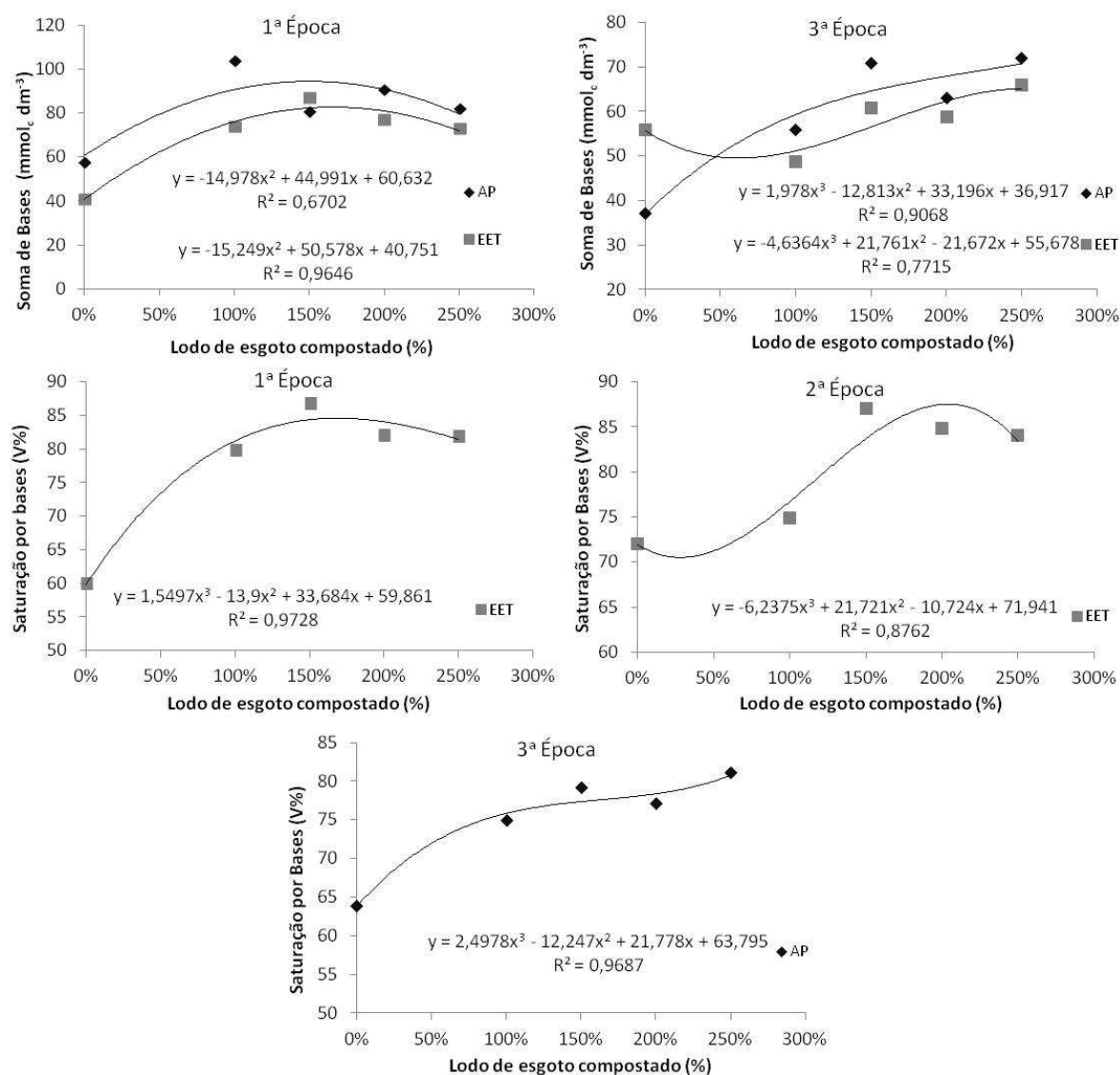


Figura 30. Atributos químicos médios do solo: soma de bases (mmol_c dm⁻³) e saturação por bases (V%), em função do lodo de esgoto compostado (%).

Chiba et al. (2008), por dois anos não observaram alterações de pH, P, K, Ca e Mg em solo tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana de açúcar, no entanto observaram maiores teores de P em folhas de mamoneira, indicando que o LE pode ter atuado como fonte do nutriente. Também Backs et al. (2009) não constataram efeito significativo do lodo de esgoto sobre os valores de pH, P, K, Ca, Mg, M.O., e CTC do solo.

Muitos trabalhos relatam as variações ocorridas nos atributos químicos do solo em decorrência de aplicações de doses de lodo de esgoto, cujos resultados assemelham-se aos resultados encontrados neste estudo. Nesse sentido, Simonete et al. (2003) estudaram os efeitos da aplicação de lodo de esgoto nas propriedades químicas de um Argissolo Vermelho-Amarelo, em experimento desenvolvido em casa de vegetação com plantas de milho adubadas com lodo de esgoto. Esses autores constataram que o incremento das doses de lodo de esgoto no solo (0, 10, 20, 30, 40 e 50 t ha⁻¹) proporcionaram aumentos significativos nos teores de K, Ca, Mg, SO₄²⁻ além de elevar a acidez potencial (H+Al). Lobo et al. (2013) estudando o efeito de níveis de lodo de esgoto na fertilidade do solo após três aplicações, concluíram que houve incremento dos níveis de P, acidez potencial (H+Al), M.O. e CTC em função do aumento da dose de lodo de esgoto no solo. Os mesmos autores encontraram ainda decréscimos nos valores de pH e V% proporcionalmente às doses de lodo até 24 e 22 t ha⁻¹, respectivamente.

4.3.4 Micronutrientes no solo: B, Cu, Fe, Mn e Zn

Segundo Lobo et al. (2013) um dos principais benefícios da aplicação do lodo de esgoto em solos agrícolas é a incorporação de macronutrientes, principalmente N e P, e micronutrientes como Cu, Zn, Mo e Fe. Nesse sentido procurou-se avaliar também os efeitos no solo, em termos de concentração de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn), decorrentes das sucessivas aplicações de lodo de esgoto.

O EET proporcionou incrementos significativos de B no solo, quando comparado às médias dos tratamentos da parcela irrigada com AP, nas três épocas de avaliação (Tabela 37). Nos tratamentos testemunha, é observado que o efluente elevou os teores de B em 17%, 42% e 72%, na primeira, segunda e terceira épocas, respectivamente.

Analizando somente os T1, T2 e T3, nota-se que o uso de 100% de lodo elevou as médias de B no solo em comparação aos tratamentos que receberam 100% de adubação mineral (T1). Embora não tenha sido possível verificar o comportamento desta variável em função somente do composto orgânico no solo, através da análise de regressão que por sua vez não foi significativa, em geral nota-se que a partir do uso de 150% de lodo no solo os teores de B aumentaram significativamente.

Tabela 37. Resultados médios da concentração de boro ($\mu\text{g dm}^{-3}$) no solo.

Tipo de Água	Tratamentos ⁽¹⁾						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
B ($\mu\text{g dm}^{-3}$) - 1ª época							
AP	180,00 Bb	190,50 Bb	170,25 Bb	189,75 Bb	220,50 Ba	170,25 Bb	189,00 Bb
EET	210,00 Ad	141,00 Ae	239,25 Ac	340,50 Aa	249,00 Ac	348,75 Aa	288,75 Ab
CV1(%) = 9,96; CV2(%) = 0,66; DMS1 = 26,55; DMS2 = 24,45							
B ($\mu\text{g dm}^{-3}$) - 2ª época							
AP	140,40 Be	121,20 Be	270,75 Bd	320,93 Bc	390,00 Bb	371,10 Bb	449,63 Aa
EET	199,73 Af	319,95 Ae	310,50 Ae	359,70 Ad	549,98 Aa	500,76 Ab	461,03 Ac
CV1(%) = 6,38; CV2(%) = 0,34; DMS1 = 26,60; DMS2 = 24,38							
B ($\mu\text{g dm}^{-3}$) - 3ª época							
AP	140,10 Bd	139,20 Bd	180,00 Bc	279,30 Aa	250,5 Bb	231,00 Bb	200,40 Bc
EET	241,20 Ae	200,40 Ad	270,90 Ac	259,80 Acd	300,60 Ab	388,80 Aa	369,30 Aa
CV1(%) = 8,77; CV2(%) = 0,62; DMS1 = 26,51; DMS2 = 24,43							

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 100% de adubação nitrogenada mineral; T2 = 50% de adubação nitrogenada mineral + 50% de adubação nitrogenada proveniente do lodo de esgoto compostado - LEC; T3, T4, T5 e T6 refere-se à 100, 150, 200 e 250% da adubação nitrogenada proveniente do LEC, respectivamente. *AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela. **Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os teores de Cu também sofreram aumento significativo em relação às aplicações de doses máximas de lodo de esgoto, com maior acúmulo observado no T6 para a primeira e terceira épocas e no T5 para a segunda época, sempre com o uso de EET (Tabela 38).

Tabela 38. Resultados médios da concentração de cobre (mg dm^{-3}) no solo.

Tipo de Água	Tratamentos ⁽¹⁾						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Cu (mg dm^{-3}) - 1ª época							
AP	0,50 Ad	0,49 Ad	0,61 Ad	1,50 Ab	1,90 Ba	1,31 Bbc	1,21 Bc
EET	0,61 Acd	0,50 Ac	0,80 Acd	1,01 Bc	2,19 Aa	1,71 Ab	2,19 Aa
CV1(%) = 18,33; CV2(%) = 1,35; DMS1 = 0,27; DMS2 = 0,24							
Cu (mg dm^{-3}) - 2ª época							
AP	0,39 Bf	0,30 Bf	1,99 Ae	2,29 Ad	3,30 Ab	2,91 Bc	5,19 Aa
EET	0,81 Af	1,21 Ae	1,70 Bd	2,31 Ac	3,40 Aa	3,59 Aa	3,11 Bb
CV1(%) = 9,37; CV2(%) = 0,63; DMS1 = 0,27; DMS2 = 0,25							
Cu (mg dm^{-3}) - 3ª época							
AP	0,70 Af	0,51 Bf	1,30 Be	1,91 Ad	2,90 Ac	3,39 Ab	4,01 Aa
EET	0,81 Af	1,10 Ae	1,61 Ad	1,91 Ac	2,79 Ab	3,00 Bb	4,20 Aa
CV1(%) = 10,05; CV2(%) = 0,75; DMS1 = 0,26; DMS2 = 0,24							

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 100% de adubação nitrogenada mineral; T2 = 50% de adubação nitrogenada mineral + 50% de adubação nitrogenada proveniente do lodo de esgoto compostado - LEC; T3, T4, T5 e T6 refere-se à 100, 150, 200 e 250% da adubação nitrogenada proveniente do LEC, respectivamente. *AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela. **Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No entanto o efluente pouco influenciou para o incremento das concentrações de Cu no solo. A análise de regressão mostra que o aumento das quantidades de lodo de esgoto no solo proporcionou incremento de Cu (Figura 31), pois na terceira época observou-se ajuste quadrático crescente para ambas as parcelas (AP e EET).

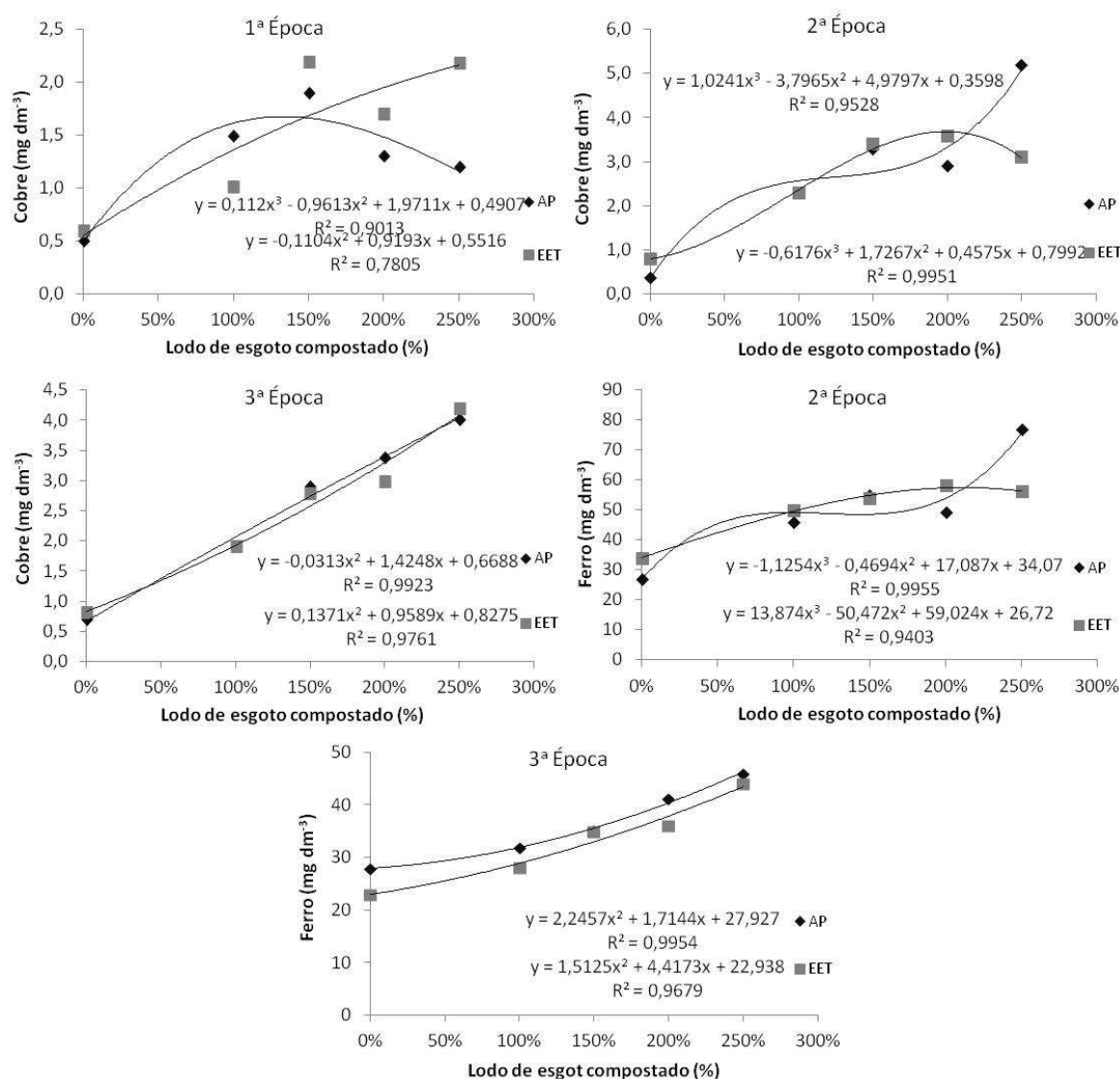


Figura 31. Micronutrientes no solo: Cu (mg dm^{-3}) e Fe (mg dm^{-3}), em função do lodo de esgoto compostado (%).

Quanto ao Fe é observada pouca variação nos teores desse elemento no solo, em função dos fatores estudados (Tabela 39). O comportamento desta variação em função somente das doses de lodo fica melhor visualizado na Figura 31, visto que para a segunda época, ou seja, antecedendo à cultura do trigo, as médias dos teores de Fe no solo apresentaram ajuste quadrático na parcela irrigada com EET e ajuste cúbico na

parcela irrigada com AP. Já para a terceira época, o ajuste foi quadrático crescente para as duas parcelas, que apresentaram comportamento semelhante e ligeiramente menor com uso de EET. Em geral as maiores quantidades de lodo proporcionaram os maiores acúmulos (Tabela 39).

Tabela 39. Resultados médios da concentração de ferro (mg dm^{-3}) no solo.

Tipo de Água	Tratamentos ⁽¹⁾						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Fe (mg dm^{-3}) - 1ª época							
AP	24,00 Bcd	22,00 Bd	21,95 Bd	28,95 Ab	38,00 Aa	28,95 Ab	27,00 Bbc
EET	34,10 Aa	27,10 Ab	27,00 Ab	27,05 Ab	34,00 Ba	29,55 Ab	37,10 Aa
CV1(%) = 10,90; CV2(%) = 4,60; DMS1 = 3,96; DMS2 = 3,94							
Fe (mg dm^{-3}) - 2ª época							
AP	27,04 Be	27,04 Be	48,92 Ac	45,93 Bd	54,96 Ab	49,04 Bc	76,89 Aa
EET	34,02 Ae	57,08 Aa	44,93 Bd	50,04 Ac	53,90 Ab	58,07 Aa	56,08 Bab
CV1(%) = 4,43; CV2(%) = 0,29; DMS1 = 2,65; DMS2 = 2,44							
Fe (mg dm^{-3}) - 3ª época							
AP	27,98 Ae	24,91 Af	28,09 Be	31,90 Ad	35,03 Ac	41,11 Ab	45,95 Aa
EET	22,97 Be	27,06 Ad	32,93 Ac	28,09 Bd	34,97 Abc	35,99 Bb	44,01 Aa
CV1(%) = 6,56; CV2(%) = 0,42; DMS1 = 2,65; DMS2 = 2,44							

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 100% de adubação nitrogenada mineral; T2 = 50% de adubação nitrogenada mineral + 50% de adubação nitrogenada proveniente do lodo de esgoto compostado - LEC; T3, T4, T5 e T6 refere-se à 100, 150, 200 e 250% da adubação nitrogenada proveniente do LEC, respectivamente. *AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela. **Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Ao contrário do Fe, os teores de Mn no solo foram influenciados significativamente pelo uso de lodo de esgoto, com os maiores acúmulos observados nos T6 na primeira e terceira épocas e no T4 na segunda época, sempre na parcela irrigada com EET (Tabela 40). Ao se analisar somente os T1, T2 e T3, nota-se que a substituição da adubação nitrogenada (T1) por lodo de esgoto (T3) propiciou aumento significativo dos teores de Mn. Na análise de regressão é observado teores crescentes de Mn em resposta às doses de lodo de esgoto (Figura 32). Na terceira época o aumento no teor de Mn foi acentuado a ponto de se observar ajuste linear crescente para as médias da parcela irrigada com EET.

O Zn apresentou comportamento esperado, pois com as doses crescentes de lodo observou-se incrementos significativos no teor dessa variável (Tabela 41), principalmente na terceira época (Figura 32), com ajuste linear nas médias.

Tabela 40. Resultados médios da concentração de manganês (mg dm^{-3}) no solo.

Tipo de Água	Tratamentos ⁽¹⁾						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Mn (mg dm^{-3}) - 1ª época							
AP	0,40 Ad	0,40 Ad	0,60 Acd	0,99 Aab	1,19 Aa	0,85 Ab	0,79 Bbc
EET	0,49 Ade	0,31 Ae	0,50 Ade	0,71 Bcd	0,89 Bbc	1,01 Ab	1,30 Aa
CV1(%) = 27,10; CV2(%) = 4,10; DMS1 = 0,25; DMS2 = 0,22							
Mn (mg dm^{-3}) - 21ª época							
AP	0,59 Ac	0,50 Bc	1,11 Bb	1,11 Bb	2,10 Ba	2,30 Aa	2,20 Aa
EET	0,41 Ad	1,10 Ac	1,70 Ab	1,60 Ab	2,59 Aa	2,40 Aa	2,38 Aa
CV1(%) = 13,70; CV2(%) = 1,02; DMS1 = 0,27; DMS2 = 0,24							
Mg (mg dm^{-3}) - 2ª época							
AP	0,49 Be	0,61 Be	1,21 Bd	1,61 Ac	1,91 Ab	2,11 Ab	2,41 Aa
EET	0,89 Ae	1,33 Ad	1,59 Ac	1,39 Acd	1,91 Ab	1,91 Ab	2,51 Aa
CV1(%) = 14,45; CV2(%) = 1,26; DMS1 = 0,28; DMS2 = 0,24							

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 100% de adubação nitrogenada mineral; T2 = 50% de adubação nitrogenada mineral + 50% de adubação nitrogenada proveniente do lodo de esgoto compostado - LEC; T3, T4, T5 e T6 refere-se à 100, 150, 200 e 250% da adubação nitrogenada proveniente do LEC, respectivamente. *AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela. **Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 41. Resultados médios da concentração de zinco (mg dm^{-3}) no solo.

Tipo de Água	Tratamentos ⁽¹⁾						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Zn (mg dm^{-3}) - 1ª época							
AP	1,20 Ae	0,20 Ae	2,81 Bd	12,60 Ab	15,00 Ba	12,00 Bbc	11,20 Bc
EET	0,50 Ae	0,41 Ae	4,10 Ad	10,00 Bc	20,40 Aa	18,20 Ab	21,20 Aa
CV1(%) = 6,21; CV2(%) = 5,77; DMS1 = 0,82; DMS2 = 1,18							
Zn (mg dm^{-3}) - 2ª época							
AP	2,40 Af	2,19 Bf	23,00 Ae	25,29 Bd	38,79 Bc	43,79 Bb	59,50 Aa
EET	1,10 Bg	9,50 Af	21,29 Be	27,00 Ad	49,50 Aa	45,50 Ab	44,00 Bc
CV1(%) = 0,78; CV2(%) = 0,04; DMS1 = 0,27; DMS2 = 0,24							
Zn (mg dm^{-3}) - 3ª época							
AP	11,00 Ade	2,60 Be	16,10 Acd	23,49 Ac	36,31 Ab	47,81 Aa	54,30 Aa
EET	1,60 Be	8,71 Ade	15,61 Acd	23,212 Ac	39,10 Ab	43,55 Ab	56,39 Aa
CV1(%) = 15,26; CV2(%) = 14,78; DMS1 = 6,01; DMS2 = 8,82							

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 100% de adubação nitrogenada mineral; T2 = 50% de adubação nitrogenada mineral + 50% de adubação nitrogenada proveniente do lodo de esgoto compostado - LEC; T3, T4, T5 e T6 refere-se à 100, 150, 200 e 250% da adubação nitrogenada proveniente do LEC, respectivamente. *AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela. **Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observa-se que para a primeira e segunda épocas o efluente contribuiu para o incremento de Zn no solo, a partir do uso de 150 e 100% respectivamente.

Resultados semelhantes foram obtidos por Galdos et al. (2004) que avaliando os atributos químicos de um Latossolo Vermelho eutrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com milho, observaram aumento nos teores de Cu e Zn no solo. Também Fia et al. (2005) estudando os teores de micronutrientes Cu e Zn no solo, observaram tendência de aumento em suas concentrações trocáveis no solo, devido à presença desses no lodo. Em estudo realizado por Chiba et al. (2008) também foi observado aumento nos teores de Cu e Zn com aplicações de lodo no solo, assim como neste estudo.

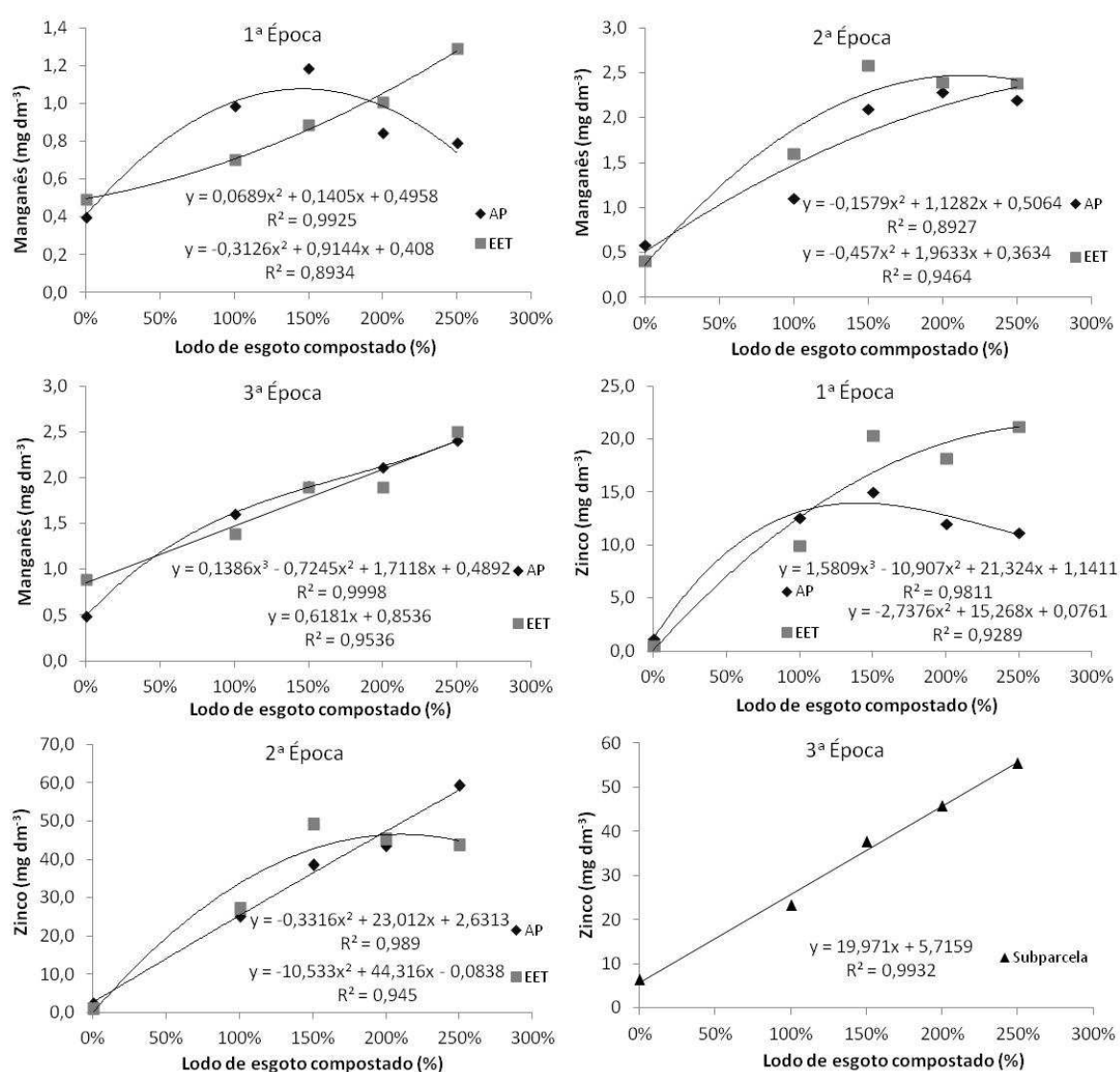


Figura 32. Micronutrientes no solo: Mn (mg dm⁻³) e Zn (mg dm⁻³), em função do lodo de esgoto compostado (%).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo notou-se grande variação nas características químicas do EET no decorrer dos dois experimentos, principalmente em relação ao N, que em vários momentos apresentou teores elevados (APÊNDICE), muitas vezes superior ao que estabelece a legislação (Resolução CONAMA, nº 357/2005 alterada pelas resoluções nº 410/2009 e nº 430/2011) para o lançamento de efluentes, ou seja, acima de 20 mg L⁻¹. Este fato provavelmente favoreceu as culturas promovendo elevados rendimentos tanto no trigo quanto na soja.

Outro fato a ser mencionado são as variações nos parâmetros químicos do solo observadas nos experimentos, que podem ter sido influenciadas pela variação dos constituintes do efluente ao longo do período experimental.

Embora o lodo utilizado neste experimento tenha por característica apresentar-se como um lodo estabilizado, uma vez que este foi compostado e tratado com gesso agrícola apresentando relação C/N baixa, verificou-se que as doses crescentes de lodo compostado no solo proporcionaram incrementos significativos, principalmente de Zn nas folhas e grãos das culturas.

Nas condições dos dois ensaios realizados neste estudo, observou-se que o lodo de esgoto compostado pode ser uma boa alternativa de substituição à adubação nitrogenada convencional, devendo estar atento ao efeito cumulativo do resíduo no solo, de maneira que não inviabilize os grãos para a indústria e a alimentação.

6 CONCLUSÕES

- No trigo, para o tratamento que não recebeu adubação nitrogenada (T0), o EET aumentou o número de perfilhos, massa seca da parte aérea, número de espigas por planta e comprimento de espiga, acarretando em maior rendimento de grãos;
- A substituição da adubação nitrogenada convencional pelo lodo de esgoto compostado elevou as médias dos parâmetros de desenvolvimento e de produção do trigo, proporcionando maiores rendimentos;
- A dose máxima de N aplicada via lodo de esgoto compostado tanto para o trigo, quanto para a soja, acarretou em maior rendimento de grãos;
- Houve incrementos significativos nos teores foliares e no acúmulo nos grãos de macro e micronutrientes nas duas culturas;
- O acúmulo de metais pesados, principalmente o Zn, nos grãos de trigo e soja, foi significativo com a aplicação das doses crescentes de lodo.
- O lodo de esgoto compostado teve efeito negativo sobre os componentes de desenvolvimento da soja e inibiu a formação de nódulos nas raízes, no entanto elevou o rendimento de grãos;
- A irrigação com EET na soja proporcionou aumento no rendimento de grãos;
- A substituição da adubação nitrogenada convencional pelo lodo de esgoto compostado promoveu incremento na produtividade da soja;
- No solo, o lodo de esgoto compostado elevou o pH, a CTC, os teores de matéria orgânica, P, K, Ca, S, B, Cu, Fe, Mn, e Zn, reduzindo os teores de Mg e acidez potencial (H^+Al).

7 REFERÊNCIAS

ABD-ALLA, H. M.; YAN, F.; SCHUBERT, S. Effect of sewage sludge application on nodulation, nitrogen fixation, and plant growth of faba bean, soybean and lupin. *Journal of Applied Botany*, Gottingen, v. 73, n. 1, p. 69-75, 1999.

Agência Nacional das Águas – ANA. **Água: fatos e tendências**. 2 ed. Brasília, DF: Agência Nacional das Águas, Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), 2009.

American Public Health Association - APHA. *Standard Methods of the Examination of Water and Wastewater*. USA: Washington, 2005.

ANDRADE, C. A.; OLIVEIRA, C.; CERRI, C. C. Qualidade da matéria orgânica e estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo tratado com biossólido e cultivado com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.29, n.5, p.803-816, 2005.

ANDRADE, C.A., BOEIRA, R.C., PIRES, A.M.M. Nitrogênio presente em lodo de esgoto e a resolução n. 375 do Conama. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. *Uso agrícola de lodo de esgoto: Avaliação após a resolução nº. 375 do Conama*. Botucatu: Editora FEPAF, 2010. p. 157-170.

ANDREOLI, C. V. **Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 417 p.

ANDREOLI, C. V. et al. Aceitabilidade pública da utilização do lodo de esgoto na agricultura da região metropolitana de Curitiba. **Revista Técnica da SANEPAR**, v.12, n.12, 1999.

ANDREOLI, C. V.; PEGONINI, E. S.; FERNANDES, F. Disposição do lodo no solo. In: ANDREOLI, C. V., VON SPERLING, M., FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG e Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. p. 319-396.

ANDREOLI, C.V.; FERNANDES, F.; DOMASZAK, S.C. Reciclagem agrícola do lodo de esgoto: estudo preliminar para definição de critérios para uso agrônomo e de parâmetros para normatização ambiental e sanitária. Curitiba: Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR, 1997. 82p.

ANJOS, A. R. M.; MATTIAZZO, M. E. Metais pesados em plantas de milho cultivadas em latossolo repetidamente tratados com biossólido. **Scientia Agrícola**, v.57, n.4, p.769-776, out./dez. 2000.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R.; CARDOSO, P. F. Composto de lodo têxtil em plântulas de soja e trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.40, n.6, p.549-554, jun. 2005.

ARAUJO, F. F. Efeito de lodo de esgoto sobre a nutrição, nodulação e controle de doenças da soja. 2003. 110 f. Tese (Doutorado) – Proteção de Plantas, Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, Botucatu, 2003.

ARAUJO, F. F.; GIL, F. C.; TIRITAN, C. S. Lodo de esgoto na fertilidade do solo, na nutrição de *Brachiaria decumbens* e na atividade da desidronegane. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.39, n.1, p.1-9, jan./mar. 2009.

AUDE, M. I. S. et al. Taxa de acúmulo de matéria seca e duração do período de enchimento de grão do trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.10, p.1.533-1.539, 1994.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, Estudos da FAO Irrigação e Drenagem, 1991. 218 p.

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

BACKES, C. et al. Efeito do lodo de esgoto e nitrogênio na nutrição e desenvolvimento inicial da mamoneira. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.25, n.1, p.90-98, jan./fev.,2009.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. do N. Experimentação Agrícola. 4 ed. Jaboticabal: Funep, 2008. 237 p.

BARBOSA, R. D. Manejo do solo com lodo de esgoto em bananeira irrigada. 2008. 84 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2008.

BASTOS, R. K. X. et al. Tratamento de esgotos sanitários e usos múltiplos de efluentes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9 (suplemento), p.164-170, 2005.

BATAGLIA, O. C. et al. Resíduos orgânicos como fonte de nitrogênio para capim-braquiária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, p.277-284, 1983.

BAUMGARTNER, D. et al. Alface irrigada com águas residuárias de atividades agroindustriais. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.27, n.4, p.697-705, Oct./Dec., 2005.

BEHLING, M., et al. Nodulação, acúmulo de nitrogênio no solo e na planta e produtividade de soja em solo tratado com lodo de estação de tratamento de resíduos industriais. **Bragantia**, 68:453-462, 2009.

BERLATO, M. A.; MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H. Evapotranspiração máxima da soja, relações com a evaporação calculada pela equação de Penman, evaporação de tanque “classe A” e radiação solar global. **Agronomia Sulriogradense**, Porto Alegre, v.22, n.2, p.243-259, 1986.

BERNARDI, C. C. Reuso de água para irrigação. 2003. 52f. Monografia (Pós-Graduação MBA) – Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada – Planejamento Estratégico), ISEA-FGV/ECOBUSINESS SCHOOL, Brasília, DF, 2003.

BERTON, R. S.; CAMARGO, O. A.; VALADARES, J. M. A. S. Absorção de nutrientes pelo milho em resposta à adição de lodo de esgoto a cinco solos paulistas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, n.2, p.187-192, 1989.

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

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 349 p.

BETTIOL, W.; CARVALHO, P. C. T.; FRANCO, B. J. D. C. Utilização do lodo de esgoto como fertilizante. **O Solo**, Piracicaba, v.75, n.1, p.44-54, 1983.

BETTIOL, W.; FERNANDES, S. A. P. Efeito do lodo de esgoto na comunidade microbiana e atributos químicos do solo. **Comunicado Técnico** 24, Jaguariúna, SP, dez., 2004.

BOEIRA, R. C.; MAXIMILIANO, V. C. B. **Determinação da fração de mineralização de nitrogênio de lodos de esgoto: um método alternativo**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004.

BOEIRA, R. C.; LIGO, M. A. V.; BYNIA, J. F. Mineralização de nitrogênio em solo tropical tratado com lodos de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.37, n.11, p.1639-1647, Nov. 2002.

BOSCHINI, A. P. M. **Produtividade e qualidade de grãos de trigo influenciados por nitrogênio e lamina de água no Distrito Federal**. 55f. 2010. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

BOTTOMLEY, P.J.; MYROLD, D.D. Biological N inputs. In: PAUL, E.A. (Ed.). **Soil microbiology, ecology and biochemistry**. 3rd edition. Oxford: Academic Press, 2007. p.365-388.

BRASIL. Decreto n. 55871, de 26 de março de 1965. Modifica o Decreto nº 50.040, de 24 de janeiro de 1961, referente a normas reguladoras do emprego de aditivos para alimentos, alterado pelo Decreto nº 691, de 13 de março de 1962. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 26 mar. 1965.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. Aplicação controlada de água residuária e lodo de esgoto no solo, para melhorar e incrementar a agricultura do semi-árido nordestino. Brasília: Funasa, 2007. 120 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Departamento Nacional de Defesa Vegetal. (1992). **Regras para análise de sementes**. Brasília, 1992. 365p

BRASIL. Ministério da Agricultura, Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária, Laboratório Nacional de Referência Vegetal. **Análise de Corretivos, Fertilizantes e Inoculantes: Métodos oficiais**. 1988. Brasília, DF, 1988, 103 p.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van; CAMARGO, C.E.O. Adubação de cereais. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. p.43-50. (IAC. Boletim técnico, 100).

CAOVILLA, F. A. et al. Características químicas de solo cultivado com soja e irrigado com água residuária da suinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.14, n.7, p.692-697, 2010.

CAZETTA, D. A.; FORNASIERI FILHO, D.; ARF, O. Resposta de cultivares de trigo e triticale ao nitrogênio no sistema de plantio direto. **Científica**, Jaboticabal, v.35, n.2, p.155-165, 2007.

CERDA, M. et al. Efecto residual del lodo em trigo (*Triticum spp.* L.). **International Journal of Experimental Botany**, Vicente López (Argentina), 2004.

CHIBA, M. K.; MATTIAZZO, M. E.; OLIVEIRA, F. C. Cultivo de cana-de-açúcar em argilossolo tratado com lodo de esgoto. II – fertilidade do solo e nutrição da planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:653-662, 2008.

CHUEIRI, W. A. et al. Lodo de esgoto e fertilizante mineral sobre parâmetros do solo e plantas de trigo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.5, p.502-508, 2007.

COELHO, M. A. O. et al. Composição mineral e exportação de nutrientes pelos grãos do trigo irrigado e submetido a doses crescentes e parceladas de adubo nitrogenado. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 48, n. 275, p. 81- 94, 2001.

Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Brasília: Conab, v.1, n.2, 2013. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 14 out. 2013.

CORRÊA, J. C. et al. Aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.43, n.9, p.1209-1219, set. 2008.

COSTA NETO, P. R; ROSSI, L. F. S. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em fritura. **Química Nova**, v.23, p. 4, 2000.

COSTA, L.; ZUCARELI, C.; RIEDE, C. R. Parcelamento da adubação nitrogenada no desempenho produtivo de genótipos de trigo. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, n.2, p.215-224, abr-jun, 2013.

CUNHA, A. R. Coeficiente do tanque Classe A obtido por diferentes métodos em ambiente protegido e no campo. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v.32, n.2, p.451-464, abr./jun. 2011.

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

DA ROS, O. C. et al. Disponibilidade de nitrogênio e produtividade de milho e trigo com diferentes métodos de adubação nitrogenada no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, V.33, n.5, p.799-804, set-out, 2003.

DENISON, R. F.; HARTER, B. L. Nitrate effects on nodule oxygen permeability and leghemoglobin: nodule oximetry and computer modeling. **Plant Physiology**, v.107, p.1355- 1364, 1995.

DEON, M. D. Reciclagem de água e nutrientes pela irrigação da cana-de-açúcar com efluente de estação de tratamento de esgoto. 2010. 88 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2010.

DUARTE, A. M. **Reúso de água residuária tratada na irrigação da cultura do pimentão** (*Capsicum annun* L.). 2006. 187f. Tese (Doutorado)-Escola Superior de agricultura Luiz de Queiroz, USP, Piracicaba, 2006.

DUARTE, A. S. et al. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina grande, v.12, n.3, p.302-310, 2008.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. **Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil**. Londrina: Embrapa Soja/Fundação MT, 2000. 2445 p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Recomendações técnicas para a cultura da soja com irrigação suplementar**. Londrina: Embrapa Soja, 1982. 45 p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Soja**. Londrina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Soja. Disponível em:

<http://www.cnpso.embrapa.br/index.php?op_page=393&cod_pai=215>. Acesso em: 21 ago. 2013b.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Soja**: recomendações técnicas para o Mato Grosso do Sul e Mato Grosso. Dourados: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1994, 121p. (Circular técnica, 1).

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Trigo**. Passo Fundo: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Trigo. Disponível em <<http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/trigo/>>. Acesso em: 13 set. 2013a.

ESPINDULA, M. C. et al. Composição mineral de grãos de trigo submetidos a doses de sulfato de amônio e trinexapac-etil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.40, n.4, p.513-520, out./dez. 2010b.

ESPINDULA, M. C. et al. Doses e formas de aplicação de nitrogênio no desenvolvimento da cultura do trigo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.34, n.6, p.1401-1411, Nov./dez., 2010a.

FARIAS, J. R. B. Apresentação. In: SFREDO, G. J. **Soja no Brasil**: calagem, adubação e nutrição mineral. Londrina: Embrapa Soja, 2008. 148 p.

FARIAS, J. R.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. Ecofisiologia da soja. 1 ed. Londrina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2007. (Circular técnica).

FARIAS, J. R.B. et al. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, V.9, n.3 (no. Especial: Zoneamento Agrícola), p.415-421, 2001.

FERREIRA, A. C. B. et al. Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **Scientia Agrícola**, v.58, n.1, p.131-138, jan./mar. 2001.

FIA, R.; MATOS, A. T.; AGUIRRE, C. I. Características químicas de solo adubado com doses crescentes de lodo de esgoto caledo. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.13, n.4, 287-299, out./dez.,2005.

FIDELES FILHO, J. et al. Comparação dos efeitos de água residuária e de poço no crescimento e desenvolvimento do algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9 (suplemento), p.328-332, 2005.

FIGUEIRÊDO, I. C. M., et al. Uso da água residuária tratada e do biossólido no algodão colorido: produção e seus componentes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 9:288-291, 2005.

FLORENCIO, L. et al. Utilização de esgotos sanitários: marcos conceituais e regulatórios. In: FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 403 p.

FOLEGATTI, M. V. **Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 1999. 460p.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do trigo**. Jaboticabal: Funep, 2008. 338p.

FORTES, F. C. AL. **Manejo do solo com lodo de esgoto na produção e qualidade de frutos em bananeira irrigada**. 2011. 113 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2011.

FREIRE, R. M. M. et al. Efeito da aplicação de água residuária tratada e adubação nitrogenada sobre a composição química da semente de algodoeiro herbáceo. In.: V Congresso Brasileiro de Algodão. **Anais**. Salvador, 2005.

FREITAS, J.G. et al. Produtividade e resposta de genótipos de trigo ao nitrogênio. **Bragantia**, Campinas, 53 (2):281-290, 1994.

FREITAS, J.G.; CAMARGO, C.E.O.; PEREIRA FILHO, A.W.P., et al. Eficiência e resposta de genótipos de trigo ao nitrogênio. **Revista Bras. da Ciência do Solo**, Campinas, v.19, p.229-234, 1995.

FREITAS, M. C. M. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.7, n.12, p.01-12, 2011.

FRIZZONE, J. A. et al. Efeito de diferentes níveis de irrigação e adubação nitrogenada sobre componentes de produtividade da cultura do trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.31, n.6, p.425-434, jun. 1996.

GALDOS, M. V.; DE MARIA, I. C.; CAMARGO, O. A. Atributos químicos e produção de milho em um Latossolo Vermelho eutrófico tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:569-577, 2004.

GHINI, R. ; BETTIOL, W. Uso agrícola de lodo de esgoto pode ter efeitos na ocorrência de doenças de plantas. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2009. Disponível em: <www.usp.br/cirra/arquivos/raquel_lodo.doc>. Acesso em: 21 ago. 2013.

GUERRA, A. F. et al. **Necessidade hídrica no cultivo de feijão, trigo, milho e arroz sob irrigação no bioma cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. 15 p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 100).

HAYS, B. D. Potential for parasitic disease transmission with land application of sewage plant effluents and sludge. **Water Research**, v. 11, p.583-595, 1977.

HESPAHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. In: MANCUSO, P. C.; SANTOS, H. F. **Reúso de água**. Barueri, SP: Manole, 2003. p.37-95.

INFORMAÇÕES técnicas para trigo e triticale – safra 2012. V Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, Dourados, MS, 25 a 28 de julho de 2011. Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2011. 204p.

JUNIO, G. R. et al. Produção de milho adubado residualmente com composto de lodo de esgoto e fosfato de Gafsa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.12, p.1289-1297, 2012.

KIKUTI, H. et al. Teores de macronutrientes na parte aérea do feijoeiro em função de doses de nitrogênio e fósforo. *Bragantia*, Campinas, v.65, n.2, p.347-354, 2006.

KUSS, R. C. R. **Populações de plantas e estratégias de irrigação na cultura da soja**. 2006. 80 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de água e Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

Laboratório Nacional de Referência Vegetal - LANARV. Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes: métodos oficiais do Laboratório Nacional de Referência Vegetal. Brasília: LANARV, 1988. 104 p.

LÉON S., G.; MOSCOSO CAVALLINI, J. **Tratamento e uso de águas residuárias**. Campina Grande: UFPB, 1999. 110p.

LIMA, V. L. A. et al. Uso agrícola de água residuária: Uma visão socioambiental. In: GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. S.; MEDEIROS, S. S.; GALVÃO, C. O. **Recursos hídricos em regiões semiáridas**. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012. 258p.

LOBO, T. F. et al. Crescimento e fixação biológica do nitrogênio em soja cultivada com doses de lodo de esgoto compostado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.33, n.4, p.1333-1342, jul./ago. 2012a.

LOBO, T. F. et al. Efeito do manejo e de níveis de lodo de esgoto na fertilidade do solo após três aplicações. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.29, n.2, p.288-296, mar./apr., 2013.

LOBO, T. F. **Manejo de lodo de esgoto em rotações de culturas no sistema de plantio direto**. 198 f. 2010. Tese (Doutorado) – Agricultura, Universidade estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2010.

LOBO, T. F.; GRASSI FILHO, H. Níveis de lodo de esgoto na produtividade do girassol. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Temuco, Chile, 7(3), p.16-25, 2007.

LOBO, T. F.; GRASSI FILHO, H.; BÜLL, L. T. Efeito do nitrogênio e do lodo de esgoto nos fatores produtivos do feijoeiro. **Revista Ceres**, Viçosa, v.59, n.1, p.118-124, jan./fev., 2012d.

LOBO, T. F.; GRASSI FILHO, H.; BULL, L. T. Rendimento de massa de matéria seca e relação C/N da aveia preta em função do lodo de esgoto e adubação nitrogenada. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.28, n.2, p.224-234. Mar./Apr. 2012b.

LOBO, T. F.; GRASSI FILHO, H.; COELHO, H. A. Crescimento e produtividade do girassol na segunda aplicação de lodo de esgoto em diferentes manejos. **Científica**, Jaboticabal, v.40, n.1, p.69-76, 2012c.

MAGRO, F. O. **Doses de composto orgânico na produção e qualidade de sementes de brócolis**. 2009. 50 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2009.

MALANO, H. M.; HOFWEGEN, P. J. M. **Management of irrigation and drainage systems**. Rotterdam: A Service Approach, 1999. IHE Monograph 3.

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

MANCUSO, P. C.; SANTOS, H. F. **Reúso de água**. Barueri, SP: Manole, 2003. 579p.

MARQUES, M. O. **Incorporação de lodo de esgoto em solo cultivado com cana-de-açúcar**. 1996, 137f. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal, 1996.

MARTINI JUNIOR, P. C.; FERREIRA, D. T. L.; MOREIRA, G. C. Características agrônômicas da cultivar de trigo CD114 submetido à aplicação de adubação nitrogenada em cobertura. **Cultivando o Saber**, Cascavel, v.4, n.3, p.158-172, 2011.

MEDEIROS, S. S. et al. Comportamento dos atributos químicos do solo em resposta à aplicação de água residuária de origem doméstica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9 (suplemento), p.268-273, 2005.

MEDEIROS, S. S.; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L. Cultivo de flores com o uso de água residuária e suplementação mineral. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.6, p.1071-1080, Nov./dez. 2010.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; MELO, V. P. O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo. In: TSUTIYA, M. T. et al. **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001. p.289-363.

MENDES, I. C. et al. Adubação nitrogenada suplementar tardia em soja cultivada em latossolos do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.43, n.8, p.1053-1060, ago. 2008.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Fixação biológica de nitrogênio atmosférico. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006. cap. 9, p. 449-542.

MOREIRA, L. L. Q. **Alterações químicas no sistema solo-planta após adubação com lodo de esgoto compostado e irrigação com água residuária em laranjeira ‘Valência’**. 2013. 68 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2013.

MOTA, S. et al. Irrigação com esgotos sanitários e efeitos nas plantas. In: FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

MUNDSTOCK, C.M. **Planejamento e manejo integrado da lavoura de trigo**. Porto Alegre: Autor, 1999. 228p.

NASCIMENTO, C. W. A. et al. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.2, p.385-392, 2004.

NICHELE, J. **Utilização de efluentes sanitários tratados para o suprimento de nutrientes à cultura do milho e modificações em propriedades químicas do solo**. 2009. 75f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

NOGUEIRA, T. A. R. et al. Metais pesados e patógenos em milho e feijão caupi consorciados adubados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.3, p.331-338, 2007.

NOGUEIRA, T.A.R.; SAMPAIO, R.A.; FERREIRA, C.S.; FONSECA, I.M. Produtividade de milho e de feijão consorciados adubados com diferentes formas de lodo de esgoto. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, 6:122-131, 2006.

NUNES, A. S. et al. Adubos verdes e doses de nitrogênio em cobertura na cultura do trigo sob plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, c.32, n.4, p.1275-1384, out-dez. 2011.

PELISSARI, R. A. Z. et al. Lodo têxtil e água residuária da suinocultura na produção de mudas de *eucalyptus grandis* (W, Hill ex Maiden). **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.2, p.288-300, abr./jun. 2009.

PENCKOWSKI, L. H.; ZAGONEL, J.; FERANDES, E. C. Nitrogênio e redutor de crescimento em trigo de alta produtividade. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.31, n.3, p.473-479, 2009.

PIETRO-SOUZA, W. et al. Desenvolvimento inicial de trigo sob doses de nitrogênio em Latossolo vermelho de Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.6, p.575-580, 2013.

PIVELI, R. P. et al. Utilização de esgoto tratado na agricultura: aporte de água e nutrientes. In: MOTA, S. B.; SPERLING, M. **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção**. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

PRANDO, A. M. et al. Formas de uréia e doses de nitrogênio em cobertura no desempenho agrônômico de genótipos de trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.33, n.2, p.621-632, 2012.

Programa de Pesquisa em Saneamento Básico - PROSAB. **Lodo**. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/prosab/lodo.htm>> Acesso em: 10 de nov. 2010.

RAIJ, B. Van et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

RAIJ, B. Van et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo/ Fundação IAC. 1997. 285p

RANGEL, O. J. P. et al. Efeito de aplicações de lodos de esgoto sobre os teores de metais pesados em folhas e grãos de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.583-594, 2006.

REGO, J. L. et al. Uso de esgoto doméstico tratado na irrigação da cultura da melancia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, p.155-159, 2005.

REI, E. F. et al. Alterações no pH, matéria orgânica e CTC efetiva do solo, mediante a aplicação elevadas doses de lodo de esgoto em diferentes intervalos de irrigação. **Revista Verde**, Mossoró, RN, v.4, n.2, p.31-38, abr./jun., 2009.

RESENDE, A. V. Diagnose foliar. In: PRADO, R. M. et al. **Nutrição de plantas: diagnose foliar em grandes culturas**. Jaboticabal: FCVA, Capes, Fundunesp, 2008. 301p.

REÚSO de águas: reúso de esgoto tratado. Recife: Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em: < http://www.pgea.ufrpe.br/reuso/_ret/apresentacao.html>. Acesso em: 17 out. 2013.

ROMAN, M. et al. Variabilidade espacial do número médio de perfilhos e rendimento da cultura de trigo. **Bragatinga**, Campinas, v.67, n.2, p.361-370, 2008.

ROMEIRO, J. C. T. **Atributos químicos do solo e crescimento de laranjeiras ‘pera’ irrigadas com efluentes de esgoto tratado e fertilizadas com lodo de esgoto compostado**. 2012. 145 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2012.

SANTOS JUNIOR, J. A. et al. Doses de boro e água residuária na produção do girassol. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.42, n.4, p.857-864, out-dez, 2011.

SANTOS, H. F. Normatização para o uso agrícola dos biossólidos no exterior e no Brasil. In: ANDREOLI, C. V., VON SPERLING, M., FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. p. 423-462.

SCHRÖDER, J. J. et al. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production?: Reviewing the state of the art. **Field Crops Research**, v.66, p.151-164, 2000.

SCHULTHESS, U. et al. Yield-independent variation in grain nitrogen and phosphorus concentration among Ethiopian wheats. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, n. 3, p.497-506, 1997.

SFREDO, G. J.; CARRÃO-PANIZZI, M. C. C. Importância **da adubação e da nutrição na qualidade da soja**. Londrina: Embrapa-CNPSo, 1990. 57 p. (Documentos, 40).

SHUVAL H.I., YEKUTIEL P.; FATTAL B. Epidemiological evidence for helminth and cholera transmission by vegetables irrigated with wastewater: Jerusalem-case study. **Water Science and Technology**, v.17, p.433-442, 1985.

SILVA, F. C. et al. Efeito do lodo de esgoto na fertilidade de um argissolo vermelho amarelo cultivado com cana de açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 5, p. 831-840, maio 2001.

SILVA, F. C. Uso agrônomo de resíduo orgânico: efeitos em fertilidade do solo e qualidade de cana-de-açúcar. 1995. 170 f. Tese (Doutorado) - “Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1995.

SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S.; SHARMA, R.D. Alternativa agrônoma para o biossólido produzido no Distrito Federal. I. Efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em Latossolo no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.487-495, 2002.

SILVA, M. L. S.; VITTI, G. C., TREVISAM, A. R. Concentração de metais pesados em grãos de plantas cultivadas em solo com diferentes níveis de contaminação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.4, p.527-535, abr., 2007.

SILVA, M. M. **Irrigação com efluentes secundários no crescimento, produtividade e econcentração de nutrientes no solo e na mamoneira**. 2010. 77 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

SILVA, M. M.; MEDEIROS, P. R. F.; SILVA, E. F. F. Reúso da água proveniente de esgoto doméstico tratado para a produção agrícola no semiárido pernambucano. In: GHEYI, H. R.; PAZ, V. P. S.; MEDEIROS, S. S.; GALVÃO, C. O. **Recursos hídricos em regiões semiáridas**. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012. p.155-169.

SIMÕES, K. S. et al. Água residuária de esgoto doméstico tratado na atividade microbiana do solo e crescimento da mamoneira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.5, p.518-523, 2013.

SIMONETE, M.A. et al. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.10, p.1187-1195, 2003.

SNYDER, R. L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversion. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering of ASCE**, New York, v. 118, n. 6, p. 977-980, 1992.

SOBRINHO, G. D. **Avaliação de nitrogênio e fósforo dissolvidos na água de infiltração após aplicação de lodo doméstico no solo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil/Saneamento e ambiente)-Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Campinas, 2000.

SOUSA NETO, O. N. et al. Fertirrigação do algodoeiro utilizando efluente doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.2, p.200-208, 2012.

SOUZA, C. A., et al. Lodo de esgoto em atributos biológicos do solo e na nodulação e na produção de soja. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 44:1319-1327, 2009.

TAÍZ, L.; ZIEGER, E. **Fisiologia vegetal**. Trad. SANTARÉM, E.R. et al., 3º ed., Porto Alegre: Artemed, 2004, p.719.

TEIXEIRA FILHO, M. C. M. et al. Desempenho agrônômico de cultivares de trigo em resposta a população de plantas e a adubação nitrogenada. **Científica**, Jaboticabal, v.36, n.2, p.97-106, 2008.

TEIXEIRA FILHO, M. C. M. et al. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo irrigado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.45, n.8, p.797-804, ago. 2010.

TEIXEIRA FILHO, M. C. M. et al. Resposta de cultivares de trigo irrigados por aspersão ao nitrogênio em cobertura na região do Cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.29, n.3, p.421-425, 2007.

TEIXEIRA, S. T.; MELO, W. J.; SILVA, E. T. Plant nutrients in a degraded soil treated with water treatment sludge and cultivated with grasses and leguminous plants. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v.39, p.1348-1354, 2007.

TRANNIN, I. C. B. **Avaliação agrônômica de um biossólido industrial e de seus efeitos sobre atributos do solo**. 2004. 171 p. Tese (Doutorado) - Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2004.

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

VELOSO, M. E. C.; DUARTE, S. N.; SILVA, I. J. O. Potencial de uso agrícola de águas residuárias na agricultura como suprimento hídrico e nutricional. **Engenharia Rural**, v.15, p.79-86, 2004.

VIANA, E. M.; KIEHL, J. C. Doses de nitrogênio e potássio no crescimento do trigo. **Bragatinga**, Campinas, v.69, n.4, p.975-982, 2010.

VICTORIA, R. L.; PICCOLO, M. C.; VARGAS, A. A. T. O ciclo do nitrogênio. In: CARDOSO, E. J. B. N. **Microbiologia do solo**. Campinas, 1992. p. 105-119.

VIEIRA, R. F. et al. Disponibilidade de nutrientes no solo, qualidade de grãos e produtividade da soja em solo adubado com lodo de esgoto. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.40, n.9, p.919-926, set. 2005a.

VIEIRA, R. F.; PEREZA, D.; SILVA, C. M. M. S. Avaliação da concentração de metais pesados em grãos de soja e feijão cultivados em solo suplementado com lodo de esgoto. **Embrapa**. Acesso em 14-08-2009.

VIEIRA, R. F.; TSAI, S. M.; TEIXEIRA, M. A. Nodulação e fixação simbiótica de nitrogênio em feijoeiro com estirpes nativas de rizóbio, em solo tratado com lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.40, n.10, p.1047-1050, out. 2005b.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 452p.

WARRAICH, E. H. et al. Effect of nitrogen on grain quality and vigour in wheat (*Triticum aestivum* L.). **International Journal of Agriculture e Biology**, v.4, n.4, p. 517-520. 2002.

WATERER, J.G.; VESSEY, J.K. Effect of low static nitrate concentrations on mineral nitrogen uptake, nodulation, and nitrogen fixation in field pea. **Journal of Plant Nutrition**, v.16, p.1775-1789, 1993.

World Health Organization – WHO. Health guidelines for use of wastewater in agriculture and aquaculture. Genebra: WHO, 1989. 74p. (Technical Report Series, 778).

ZAGONEL, J. et al. Doses de nitrogênio e densidade de plantas com e sem um regulador de crescimento afetando o trigo, cultivar OR-1. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 22, n.1, p.25-29, 2002.

ZEITOUNI, R. F. **Análise crítica da norma CETESB P-4.230** – Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – critérios para projeto e operação. 2005. 211 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical – Gestão dos Recursos Agroambientais)-Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2005.

APÊNDICE

Tabela 1. Resultados do monitoramento do efluente de esgoto tratado no decorrer do experimento do trigo.

Tipo de Água	Data de coleta	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	pH	C.E.
		mg L ⁻¹											mS
EET	15/06/2012	62	5	15	22	3	9	0,06	0,03	0,02	0,05	7,47	0,533
	22/06/2012	52	7	15	13	3	10	0	0,55	0,04	0	7,64	0,514
	29/06/2012	83	5	15	12	3	10	0	0,12	0,02	0	7,68	0,533
	06/07/2012	84	7	15	14	3	10	0	0,35	0,02	0	7,77	0,582
	20/07/2012	77	8	15	12	3	8	0	0,21	0,02	0	7,95	0,585
	27/07/2012	108	8	18	20	3	12	0	0,35	0,02	0	7,81	0,774
	03/08/2012	126	8	17	15	3	11	0	0,14	0,05	0	8,39	0,776
	10/08/2012	109	8	17	16	3	14	0	0,36	0,02	0	7,74	0,750
	17/08/2012	98	10	17	18	3	15	0	0,3	0,03	0	7,69	0,824
	24/08/2012	111	13	23	19	3	18	0	0,1	0,05	0	7,38	0,872
	31/08/2012	87	9	20	17	3	15	0	0,1	0,04	0	7,25	0,713

Tabela 2. Resultados do monitoramento do efluente de esgoto tratado no decorrer do experimento da soja.

Tipo de Água	Data de coleta	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	pH	C.E. mS
		----- mg L ⁻¹ -----											
EET	04/12/2012	26	2	15	13	2	10,8	0	0,07	0,01	0,01	7,71	0,539
	11/12/2012	17	2,8	17	18	2	11,2	0	0,25	0,02	0,01	7,69	0,543
	18/12/2012	19	5,4	15	13	2	10,4	0	0,22	0,02	0,01	7,38	0,638
	09/01/2013	21	3,2	16	13	3	9,3	0	0,17	0,01	0,01	8,62	0,456
	23/01/2013	18	2,3	11	11	2	5,6	0	0,1	0,01	0,02	7,31	0,229
	30/01/2013	17	3,1	13	19	2	6,5	0	0,07	0,02	0,02	7,19	0,360
	06/02/2013	13	4,9	14	18	2	8,5	0	0,17	0,03	0,01	7,31	0,456
	13/02/2013	15	5,1	14	15	2	13,5	0	0,35	0,03	0,01	7,79	0,454
	20/02/2013	14	3,9	14	16	3	11,4	0	0,22	0,04	0,01	7,86	0,439
	27/02/2013	19	4,1	16	20	3	11,7	0	0,21	0,03	0,01	7,71	0,403
	06/03/2012	20	5	16	22	3	8,6	0	0,1	0,05	0,03	7,75	0,426

Tabela 3. Resultados da análise do teor de selênio (Se), mercúrio (Hg), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cromo (Cr) e arsênio (As) em grãos de trigo.

Parc.	Subp.	Rep.	Se	Hg	Cd	Pb	Cr	As
----- $\mu\text{g kg}^{-1}$ -----								
AP	T0	1	< 620	< 8	< 44	< 200	53	< 600
AP	T0	2	< 620	< 8	< 44	< 200	81	< 600
AP	T0	3	< 620	< 8	< 44	< 200	65	< 600
AP	T1	1	< 620	< 8	< 44	< 200	< 36	< 600
AP	T1	2	< 620	< 8	< 44	< 200	53	< 600
AP	T1	3	< 620	< 8	< 44	< 200	< 36	< 600
AP	T2	1	< 620	< 8	50	< 200	< 36	< 600
AP	T2	2	< 620	< 8	< 44	< 200	< 36	< 600
AP	T2	3	< 620	< 8	< 44	< 200	< 36	< 600
AP	T3	1	< 620	< 8	56	< 200	37	< 600
AP	T3	2	< 620	< 8	74	< 200	54	< 600
AP	T3	3	< 620	< 8	81	< 200	42	< 600
AP	T4	1	< 620	< 8	61	< 200	< 36	< 600
AP	T4	2	< 620	< 8	< 44	< 200	< 36	< 600
AP	T4	3	< 620	< 8	67	< 200	< 36	< 600
AP	T5	1	< 620	< 8	193	< 200	< 36	< 600
AP	T5	2	< 620	< 8	140	< 200	< 36	< 600
AP	T5	3	< 620	< 8	120	< 200	< 36	< 600
AP	T6	1	< 620	< 8	183	< 200	< 36	< 600
AP	T6	2	< 620	< 8	< 44	< 200	< 36	< 600
AP	T6	3	< 620	< 8	151	< 200	< 36	< 600
EET	T0	1	< 620	< 8	< 44	< 200	249	< 600
EET	T0	2	< 620	< 8	< 44	< 200	139	< 600
EET	T0	3	< 620	< 8	< 44	< 200	131	< 600
EET	T1	1	< 620	< 8	< 44	250	56	< 600
EET	T1	2	< 620	< 8	< 44	< 200	39	< 600
EET	T1	3	< 620	< 8	< 44	< 200	55	< 600
EET	T2	1	< 620	< 8	< 44	< 200	57	< 600
EET	T2	2	< 620	< 8	76	< 200	56	< 600
EET	T2	3	< 620	< 8	96	< 200	53	< 600
EET	T3	1	< 620	< 8	77	< 200	65	< 600
EET	T3	2	< 620	< 8	108	< 200	47	< 600
EET	T3	3	< 620	< 8	72	< 200	45	< 600
EET	T4	1	< 620	< 8	138	< 200	< 36	< 600
EET	T4	2	< 620	< 8	125	< 200	74	< 600
EET	T4	3	< 620	< 8	90	< 200	< 36	< 600
EET	T5	1	< 620	< 8	68	510	85	< 600
EET	T5	2	< 620	< 8	118	10970	< 36	< 600
EET	T5	3	< 620	< 8	176	< 200	< 36	< 600
EET	T6	1	< 620	< 8	62	< 200	< 36	< 600
EET	T6	2	< 620	< 8	76	< 200	< 36	< 600
EET	T6	3	< 620	< 8	137	< 200	49	< 600

*Parc. = parcela; Subp. = subparcela (tratamentos); Rep. = repetição.

Tabela 4. Resultados da análise do teor selênio (Se), mercúrio (Hg), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cromo (Cr) e arsênio (As) em grãos de soja.

Parc.	Subp.	Rep.	Se	Hg	Cd	Pb	Cr	As
----- $\mu\text{g kg}^{-1}$ -----								
AP	T0	1	<700	< 8	< 44	< 156	51	<560
AP	T0	2	<700	< 8	< 44	< 156	< 50	<560
AP	T0	3	<700	< 8	< 44	< 156	60	<560
AP	T1	1	<700	< 8	< 44	< 156	56	<560
AP	T1	2	<700	< 8	< 44	< 156	< 50	<560
AP	T1	3	<700	< 8	< 44	< 156	89	<560
AP	T2	1	<700	< 8	< 44	< 156	71	<560
AP	T2	2	<700	< 8	< 44	< 156	92	<560
AP	T2	3	<700	< 8	< 44	< 156	< 50	<560
AP	T3	1	<700	< 8	< 44	< 156	58	<560
AP	T3	2	<700	< 8	< 44	< 156	73	<560
AP	T3	3	<700	< 8	< 44	< 156	52	<560
AP	T4	1	<700	< 8	77	< 156	86	<560
AP	T4	2	<700	< 8	< 44	< 156	62	<560
AP	T4	3	<700	< 8	86	< 156	54	<560
AP	T5	1	<700	< 8	74	< 156	62	<560
AP	T5	2	<700	< 8	135	< 156	78	<560
AP	T5	3	<700	< 8	< 44	< 156	79	<560
AP	T6	1	<700	< 8	84	< 156	59	<560
AP	T6	2	<700	< 8	160	< 156	67	<560
AP	T6	3	<700	< 8	69	< 156	< 50	<560
EET	T0	1	<700	< 8	< 44	< 156	53	<560
EET	T0	2	<700	< 8	< 44	< 156	< 50	<560
EET	T0	3	<700	< 8	< 44	< 156	< 50	<560
EET	T1	1	<700	< 8	< 44	< 156	< 50	<560
EET	T1	2	<700	< 8	< 44	42290	< 50	<560
EET	T1	3	<700	< 8	< 44	< 156	< 50	<560
EET	T2	1	<700	< 8	< 44	< 156	< 50	<560
EET	T2	2	<700	< 8	< 44	< 156	100	<560
EET	T2	3	<700	< 8	< 44	< 156	< 50	<560
EET	T3	1	<700	< 8	< 44	< 156	< 50	<560
EET	T3	2	<700	< 8	71	7430	< 50	<560
EET	T3	3	<700	< 8	< 44	< 156	< 50	<560
EET	T4	1	<700	< 8	96	510	< 50	<560
EET	T4	2	<700	< 8	89	< 156	< 50	<560
EET	T4	3	<700	< 8	< 44	< 156	< 50	<560
EET	T5	1	<700	< 8	56	< 156	91	<560
EET	T5	2	<700	< 8	75	< 156	< 50	<560
EET	T5	3	<700	< 8	92	< 156	< 50	<560
EET	T6	1	<700	< 8	113	510	< 50	<560
EET	T6	2	<700	< 8	< 44	< 156	< 50	<560
EET	T6	3	<700	< 8	122	< 156	< 50	<560

*Parc. = parcela; Subp. = subparcela (tratamentos); Rep. = repetição.

Tabela 5. Resumo da análise de variância com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias, para os parâmetros de desenvolvimento e componentes de produção da cultura do trigo: número de perfilhos (Perf.), massa seca da parte aérea (MSPA), número de espigas por planta (NEP), comprimento de espiga (CE), número de espiguetas por espiga (NeE), número de grãos por espiga (NGE), massa de grãos por espiga (MGE), rendimento de grãos (RG) e massa de 100 grãos.

FV	GL	QM							
		Perfilhos	Massa seca da parte aérea	Número de espigas por planta	Comprimento da espiga	Número de espiguetas por espiga	Número de grãos por espiga	Massa de grãos por espiga	Rendimento de grãos
Parcela	1	4,080 *	35,431 ns	1,626 *	0,209 ns	0,281 ns	403,920 *	0,740 *	0,246 ns
Erro 1	18	0,221	31,620	0,080	0,161	0,997	50,654	0,037	0,340
Subparcela	6	6,674 *	1252,977 *	2,082 *	4,163 *	11,229 *	157,671 *	0,288 *	7,5790 *
Parcela X Subparcela	6	1,403 *	85,516 *	0,358 *	0,692 *	3,698*	149,315 *	0,207 *	2,043 *
Erro 2	108	0,146	24,601	0,053	0,202	1,453	55,2696	0,0398	0,257
Total	139								
CV 1 (%)		17,69	15,06	13,45	5,16	6,69	17,15	14,07	19,87
CV 2 (%)		14,40	13,29	10,93	5,78	8,08	17,92	14,47	17,28
Média		2,66	37,33	2,11	7,78	14,93	41,50	1,38	2,94
Número de observações: 140									
					Massa de 100 grãos				
Parcela	1				0,241 ns				
Erro 1	14				0,059				
Subparcela	6				0,454*				
Parcela X Subparcela	6				0,039 ns				
Erro 2	84				0,095				
Total	111								
CV 1 (%)					6,97				
CV 2 (%)					8,83				
Média					3,49				
Número de observações: 112									

*Significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo.

Tabela 6. Resumo da análise de variância com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias para os teores de macro e micronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês e zinco) nas folhas de trigo.

FV	GL	QM										
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Parcela	1	116,666 *	0,085 *	103,714 *	0,857 *	0,381 *	0,400 *	1,524 *	6,095 *	103803,429 *	228,666 *	309,429 *
Erro 1	4	0,095	0,001	0,119	0,048	0,029	0,001	0,024	0,405	127,119	0,452	2,000
Subparcela	6	41,436 *	0,545 *	37,984 *	1,817 *	0,570 *	0,420 *	16,333 *	3,690 *	97586,611 *	655,714 *	1042,159 *
Parcela X Subparcela	6	20,833 *	0,422 *	2,381 *	0,246 ns	0,714 *	0,303 *	8,524 *	1,595 ns	105391,706 *	350,888 *	80,766 *
Erro 2	24	0,373	0,001	0,147	0,103	0,035	0,001	0,107	0,655	87,397	1,480	1,472
Total	41											
CV 1 (%)		0,77	1,22	2,21	4,41	5,26	1,01	0,68	6,45	5,00	1,73	3,33
CV 2 (%)		1,52	1,39	2,45	6,49	5,76	1,01	1,44	8,21	4,15	3,13	2,86
Média		40,10	2,53	15,62	4,95	3,24	3,07	22,67	9,86	225,33	38,90	42,43

*Significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo.

Tabela 7. Resumo da análise de variância com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias para o acúmulo de macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio e enxofre) e micronutrientes (boro, cobre, ferro, manganês e zinco) em grãos de trigo.

FV	GL	QM									
		N	P	K	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Parcela	1	9350,729 *	4,869 ns	53,642 *	0,073 ns	11,252 *	106,401 *	157,261 *	8914,617 *	10331,880 *	27450,360 *
Erro 1	18	277,529	2,982	7,289	0,714	1,174	5,915	11,978	752,015	364,380	1990,895
Subparcela	6	6808,135 *	126,328 *	195,363 *	17,618 *	29,115 *	105,987 *	238,644 *	25233,218 *	19382,644 *	169142,451 *
Parcela X Subparcela	6	1442,196 *	16,602 *	101,570 *	2,002 *	4,937 *	56,722 *	185,875 *	2476,959 *	9802,942 *	14393,831 *
Erro 2	108	176,776	2,212	5,738	0,525764	0,802	5,363	10,243	509,569	236,419	1217,840
Total	139										
CV 1 (%)		21,63	20,23	19,47	20,25	21,01	18,67	18,87	21,41	22,12	23,92
CV 2 (%)		17,26	17,43	17,27	17,37	17,36	17,78	17,45	17,62	17,82	18,71
Média		77,03	8,54	13,87	4,17	5,16	13,03	18,35	128,08	86,28	186,51

*Significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo.

Tabela 8. Resumo da análise de variância com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias para o acúmulo de Bário, Molibdênio e Níquel em grãos de trigo.

FV	GL	QM		
		Ba	Mo	Ni
Parcela	1	229,888286 *	3,213315 *	0,000026 ns
Erro 1	18	1,059531	0,048816	0,019453
Subparcela	6	139,556968 *	5,411795 *	1,261888 *
Parcela X Subparcela	6	55,698839 *	1,405367 *	0,093782 *
Erro 2	108	0,991549	0,043301	0,015317
Total	139			
CV 1 (%)		21,14	20,02	20,32
CV 2 (%)		20,45	18,85	18,03
Média		4,87	1,10	0,69

*Significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo.

Tabela 9. Resumo da análise de variância, com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias para os parâmetros de desenvolvimento e componentes de produção da cultura da soja: altura de planta aos 40, 60 e 97 DAE, número de nós vegetativos aos 40 e 60 DAE e diâmetro da haste principal aos 40, 60 e 97 DAE.

FV	GL	QM							
		Altura de planta 40 DAE	Altura de planta 60 DAE	Altura de planta 97 DAE	Número de nós vegetativos 40 DAE	Número de nós vegetativos 60 DAE	Diâmetro da haste 40 DAE	Diâmetro da haste 60 DAE	Diâmetro da haste 97 DAE
Parcela	1	4,114 ns	15,114 ns	0,579 ns	1,029 ns	0,029 ns	6,454*	1,949 ns	0,098 ns
Erro 1	18	50,971	141,429	209,182	0,506	1,332	0,568	0,452	1,048
Subparcela	6	466,440 *	1949,179 *	3079,262 *	3,048 *	3,479 ns	3,942 *	3,249 *	1,837 *
Parcela X Subparcela	6	115,798 *	574,131 *	308,262 *	0,595 ns	4,545 *	0,717 ns	1,375 *	2,424 *
Erro 2	108	35,479	85,993	114,254	0,586	1,597	0,350	0,6008	0,824
Total	139								
CV 1 (%)		15,34	16,07	17,20	8,82	9,39	16,72	11,66	16,33
CV 2 (%)		12,80	12,53	12,72	9,48	10,28	13,13	13,44	14,47
Média		46,54	73,99	84,06	8,07	12,29	4,51	5,77	6,27

*Significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo.

Tabela 10. Resumo da análise de variância com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias para os parâmetros de desenvolvimento e componentes de produção da cultura da soja: massa seca da parte aérea (MSPA) aos 40 e 60 DAE, massa seca da parte radicular (MSR), número de nódulos da raiz, número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), número de grãos por vagem (NGV), rendimento de grãos e massa de 100 grãos.

FV	GL	QM							
		Massa seca parte aérea 40 DAE	Massa seca parte aérea 60 DAE	Massa seca parte radicular	Número de nódulos por planta	Número de vagens por planta	Número de grãos por planta	Número de grãos por vagem	Rendimento de grãos por planta
Parcela	1	16,395 *	712,535 *	8,467 *	3,150 ns	5843,716 *	28087,779 *	0,366 *	1602,798 *
Erro 1	18	2,842	6,247	0,574	471,721	77,982	274,372	0,048	9,683
Subparcela	6	26,557 *	41,379 ns	6,288 *	2197,248 *	239,358 *	264,706 ns	0,313 *	48,716 *
Parcela X Subparcela	6	4,763 *	5,382 *	4,609 *	1516,033 *	53,508 ns	427,595 ns	0,162 *	14,559 ns
Erro 2	108	2,070	13,936	0,593	487,447	62,726	236,916	0,0712	7,9403
Total	139								
CV 1 (%)		31,41	17,41	48,05	268,85	25,38	24,64	11,28	27,75
CV 2 (%)		26,81	26,00	48,83	273,29	22,77	22,90	13,71	25,13
Média		5,37	14,36	1,58	8,08	34,79	67,23	1,95	11,21
Número de observações: 140									
					Massa de 100 grãos				
Parcela	1				310,423 *				
Erro 1	14				1,783				
Subparcela	6				42,692 *				
Parcela X Subparcela	6				7,848 ns				
Erro 2	84				4,849				
Total	111								
CV 1 (%)					7,90				
CV 2 (%)					13,03				
Média					16,90				
Número de observações: 112									

*Significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo.

Tabela 11. Resumo da análise de variância com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias para os teores de macro e micronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês e zinco) nas folhas de soja.

FV	GL	QM										
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Parcela	1	1020,214 *	0,292 *	6,095 *	4,024 ns	1,524 *	0,004 *	384,021 *	0,595 ns	933,429 *	219,429 *	20,024 ns
Erro 1	4	0,190	0,001	0,119	0,524	0,017	0,001	5,238	1,381	18,571	1,143	2,667
Subparcela	6	310,595 *	2,030 *	13,262 *	6,079 *	0,142 *	0,455 *	409,722 *	7,635 *	558,746 *	93,048 *	13337,857 *
Parcela X Subparcela	6	60,881 *	0,094 *	1,595 *	1,302 *	0,234 *	0,160 *	76,580 *	2,540 *	425,651 *	99,317 *	564,302 *
Erro 2	24	1,440	0,001	0,286	0,274	0,020	0,002	2,127	0,659	10,460	1,004	3,639
Total	41											
CV 1 (%)		1,14	1,25	3,35	7,47	2,60	1,05	4,65	13,09	5,74	4,38	1,59
CV 2 (%)		3,15	1,42	5,20	5,40	2,82	1,91	2,97	9,04	4,30	4,10	1,85
Média		38,12	2,47	10,29	9,690	5,08	2,09	49,17	8,98	75,14	24,43	102,98

*Significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo.

Tabela 12. Resumo da análise de variância com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias para o acúmulo de macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio e enxofre) e micronutrientes (boro, cobre, ferro, manganês e zinco) em grãos de soja.

FV	GL	QM										
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Parcela	1	4,817 *	75754,098 *	588707,005 *	3510,608 *	17296,496 *	9849,189 *	2274758,237 *	417170,230 *	12851684,448 *	889024,828 *	12863297,318 *
Erro 1	18	0,033	341,857	2517,116	80,650	77,762	9849,189 *	7587,591	417170,230	66021,698	4005,251	54949,129
Subparcela	6	0,148 *	5804,615 *	23976,438 *	232,144 *	530,788 *	423,893 *	69913,244 *	26210,989 *	496808,216 *	92363,783 *	1711571,255 *
Parcela X Subparcela	6	0,076 *	282,376 ns	3224,537 ns	206,893 *	121,817 ns	98,794 ns	34237,704 *	4642,001 *	77547,903 ns	14476,318 *	286451,528 *
Erro 2	108	0,027	306,360	3224,537	63,169	65,378	55,553	6195,464	1434,644	56915,311	3247,626	48525,494
Total	139											
CV 1 (%)		28,23	26,30	26,55	30,77	26,75	28,10	27,52	25,55	26,79	26,36	26,16
CV 2 (%)		25,43	24,90	24,62	27,23	24,53	25,42	24,87	24,36	24,87	23,73	24,58
Média		0,65	70,29	188,96	29,18	32,97	29,32	316,53	155,50	959,27	240,12	896,11

*Significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo.

Tabela 13. Resumo da análise de variância com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias para o acúmulo de bário, molibdênio e níquel em grãos de soja.

FV	GL	QM		
		Ba	Mo	Ni
Parcela	1	9614,743143 *	484,827721 ns	529,195686 *
Erro 1	18	55,065617	277,205361	3,745405
Subparcela	6	2505,075809 *	20768,437636 *	172,543365 *
Parcela X Subparcela	6	1059,116976 *	2024,699577 *	50,484495 *
Erro 2	108	48,263188	393,349266	3,011064
Total	139			
CV 1 (%)		29,41	25,63	30,38
CV 2 (%)		27,53	30,53	27,24
Média		25,23	64,95	6,37

*Significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo.

Tabela 14. Resumo da análise de variância com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias para os resultados da análise básica do solo antecedendo à instalação do experimento com a cultura do trigo (1ª época).

FV	GL	QM										
		pH	M,O,	P _{resina}	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S
Parcela	1	1,157*	2,817ns	17,161*	278,349*	0,077ns	381,269*	406,244*	1643,670*	495,219*	610,500*	1560,240*
Erro 1	6	0,009	0,481	1,534	1,057	0,033	3,001	6,648	3,527	2,440	3,531	3,611
Subparcela	6	0,412*	22,212*	1559,905*	45,646*	0,0670*	1210,346*	72,135*	1675,884*	1205,4517 *	275,792*	5609,559*
Parcela X Subparcela	6	0,105*	10,908*	106112*	36,065*	0,012*	174,672*	17,117*	257,716*	159,505*	94,723*	1092,893*
Erro 2	36	0,007	0,723	1,947	0,812	0,003	0,319	0,164	0,210	0,404	0,214	0,312
Total	55											
CV 1 (%)		1,48	3,22	5,50	6,28	32,12	3,58	10,14	2,52	1,72	2,32	4,30
CV 2 (%)		1,30	3,95	6,20	5,50	8,99	1,17	1,59	0,62	0,70	0,57	1,26
Média		6,27	21,508	22,523	16,37	0,562	48,45	25,43	74,43	90,79	81,14	44,14

*Significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo.

Tabela 15. Resumo da análise de variância com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias para os teores de micronutrientes no solo antecedendo à instalação do experimento do trigo (1ª época).

FV	GL	QM				
		B ¹	Cu	Fe	Mn	Zn
Parcela	1	73442,571 ns	0,641*	179,286*	0,000045 ns	112,125*
Erro 1	6	468,845	0,047	10,028	0,041	0,331
Subparcela	6	10520,518 ns	2,961*	132,834*	0,666*	456,590*
Parcela X Subparcela	6	12246,696 *	0,389*	61,953*	0,159*	40,167*
Erro 2	36	2,179	0,001	1,787	0,001	0,286
Total	55					
CV 1 (%)		9,69	18,33	10,90	27,10	6,21
CV 2 (%)		0,66	1,35	4,60	4,10	5,77
Média		0,22 ¹	1,179	29,054	0,74	9,27

¹Para análise de variância os dados foram transformados para micrograma, mas as médias apresentadas em miligrama; *Significativo à 5% de probabilidade; ns: não significativo.

Tabela 16. Resumo da análise de variância com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias para os resultados da análise básica do solo após o cultivo do trigo e antecedendo à instalação do experimento com a cultura da soja (2ª época).

FV	GL	QM										
		pH	M,O,	P _{resina}	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S
Parcela	1	0,043ns	49,651*	12047,591*	111,785*	0,525*	84,305*	11,648ns	195,042*	628,728	86,601*	1399473,005*
Erro 1	6	0,0467	4,674	5,087	5,023	0,047	4,671	4,688	4,720	4,668	4,760	4,697
Subparcela	6	0,360*	91,690*	36517,118*	114,551*	0,148*	3037,945*	108,090*	4070,266*	3256,471*	367,899*	49115,039*
Parcela X Subparcela	6	0,557*	2,451*	7122,938*	241,497*	0,117*	139,835*	66,048*	326,836*	90,606*	291,798*	24896,944*
Erro 2	36	0,001	0,0178	0,043	0,037	0,000	0,026	0,014	0,032	0,029	0,025	0,015
Total	55											
CV 1 (%)		3,55	8,62	2,23	10,80	72,00	3,87	9,24	2,73	2,15	2,78	1,43
CV 2 (%)		0,25	0,53	0,20	0,92	3,26	0,29	0,50	0,22	0,17	0,20	0,08
Média		6,09	25,08	101,08	20,752	0,30	55,79	23,433	79,67	100,35	78,39	151,83

*Significativo à 5% de probabilidade; ns: não significativo.

Tabela 17. Resumo da análise de variância com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias para os teores de micronutrientes no solo após o cultivo do trigo e antecedendo à instalação do experimento com a cultura da soja (2ª época).

FV	GL	QM				
		B ¹	Cu	Fe	Mn	Zn
Parcela	1	116280,058 ns	0,016 ns	168,711*	1,495*	3,366*
Erro 1	6	471,356	0,047	4,680	0,047	0,047
Subparcela	6	113372,885 ns	14,573*	1000,568*	4,720*	3091,471*
Parcela X Subparcela	6	10179,268*	1,972*	471,673*	0,174*	139,754*
Erro 2	36	1,315	0,001	0,020	0,001	0,001
Total	55					
CV 1 (%)		6,38	9,37	4,43	13,70	0,78
CV 2 (%)		0,34	0,63	0,29	1,02	0,04
Média		0,34 ¹	2,32	48,85	1,58	28,10

¹Para análise de variância os dados foram transformados para micrograma, mas as médias apresentadas em miligrama; *Significativo à 5% de probabilidade; ns: não significativo.

Tabela 18. Resumo da análise de variância com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias para os resultados da análise básica do solo após o cultivo da soja (3ª época).

		QM										
FV	GL	pH	M ₂ O ₃	P _{resina}	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S
Parcela	1	0,003ns	112,153*	4346,325*	22,772ns	0,241ns	103,714*	70,448*	288,290*	545,501*	0,251ns	592,085*
Erro 1	6	0,047	4,672	4,683	4,678	0,047	4,373	4,710	3,895	4,696	4,674	5,038
Subparcela	6	0,105*	11,633*	34875,992*	8,630*	0,127*	1046,552*	52,904*	740,303*	596,368*	139,040*	1839,816*
Parcela X Subparcela	6	0,093*	10,996*	506,693*	13,217*	0,062*	106,648*	28,651*	245,787*	169,961*	83,809*	582,595*
Erro 2	36	0,001	0,031	0,018	0,027	0,001	0,037	0,022	0,170	0,023	0,017	0,045
Total	55											
CV 1 (%)		3,50	10,37	2,02	11,52	42,63	4,92	16,92	3,55	2,92	2,91	8,47
CV 2 (%)		0,16	0,84	0,12	0,87	3,34	0,45	1,16	0,74	0,21	0,18	0,80
Média		6,19	20,85	106,93	18,77	0,51	42,47	12,82	55,65	74,310	74,23	26,50

*Significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo.

Tabela 19. Resumo da análise de variância com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias para os teores de micronutrientes no solo após o cultivo da soja (3ª época).

FV	GL	QM				
		B ¹	Cu	Fe	Mn	Zn
Parcela	1	106488,643 ns	0,144 ns	22,772 ns	0,389*	3,366 ns
Erro 1	6	467,024	0,047	4,668	0,051	17,125
Subparcela	6	21747,591 ns	12,898*	399,091*	3,023*	3051,135*
Parcela X Subparcela	6	8434,483*	0,199*	28,722*	0,243*	51,551*
Erro 2	36	2,370	0,001	0,020	0,001	16,078
Total	55					
CV 1 (%)		8,77	10,05	6,56	14,45	15,26
CV 2 (%)		0,62	0,75	0,42	1,26	14,78
Média		0,25 ¹	2,15	32,93	1,56	27,13

¹Para análise de variância os dados foram transformados para micrograma, entretanto as médias são apresentadas em miligrama; *Significativo à 5% de probabilidade; ns: não significativo.

Tabela 20. Resumo da análise de variância da regressão dos componentes de desenvolvimento e produção de plantas de trigo, com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias.

		QM								
FV	GL	Perf.	MSPA	NEP	Comp.E.	NeE	NGE	MGE	RG	
Parcela	1	2,073600*	0,531441 ns	1,149184*	0,042025 ns	1,595169 ns	653,31360*	0,824464*	0,829921 ns	
Erro 1	18	0,175578	44,413852	0,077770	0,164299	1,249846	60,095778	0,034667	0,286569	
Subparcela	4	8,960000*	1680,082731*	2,899797*	5,787452*	14,87024*	189,02240*	0,401229*	10,93228*	
Parcela X Subparcela	4	2,034600*	98,057583*	0,522512*	0,682918*	4,950442*	159,09210 ns	0,281231*	2,783823*	
Erro 2	72	0,135522	27,327388	0,036127	0,250596	1,680144	66,598583	0,050679	0,272551	
Toral	99									
CV 1 (%)		15,46	17,59	13,24	5,19	7,45	18,45	13,32	17,99	
CV 2 (%)		13,58	13,79	9,03	6,41	8,64	19,43	16,11	17,55	
Média		2,71	37,90	2,15	7,81	15,01	42,01	1,3976000	2,9753000	
Ajuste dos modelos										
FV	GL									
AP	Linear	1	35,67213	4495,41088	10,40284	12,55840	40,42373	-	1,601184	43,64851
	Quadrático	1	1,128166	630,397609*	0,347321*	6,896879*	29,69665*	-	0,929253*	4,508650*
	Cúbico	1	0,680415*	28,258694	0,053028	0,001588	1,387520	-	0,039911	0,078289
	Desvio	1	0,000487	3,311397	0,057636	0,123732	1,206341	-	0,000003	0,175440
	Erro	-	0,141244	29,768311	0,042076	0,238268	1,618673	-	0,048392	0,274554
EET	Linear	1	4,759268	1671,69418	1,784645	4,889984	2,746664 ns	-	0,071280 ns	4,977623
	Quadrático	1	1,225479*	279,916394*	0,907487*	0,764123*	2,623954 ns	-	0,023733 ns	0,812364*
	Cúbico	1	0,198048	0,022055	0,022698	0,630186	0,253010 ns	-	0,064237 ns	0,529815
	Desvio	1	0,314406	3,550039	0,113577	0,016575	0,944840	-	0,000238	0,133726
	Erro	-	0,141244	29,768311	0,042076	0,238268	1,618673	-	0,048392	0,274554
	Linear	1	-	-	-	-	-	389,300985	-	-
	Quadrático	1	-	-	-	-	-	342,916384*	-	-
	Cúbico	1	-	-	-	-	-	3,827679	-	-
	Desvio	1	-	-	-	-	-	20,044553	-	-
	Erro	-	-	-	-	-	-	66,598583	-	-

*Significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo; Perf. = número de perfilhos; MSPA = massa seca da parte aérea; NEP = número de espigas por planta; CompE = comprimento de espiga; NeE = número de espiguetas por espiga; NGE = número de grãos por espiga; MGE = massa de grãos por espiga; RG = rendimento de grãos,

Tabela 21. Resumo da análise de variância da regressão para a massa de 100 grãos do trigo, com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias.

			QM	
		FV	GL	Massa 100 grãos trigo
	Parcela		1	0,105851ns
	Erro 1		14	0,090879
	Subparcela		4	0,433786*
	Parcela X Subparcela		4	0,020673ns
	Erro 2		56	0,090797
	Toral		79	
	CV 1 (%)			8,62
	CV 2 (%)			8,61
	Média			3,4988750
	Número : 100			
Ajuste dos modelos				
		FV	GL	-
AP	Linear		1	-
	Quadrático		1	-
	Cúbico		1	-
	Desvio		1	-
	Erro		-	-
EET	Linear		1	-
	Quadrático		1	-
	Cúbico		1	-
	Desvio		1	-
	Erro		-	-
	Linear		1	-
	Quadrático		1	-
	Cúbico		1	-
	Desvio		1	-
	Erro		-	-

*Significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo.

Tabela 22. Resumo da análise de variância da regressão para o teor de macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre) em folhas de plantas de trigo, com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias.

			QM					
FV		GL	N	P	K	Ca	Mg	S
	Parcela	1	76,800000*	0,008333 ns	76,800000*	0,033333 ns	0,108000 ns	0,085333*
	Erro 1	4	0,200000	0,001333	0,166667	0,033333	0,043000	0,000667
	Subparcela	4	59,116667*	0,651167*	15,366667*	1,633333*	0,118667 ns	0,457000*
	Parcela X Subparcela	4	31,050000*	0,525833*	2,800000*	0,033333 ns	0,298000*	0,293667*
	Erro 2	16	0,283333	0,001750	0,208333	0,033333	0,047583	0,001083
	Toral	29						
	CV 1 (%)		1,12	1,40	2,42	3,83	6,73	0,85
	CV 2 (%)		1,34	1,61	2,71	3,83	7,08	1,09
	Média		39,8000	2,603333	16,8666667	4,7666667	3,0800000	3,0200000
Ajuste dos modelos								
	FV	GL						
AP	Linear	1	295,791892	3,841523	6,356757ns	-	0,069766ns	2,343243
	Quadrático	1	43,374922	0,521967*	1,343391ns	-	0,338240ns	0,282068
	Cúbico	1	1,232737*	0,110946	7,657265ns	-	0,367706ns	0,022595*
	Desvio	1	0,000449	0,196231	9,575921	-	0,001622	0,152093
	Erro	-	0,271429	0,001690	0,202381	-	0,046929	0,001024
EET	Linear	1	5,203604	0,016658	31,503604	-	0,382306	0,003973ns
	Quadrático	1	6,902042*	0,006253	2,492862*	-	0,463767*	0,063583ns
	Cúbico	1	0,094534	0,012968*	12,867146	-	0,042249	0,034032ns
	Desvio	1	8,066487	0,001456	0,869721	-	0,001011	0,101078
	Erro	-	0,271429	0,001690	0,202381	-	0,046929	0,001024
	Linear	1	-	-	-	4,326126	-	-
	Quadrático	1	-	-	-	1,966657*	-	-
	Cúbico	1	-	-	-	0,229544	-	-
	Desvio	1	-	-	-	0,011006	-	-
	Erro	-	-	-	-	0,033333	-	-

*Significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo.

Tabela 23. Resumo da análise de variância da regressão para o teor de micronutrientes (boro, cobre, ferro, manganês e zinco) em folhas de plantas de trigo, com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias.

		QM					
FV		GL	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Parcela		1	0,0000E+000ns	4,800000*	126620,033333*	28,033333*	34,133333*
Erro 1		4	0,066667	0,500000	203,533333	0,433333	2,466667
Subparcela		4	23,366667*	4,916667*	138579,300000*	552,216667*	1165,883333*
Parcela X Subparcela		4	11,500000*	2,383333*	151952,366667*	67,950000*	41,550000*
Erro 2		16	0,108333	0,625000	101,783333	1,683333	1,466667
Total		29					
CV 1 (%)			1,13	7,07	5,88	1,87	3,44
CV 2 (%)			1,44	7,91	4,16	3,68	2,66
Média			22,87	10,00	242,57	35,23	45,60
Ajuste dos modelos							
FV		GL					
AP	Linear	1	6,976577ns	9,744144	759330,652252	310,422523 ns	3010,436036
	Quadrático	1	27,500007ns	10,801364*	355084,141464*	177,800747 ns	7,510356*
	Cúbico	1	74,507424ns	1,805615	31953,771153	156,338456 ns	0,239772
	Desvio	1	12,082659	0,582210	1542,501797	177,171608	14,880503
	Erro	-	0,102381	0,607143	116,319048	1,504762	1,609524
EET	Linear	1	1,589189ns	0,176577 ns	6321,802703	823,365766 ns	1641,891892
	Quadrático	1	7,595298ns	0,731229 ns	6713,235687*	607,830700 ns	114,144436
	Cúbico	1	5,161155ns	4,366498 ns	1140,399436	214,291675 ns	40,593951*
	Desvio	1	4,054358	0,992363	40,162174	13,445193	0,036388
	Erro	-	0,102381	0,607143	116,319048	1,504762	1,609524
Linear		1	-	-	-	-	-
Quadrático		1	-	-	-	-	-
Cúbico		1	-	-	-	-	-
Desvio		1	-	-	-	-	-
Erro		-	-	-	-	-	-

*Significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo.

Tabela 24. Resumo da análise de variância da regressão para o acúmulo de macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio e enxofre) em grãos de trigo, com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias.

FV		GL	QM				
			N	P	K	Mg	S
	Parcela	1	4825,108369*	7,840000ns	168,246841*	0,178084ns	5,239521*
	Erro 1	18	244,210230	2,788925	6,087065	0,626510	1,025625
	Subparcela	4	10064,914130*	160,527719*	280,708106*	25,169179*	42,131588*
	Parcela X Subparcela	4	2016,937414*	24,111268*	108,731636*	2,907549*	6,654108*
	Erro 2	72	191,177969	2,550391	6,268173	0,565826	0,860270
	Total	99					
	CV 1 (%)		19,98	18,40	17,38	18,53	19,31
	CV 2 (%)		17,68	17,59	17,64	17,61	17,68
	Média		78,2145000	9,0774000	14,1959000	4,2712000	5,2459000
Ajuste dos modelos							
FV							
AP	Linear	1	39459,224503*	482,816045	1167,162057	74,393952	150,954601*
	Quadrático	1	355,086299	97,553918*	169,282047*	7,907346*	2,839166
	Cúbico	1	54,558427	4,926387	3,977563	0,326988	0,002307
	Desvio	1	39,444879	12,439423	23,600693	2,199814	0,567307
	Erro	-	198,754007	2,584467	6,242300	0,574495	0,883892
EET	Linear	1	6181,161525	119,275963	56,554420 ns	25,967946*	30,284018
	Quadrático	1	1527,281841*	15,647621*	63,658423 ns	0,559450	7,010117*
	Cúbico	1	365,324643	5,838505	73,519309 ns	0,233812	1,503277
	Desvio	1	345,324059	0,058083	0,004456	0,717604	1,981996
	Erro	-	198,754007	2,584467	6,242300	0,574495	
	Linear	1	-	-	-	-	-
	Quadrático	1	-	-	-	-	-
	Cúbico	1	-	-	-	-	-
	Desvio	1	-	-	-	-	-
	Erro	-	-	-	-	-	-

*Significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo.

Tabela 25. Resumo da análise de variância da regressão para o acúmulo de micronutrientes (boro, cobre, ferro, manganês e zinco) em grãos de trigo, com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias.

		GL	QM				
FV			B	Cu	Fe	Mn	Zn
	Parcela	1	138,415225*	348,083649*	4648,512400*	3664,970521*	1595,523136 ns
	Erro 1	18	4,591170	9,237078	688,056172	311,095181	1972,711274
	Subparcela	4	117,325397*	352,190669*	34788,312806*	23525,109979*	210680,275476*
	Parcela X Subparcela	4	75,298978*	182,877689*	3539,342942*	6950,903506*	9942,517936*
	Erro 2	72	5,247701	10,289828	579,085727	244,042366	1487,594058
	Toral	99					
	CV 1 (%)		16,85	16,79	19,65	20,71	21,69
	CV 2 (%)		18,02	17,73	18,02	18,34	18,84
	Média		12,7153000	18,0963000	133,5072000	85,1853000	204,7264000
Ajuste dos modelos							
FV		GL					
AP	Linear	1	635,026612*	1907,438800	101295,810636*	13514,859680 ns	519879,693168*
	Quadrático	1	4,145143	85,069730*	448,775960	7195,557467 ns	10388,381264
	Cúbico	1	13,118556	29,691525	5977,181953	7583,014512 ns	1004,863933
	Desvio	1	7,699536	25,117726	399,392640	19195,115253	5403,721975
	Erro	-	5,153911	10,139436	594,652933	253,621340	1556,896518
EET	Linear	1	3,420000 ns	52,569584 ns	34764,517549 ns	578,944781	263614,793616
	Quadrático	1	40,827341 ns	10,845580 ns	6216,401574 ns	64560,097219	80297,236894*
	Cúbico	1	63,675845 ns	7,629665 ns	6,033313 ns	6406,370398*	299,906286
	Desvio	1	2,584462	21,910823	4202,509372	2870,094630	1602,576512
	Erro	-	5,153911	10,139436	594,652933	253,621340	1556,896518
	Linear	1	-	-	-	-	-
	Quadrático	1	-	-	-	-	-
	Cúbico	1	-	-	-	-	-
	Desvio	1	-	-	-	-	-
	Erro	-	-	-	-	-	-

*Significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo.

Tabela 26. Resumo da análise de variância da regressão para o acúmulo de bário (Ba), molibdênio (Mo) e níquel (Ni) em grãos de trigo, com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias.

		GL	QM		
FV			Ba	Mo	Ni
	Parcela	1	139,546969*	4,752400*	0,012100ns
	Erro 1	18	0,501253	0,049053	0,019902
	Subparcela	4	92,098502*	5,953327*	1,474417*
	Parcela X Subparcela	4	52,177117*	0,960722*	0,103743*
	Erro 2	72	0,742327	0,054111	0,018435
	Total	99			
	CV 1 (%)		14,74	17,61	18,78
	CV 2 (%)		17,94	18,49	18,07
	Média		4,8023000	1,2578000	0,7512000
Ajuste dos modelos					
	FV	GL			
AP	Linear	1	144,275729	18,792545	2,932245
	Quadrático	1	363,374000	1,906991*	0,422924*
	Cúbico	1	15,478588*	0,220407	0,001677
	Desvio	1	0,670415	0,401185	0,040382
	Erro	-	0,707888	0,053388	0,018644
EET	Linear	1	0,235203 ns	6,031722	2,091071*
	Quadrático	1	24,995759 ns	0,282941*	0,031898
	Cúbico	1	26,635488 ns	0,001030	0,421260
	Desvio	1	1,437290	0,019375	0,371179
	Erro	-	0,707888	0,053388	0,018644
	Linear	1	-	-	-
	Quadrático	1	-	-	-
	Cúbico	1	-	-	-
	Desvio	1	-	-	-
	Erro	-	-	-	-

*Significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo.

Tabela 27. Resumo da análise de variância da regressão dos parâmetros de desenvolvimento e componentes de produção da cultura da soja: altura de planta, número de nós vegetativos e diâmetro da haste principal, com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias.

FV	GL	QM							
		A ¹	B ¹	C ¹	D ¹	E ¹	F ¹	G ¹	H ¹
Parcela	1	2,250000 ns	739,840000*	299,290000 ns	0,490000ns	3,240000 ns	5,861241*	3,286969*	0,678976 ns
Erro 1	18	38,996667	132,611111	237,858889	0,583333	1,222222	0,486130	0,589709	0,985494
Subparcela	4	289,5600*	2341,585000*	3936,650000*	1,385000 ns	2,460000 ns	1,983919*	4,286079*	1,988851 ns
Parcela X Subparcela	4	158,650000*	305,565000*	195,590000 ns	0,865000 ns	3,790000 ns	0,463419 ns	1,533269 ns	3,358686*
Erro 2	72	36,843889	97,958333	111,097778	0,636111	1,725000	0,360384	0,651756	0,887466
Toral	99								
CV 1 (%)		14,07	16,07	18,89	9,68	8,96	16,23	13,48	16,07
CV 2 (%)		13,67	13,81	12,91	10,11	10,64	13,97	14,17	15,25
Média		44,3900000	71,6600000	81,6500000	7,8900000	12,3400000	4,2961000	5,6973000	6,1784000
Ajuste dos modelos									
FV	GL								
AP	Linear	1	139,330811	1931,061892*	4845,069189	-	-	-	0,576876ns
	Quadrático	1	194,587716*	123,674898	634,409338*	-	-	-	0,100361ns
	Cúbico	1	33,828292	11,789545	159,683953	-	-	-	0,029925ns
	Desvio	1	100,373181	10,793666	242,717520	-	-	-	0,715638
	Erro	-	37,151429	102,908730	129,206508	-	-	-	0,901470
EET	Linear	1	1068,147027*	6759,459730	6977,448919	-	-	-	14,914245*
	Quadrático	1	92,406552	1555,979622*	3469,223423*	-	-	-	3,153088
	Cúbico	1	112,694184	151,745769	200,286365	-	-	-	1,875634
	Desvio	1	51,472237	44,094879	0,121294	-	-	-	0,024380
	Erro	-	37,151429	102,908730	129,206508	-	-	-	0,901470
	Linear	1	-	-	-	-	7,718408*	3,677716ns	-
	Quadrático	1	-	-	-	-	0,127558	3,146691ns	-
	Cúbico	1	-	-	-	-	0,066670	7,937224ns	-
	Desvio	1	-	-	-	-	0,023038	2,382685	-
	Erro	-	-	-	-	-	0,360384	0,651756	-

(1) A, B e C = altura de planta aos 40,60 e 97 DAE; D, e E = número de nós vegetativos aos 40 e 60 DAE; F, G e H = Diâmetro da haste aos 40, 60 e 97 DAE, respectivamente.

Tabela 28. Resumo da análise de variância da regressão para componentes de produção da cultura da soja, com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias.

FV	GL	QM							
		I ¹	J ¹	K ¹	L ¹	M ¹	N ¹	O ¹	P ¹
Parcela	1	5,349969ns	547,419609*	13,608721*	488,41000ns	4522,562500*	23669,822500*	0,652864*	1111,755649*
Erro 1	18	2,355246	5,567102	0,663467	609,521111	83,251389	281,711389	0,049268	8,956383
Subparcela	4	11,299303*	33,352002ns	9,278856*	3186,185000*	317,893750*	351,366250ns	0,326319*	70,532563*
Parcela X Subparcela	4	4,985842*	4,996777ns	5,118888*	1531,6850*	72,743750ns	498,066250ns	0,118679ns	20,388217*
Erro 2	72	1,940204	15,167637	0,817326	609,379444	64,222917	231,074583	0,081679	8,070781
Total	99								
CV 1 (%)		31,98	17,11	52,81	316,93		24,86	11,60	26,86
CV 2 (%)		29,03	28,24	58,62	316,89		22,52	14,94	25,50
Média		4,7985000	13,7907000	1,5423000	7,7900000		67,515000	1,9132000	11,1429000
Ajuste dos modelos									
FV	GL								
AP	Linear	1	-	-	1,433570 ns	-	-	-	51,927889ns
	Quadrático	1	-	-	0,026573 ns	-	-	-	0,089271ns
	Cúbico	1	-	-	0,001220 ns	-	-	-	62,683817ns
	Desvio	1	-	-	0,061489	-	-	-	0,791396
	Erro	-	-	-	0,795346	-	-	-	8,197295
EET	Linear	1	-	-	41,539287	-	-	-	236,484289*
	Quadrático	1	-	-	13,105465*	-	-	-	0,624464
	Cúbico	1	-	-	1,410167	-	-	-	0,885499
	Desvio	1	-	-	0,013209	-	-	-	10,196496
	Erro	-	-	-	0,795346	-	-	-	8,197295
	Linear	1	39,690514*	-	-	9424,216351	1170,041385*	-	1,095324*
	Quadrático	1	0,765730	-	-	3078,991984*	33,886339	-	0,002763
	Cúbico	1	0,266294	-	-	185,484225	26,912353	-	0,001565
	Desvio	1	4,474672	-	-	56,047439	40,734923	-	0,205624
	Erro	-	1,940204	-	-	609,379444	64,222917	-	0,081679

(1) I e J = massa seca parte aérea 40 e 60 DAE; K = massa seca da raiz; L = número de nódulos por planta; M = número de vagens por planta; N = número de grãos por planta; O = número de grãos por vagem; P = rendimento de grãos por planta.

Tabela 29. Resumo da análise de variância da regressão para a massa de 100 grãos da soja, com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias.

			QM	
		FV	GL	Massa 100 grãos trigo
	Parcela		1	142,071151*
	Erro 1		14	2,073913
	Subparcela		4	61,921396*
	Parcela X Subparcela		4	3,187579ns
	Erro 2		56	3,858927
	Toral		79	
	CV 1 (%)			8,61
	CV 2 (%)			11,75
	Média			16,7241250
	Número : 100			
Ajuste dos modelos				
		FV	GL	
AP	Linear		1	-
	Quadrático		1	-
	Cúbico		1	-
	Desvio		1	-
	Erro		-	-
EET	Linear		1	-
	Quadrático		1	-
	Cúbico		1	-
	Desvio		1	-
	Erro		-	-
	Linear		1	204,347300*
	Quadrático		1	6,425638
	Cúbico		1	36,353980
	Desvio		1	0,558665
	Erro		-	3,858927

*Significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo,

Tabela 30. Resumo da análise de variância da regressão para o teor de macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre) em folhas de plantas de soja, com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias.

			QM					
FV		GL	N	P	K	Ca	Mg	S
	Parcela	1	572,033333*	0,075000*	3,333333*	7,500000*	1,408333*	0,133333*
	Erro 1	4	0,233333	0,000667	0,166667	0,466667	0,032333	0,000667
	Subparcela	4	394,550000*	2,179667*	6,416667*	5,783333*	0,137167*	0,469667*
	Parcela X Subparcela	4	80,950000*	0,108333*	2,250000*	0,250000 ns	0,077500*	0,080000*
	Erro 2	16	1,525000	0,001500	0,333333	0,341667	0,018583	0,002333
	Total	29						
	CV 1 (%)		1,21	0,98	3,71	6,85	3,58	1,20
	CV 2 (%)		3,11	1,48	5,25	5,86	2,71	2,24
	Média		39,7666667	2,6233333	11,0000000	9,9666667	5,0233333	2,1600000
Ajuste dos modelos								
FV		GL						
AP	Linear	1	417,802703	5,495144	16,418919	-	0,420324	1,434243
	Quadrático	1	94,940154	0,472579	10,615936*	-	0,319338*	0,252518*
	Cúbico	1	24,707547*	0,007392*	1,930104	-	0,084653	0,028983
	Desvio	1	18,149596	0,007552	1,035040	-	0,011685	0,013589
	Erro	-	1,340476	0,001381	0,309524	-	0,020548	0,002095
EET	Linear	1	1195,589189	2,261270	3,243243*	-	0,002306 ns	0,186811
	Quadrático	1	128,434768	0,780032	0,441587	-	0,010090 ns	0,253814*
	Cúbico	1	11,018900*	0,034878*	0,936912	-	0,009259 ns	0,003439
	Desvio	1	11,357143	0,093154	0,044924	-	0,001011	0,025270
	Erro	-	1,340476	0,001381	0,309524	-	0,020548	0,0020
	Linear	1	-	-	-	16,090541	-	-
	Quadrático	1	-	-	-	3,594585*	-	-
	Cúbico	1	-	-	-	2,886663	-	-
	Desvio	1	-	-	-	0,561545	-	-
	Erro	-	-	-	-	0,341667	-	-

*Significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo.

Tabela 31. Resumo da análise de variância da regressão para o teor de micronutrientes (boro, cobre, ferro, manganês e zinco) em folhas de plantas de soja, com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias.

		QM					
FV		GL	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Parcela		1	488,033333*	0,533333 ns	168,033333 ns	28,033333*	488,033333*
Erro 1		4	3,066667	1,433333	32,633333	0,666667	3,133333
Subparcela		4	375,333333*	9,050000*	525,383333*	109,116667*	14960,966667*
Parcela X Subparcela		4	86,033333*	2,116667*	484,616667*	100,783333*	529,033333*
Erro 2		16	2,608333	0,683333	9,300000	1,125000	4,175000
Total		29					
CV 1 (%)			3,40	12,92	7,28	3,31	1,54
CV 2 (%)			3,14	8,92	3,89	4,29	1,77
Média			51,5000000	9,2666667	78,4333333	24,7000000	115,2333333
Ajuste dos modelos							
FV		GL					
AP	Linear	1	663,210811ns	17,910811	50,176577	239,870270ns	35067,676577
	Quadrático	1	474,134697ns	9,003868*	995,193674	0,022317ns	732,655873*
	Cúbico	1	364,475426ns	4,016858	81,546910*	104,106335ns	423,191629
	Desvio	1	7,245732	0,001797	123,349506	144,934412	1798,742588
	Erro	-	2,673810	0,790476	12,633333	1,059524	4,026190
EET	Linear	1	90,530631	12,332432*	2548,760360	17,657658ns	18839,936036
	Quadrático	1	245,639620*	0,167715	159,023047*	220,253977ns	4153,235687*
	Cúbico	1	0,128671	1,232737	60,404104	93,691240ns	52,701323
	Desvio	1	0,101078	0,000449	21,545822	19,063792	891,860288
	Erro	-	2,673810	0,790476	12,633333	1,059524	4,026190
Linear		1	-	-	-	-	-
Quadrático		1	-	-	-	-	-
Cúbico		1	-	-	-	-	-
Desvio		1	-	-	-	-	-
Erro		-	-	-	-	-	-

*Significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo.

Tabela 32. Resumo da análise de variância da regressão para o acúmulo de macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio e enxofre) em grãos de soja, com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias.

		QM					
FV	GL	N	P	K	Ca	Mg	S
Parcela	1	3,583449*	53150,535936*	374055,783201*	2317,844736*	12124,2121*	5893,786441*
Erro 1	18	0,030702	331,270014	2313,690345	72,406178	72,515551	62,993194
Subparcela	4	0,212802*	7342,820136*	33640,012863*	180,205349*	769,581168*	576,003579*
Parcela X Subparcela	4	0,111072*	418,597568 ns	3324,734469 ns	307,070381*	179,911008*	76,890716 ns
Erro 2	72	0,027237	344,829213	2306,155583	57,634982	67,662587	57,272178
Toral	99						
CV 1 (%)		27,14	24,82	25,33	30,23	25,87	27,16
CV 2 (%)		25,56	25,32	25,29	26,97	24,99	25,90
Média		0,6457000	73,3378000	189,8731000	28,1492000	32,9204000	29,2247000
Ajuste dos modelos							
FV	GL						
AP	Linear	1	0,167840 ns	-	-	184,707123 ns	624,448865*
	Quadrático	1	0,004662 ns	-	-	89,010324 ns	28,934968
	Cúbico	1	0,348996 ns	-	-	654,180100 ns	152,847245
	Desvio	1	0,002815	-	-	5,295840	26,473734
	Erro	-	0,027732	-	-	59,745153	68,355868
EET	Linear	1	0,698844*	-	-	59,152678	2697,905589*
	Quadrático	1	0,024446	-	-	944,136082*	22,621245
	Cúbico	1	0,045197	-	-	8,192360	31,158395
	Desvio	1	0,002693	-	-	4,428411	213,578663
	Erro	-	0,027732	-	-	59,745153	68,355868
	Linear	1	-	27488,000618*	127578,587206*	-	1867,059146*
	Quadrático	1	-	966,013961	4816,389835	-	21,958658
	Cúbico	1	-	812,877238	1636,225214	-	401,630911
	Desvio	1	-	104,388728	528,849198	-	13,365602
	Erro	-	-	344,829213	2306,155583	-	57,272178

*Significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo.

Tabela 33. Resumo da análise de variância da regressão para o acúmulo de micronutrientes (boro, cobre, ferro, manganês e zinco) em grãos de soja, com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias.

			QM				
FV		GL	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	Parcela	1	1211630,749081*	221560,372804*	8711033,490916*	519294,625641*	8534431,89062*
	Erro 1	18	6921,626624	1548,943251	64460,567753	4061,618041	50696,114637
	Subparcela	4	76655,888732*	36635,928864*	711541,056349*	134396,625108*	2370270,8005*
	Parcela X Subparcela	4	22759,115058*	1831,518927 ns	108957,044803 ns	15681,722088*	409409,345230*
	Erro 2	72	6661,582025	1638,423262	61484,128340	3566,919961	54339,868849
	Toral	99					
	CV 1 (%)		26,43	24,65	26,03	25,85	24,22
	CV 2 (%)		25,93	25,36	25,42	24,22	25,07
	Média		314,7785000	159,6394000	975,4116000	246,5811000	929,7631000
Ajuste dos modelos							
FV		GL					
AP	Linear	1	168693,588709 ns	-	-	114579,454597 ns	1722124,270445*
	Quadrático	1	5290,893750 ns	-	-	8141,344496 ns	810,515005
	Cúbico	1	116979,960975 ns	-	-	46428,601017 ns	641795,417905
	Desvio	1	500,235718	-	-	4960,892689	15353,729057
	Erro	-	6698,731253	-	-	3637,591116	53819,332533
EET	Linear	1	80104,000700*	-	-	383418,705892	8618476,421080*
	Quadrático	1	3686,903744	-	-	33096,044359*	63626,132660
	Cúbico	1	784,559619	-	-	466,046776	15992,333166
	Desvio	1	21619,871949	-	-	9222,298960	40541,763626
	Erro	-	6698,731253	-	-	3637,591116	53819,332533
	Linear	1	-	137779,589713	2695392,108325*	-	-
	Quadrático	1	-	5416,962372*	14893,491327	-	-
	Cúbico	1	-	3310,032363	89784,527108	-	-
	Desvio	1	-	37,131006	46094,098634	-	-
	Erro	-	-	1638,423262	61484,128340	-	-

*Significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo.

Tabela 34. Resumo da análise de variância da regressão para o acúmulo de bário (Ba), molibdênio (Mo) e níquel (Ni) em grãos de soja, com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias.

			QM		
FV		GL	Ba	Mo	Ni
	Parcela	1	3476,635369*	177,289225 ns	244,109376*
	Erro 1	18	49,628951	259,260617	4,351006
	Subparcela	4	3496,464107*	23658,505039*	232,546187*
	Parcela X Subparcela	4	1081,604361*	2937,365365*	57,883549*
	Erro 2	72	57,339154	474,285886	3,831332
	Toral	99			
	CV 1 (%)		27,62	22,10	30,20
	CV 2 (%)		29,68	29,89	28,34
	Média		25,5093000	72,8513000	6,9078000
Ajuste dos modelos					
FV		GL			
AP	Linear	1	1814,750422	63885,119665*	113,757436 ns
	Quadrático	1	1018,080088*	466,344087	19,406158 ns
	Cúbico	1	881,763872	305,298654	57,816310 ns
	Desvio	1	18,194718	9303,683622	89,551149
	Erro	-	56,237696	443,567990	3,905571
EET	Linear	1	10725,426546	22004,365716	490,388092 ns
	Quadrático	1	323,448469*	9974,926172*	10,219684 ns
	Cúbico	1	183,900696	49,531075	75,734311 ns
	Desvio	1	3346,709061	394,212625	304,845801
	Erro	-	56,237696	443,567990	3,905571
	Linear	1	-	-	-
	Quadrático	1	-	-	-
	Cúbico	1	-	-	-
	Desvio	1	-	-	-
	Erro	-	-	-	-

*Significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo.

Tabela 35. Resumo da análise de variância da regressão para pH, H+AL, matéria orgânica (M,O,) e CTC do solo antecedendo à instalação do experimento com a cultura do trigo, com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias (1ª época).

		QM			
FV	GL	pH	H+Al	M.O.	CTC
Parcela	1	0,817960*	212,567103*	3,422250*	621,259240*
Erro 1	6	0,011833	0,669529	0,268197	1,234120
Subparcela	4	0,574828*	65,071291*	33,309766*	1395,140744*
Parcela X Subparcela	4	0,147972*	52,809659*	7,014394*	189,794934*
Erro 2	24	0,005700	0,976142	0,798747	0,557672
Total	39				
CV 1 (%)		1,74	5,08	2,41	1,20
CV 2 (%)		1,21	6,13	4,16	0,80
Média		6,2560000	16,1107500	21,4955000	92,8950000
Ajuste dos modelos					
FV					
AP	Linear	1	0,464874ns	10,022165ns	22,568390ns
	Quadrático	1	0,037894ns	0,044744ns	45,359505ns
	Cúbico	1	0,000028ns	0,928540ns	65,009617ns
	Desvio	1	0,476334	36,606922	3,625308
	Erro	-	0,006576	0,932340	0,722954
EET	Linear	1	1,198143	301,078582	10,273889ns
	Quadrático	1	0,552360*	101,513835*	1,883397ns
	Cúbico	1	0,158308	0,788397	12,528340ns
	Desvio	1	0,003259	20,540616	0,048195
	Erro	-	0,006576	0,932340	0,722954
	Linear	1	-	-	-
	Quadrático	1	-	-	-
	Cúbico	1	-	-	-
	Desvio	1	-	-	-
	Erro	-	-	-	-

*Significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo.

Tabela 36. Resumo da análise de variância da regressão para a concentração de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, soma de bases (SB) e porcentagem de saturação por bases (V%) no solo, antecedendo à instalação do experimento com a cultura do trigo, com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias (1ª época).

		QM						
FV	GL	P	K	Ca	Mg	S	SB	V%
Parcela	1	15,400810*	0,018063 ns	418,285563*	376,689062*	739,77201*	1636,60849*	495,75681*
Erro 1	6	1,263225	0,025576	2,556566	5,456893	2,407838	2,272032	3,345118
Subparcela	4	1437,7987*	0,033310*	1329,345684*	97,391360*	4655,9060*	1999,8497*	373,349735*
Parcela X Subparcela	4	156,458641*	0,007000ns	243,964644*	20,421450*	1605,608985*	343,760434*	140,222860*
Erro 2	24	2,443008	0,002205	0,227164	0,201238	0,432153	0,282238	0,030298
Total	39							
CV 1 (%)		4,09	28,72	3,12	9,31	2,85	1,96	2,24
CV 2 (%)		5,69	8,43	0,93	1,79	1,21	0,69	0,21
Média		27,4710000	0,5567500	51,2047500	25,0917500	54,5050000	76,7840000	81,6870000
Ajuste dos modelos								
FV								
AP	Linear	1	1277,932478	-	732,104356	27,723347	4798,584597	91,701730ns
	Quadrático	1	852,077105	-	1404,551698*	60,344227*	2500,241009*	69,189775ns
	Cúbico	1	110,442258*	-	568,039671	2,888815	512,482319	35,128280ns
	Desvio	1	51,667978	-	287,000756	119,774330	113,878395	101,417065
	Erro	-	2,274468	-	0,559935	0,952046	0,714394	0,503843
EET	Linear	1	2705,757620	-	2012,819217	32,246467	14670,246860	1115,223765
	Quadrático	1	447,700271*	-	1099,708552*	220,558341	839,627986*	2133,666663*
	Cúbico	1	126,843968	-	5,631004	7,582553*	441,941092	5,904781*
	Desvio	1	804,607721	-	183,386057	0,133158	1169,057632	47,805870
	Erro	-	2,274468	-	0,559935	0,952046	0,714394	0,503843
	Linear	1	-	-	-	-	-	-
	Quadrático	1	-	-	-	-	-	-
	Cúbico	1	-	-	-	-	-	-
	Desvio	1	-	-	-	-	-	-
	Erro	-	-	-	-	-	-	-

*Significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo.

Tabela 37. Resumo da análise de variância da regressão para a concentração de micronutrientes (boro, cobre, ferro, manganês e zinco) no solo, antecedendo à instalação do experimento com a cultura do trigo, com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias (1ª época).

			QM				
FV		GL	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	Parcela	1	-	0,668223*	88,804000*	0,011902 ns	134,029210*
	Erro 1	6	-	0,033376	9,406667	0,027649	0,432010
	Subparcela	4	-	2,505431*	83,766000*	0,481094*	368,689810*
	Parcela X Subparcela	4	-	0,557316*	89,794000*	0,226596*	53,914210*
	Erro 2	24	-	0,000274	2,496667	0,001262	0,400343
	Total	39	-				
	CV 1 (%)		-	12,95	9,94	19,31	5,37
	CV 2 (%)		-	1,17	5,12	4,12	5,17
	Média		-	1,4112500	30,8700000	0,8612500	12,2295000
Ajuste dos modelos							
FV		GL					
AP	Linear	1	-	1,083244	35,001189ns	0,313203	221,286756
	Quadrático	1	-	2,628116	235,622828ns	0,896886*	219,672756
	Cúbico	1	-	0,030850*	13,903872ns	0,020265	6,145388*
	Desvio	1	-	0,409911	152,604111	0,124076	8,623181
	Erro	-	-	0,005003	3,483810	0,005031	0,404867
EET	Linear	1	-	6,208878	12,350703ns	1,421660	1078,158270
	Quadrático	1	-	0,111919*	124,567194ns	0,043525*	68,764428*
	Cúbico	1	-	0,126186	0,909443ns	0,003414	9,748644
	Desvio	1	-	1,651887	119,280660	0,007730	78,016658
	Erro	-	-	0,005003	3,483810	0,005031	0,404867
	Linear	1	-	-	-	-	-
	Quadrático	1	-	-	-	-	-
	Cúbico	1	-	-	-	-	-
	Desvio	1	-	-	-	-	-
	Erro	-	-	-	-	-	-

*Significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo.

Tabela 38. Resumo da análise de variância da regressão para pH, H+Al, matéria orgânica (M,O,) e CTC do solo após o experimento com a cultura do trigo e antecedendo à instalação com a cultura da soja, com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias (2ª época).

		QM			
FV	GL	pH	H+Al	M.O.	CTC
Parcela	1	0,000010 ns	8,789063 ns	33,764062*	336,690062*
Erro 1	6	0,033343	3,692059	3,343366	3,333726
Subparcela	4	0,130679*	62,133279*	104,669309*	3645,989279*
Parcela X Subparcela	4	0,174091*	91,069194*	2,447481*	128,831344*
Erro 2	24	0,000285	0,042903	0,019895	0,038311
Total	39				
CV 1 (%)		2,95	9,93	7,06	1,72
CV 2 (%)		0,27	1,07	0,54	0,18
Média		6,1805000	19,3457500	25,9122500	106,1042500
Ajuste dos modelos					
FV					
AP	Linear	1	0,012090ns	43,075135ns	163,736320
	Quadrático	1	0,004309ns	75,494210ns	32,085662*
	Cúbico	1	0,547875ns	288,519589ns	3,029270
	Desvio	1	0,131956	55,861035	42,425378
	Erro	-	0,005008	0,564211	0,494677
EET	Linear	1	0,255610ns	78,342608ns	109,420173ns
	Quadrático	1	0,011240ns	3,045842ns	8,263341ns
	Cúbico	1	0,038457ns	16,602747ns	17,267482ns
	Desvio	1	0,217543	51,868723	52,239534
	Erro	-	0,005008	0,564211	0,494677
	Linear	1	-	-	-
	Quadrático	1	-	-	-
	Cúbico	1	-	-	-
	Desvio	1	-	-	-
	Erro	-	-	-	-

*Significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo.

Tabela 39. Resumo da análise de variância da regressão para a concentração de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, soma de bases (SB) e porcentagem de saturação por bases (V%) no solo, após o experimento com a cultura do trigo e antecedendo à instalação com a cultura da soja, com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias (2ª época).

		GL	QM						
FV			P	K	Ca	Mg	S	SB	V%
	Parcela	1	23087,544502*	0,246490*	7,145062*	34,169523*	47284,8769*	217,528960*	4,644423 ns
	Erro 1	6	3,345596	0,033423	3,339116	3,348606	3,379418	3,389938	3,408506
	Subparcela	4	41201,642285*	0,196990*	3017,958821*	132,745116*	70826,0497*	4061,98023*	235,232041*
	Parcela X Subparcela	4	7440,211465*	0,153990*	137,264131*	34,906254*	26511,971785*	240,042029*	84,943679*
	Erro 2	24	0,024375	0,000090	0,026476	0,018685	0,014766	0,027130	0,023360
	Toral	39							
	CV 1 (%)		1,54	56,86	2,95	7,53	1,16	2,12	2,28
	CV 2 (%)		0,13	2,95	0,26	0,56	0,08	0,19	0,19
	Média		119,0007500	0,3215000	62,0127500	24,3132500	159,1555000	86,8575000	80,9842500
Ajuste dos modelos									
FV									
AP	Linear	1	126681,714781	0,036105 ns	5330,760790	5,000784ns	31789,796627ns	5530,854273ns	56,608988ns
	Quadrático	1	5318,842591*	0,009017 ns	101,640628*	0,202238ns	103983,769457ns	113,371813ns	40,441747ns
	Cúbico	1	24158,185517	0,002810 ns	911,262260	362,465363ns	79750,647304ns	2448,000308ns	461,017124ns
	Desvio	1	1032,582681	0,007538	0,202901	21,843445	873,121241	41,934226	15,465991
	Erro	30	0,498835	0,004852	0,499710	0,494388	0,495431	0,507531	0,506952
EET	Linear	1	25513,541761	0,023123	3940,627298	99,918042ns	83772,818270ns	5506,832044ns	486,993284
	Quadrático	1	11190,453818*	1,132597*	745,201306*	2,811357ns	10652,901810ns	644,057391ns	36,966689*
	Cúbico	1	479,247523	0,025179	917,898184	121,045096ns	54103,834103ns	1759,973552ns	95,660181
	Desvio	1	192,846328	0,167551	673,298442	57,319155	24425,197317	1163,065432	87,548876
	Erro	30	0,498835	0,004852	0,499710	0,494388	0,495431	0,507531	0,506952
	Linear	1	-	-	-	-	-	-	-
	Quadrático	1	-	-	-	-	-	-	-
	Cúbico	1	-	-	-	-	-	-	-
	Desvio	1	-	-	-	-	-	-	-
	Erro	30	-	-	-	-	-	-	-

*Significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo.

Tabela 40. Resumo da análise de variância da regressão para a concentração de micronutrientes (boro, cobre, ferro, manganês e zinco) no solo, após o experimento com a cultura do trigo e antecedendo à instalação com a cultura da soja, com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias (2ª época).

			QM				
FV		GL	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	Parcela	1	-	0,297562*	1,218010 ns	0,477422*	1,879223*
	Erro 1	6	-	0,033626	3,346583	0,033376	0,033906
	Subparcela	4	-	14,822729*	1370,666371*	5,433500*	3257,954466*
	Parcela X Subparcela	4	-	2,424944*	290,456591*	0,159123*	181,799441*
	Erro 2	24	-	0,000236	0,019481	0,000361	0,000104
	Toral	39	-				
	CV 1 (%)		-	6,72	3,62	10,33	0,55
	CV 2 (%)		-	0,56	0,28	1,07	0,03
	Média		-	2,7292500	50,5965000	1,7687500	33,7357500
Ajuste dos modelos							
	FV	GL					
AP	Linear	1	-	43,304044	4327,736400	8,100041	7291,590204
	Quadrático	1	-	0,090116	48,755890	0,228861*	1,008663*
	Cúbico	1	-	2,578485*	473,266598*	0,814708	19,986730
	Desvio	1	-	2,278225	307,801092	0,186861	61,101153
	Erro	30	-	0,005006	0,494782	0,005078	0,004933
EET	Linear	1	-	16,141077	1270,101812	10,424408	5016,135880
	Quadrático	1	-	3,560049*	207,076253*	1,916479*	1018,041922*
	Cúbico	1	-	0,937971	3,114134	0,184035	114,331326
	Desvio	1	-	0,100722	6,639671	0,515098	236,819752
	Erro	30	-	0,005006	0,494782	0,005078	0,004933
	Linear	1	-	-	-	-	-
	Quadrático	1	-	-	-	-	-
	Cúbico	1	-	-	-	-	-
	Desvio	1	-	-	-	-	-
	Erro	30	-	-	-	-	-

*Significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo.

Tabela 41. Resumo da análise de variância da regressão para pH, H+AL, matéria orgânica (M,O,) e CTC do solo após o experimento com a cultura da soja, com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias (3ª época).

		QM				
FV	GL	pH	H+Al	M.O.	CTC	
Parcela	1	0,004623 ns	14,737960 ns	155,630250*	126,842822*	
Erro 1	6	0,033796	3,351133	3,350458	3,350206	
Subparcela	4	0,112296*	7,081271*	6,590875*	562,321060*	
Parcela X Subparcela	4	0,101141*	7,812791*	4,894238*	183,849335*	
Erro 2	24	0,000119	0,028031	0,027556	0,024698	
Total	39					
CV 1 (%)		2,95	9,96	8,55	2,37	
CV 2 (%)		0,18	0,91	0,78	0,20	
Média		6,2252500	18,3710000	21,4100000	77,2217500	
Ajuste dos modelos						
FV						
AP	Linear	1	0,527462	46,536996	10,897973 ns	1905,551637
	Quadrático	1	0,037263*	1,894249	0,574088 ns	193,318395*
	Cúbico	1	0,006009	4,475252*	0,519421 ns	0,538354
	Desvio	1	0,003987	2,774174	0,610868	247,502064
	Erro	30	0,004930	0,502760	0,502257	0,499770
EET	Linear	1	0,016025ns	0,207399 ns	7,043520ns	286,061790
	Quadrático	1	0,073414ns	0,133789 ns	0,097103ns	168,485911
	Cúbico	1	0,149488ns	2,311350 ns	20,462160ns	18,001707*
	Desvio	1	0,040104	1,243042	5,735317	165,221723
	Erro	30	0,004930	0,502760	0,502257	165,221723
	Linear	1	-	-	-	-
	Quadrático	1	-	-	-	-
	Cúbico	1	-	-	-	-
	Desvio	1	-	-	-	-
	Erro	30	-	-	-	-

*Significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo.

Tabela 42. Resumo da análise de variância da regressão para a concentração de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, soma de bases (SB) e porcentagem de saturação por bases (V%) no solo, após o experimento com a cultura da soja, com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias (3ª época).

		QM						
FV	GL	P	K	Ca	Mg	S	SB	V%
Parcela	1	1972,05849*	0,169000 ns	26,666890*	5,677622 ns	624,41604*	30,502623*	14,908410 ns
Erro 1	6	3,343298	0,033838	3,344903	3,349756	3,758600	2,640656	3,340658
Subparcela	4	33002,5577*	0,149723*	1045,405656*	68,593779*	1694,86988*	696,610535*	120,259171*
Parcela X Subparcela	4	19,523796*	0,091650*	119,964559*	23,558129*	855,872815*	269,409173*	78,360391*
Erro 2	24	0,013765	0,000136	0,017107	0,028454	0,046683	0,228354	0,020781
Total	39							
CV 1 (%)		1,41	34,03	3,96	14,78	6,07	2,75	2,41
CV 2 (%)		0,09	2,16	0,28	1,36	0,68	0,81	0,19
Média		129,8060000	0,5405000	46,1825000	12,3832500	31,9230000	59,0007500	75,8160000
Ajuste dos modelos								
FV								
AP	Linear	1	73213,108224	0,167823 ns	3076,218725	26,690245*	2584,668990	617,343473
	Quadrático	1	3183,544850*	0,005671 ns	246,990725	1,292864	1062,893229*	69,137091
	Cúbico	1	2816,609687	0,015526 ns	5,074247*	0,822023	400,252921	15,339832*
	Desvio	1	3710,324508	0,000000	196,637332	5,221617	40,529329	22,676525
	Erro	30	0,489413	0,004951	0,492507	0,502925	0,576957	0,495049
EET	Linear	1	40894,939231	0,164643ns	1028,922541	245,127961	2759,702811ns	24,734574ns
	Quadrático	1	4783,347813*	0,000029ns	13,790280*	65,215620	991,626113ns	12,900091ns
	Cúbico	1	1802,656998	0,159723ns	2,720862	20,936409*	174,111772ns	27,399027ns
	Desvio	1	4083,794808	0,452074	91,126147	3,300890	2189,185634	4,947639
	Erro	30	0,489413	0,004951	0,492507	0,502925	0,576957	0,495049
	Linear	1	-	-	-	-	-	-
	Quadrático	1	-	-	-	-	-	-
	Cúbico	1	-	-	-	-	-	-
	Desvio	1	-	-	-	-	-	-
	Erro	30	-	-	-	-	-	-

*Significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo.

Tabela 43. Resumo da análise de variância da regressão para a concentração de micronutrientes (boro, cobre, ferro, manganês e zinco) no solo, após o experimento com a cultura da soja, com valores dos quadrados médios (QM) e respectivas significâncias (3ª época).

		QM					
FV		GL	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Parcela		1	-	0,015210 ns	101,410403*	0,001690 ns	32,815322 ns
Erro 1		6	-	0,033343	3,334596	0,033703	23,532246
Subparcela		4	-	13,079585*	455,505204*	3,544019*	2971,481884*
Parcela X Subparcela		4	-	0,106785*	9,389009*	0,129284*	51,147704 ns
Erro 2		24	-	0,000285	0,016606	0,000301	22,511794
Total		39	-				
CV 1 (%)			-	7,13	5,25	10,72	14,41
CV 2 (%)			-	0,66	0,37	1,01	14,09
Média			-	2,5595000	34,7982500	1,7125000	33,6752500
Ajuste dos modelos							
FV		GL					
AP	Linear	1	-	26,886669	775,259288	8,358033	-
	Quadrático	1	-	0,008995*	46,273246*	0,356296	-
	Cúbico	1	-	0,088116	0,898940	0,047265*	-
	Desvio	1	-	0,120099	2,937946	0,001736	-
	Erro	30	-	0,005008	0,490605	0,005073	-
EET	Linear	1	-	24,856243	979,990988	5,654453*	-
	Quadrático	1	-	0,172355*	20,991303*	0,025621	-
	Cúbico	1	-	0,130567	0,700041	0,019583	-
	Desvio	1	-	0,482435	32,525098	0,230222	-
	Erro	30	-	0,005008	0,490605	0,005073	-
	Linear	1	-	-	-	-	11805,664928*
	Quadrático	1	-	-	-	-	0,663023
	Cúbico	1	-	-	-	-	36,700083
	Desvio	1	-	-	-	-	42,899501
	Erro	30	-	-	-	-	22,511794

*Significativo à 5% de probabilidade; ns = não significativo.