

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

**“EFEITO DA INCORPORAÇÃO DE LODO DE ESGOTO SOBRE A
FUSARIOSE DO MILHO”**

NARA LÚCIA PERONDI FORTES

Orientadora: Dra. Raquel Ghini

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas – UNESP, Campus de Botucatu, para
obtenção do título de Doutor em Agronomia - Área
de Concentração em Proteção de Plantas.

BOTUCATU-SP
Dezembro- 2004

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

F738e Fortes, Nara Lúcia Perondi, 1965-
Efeito da incorporação do lodo de esgoto sobre a
fusariose do milho / Nara Lúcia Perondi Fortes. --
Botucatu, [s.n.], 2004.
xvi, 130 f. : gráfs., tabs.

Tese (Doutorado) -- Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrônômicas.
Orientador: Raquel Ghini.
Inclui bibliografia.

1. Lodo de esgoto. 2. Fusarium. 3. Milho. 4. Matéria
orgânica. I. Ghini, Raquel. II. Universidade Estadual
Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu).
Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

CDD 633.1594

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: “EFEITO DA INCORPORAÇÃO DE LODO DE ESGOTO
SOBRE A FUSARIOSE DO MILHO”**

ALUNA: NARA LÚCIA PERONDI FORTES

ORIENTADORA: DRA. RAQUEL GHINI

Aprovado pela Comissão Examinadora:

DRA. RAQUEL GHINI

PROF. DR. WAGNER BETTIOL

PROF. DR. NILTON LUIZ DE SOUZA

PROF. DR. IDALMIR DOS SANTOS

DRA. GISELE MARIA FANTIN

Data de Realização:

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Campus de Botucatu (UNESP), pelas condições oferecidas.

À Dra. Raquel Ghini, pela orientação, estímulo, amizade e confiança durante o desenvolvimento deste trabalho.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo, sem a qual não seria possível a realização deste curso.

À Universidade de Taubaté (UNITAU), pela oportunidade proporcionada para realização deste curso.

À Embrapa Meio Ambiente, pelo oferecimento do campo experimental para a realização dos experimentos.

Aos professores do curso de Proteção de Plantas, pelos conhecimentos transmitidos.

Ao pesquisador e professor Dr. Wagner Bettiol, pela ajuda e sugestões no decorrer do trabalho.

Aos colegas do curso de Pós-Graduação, em especial, Michele, Márcia, Cris, pelo carinho e amizade.

Aos meus amigos e colegas do laboratório de Microbiologia Agrícola e Fitopatologia, da Universidade de Taubaté, Eliana, Ana Paula, Kelli, Valéria, Diego, Ricardo, Vinícius e Vladimir, pela ajuda nos trabalhos de Laboratório.

Aos meus amigos Ana Paula Dib, Rose, Maurinho, Maristela, Saulo, Aline, Beth e Helen pela amizade, confiança e estímulo na realização do trabalho.

Aos meus pais, pelo incentivo, apoio, dedicação e colaboração para prosseguir estudando.

Ao Paulo, pelo carinho e por toda dedicação e colaboração durante o curso e pelo auxílio e sugestões nos trabalhos.

À Isabella, pela alegria e confiança de continuar sempre.

SUMÁRIO

	Página
1 RESUMO.....	16
2 SUMMARY	18
3 INTRODUÇÃO	20
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	22
4.1 Podridão de <i>Fusarium</i> spp. em milho.....	22
4.2 Fatores abióticos e bióticos do solo na ocorrência de <i>Fusarium</i> spp.	24
4.3 Adição de matéria orgânica e <i>Fusarium</i> spp. no solo.....	28
4.4 Lodo de esgoto e a ocorrência de patógenos veiculados pelo solo.....	30
5 MATERIAL E MÉTODOS	34
5.1 Instalação do experimento	34
5.2 Característica do solo.....	35
5.3 Caracterização do lodo de esgoto	35
5.4 Aplicação do lodo de esgoto, fertilizante mineral e semeadura do milho	35
5.5 Período de amostragem e preparo das amostras de solo.....	36
5.6 Características químicas do solo e da rizosfera	38
5.7 Características microbiológicas.....	40
5.7.1 Quantificação de <i>Fusarium</i> spp. no solo e rizosfera.....	40
5.7.2 Ocorrência de <i>Fusarium</i> spp. na raiz e no colmo	40
5.7.3 Quantificação de bactérias e fungos	41
5.8 Avaliação da ocorrência da doença no campo.....	41
5.8.1 Plantas com sintomas de podridão no colmo.....	41
5.8.2 Espigas com sintomas de podridão	42
5.8.3 Avaliação da ocorrência de <i>Fusarium</i> spp. nas sementes de milho.....	42
5.9 Análise estatística	42
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
6.1 Composição química do solo tratado com lodo de esgoto	43
6.2 Bactérias e fungos no solo tratado com lodo de esgoto.....	68
6.3 <i>Fusarium</i> spp. no solo tratado com doses de lodo de esgoto.....	74
6.4 <i>Fusarium</i> spp. na rizosfera de milho tratado com lodo de esgoto	81

6.5 <i>Fusarium</i> spp. na raiz de milho	87
6.6 Isolamento de <i>Fusarium</i> spp. no colmo de milho.....	93
6.7 Plantas com sintomas de podridão no colmo.....	100
6.8 Espigas de milho com sintomas de podridão.....	109
6.9 Ocorrência de <i>Fusarium</i> spp. em sementes	110
6.10 Produção de milho	115
7 CONCLUSÕES.....	117
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Variação do pH na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com dose de lodo de esgoto de Franca (♦,–) e Barueri (Δ,--), antes (A) e após 30(B), 60(C), 90(D) e 120(E) dias da adição de lodo no ano agrícola de 2001/2002.....	47
2. Variação da matéria orgânica (MO) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com dose de lodo de esgoto de Franca (♦,–) e Barueri (Δ,--), antes (A) e após 30(B), 60(C), 90(D) e 120(E) dias da adição de lodo no ano agrícola de 2001/2002.....	48
3. Variação do fósforo (P) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com dose de lodo de esgoto de Franca (♦,–) e Barueri (Δ,--), antes (A) e após 30(B), 60(C), 90(D) e 120(E) dias da adição de lodo no ano agrícola de 2001/2002.....	49
4. Variação do potássio (K) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com dose de lodo de esgoto de Franca (♦,–) e Barueri (Δ,--), antes (A) e após 30(B), 60(C), 90(D) e 120(E) dias da adição de lodo no ano agrícola de 2001/2002.....	50
5. Variação do magnésio (Mg) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com dose de lodo de esgoto de Franca Franca (♦,–) e Barueri (Δ,--), antes (A) e após 30(B), 60(C), 90(D) e 120(E) dias da adição de lodo no ano agrícola de 2001/2002.....	51
6. Variação do cálcio (Ca) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com dose de lodo de esgoto de Franca (♦,–) e Barueri (Δ,--), antes (A) e após 30(B), 60(C), 90(D) e 120(E) dias da adição de lodo no ano agrícola de 2001/2002.....	52
7. Variação do amônio (NH ₄) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com dose de lodo de esgoto de Franca (♦,–) e Barueri (Δ,--), antes (A) e após 30(B), 60(C), 90(D) e 120(E) dias da adição de lodo no ano agrícola de 2001/2002.....	53
8. Variação do (NO ₃) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com dose de lodo de esgoto de Franca (♦,–) e Barueri (Δ,--), antes (A) e após 30(B), 60(C), 90(D) e 120(E) dias da adição de lodo no ano agrícola de 2001/2002.	54

9. Variação da condutividade elétrica (CE) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com dose de lodo de esgoto de Franca (♦,–) e Barueri (Δ,--), antes (A) e após 30(B), 60(C), 90(D) e 120(E) dias da adição de lodo no ano agrícola de 2001/2002.....55
10. Variação da capacidade de troca de cátions (CTC) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com dose de lodo de esgoto de Franca (♦,–) e Barueri (Δ,--), antes (A) e após 30(B), 60(C), 90(D) e 120(E) dias da adição de lodo no ano agrícola de 2001/2002.56
11. Variação da acidez potencial (H + Al) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com dose de lodo de esgoto de Franca (♦,–) e Barueri (Δ,--), antes (A) e após 30(B), 60(C), 90(D) e 120(E) dias da adição de lodo no ano agrícola de 2001/2002.....57
12. Variação da saturação de bases (V) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com dose de lodo de esgoto de Franca (♦,–) e Barueri (Δ,--), antes (A) e após 30(B), 60(C), 90(D) e 120(E) dias da adição de lodo no ano agrícola de 2001/2002.....58
13. Variação da soma de bases (S) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com dose de lodo de esgoto de Franca (♦,–) e Barueri (Δ,--), antes (A) e após 30(B), 60(C), 90(D) e 120(E) dias da adição de lodo no ano agrícola de 2001/2002.....59
14. Variação do pH, matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo rizosférico tratado com doses de lodo de esgoto de Franca (♦,–) e Barueri (Δ,--), aos 90 (A,C,E e G) dias e 120 (B,D,F e H) dias após a semeadura do milho no ano agrícola de 2001/2002.....60
15. Variação do magnésio (Mg), Cálcio (Ca), amônio (NH₄) e nitrato (NO₃) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo rizosférico tratado com doses de lodo de esgoto de Franca (♦, –) e Barueri (Δ, --) aos 90 (A,C,E e G) dias e 120 (B,D,F e H) dias após a semeadura do milho no ano agrícola de 2001/2002.....61
16. Variação da condutividade elétrica (C.E), capacidade de troca de cátions (CTC), acidez potencial (H+Al), saturação de bases (V) na camada de 0 a 20 cm de

profundidade de solo rizosférico tratado com doses de lodo de esgoto de Franca (♦,–) e Barueri (Δ,–) aos 90 (A,C,E e G) dias e 120 (B,D,F e H) dias após a semeadura do milho no ano agrícola de 2001/2002.	62
17. Variação da soma de bases (S) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo rizosférico tratado com doses de lodo de esgoto de Franca (♦,–) e Barueri (Δ,–) aos 90 (A,C,E e G) dias e 120 (B,D,F e H) dias após a semeadura do milho no ano agrícola de 2001/2002.	63
18. Variação do pH, matéria orgânica (MO), fósforo (P), cálcio (Ca), potássio (K) e magnésio (Mg) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com doses de lodo de esgoto de Franca (♦,–) e Barueri (Δ,–) a 90 dias após a semeadura do milho, no ano agrícola de 2002/2003.	64
19. Variação da condutividade elétrica (CE), amônia (NH ₄), nitrato (NO ₃), capacidade de troca de cátions (CTC), acidez trocável (H+Al), soma de bases (S) e saturação de bases (V) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com doses de lodo de esgoto de Franca (♦,–) e Barueri (Δ,–) a 90 dias após a semeadura do milho, no ano agrícola de 2002/2003.	65
20. Variação do pH, matéria orgânica (MO), fósforo (P), cálcio (Ca), potássio (K) e magnésio (Mg) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo rizosférico tratado com doses de lodo de esgoto de Franca (♦,–) e Barueri (Δ,–) a 90 dias após a semeadura do milho, no ano agrícola de 2002/2003.	66
21. Variação da CE (condutividade elétrica), amônia (NH ₄), nitrato (NO ₃), capacidade de troca de cátions (CTC), acidez trocável (H+Al), soma de bases (S) e saturação de bases (V) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo rizosférico tratado com doses de lodo de esgoto de Franca (♦,–) e Barueri (Δ,–) a 90 dias após a semeadura do milho, no ano agrícola de 2002/2003.	67
22. Variação de bactérias na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com dose de lodo de esgoto de Franca (♦,–) e Barueri (Δ,–), antes (A) e após 30(B), 60(C), 90(D) e 120(E) dias após a adição de lodo no ano agrícola de 2001/2002.	70

23. Variação de fungos na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com dose de lodo de esgoto de Franca (♦,–) e Barueri (Δ,--), antes (A) e após 30(B), 60(C), 90(D) e 120(E) dias após a adição de lodo, no ano agrícola de 2001/2002. 71
24. Variação de bactérias e fungos na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo rizosférico tratado com dose de lodo de esgoto de Franca (♦,–) e Barueri (Δ,--), aos 90 dias (A e C) e os 120 dias (B e D) após a semeadura do milho no ano agrícola de 2001/2002. 72
25. Variação de bactérias e fungos na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com dose de lodo de esgoto de Franca (♦,–) e Barueri (Δ,--), aos 90 dias após a semeadura do milho, no ano agrícola de 2002/2003. 73
26. Variação de bactérias e fungos na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo rizosférico tratado com dose de lodo de esgoto de Franca (♦,–) e Barueri (Δ,--), aos 90 dias após a semeadura do milho, no ano agrícola de 2002/2003. 74
27. Variação de *Fusarium* spp. na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com dose de lodo de esgoto de Franca (♦,–) e Barueri (Δ,--), antes (A) e após 30(B), 60(C), 90(D) e 120(E) dias após a adição de lodo, no ano agrícola de 2001/2002. 78
28. Comunidade *Fusarium* spp. x 10⁴ g de solo⁻¹, determinada na camada de 0-20 cm de profundidade de solo 90 dias após a adição de doses de lodo de Franca (♦,–) e Barueri (Δ,--), no ano agrícola de 2002/2003. 79
29. Variação de *Fusarium* spp. na rizosfera de milho aos 90 (♦,–) e 120 (Δ,--) dias após a aplicação de doses de lodo de esgoto de Franca, no ano agrícola de 2001/2002. 84
30. Variação de *Fusarium* spp. na rizosfera de milho aos 90 (♦,–) e 120 (Δ,--) dias após a aplicação de doses de lodo de esgoto de Barueri, no ano agrícola de 2001/2002. 84
31. Variação de *Fusarium* spp. na rizosfera de milho aos 90 dias após a aplicação de doses de lodo de esgoto de Franca (♦,–) e Barueri (Δ,--), no ano agrícola de 2002/2003. 85

32. Porcentagem de raízes colonizadas com <i>Fusarium</i> spp. em milho cultivado com lodo de esgoto de Franca 40 (♦,–) e 90 (Δ,–) dias após a semeadura, no ano agrícola de 2001/2002.	90
33. Porcentagem de raízes colonizadas com <i>Fusarium</i> spp. em milho cultivado com lodo de esgoto de Barueri 40 (♦,–) e 90 (Δ,–) dias após a semeadura, no ano agrícola de 2001/2002.	90
34. Incidência (%) de <i>Fusarium</i> spp. em fragmentos de colmo de milho cultivado com lodo de esgoto de Franca, aos 40 (♦,–) e 90 (Δ,–) dias após a semeadura, no ano agrícola de 2001/2002.	97
35. Incidência (%) de <i>Fusarium</i> spp. em fragmentos de colmo de milho cultivado com lodo de esgoto de Barueri, aos 40 (♦,–) e 90 (Δ,–) dias após a semeadura, no ano agrícola de 2001/2002.	97
36. Percentual de plantas doentes com podridões no colmo em solo tratado com doses de lodo de esgoto de Franca (♦,–) e Barueri (Δ,–), no ano agrícola de 2001/2002, aos 120 dias após a semeadura do milho.	102
37. Percentual de plantas doentes com podridões no colmo em solo tratado com doses de lodo de esgoto de Franca (♦,–) e Barueri (Δ,–), no ano agrícola de 2002/2003, aos 120 dias após a semeadura do milho.	104
38. Incidência de espigas com sintoma de podridão (%) em solo tratado com doses de lodo de esgoto de Franca (♦,–) e Barueri (Δ,–), no ano agrícola de 2001/2002.	109
39. Incidência de espigas com sintoma de podridão (%) em solo tratado com doses de lodo de esgoto de Franca (♦,–) e Barueri (Δ,–), no ano agrícola de 2002/2003.	110
40. Ocorrência de sementes contaminadas (%) com <i>Fusarium</i> spp., de plantas de milho cultivadas em solo tratado com doses de lodo de esgoto de Franca (♦,–) e Barueri (Δ,–), no ano agrícola de 2001/2002.	112
41. Ocorrência de sementes contaminadas (%) com <i>Fusarium</i> spp., de plantas de milho cultivadas em solo tratado com doses de lodo de esgoto de Franca (♦,–) e Barueri (Δ,–), no ano agrícola de 2002/2003.	113
42. Produção de grãos de milho cultivados em solo fertilizados com doses de lodo de esgoto de Franca 2 (♦,–) e Barueri (Δ,–), no ano agrícola de 2001/2002.	115

43. Produção de grãos de milho cultivados em solo fertilizados com doses de lodo de esgoto de Franca (♦,-) e Barueri (Δ,--), no ano agrícola de 2002/2003.	116
---	-----

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1. Características químicas dos lodos de esgotos das Estações de Tratamento de Esgoto de Franca e de Barueri, localizadas no estado de São Paulo, utilizados nos dois plantios de milho.	37
2. Quantidade de lodo de esgoto e de N, P ₂ O ₅ e K ₂ O aplicados via fertilizantes minerais nos dois cultivos de milho nos anos agrícolas 2001/2002 e 2002/2003.	38
3. Períodos de amostragens para a coleta de amostras de solo não-rizoférico e rizoférico, determinações de <i>Fusarium</i> spp, bactérias e fungos, e avaliação de doença, nos anos agrícolas de 2001/2002 e 2002/2003.	39
4. População de <i>Fusarium</i> spp. (10 ⁴ ufc.g ⁻¹ solo seco) no solo não-rizoférico sem e com a adição de doses de lodo de esgoto de Franca, no ano agrícola de 2001/2002 (Médias de 3 repetições).	75
5. Comunidade de <i>Fusarium</i> spp. (10 ⁴ ufc.g ⁻¹ solo seco) no solo não-rizoférico sem e com a adição de doses de lodo de esgoto de Barueri, no ano agrícola de 2001/2002 (Médias de 3 repetições).	76
6. Correlação entre atributos químicos do solo fertilizado com lodo de esgoto das Estações de Tratamento de Esgoto de Franca e de Barueri e a ocorrência de <i>Fusarium</i> spp no solo, nos anos agrícolas de 2001/2002 e 2002/2003.	79
7. Correlação entre a composição química do solo com a comunidade de bactérias e fungos no solo, nos anos agrícolas de 2001/2002 e 2002/2003.	80
8. Comunidade de <i>Fusarium</i> spp. na rizosfera de solo com e sem aplicação de doses de lodo de Franca e adubação mineral, no ano agrícola de 2001/2002 (Médias de 3 repetições).	82
9. Comunidade de <i>Fusarium</i> spp. na rizosfera de plantas de milho cultivadas em solo com e sem aplicação de doses de lodo de Barueri e adubação mineral, no ano agrícola de 2001/2002 (Médias de 3 repetições).	83
10. Correlação entre atributos químicos do solo fertilizado com lodo de esgoto das Estações de Tratamento de Esgoto de Franca e de Barueri e a ocorrência de <i>Fusarium</i> spp na rizosfera, nos anos agrícolas de 2001/2002 e 2002/2003.	86

11. Correlação entre doses de lodo de esgoto das Estações de Tratamento de Esgoto de Franca e de Barueri com a comunidade de bactérias e fungos no solo, nos anos agrícolas de 2001/2002 e 2002/2003.....	86
12. Incidência (%) de <i>Fusarium</i> spp. em fragmentos de raízes de milho colonizadas com <i>Fusarium</i> spp. provenientes de parcelas com diferentes doses de lodo de esgoto de Franca e adubação mineral, aos 40 e 90 dias após o plantio de milho, no ano agrícola de 2001/2002 (Médias de 3 repetições).	88
13. Incidência (%) de <i>Fusarium</i> spp. em fragmentos de raízes de milho provenientes de parcelas com diferentes doses de lodo de esgoto de Barueri e adubação mineral, aos 40 e 90 dias após o plantio de milho, no ano agrícola de 2001/2002 (Médias de 3 repetições).	89
14. Correlação linear simples entre a ocorrência de <i>Fusarium</i> spp. na raiz e características químicas do solo e da rizosfera aos 90 dias após a aplicação de doses de lodo de esgoto de Franca, no ano agrícola de 2001/2002.	91
15. Correlação linear simples entre a ocorrência de <i>Fusarium</i> spp. na raiz e as características químicas do solo e da rizosfera aos 90 dias após a aplicação de doses de lodo de esgoto de Barueri, no ano agrícola de 2001/2002.	92
16. Correlação linear simples entre a ocorrência de <i>Fusarium</i> spp. na raiz e <i>Fusarium</i> spp., bactérias e fungos no solo e na rizosfera aos 90 dias após a aplicação de doses de lodo de Franca e Barueri, no ano agrícola de 2001/2002.	93
17. Porcentagem de fragmentos de colmo de milho colonizado com <i>Fusarium</i> spp. nas parcelas com e sem aplicação de doses de lodo de Franca e adubação mineral aos 40 e 90 dias após o plantio de milho, no ano agrícola de 2001/2002 (Médias de 3 repetições).....	94
18. Porcentagem de fragmentos de colmo de milho colonizado com <i>Fusarium</i> spp. nas parcelas com e sem aplicação de doses de lodo de Barueri e adubação mineral aos 40 e 90 dias após o plantio de milho, no agrícola de 2001/2002 (Médias de 3 repetições).....	95
19. Correlação entre atributos químicos do solo fertilizado com lodo de esgoto das Estações de Tratamento de Esgoto de Franca e de Barueri e o crescimento de	

<i>Fusarium</i> spp. em fragmentos de colmo de milho, nos anos agrícolas de 2001/2002 e 2002/2003.	98
20. Correlação entre atributos químicos da rizosfera de solo fertilizado com lodo de esgoto das Estações de Tratamento de Esgoto de Franca e de Barueri e o crescimento de <i>Fusarium</i> spp, no colmo, nos anos agrícolas d e 2001/2002 e 2002/2003.	99
21. Correlação linear simples entre crescimento de <i>Fusarium</i> spp. no colmo e <i>Fusarium</i> spp., bactérias e fungos no solo aos 90 dias após a aplicação de doses de lodo de Franca e Barueri, nos anos agrícolas de 2001/2002.	99
22. Correlação linear simples entre crescimento de <i>Fusarium</i> spp. no colmo e <i>Fusarium</i> spp., bactérias e fungos na rizosfera aos 90 dias após a aplicação de doses de lodo de Franca e Barueri, nos anos agrícolas de 2001/2002.	100
23. Porcentagem de plantas de milho com sintomas de podridão no colmo cultivado em parcelas com e sem aplicação de doses de lodo de Franca e Barueri e adubação mineral 120 dias após o plantio de milho, no ano agrícola de 2001/2002 (Médias de 3 repetições).....	102
24. Correlação entre atributos químicos do solo fertilizado com lodo de esgoto das Estações de Tratamento de Esgoto de Franca e de Barueri e a incidência de plantas de milho com sintoma de podridão do colmo causada por <i>Fusarium</i> spp., nos anos agrícolas de 2001/2002 e 2002/2003.	106
25. Correlação entre atributos químicos da rizosfera de solo fertilizado com lodo de esgoto das Estações de Tratamento de Esgoto de Franca e de Barueri e a incidência de plantas doentes, nos anos agrícolas de 2001/2002 e 2002/2003.	107
26. Correlação linear simples entre plantas com podridão no colmo e <i>Fusarium</i> spp. no solo, rizosfera e no colmo aos 90 dias após a aplicação de doses de lodo de Franca e Barueri, nos anos agrícolas de 2001/2002.	108
27. Porcentagem de sementes colonizadas com <i>Fusarium</i> spp. provenientes de milho fertilizado com lodo de Franca e Barueri e adubação mineral 120 dias após a semeadura do milho, no ano agrícola de 2001/2002 (Médias de 3 repetições)	111

28. Correlação entre atributos químicos do solo fertilizado com lodo de esgoto das Estações de Tratamento de Esgoto de Franca e de Barueri e a incidência de sementes doentes, nos anos agrícolas de 2001/2002 e 2002/2003. 114
29. Correlação entre atributos químicos da rizosfera de solo fertilizado com lodo de esgoto das Estações de Tratamento de Esgoto de Franca e de Barueri e a incidência de sementes doentes, nos anos agrícolas de 2001/2002 e 2002/2003. 114

1 RESUMO

O trabalho objetivou verificar os fatores químicos e microbiológicos do lodo de esgoto e do solo responsáveis pela incidência da podridão do colmo do milho, causada por *Fusarium* em solo fertilizado com lodo, e foi desenvolvido em condições de campo, numa área que vem sendo tratada com lodo e cultivada com milho desde 1999 em latossolo vermelho distróférrico (textura argilosa), localizada no município de Jaguariúna/SP. Os dois lodos utilizados foram obtidos nas Estações de Tratamento de Esgoto de Franca e de Barueri/SP. Os lodos foram incorporados ao solo nas concentrações de 0, 1, 2, 4 e 8 vezes a dose recomendada com base no teor de nitrogênio, em dois cultivos sucessivos de milho (Savana 133S) nas safras 2001/2002 e 2002/2003, em parcelas de 200 m². As doses de lodo foram comparadas com a adubação mineral recomendada para a cultura do milho. Os tratamentos foram distribuídos em delineamento experimental casualizado em blocos e com três repetições. Foram verificadas, nas safras de 2001/2002 e 2002/2003, diferenças significativas entre as doses de lodo de esgoto, sobre a variação de *Fusarium* spp. no solo, na rizosfera, na raiz, no colmo e na semente, bem como sobre a incidência de plantas com podridão no colmo e nas espigas. As análises de regressão mostraram que a porcentagem de plantas doentes foi positivamente correlacionada com a concentração dos lodos incorporados ao solo. Os coeficientes de determinação para o cultivo de 2001/2002 foram de $R^2=0,61$ e $R^2=0,32$, enquanto para o cultivo de 2002/2003 foram de $R^2=0,76$ e $R^2=0,45$, para os lodos de Franca e Barueri, respectivamente. As concentrações de lodos também apresentaram

correlação positiva com a comunidade de *Fusarium* do solo e da rizosfera e com a incidência de *Fusarium* na raiz, no colmo e na semente. As correlações entre a comunidade de *Fusarium* do solo e da rizosfera e o percentual de plantas doentes com os atributos químicos do solo foram significativas e positivas, para os dois tipos de lodos ao nível de 1 e 5%, para o teor de fósforo, cálcio, condutividade elétrica, CTC, N-amônio e N-nitrato, nos dois anos de cultivos.

2 SUMMARY

The effect of the swage sludge incorporation about the corn fusariose. Botucatu, 2004.130. Tese (Doutorado em Agronomia/Proteção de Plantas) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: Nara Lúcia Perondi Fortes

Advisor: Dr. Raquel Ghini

This work aimed at verifying the chemical and microbiological sewage sludge and soil factors re

Osponsible for the incidence of the corn stalk rot caused by *Fusarium* in soil fertilized with sludge and has been developed in field conditions, in an area that has been treated with sludge and cultivated with corn since 1999, in red dystroferric latosol (clayey texture), in Jaguariúna/SP. Both sludges used were obtained in the sewage sludge treatment stations of Franca and Barueri/SP. Sludges were incorporated into the soil in concentrations of 0, 1, 2, 4 and 8 times in relation to the recommended rate based on the nitrogen contents, in two successive corn cultures (Savana 133S), in 2001/2002 and 2002/2003, in plots of 200 m². Sludge doses were compared to the mineral fertilization recommended to the corn culture. The treatments were distributed in a randomized design experimental drawing in blocks and with

three repetitions. Significant differences were verified in both 2001/2002 and the 2002/2003 crops among the sewage sludge doses about the variation of *Fusarium* spp. in soil, root, stalk and seed, as well as about the incidence of plants with stalk and corn rot. The regression analyses have showed that the percentage of diseased plants was positively correlated to the concentration of the sludges incorporated to the soil. The determination coefficients to the 2001/2002 culture were $R^2=0.61$ and $R^2=0.32$, while the 2001/2003 culture showed $R^2=0.76$ and $R^2=0.45$, to Franca and Barueri sludges, respectively. The sludges concentrations also presented positive correlation with the *Fusarium* community of the soil and the rhizosphere, and with the incidence of *Fusarium* in the root, stalk and seed. The correlations between the *Fusarium* community of the soil and rhizosphere and the percentage of diseased plants with chemical soil attributes were significant and positive, for both kinds of sludges, in the level of 1 and 5%, to phosphorus and calcium contents, electrical conductivity, CEC, N-ammonium and N-nitrate, during both culture years.

Keywords: Sewage sludge, *Zea mays*, *Fusarium* spp., organic matter, soilborne pathogen, corn stalk rot, biossolid.

3 INTRODUÇÃO

O uso agronômico de lodo de esgoto é uma prática que vem sendo utilizada desde 1925, nos Estados Unidos e em alguns países da Europa, como uma forma alternativa para a disposição final desse resíduo. Essa técnica tem como princípio o fato de que o lodo apresenta em sua composição química alguns nutrientes importantes para a nutrição mineral das plantas e matéria orgânica para o solo. Porém, também contém metais pesados, compostos orgânicos persistentes e organismos patogênicos, ao homem o que exige alguns cuidados durante a sua utilização em áreas agrícolas e florestas.

A reciclagem agrícola do lodo, quando praticada dentro de critérios ambientais e sanitários adequados, apresenta uma série de vantagens, tais como: redução do custo operacional da estação de tratamento e do aterro sanitário, aumento do tempo de vida útil do aterro sanitário e melhorias nas condições de fertilidade do solo e nutrição de plantas.

A experiência brasileira a respeito do uso agrícola de lodo de esgoto é praticamente recente, e os trabalhos de pesquisas intensificaram-se a partir da segunda metade da década de 90 e, nesse período, inclusive, foi elaborada a norma CETESB 4.230, com o objetivo de regulamentar no estado de São Paulo a aplicação de lodo em áreas agrícolas.

Os trabalhos referentes à utilização agrícola de lodo, em sua maioria, relatam sobre a avaliação da qualidade agronômica, levando em consideração a fertilidade do solo e o rendimento das culturas agrícolas, e a verificação do potencial do lodo em liberar agentes contaminantes para o solo e planta. Contudo, apesar de a incorporação do lodo provocar alterações nas características químicas e microbiológicas do solo, responsáveis pela indução da condutividade e/ou supressividade a fitopatógenos, são poucos os estudos realizados para avaliar a ocorrência de doenças provocadas por fungos fitopatogênicos em solos tratados com lodo.

No Brasil, o primeiro trabalho com o uso de lodo de esgoto no controle de fitopatógenos foi realizado por Bettiol & Krüger (1984), no qual foi verificado que a severidade da podridão de raiz do sorgo causada por *Pythium arrhenomanes* diminuiu com o aumento das doses de lodo incorporadas ao solo. Entre os fitopatógenos mais estudados para avaliar o efeito do lodo de esgoto sobre a severidade das doenças, destacam-se o *Pythium* e a *Rhizoctonia* (Lumsden, et al., 1983; Lewis, et al., 1992; Craft, et al., 1996; Dissanayake & Hoy, 1999).

A resposta dos fitopatógenos à aplicação de lodo no solo é variada e depende das espécies do patógeno e do hospedeiro, da composição química do lodo e da característica química do solo. Assim, foi verificado que a adição de lodo se mostrou eficiente no controle da murcha de *Fusarium* em manjerição, causada por *Fusarium oxysporum* Schlecht; na podridão de raiz em pimentão, causada por *Phytophthora capsici* Leoniam; “damping-off”, causado por *Rhizoctonia solani* Kuhn e *Pythium ultimum* Trow, em pereira e algodão; podridão de esclerotínea em alface, causada por *Sclerotinia minor* (Lib) de Bary; “damping-off” e podridão em plantas de feijão, causados por *Sclerotium rolfsii* Sacc; podridão em raízes de cana, causada por *Pythium arrhenomanes*; e podridões de raízes em mudas de limão cravo, causadas por *Phytophthora nicotianae* (Millner, et al. 1982; Lumsden, et al. 1983; Lumsden, et al. 1986; Lewis, et al. 1992; Dissanayake & Hoy, 1999; Santos & Bettiol, 2003; Leoni & Ghini, 2003). Por outro lado, alguns trabalhos têm revelado que o uso do lodo tem estimulado o desenvolvimento de fitopatógenos e o favorecimento da ocorrência de doenças, como, por exemplo, *Pythium ultimum* e *Fusarium solani* f. sp. pisi no tombamento em ervilha; podridão do colo em macieira, causada por *Phytophthora cactorum*; podridão do colmo em milho, causada por *Gibberella* e por *Fusarium* (McIlveen & Cole, 1977; Lumsden et al. 1983; Utkhede, 1984; Bettiol, 2004).

Com base no exposto, o presente trabalho teve como objetivo verificar quais os fatores do lodo e do solo são responsáveis pela ocorrência de *Fusarium* spp. no solo, na rizosfera, na raiz, no colmo e na semente de milho, e também avaliar a campo a incidência de podridão no colmo e nas espigas de plantas de milho fertilizadas com lodo de esgoto de Franca e Barueri.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Podridão de *Fusarium* spp. em milho

As podridões de raízes, de colmo e de espigas em milho são doenças causadas entre outros, pelo fungo *Fusarium verticillioides* Sheld. [Teleomorfa: *Gibberella moniliformis* (Sheld) Wineland; sin=G. Fujikuroi (Saw.)Wr.] e *Fusarium verticillioides* var. *subglutinans* (Wr & Reik.) (Booth, 1971; Marasas et al., 1979). Por ser um organismo polimórfico, na forma de *Gibberella moniliformis*, o fungo desenvolve um tipo de frutificação chamado peritécio, no qual há a reprodução sexual do organismo. Os peritécios são globosos, lisos e negro-azulado. As ascas são oblongas, 75-100 x 10-16 mm, contendo oito ascosporos, retos, extremidades afiladas, com constrição nos septos, a maioria com septos medindo 4,5-7,0 x 12-17 μm e arranjados em duas filas irregulares. O estágio perfeito de *Fusarium verticillioides* é raramente observado na natureza, não se tendo encontrado nenhuma referência de sua ocorrência no Brasil. Na forma de *Fusarium verticillioides*, tipicamente, apenas conídios em esporodóquios são produzidos. Os macroconídios do fungo são raros, hialinos, medindo de 2,5-5 x 15-60 μm de tamanho, curvados nas extremidades e com três a cinco septos. Os microconídios são abundantes, medindo 2-3 x 5-12 μm de tamanho e são unicelulares, não produzem clamidósporos. O pigmento da cultura é de pêssego-salmão para violeta (Booth, 1971; Nelson, et al., 1983; Reis & Casa, 1996).

A doença manifesta-se somente após a polinização, quando essa fase é antecedida por período seco, seguido por tempo chuvoso, e se torna mais severa à medida que a planta atinge o estágio da maturação. Os sintomas, porém, são mais notáveis e característicos na medula, na qual há uma descoloração de branco-rosada a rosa-salmão. A quebra do colmo e a maturação prematura são sintomas da doença. Comumente, a Podridão de *Fusarium* é diagnosticada por eliminação de sinais, pois, quando nem os peritécios de *Gibberella* nem os picnídios de *Diplodia* estão presentes, a podridão é atribuída a *Fusarium moniliforme*, isso porque não ocorrem sinais do patógeno que auxiliem uma diagnose mais facilmente (Reis & Casa, 1996; Pereira, 1997).

Dentre as condições do solo favoráveis ao desenvolvimento e ocorrência do patógeno, no estágio inicial da cultura, estão a alta umidade, temperaturas sub-ótimas para a germinação e a presença dos restos culturais na superfície do solo. A umidade associada às baixas temperaturas geralmente impede a germinação e reduz a velocidade de emergência das plântulas, propiciando assim maior exposição ao ataque do *Fusarium moniliforme*. Porém, na maioria dos casos, os restos culturais são a principal fonte de inóculo do *Fusarium moniliforme*, pois é sua única forma para sobreviver no solo, tendo em vista que o patógeno não produz clamidósporos. Essa habilidade de competição saprofítica permite que esse fungo permaneça viável por muito tempo no solo (Tanaka & Balmer, 1980; Reis & Casa, 1996; Costamilan et al., 1999).

No controle da doença, devido ao caráter inicial assintomático do patógeno, não se recomenda o uso de fungicidas; recomenda-se apenas o controle, pela utilização de cultivares resistentes, adubação equilibrada, principalmente de potássio, densidade de plantio e colheita na época apropriada (Pereira, 1997).

Considerando, portanto, as características da doença e as dificuldades de controle, os fatores do solo responsáveis pela indução da supressividade e conducividade devem ser estudados, para melhor compreensão dos aspectos responsáveis pela ocorrência da podridão do colmo de milho.

Em condições de solos naturalmente supressivos a *Fusarium*, a severidade da doença mantém-se estável, mesmo em presença de altas concentrações de inóculos no solo. Em solo conducente, porém, a severidade da doença aumenta mesmo em baixas concentrações de inóculo no solo (Alabouvette, 1986). Resultado similar também foi

observado anteriormente por Henis et al. (1979), que verificaram que a incidência de “damping-off” em rabanete foi 100% no solo com cinco propágulos de *Rhizoctonia solani* por grama de solo, ao passo que, no solo com 40 propágulos, a incidência foi 46%. Isso sugere, então, que a ocorrência da doença não está diretamente relacionada somente com a densidade de inóculo do patógeno no solo, mas sim com a interação dos fatores abióticos e bióticos do solo, que poderão prevenir o estabelecimento de fitopatógenos ou inibir as suas atividades patogênicas. Ou seja, a indução dos mecanismos de conduividade e supressividade é resultante da relação entre o hospedeiro, o patógeno, os antagonistas e as alterações químicas e físicas do solo.

4.2 Fatores abióticos e bióticos do solo na ocorrência de *Fusarium* spp.

Dentre os fatores abióticos do solo responsáveis pela indução da conduividade e/ou supressividade, estão: pH, textura, umidade, temperatura, cátions trocáveis, saturação por alumínio, teor de matéria orgânica e nitrogênio (Baker & Cook, 1974; Papandick & Cook, 1974; Amir & Alabouvette, 1993; Höpper et al., 1995; Höpper & Alabouvette, 1996; Michereff et al., 1996; Rodrigues et al., 1998). Esses fatores regulam a dinâmica da atividade microbiana, por meio da variação do pH, proporção entre argila e areia, teor de água, mudança de temperatura e disponibilização de nutrientes e formas nitrogenadas no solo. Alguns estudos confirmam que, geralmente em solos ácidos a conduividade a *Fusarium* spp. ocorre porque, nessas condições, a presença de íons de hidrogênio disponíveis no solo inibe o desenvolvimento de bactérias antagonistas; porém, também tem sido verificado que, com baixo pH, a supressividade pode ocorrer devido à ação antagonista do *Trichoderma* spp., que é favorecido pela condição de acidez do solo. Já em solos alcalinos, a tendência é de induzir a supressividade, pois as condições de neutralidade e alcalinidade favorecem o desenvolvimento de bactérias em número e diversidade e reduzem a disponibilidade de micronutrientes necessários para o desenvolvimento, produção de enzimas extracelulares, virulência e esporulação dos patógenos. (Scher & Baker, 1980; Trillas-Gay et al., 1986; Tivoli et al., 1990; Huber, 1989). Quanto à textura, Amir & Alabouvette (1993) verificaram que a adição de argila em um solo arenoso aumentou o nível de fungistase e a supressividade do solo

ao *Fusarium oxysporum*, e Oyarzun et al. (1998) observaram que solos com alto conteúdo de silte foram conducentes a *Thielaviopsis basicola*. Esses resultados sugerem que a supressividade está relacionada com o equilíbrio entre o oxigênio e a água no solo. Em relação à umidade, Liu & Baker (1980) constataram que os solos úmidos favoreceram o desenvolvimento de *Trichoderma* spp e, conseqüentemente, controlaram a *Rhizoctonia solani* em área cultivada com rabanete. Quanto à umidade e à temperatura, Tivoli et al. (1983) observaram que *Fusarium solani* var. *coeruleum*, *Fusarium roseum* var *sambucinum* e *Fusarium roseum arthosporioides* permaneceram no solo nas formas de conídios e micélios e persistiram por um longo período de tempo, mantendo a patogenicidade, quando a umidade variou entre 1,9 a 9,2% e a temperatura, entre 5 a 23°C. Já em condições de umidade entre 9,2 a 27,9% e temperatura entre 23 a 30°C, observaram uma redução acentuada na densidade das três espécies de *Fusarium*, devido à ocorrência da lise de conídios e inibição de esporos, provocada pelo desenvolvimento de bactérias no solo.

Quanto à presença de nutrientes minerais e ao desenvolvimento de *Fusarium* spp. no solo, Rodriques-Molina et al. (2000), analisando a ocorrência natural de *Fusarium oxysporum*, *F. solani*, *F. roseum* e *F. moniliforme* em amostras de solo coletadas em diferentes profundidades, constataram que esses fungos foram predominantes na camada superficial do solo, devido à maior disponibilidade de matéria orgânica, fósforo, nitrogênio e potássio. Esses resultados ressaltam a importância do conhecimento da dinâmica desses nutrientes no solo, com o objetivo de estabelecer os mecanismos químicos responsáveis pela supressividade e conducividade, pois esses elementos são importantes para a sobrevivência, germinação, penetração e virulência dos fitopatógenos. Assim, Höpper & Alabouvette (1995), em uma revisão sobre a importância das propriedades químicas do solo na indução da supressividade, verificaram que a disponibilização de alguns macro e micronutrientes pode favorecer a supressividade do solo às doenças causadas por *Aphanomyces* spp., *Fusarium oxysporum*, *F. roseum*, *F. solani*, *Gaeumannomyces graminis*, *Phytophthora* spp., *Plasmodiophora brassicae*, *Pythium* spp., *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium* spp., *Streptomyces scabies*, *Thielaviopsis basicola* e *Verticillium* spp.

Os estudos para a verificação da relação dos nutrientes sobre o desenvolvimento das doenças são baseados na evidência dos minerais em afetar a severidade

da doença, na comparação da concentração dos minerais nos tecidos de plantas suscetíveis e resistentes, e na correlação entre os minerais e a severidade da doença (Huber, 1989).

Dentre os nutrientes, o nitrogênio tem sido o elemento mais pesquisado para avaliar a incidência e a severidade das doenças. Assim, alguns autores têm verificado que doses excessivas de nitrogênio, tanto na forma mineral, como na orgânica, têm proporcionado aumento na incidência dos seguintes fitopatógenos: *Fusarium* spp.; *Pythium* spp.; *Puccinia recondita*; *Erysiphe graminis*; *Phytophthora* spp.; *Puccinia sorghi* e *Colletotrichum fragariae* (Smiley et al., 1972; Workneh et al., 1993; Von-Tiedmann, 1996; Agrios, 1997; Huber, 1989; Blum et al., 2000; Tanaka et al., 2002). Verifica-se também que, dependendo da forma mineral, o nitrogênio pode inibir ou estimular o desenvolvimento de grupos distintos de fitopatógenos. Dessa forma, a fertilização nitrogenada na forma amoniacal induziu a conducividade para *Fusarium oxysporum* e a supressividade para a murcha de *Verticillium* spp. em batata e *Thielaviopsis basicola*; já as formas nítricas favoreceram o desenvolvimento de *Verticillium* spp. em batata e inibiram a virulência de *Fusarium* spp. e *Rhizoctonia* spp. (Schneider, 1985; Trillas-Gay et al., 1986; Oyarzun, et al., 1998). Ainda em relação às formas nitrogenadas, Celar (2003), ao estudar a competição entre fitopatógenos e fungos antagonistas pelo amônio e nitrato no solo, verificou que os *Fusarium solani*, *Fusarium sambucinum* e *Fusarium moniliforme* superaram a comunidade de *Trichoderma* spp., porque eles usavam simultaneamente as duas formas nitrogenadas.

Alguns estudos revelam que a redução do íon ferro está diretamente relacionada com a supressividade do solo, isto porque esse íon é imobilizado pelos microrganismos sideróforos, ficando, dessa maneira, indisponível para os fungos fitopatogênicos utilizá-los em seus processos metabólicos (Scher & Baker, 1982, Tamietti & Alabouvette, 1986; Lemanceau et al., 1988; Höper & Alabouvette, 1996). Quanto à ação isolada dos nutrientes, Rodrigues et al. (1998) verificaram, para *Rhizoctonia solani*, que a supressividade correlacionou-se positiva e significativamente aos teores de potássio, cálcio e magnésio e à conducividade, com presença de alumínio no solo. Já Oyarzun et al. (1998) observaram que a ação desses elementos é seletiva, em função das espécies de fungos, pois a supressividade para *Thielaviopsis basicola* foi correlacionada significativa e positivamente com NH_4^+ , P, Mg, N e C total, enquanto o pH e o NO_3^- foram negativamente correlacionados com a supressividade. A supressividade para *Fusarium solani* apresentou correlação

significativa e negativa com K, P, Mg, N e C total. Esses resultados sugerem que a indução da supressividade pelos nutrientes está relacionada a preferências nutricionais dos fungos fitopatogênicos.

Em relação aos fatores bióticos, estão citados a presença de microrganismos antagônicos e a competição da comunidade microbiana do solo por substratos energéticos e nutrientes (Marshall & Alexander, 1960; Finstein & Alexander, 1962; Toledo & Cardoso, 1975a, Toledo & Cardoso, 1975b; Nakamura et al., 1977; Alabouvette et al., 1985a; Alabouvette et al., 1985b; Perucci, 1992; Larkin et al., 1993; Liu et al., 1995; Michereff et al., 1996; Ghini et al., 1998; Tilston, et al., 2002). Entre os microrganismos antagônicos aos fungos fitopatogênicos do solo, destacam-se as bactérias do gênero *Bacillus* spp., que inibem o desenvolvimento dos fungos por meio da liberação de compostos antibióticos no solo, e as do gênero *Pseudomonas* spp., com a formação de sideróforos que competem com maior eficiência por Fe^{+3} , fundamental para o desenvolvimento do tubo germinativo dos fungos, tornando o solo supressivo ao patógeno (Scher & Baker, 1982; Yuen et al., 1985; Lemanceau et al., 1988; Larkin et al., 1993; Toyota et al., 1994). Quanto à presença de fungos antagônicos a *Fusarium* spp., alguns estudos demonstram controvérsias em relação a esse grupo de microrganismos, no controle de fungos fitopatogênicos. Toledo & Cardoso (1975c) observaram que alguns isolados pertencentes aos gêneros *Chaetomium*, *Aspergillus*, e *Trichoderma* controlaram *Fusarium* e que outros interagiram com o patógeno, elevando os níveis da doença. Nakamura et al. (1977), em um estudo similar com 78 isolados incluindo actinomicetos e fungos dos gêneros *Gliocladium*, *Penicillium*, *Trichoderma*, constataram que 87% desses isolados comprovaram o seu antagonismo, 5,1% não se mostraram antagônicos e 7,7% apresentaram reações que não permitiram tirar conclusões. Entre os fungos, *Aspergillus* spp., *Gliocladium* spp., o *Trichoderma* spp., *Penicillium* spp. e *Verticillium* spp. mostraram-se antagonistas, em sua maioria, a *Fusarium* spp.

4.3 Adição de matéria orgânica e *Fusarium* spp. no solo

A adição de matéria orgânica no solo, devido à sua característica físico-química e à interdependência entre os fatores físicos, químicos e microbianos do solo, pode ser um fator condicionante para a supressividade ou conducividade a doenças de plantas.

Em relação à utilização de matéria orgânica no controle de patógenos de solo, a maioria dos trabalhos está relacionada à incorporação de resíduos orgânicos de origem rural e urbana, nos quais são constatados que esses resíduos apresentam efeitos sobre a comunidade de fitopatógenos do solo (Cook, 1976; Hoitink & Bohen, 1991; Perucci, 1992; Pereira et al., 1996; Serra-Wittling et al., 1996; Zambolim et al., 1996). Essa tendência dos resíduos orgânicos em suprimir ou estimular os fungos fitopatogênicos no solo está relacionada à origem do resíduo, ao tamanho das partículas, aos teores de nutrientes, à presença de celulose, de lignina, ao pH e aos inibidores orgânicos liberados durante a decomposição no solo (Hoitink & Fahy, 1986; Hoitink & Bohen, 1991; Serra-Wittling et al., 1996; Tilston et al., 2002). Outro fator também citado por alguns autores é a indução da resistência das plantas à ocorrência de doenças, proporcionada pelo aporte de nutrientes no solo (Widmer et al., 1999; Szczech & Smolinska, 2001; Tilston et al., 2002).

Quanto aos estudos realizados para avaliar a relação da origem do resíduo no controle de fitopatógenos do solo, alguns autores têm verificado que a supressividade e a conducividade variam de uma maneira geral de acordo com a espécie do patógeno. Assim, Osunlaja (1990), ao avaliarem o efeito da adição de diferentes fontes de matéria orgânica na indução da supressividade a *Fusarium moniliforme* e *Macrophomina phaseolina* em milho, constatou que o esterco de frango estimulou o desenvolvimento de *Macrophomina phaseolina* e reduziu a incidência de *Fusarium moniliforme*. Ainda em relação à cama de frango, Ghini et al., (2002) constataram que este foi mais eficiente na indução da supressividade do solo a *Pythium* spp., do que o lodo de esgoto e a casca de *Pinus*. Szczech (1999) e Szczech & Smoliviska (2001), estudando a comparação da supressividade induzida pela adição de vermicomposto produzido de esterco de equino, bovino, ovino e lodo de esgoto sobre *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* e *Phytophthora nicotiane*, verificaram que o vermicomposto de origem animal foi mais eficiente na redução da infecção de plantas e sementes de tomate do que o vermicomposto produzido com base no lodo de esgoto.

Os resultados desses trabalhos sugerem que a composição química dos resíduos orgânicos propicia as condições para o desenvolvimento e/ou inibição dos fitopatógenos no solo. A esse respeito, Dissanayabe & Hoy (1999), ao aplicarem diferentes fontes de matéria orgânica no controle da podridão em raízes de cana-de-açúcar, observaram que a supressividade do solo a *Pythium arrhenomanes* foi condicionada pela concentração de nitrogênio, manganês, cálcio, cobre, magnésio e fósforo existentes na composição dos resíduos.

Em resposta à composição química dos resíduos, Tanaka et al. (2002) constataram que a liberação de nitrogênio proveniente da decomposição de esterco de curral favoreceu o desenvolvimento de *Colletotrichum fragariae* em morangueiro. Tilston et al. (2002), ao avaliarem a eficiência de diferentes compostos orgânicos na supressividade do solo, observaram que os compostos orgânicos com teores mais elevados de nitrato favoreceram o desenvolvimento de *Gaeumanomyces graminis* var. *tritici* e *Pseudocercospora herpotrichoides*. A presença de concentração elevada de amônio no composto favoreceu a indução da condutividade para o *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. (Cotxarrera et al., 2002).

O pH e a condutividade elétrica da matéria orgânica podem influenciar a ocorrência de fitopatógenos no solo; assim, tem sido verificado que compostos com características alcalinas podem elevar o pH do solo e induzir a supressividade, pois, nessas condições, os micronutrientes, como ferro, cobre e zinco, ficam indisponíveis para o crescimento e esporulação dos patógenos. Os elevados teores de sais no composto foram favoráveis à supressividade a *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* em mudas de tomate, porque nessas condições as células do patógenos foram desidratadas, reduzindo, dessa forma, o potencial de inóculo no solo. Por outro lado, a característica ácida e a baixa condutividade elétrica do composto favorecem a sobrevivência e o desenvolvimento de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* no solo (Jones & Woltz, 1981; Amir & Riba, 1990; Alabouvette, 1999; Cotxarrera et al., 2002).

A relação C/N é um outro fator referente à composição da matéria orgânica e, geralmente, a supressividade está relacionada à elevada relação C/N do resíduo (Phae et al., 1990; Osunlaja, 1990; Hoitink & Fay, 1986; Dissanayake & Hoy, 1999). Entretanto, Fenille & Souza (1999) alertam que não se pode generalizar que exista correlação

entre a relação C/N do resíduo e a severidade de doenças, visto que muitos resíduos com baixa relação C/N reduzem a podridão-da-raiz do feijoeiro, da mesma forma que resíduos com alta relação C/N.

A presença de ácidos orgânicos de baixo molecular, como o acético, propiônico e butírico, e as substâncias hidrofóbicas, como terpenos e compostos fenólicos liberados durante a decomposição da matéria orgânica, inibem o desenvolvimento dos fitopatógenos habitantes do solo (Hoitink & Fay, 1986; Yu & Komada, 1999; Tilston et al., 2002).

A composição química dos resíduos orgânicos não é o único fator responsável pela supressividade dos fitopatógenos. Vários autores têm verificado, em amostras de resíduos esterelizadas e inoculadas com fitopatógenos, uma tendência de aumento na intensidade da doença devido à ausência de microrganismos no substrato. Esses resultados sugerem que os microrganismos existentes no resíduo e suas atividades metabólicas são também responsáveis pela indução da supressividade, devido à competição entre os microrganismos do solo e do resíduo pelos nutrientes e carbono (Filippi & Pêra, 1996; Serra-Wittling et al., 1996; Dissanayake & Hoy, 1999; Cotxarrera et al., 2002).

4.4 Lodo de esgoto e a ocorrência de patógenos veiculados pelo solo

No Brasil, o primeiro trabalho que relatou o uso de lodo de esgoto no controle de fitopatógenos habitantes de solo foi realizado por Bettiol & Krüger (1984), no qual os autores verificaram que a severidade da podridão de raiz do sorgo causada por *Pythium arrhenomanes* diminuiu com o aumento das doses de lodo incorporadas ao solo. Dentre os fitopatógenos mais estudados para avaliar o efeito do lodo de esgoto sobre a severidade das doenças, destacam-se o *Pythium* e a *Rhizoctonia* (Lumsden et al., 1983; Lewis et al., 1992; Craft et al., 1996; Dissanayake & Hoy, 1999).

A aplicação e posterior incorporação de lodo no solo tem inibido a incidência de fitopatógenos e a severidade de uma série de doenças nas mais variadas culturas. Assim, foi verificado que a adição de lodo se mostrou eficiente no controle da murcha de *Fusarium* em manjerição, causada por *Fusarium oxysporum*; na podridão de raiz em pimentão,

causada por *Phytophthora capsici*; “damping-off”, causado por *Rhizoctonia solani* e *Pythium ultimum*, em pereira e algodão; podridão de sclerotínia em alface, causada por *Sclerotinia minor*; “damping-off” e podridão em plantas de feijão, causados por *Sclerotium rolfsii*; podridão em raízes de cana, causada por *Pythium arrhenomanes*; e podridões de raízes em mudas de limão cravo, causadas por *Phytophthora nicotianae* (Millner et al., 1982; Lumsden et al., 1983; Lumsden et al., 1986; Lewis et al., 1992; Dissanayake & Hoy, 1999; Santos & Bettiol, 2003; Leoni & Ghini, 2003). Por outro lado, alguns trabalhos têm revelado que o uso do lodo tem estimulado o desenvolvimento de fitopatógenos e o favorecimento da ocorrência de doenças, como, por exemplo, *Pythium ultimum* e *Fusarium solani* f. sp. *pisi* no tombamento em ervilha; podridão do colo em macieira, causada por *Phytophthora cactorum*; podridão do colmo em milho, causada por *Gibberella* e por *Fusarium* (McIlveen & Cole, 1977; Lumsden et al., 1983; Utkhede, 1984; Bettiol, 2004).

A forma pela qual o lodo inibe ou estimula o desenvolvimento de fitopatógenos no solo está relacionada à atividade microbiana, à presença de fitopatógeno no lodo, à indução de microrganismos antagônicos e à alteração química do solo.

Quanto à atividade microbiana, tem sido observado que a adição de lodo tende a elevar as taxas de liberação de CO₂ no solo. Isso ocorre porque o lodo estimula o desenvolvimento e o crescimento das comunidades microbianas responsáveis pela decomposição da matéria orgânica no solo (Chen et al. 1987; Dissanayake & Hoy, 1999; Leoni & Ghini 2002; Santos & Bettiol, 2003). Durante a decomposição, o oxigênio é consumido pelos microrganismos saprófitos, reduzindo, dessa forma, a sua disponibilidade para os fungos patogênicos. Atrelada a essa situação, há o acúmulo de CO₂, cuja presença tende a inibir a germinação de esporos dos fungos patogênicos no solo. A esse respeito, Blok et al. (2000) constataram que a condição de baixo potencial de O₂ provocada pela aplicação de quantidades elevadas de matéria orgânica reduziu o potencial de inóculo de *Fusarium oxysporum* f.sp. *asparagi* Cohen e *Rhizoctonia solani*. Outras medidas para determinar a atividade microbiana, tais como hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA), carbono da biomassa e enzimas, também foram testadas para avaliar a relação com a supressividade aos patógenos de solo (Kim et al., 1999; Ghini et al., 1998; Hoiting & Boehn, 1999; Pascual et al., 2000; Santos & Bettiol, 2003).

Analisando os trabalhos relacionados à incorporação de lodo e à indução da supressividade do solo, verifica-se que são raros aqueles em que são identificados os fitopatógenos no lodo. Entretanto, Gambale et al. (1987), realizando um levantamento de fungos em amostras de lodo submetido aos tratamentos químico e térmico, constataram a ocorrência de *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Verticillium* e *Cephalosporium*. Esses resultados sugerem que os fitopatógenos podem ser introduzidos via aplicação de lodo no solo.

A incorporação do lodo de esgoto tende a aumentar as comunidades de bactérias e fungos no solo. Em decorrência disso pode haver também um aumento das comunidades de microrganismos antagonistas aos fitopatógenos do solo (Lewis et al., 1992; Fortes Neto, 2000). Entre os microrganismos antagonistas estimulados pela aplicação de lodo de esgoto, destacam-se os gêneros *Pseudomonas* spp., *Trichoderma* spp. e *Aspergillus* spp. no controle de *Phytophthora* spp. e *Fusarium* spp. (Trillas-Gay et al., 1986; Larkin et al., 1993; Cotxarrera et al., 2002; Leoni & Ghini, 2003).

A adição de lodo ocasiona alterações na composição química do solo, tais como variações no pH, condutividade elétrica e nos teores de nutrientes (Berton et al., 1989; Oliveira, 1995; Poggiani et al., 2000). Essas mudanças podem proporcionar aumentos ou reduções na severidade das doenças provocadas por fitopatógenos do solo. Assim, Cotxarrera et al. (2002) e Tilston et al. (2002) observaram que a elevação do pH induzida pelo composto de lodo foi responsável pela inibição do crescimento de *Fusarium culmorum*, *Gaeumomyces graminis* var. *tritici*, *Pseudocercospora herpotrichoides*, *Phoma medicaginis* var. *pinodella* e *Fusarium oxysporum*. Em condições de redução do pH ocasionada pela incorporação de lodo, Bettiol (2004) constatou que a intensidade da podridão do colmo de milho e o número de propágulos *Fusarium* spp. no solo aumentaram em decorrência do aumento da acidez do solo.

Quanto à presença de sais na solução do solo, após a adição do lodo, tem sido verificado que a elevação da condutividade elétrica tende a induzir a supressividade para *Phytophthora nicotianae*, *Phoma medicaginis* var. *pinodella* e *Sclerotium rolfsii* (Tilson et al., 2002; Santos & Bettiol, 2003; Leoni & Ghini, 2003). Por outro lado, Bettiol (2004) verificou que o aumento na condutividade elétrica estimulou o desenvolvimento de *Fusarium* spp. no solo.

Em relação aos nutrientes adicionados pelo lodo no solo, Utkhede (1984) e Bettiol (2004) constataram que a disponibilidade de nitrogênio tende a estimular o desenvolvimento *Phytophthora cactorum* em macieira e *Fusarium* spp. em milho e, por outro lado, Lumsden et al. (1986) e Dissanayake & Hoy (1999) verificaram a indução da supressividade a *Sclerotinia minor* em alface e a *Pythium arrhenomanes* em cana-de-açúcar. Bettiol (2004), ao estudar o efeito de dois tipos de lodo de esgoto sobre a podridão do colmo de milho causada por *Fusarium* spp. em três cultivos sucessivos, constatou que o cálcio, boro, cobre, ferro, manganês e zinco correlacionaram-se positivamente com o aumento da ocorrência da doença até o segundo cultivo, e o fósforo, até o terceiro cultivo.

Deve-se ressaltar que resultados relativos à composição química do solo tratado com lodo cru e o seu efeito sobre os fitopatógenos do solo são raros e pouco conclusivos, devendo ser mais pesquisados sob condição de campo, com várias culturas agrícolas e diferentes tipos de solo.

5 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido em condições de campo, numa área localizada na Embrapa Meio Ambiente (Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento e Avaliação de Impacto Ambiental), situada no município de Jaguariúna, SP, Brasil, latitude 22° 41' sul, longitude 47° W.Gr. e altitude 570 m.

5.1 Instalação do experimento

O experimento foi montado em uma área experimental, que, anteriormente, nos anos agrícolas de 1999, 1999/2000 e 2000/2001, recebeu aplicações de lodo de esgoto nas concentrações de 0, 1, 2, 4 e 8 vezes a dose de nitrogênio recomendada para a cultura do milho (testemunha, 1N, 2N, 4N e 8N, respectivamente).

As unidades experimentais de 200 m² (10 x 20 m) foram distribuídas em um delineamento experimental de três blocos ao acaso, e seis tratamentos (fertilização mineral, sem adição de lodo e com lodo nas doses de 0, 1, 2, 4 e 8 vezes a dose recomendada com base no teor de nitrogênio) e dois tipos de lodo coletados nas estações de tratamento de esgoto de Franca e de Barueri.

5.2 Característica do solo

O solo da área é caracterizado como um latossolo vermelho distroférico textura argilosa. A caracterização para fins de fertilidade foi realizada em amostras de solo coletadas na camada de 0-20 cm de profundidade, conforme a metodologia preconizada por Raij et al. (1987). O solo apresentou as seguintes características químicas: pH (CaCl₂) = 5,2; M.O = 21 g dm³; P = 4 mg dm³; K = 1,0, Ca = 29, Mg = 12, H + Al = 28,6, CTC = 70,4, S = 41,7 mmolc dm³; V= 59,3% e C.E = 281 µS cm⁻¹.

5.3 Caracterização do lodo de esgoto

Os lodos de esgoto, resultantes da digestão aeróbica e anaeróbica, foram obtidos junto às Estações de Tratamento de Esgoto da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), situadas nos municípios de Franca e Barueri –SP, em setembro de 2001/2002. Sua composição química, conforme especificado pela norma CETESB P 4230, foi determinada no laboratório do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) (Tabela 1).

5.4 Aplicação do lodo de esgoto, fertilizante mineral e semeadura do milho

O lodo de esgoto foi aplicado e distribuído superficialmente em cada parcela nas quantidades apresentadas na Tabela 2 e, posteriormente, com o auxílio de uma enxada rotativa, foi incorporado até 20 cm de profundidade do solo. No tratamento com adubação mineral, foram aplicados fertilizantes à base de nitrogênio, de P₂O₅ e de K₂O no plantio; e 40 dias após a emergência do milho foi realizada uma aplicação de cobertura com fertilizante nitrogenado (Tabela 2). Os tratamentos com doses de lodo de Franca e Barueri receberam adubação complementar com K₂O nos anos agrícolas de 2001/2002 e 2002/2003, conforme apresentado na Tabela 2.

A semeadura do milho foi realizada no dia 19 outubro nos anos agrícolas de 2001/2002 e 2002/2003, mecanizada, com a distribuição de 6 a 7 sementes por metro linear e com um espaçamento de 0,80 cm entre as linhas. A cultivar de milho utilizada foi o híbrido Savana 133S.

5.5 Período de amostragem e preparo das amostras de solo

As amostras de solo não-rizosférico no ano agrícola de 2001/2002 foram coletadas na camada de 0 - 20 cm de profundidade, com o auxílio de um trado, antes da adição dos tratamentos e, mensalmente, até o 120º dia após o plantio do milho. Assim, a amostragem foi realizada em cinco períodos, distribuídos entre o dia do plantio e, subseqüentemente, no 30º, 60º, 90º e 120º dias após o plantio. No ano agrícola de 2002/2003, as amostras de solo foram coletadas na mesma profundidade, no 90º dia após o plantio do milho.(Tabela 3).

No ano agrícola de 2001/2002, as amostras de solo rizosférico foram coletadas aos 90 e 120 dias e no ano agrícola de 2002/2003, foram coletadas aos 90 dias após a semeadura. Para isso, foram retiradas três plantas por parcela com as raízes aderidas ao solo; após a coleta, realizou-se a retirada manual dos agregados de solo que envolvia as raízes do milho.(Tabela 3).

As amostras compostas de solo rizosférico e não-rizosférico de cada parcela foram constituídas da coleta e da homogeneização de três subamostras. Após a homogeneização das amostras de solo, elas foram acondicionadas em sacos plásticos de 2 L e mantidas a, aproximadamente, 10º C durante o tempo de transporte até o laboratório.

O processamento para a determinação de comunidade de bactérias fungos e *Fusarium* spp. e a extração para a determinação das formas nitrogenadas e a umidade no solo e na rizosfera foram realizadas no dia da coleta das amostras no campo. Já as amostras para a determinação química do solo e da rizosfera foram secadas ao ar durante sete dias e, após esse período, peneiradas em peneiras com 2 mm.

Tabela 1. Características químicas dos lodos de esgotos das Estações de Tratamento de Esgoto de Franca e de Barueri, localizadas no estado de São Paulo, utilizados nos dois plantios de milho.

Atributo ⁽¹⁾	Ano agrícola 2001/2002		Ano agrícola 2002/2003	
	Franca	Barueri	Franca	Barueri
P (g kg ⁻¹)	13,8	17,7	27,3	17,9
K (g kg ⁻¹)	1,5	1,5	1,0	1,0
Na (g kg ⁻¹)	0,5	0,5	0,4	0,9
As (mg kg ⁻¹)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Cd (mg kg ⁻¹)	1,14	16,2	0,6	14,0
Cu (mg kg ⁻¹)	78,9	137,9	43,0	148,7
Cr total (mg kg ⁻¹)	202,0	609,3	182,4	639,6
Hg (mg kg ⁻¹)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Mo (mg kg ⁻¹)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ni (mg kg ⁻¹)	63,9	331,3	49,5	270,0
Se (mg kg ⁻¹)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Zn (mg kg ⁻¹)	773,0	2327,9	890,6	3330,0
B (mg kg ⁻¹)	10,4	10,7	13,6	17,6
C (g kg ⁻¹)	370,9	354,2	475,4	534,4
pH	8,9	8,5	8,3	8,0
Umidade (%)	81,4	77,3	76,69	64,8
Sólidos voláteis (%)	67,0	62,6	58,65	59,6
N-Kjeldahl (mg kg ⁻¹)	47,4	44,6	43,1	44,8
N-amoniacal (mg kg ⁻¹) ⁽²⁾	2330,6	2094,8	2008,8	2330,8
N-nitrato-nitrito (mg kg ⁻¹) ⁽²⁾	56,4	15,4	38,6	23,0
S (g kg ⁻¹)	9,3	11,7	10,1	14,5
Mn (mg kg ⁻¹)	439,8	277,5	712,9	246,9
Fe (mg kg ⁻¹)	39895	39058	64900	32100
Mg (g kg ⁻¹)	2,7	3,7	5,0	3,8
Al (mg kg ⁻¹)	18189	11959	21672,2	14230,7
Ca (g kg ⁻¹)	13,3	20,1	11,5	19,4

⁽¹⁾ Os valores de concentração são dados com base na matéria seca.

⁽²⁾ Os valores de concentração para o nitrogênio nas formas amoniacal e nitrato foram determinados na amostra nas condições originais.

Tabela 2. Quantidade de lodo de esgoto e de N, P₂O₅ e K₂O aplicados via fertilizantes minerais nos dois cultivos de milho nos anos agrícolas 2001/2002 e 2002/2003.

	Lodo de esgoto (kg ha ⁻¹ - base seca)		N plantio + N cobertura (kg ha ⁻¹)		P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)		K ₂ O (kg ha ⁻¹)	
	2001	2002	2001	2002	2001	2002	2001	2002
Test	-	-	-	-	-	-	-	-
NPK	-	-	20+70	20+80	70	70	56	70
F1N	4432	4300	-	-	-	-	96	63
F2N	8863	8700	-	-	-	-	90	54
F4N	17726	17400	-	-	-	-	75	36
F8N	35452	34800	-	-	-	-	42	3
Test	-	-	-	-	-	-	-	-
NPK	-	-	20+70		70	70	56	72
B1N	5295	3200	-	-	-	-	87	57
B2N	1051	6500	-	-	-	-	69	45
B4N	21182	12900	-	-	-	-	33	21
B8N	42363	25800	-	-	-	-	-	-

F = lodo de esgoto da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Franca, SP. B = lodo de esgoto da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Barueri, SP. Test = testemunha; AM = adubação mineral recomendada; F1N, F2N, F3N, F4N e F8N = doses de lodo de Franca necessárias para fornecer uma, duas, quatro e oito vezes a quantidade de N da adubação mineral; B1N, B2N, B3N, B4N e B8N = doses de lodo de Barueri necessárias para fornecer uma, duas, quatro e oito vezes a quantidade de N da adubação mineral.

5.6 Características químicas do solo e da rizosfera

Este procedimento foi realizado por meio das análises de pH, matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio trocável, capacidade de troca de cátions, soma de bases e saturação de bases, conforme a metodologia descrita por Raij et al. (1987). A condutividade elétrica do solo foi determinada conforme o procedimento estabelecido por Camargo et al. (1986) em extrato de saturação 1:1.

As formas de nitrogênio no solo também foram determinadas. Para tanto, foram colocados 5 g de solo peneirado em um frasco de Erlenmeyer (50 mL) contendo 40 mL de KCl (2N), e em seguida, submetidos a agitação por 1 h. Depois da filtração, alíquotas do extrato foram utilizadas para determinar NH_4^+ e $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ por destilação a vapor com MgO e liga de Devarda (Bremner, 1965).

Tabela 3. Períodos de amostragens para a coleta de amostras de solo não-rizoférico e rizoférico, determinações de *Fusarium* spp, bactérias e fungos, e avaliação de doença, nos anos agrícolas de 2001/2002 e 2002/2003.

Atividades		Períodos de coletas (dias)							
		0	30	40	60	90	120	90	120
		Ano 2001/2002				Ano 2002/2003			
Análises	Solo	X	X		X	X	X	X	
	Rizosfera					X	X	X	
Fusarium spp	Solo	X	X		X	X	X	X	
	Rizosfera					X		X	
	Raiz			X					
	Colmo			X		X			
Bactérias	Solo	X	X		X	X	X	X	
	Rizosfera					X	X	X	
Fungos	Solo	X	X		X	X	X	X	
	Rizosfera					X	X	X	
Doenças	Colmo						X		X
	Espigas						X		X
	Sementes						X		X

5.7 Características microbiológicas

Foram determinadas pela quantificação de *Fusarium* spp. no solo, na rizosfera e a incidência de *Fusarium* na raiz e no colmo e pela contagem de bactérias e fungos totais no solo e na rizosfera.

5.7.1 Quantificação de *Fusarium* spp. no solo e rizosfera

Foi realizada no solo e na rizosfera por meio do método da diluição seriada seguida por plaqueamento em meio de cultura seletivo. A diluição foi preparada com base em uma suspensão obtida da mistura de 10 g e 90 mL de água. A suspensão resultante foi diluída em série e 1 mL das diluições 10^{-2} , 10^{-3} e 10^{-4} foi distribuído em placas, em três réplicas, contendo 20 mL de meio de cultura específico para o isolamento de *Fusarium* spp. (Nash & Snyder, 1962). Posteriormente, as placas foram mantidas em estufa para o crescimento das colônias à temperatura de, aproximadamente, 24°C, durante cinco dias, e o número de colônias por placas foi expresso por unidades formadoras de colônias por grama de solo seco (ufc g⁻¹ solo seco).

5.7.2 Ocorrência de *Fusarium* spp. na raiz e no colmo

A avaliação de *Fusarium* spp. na raiz e no colmo foi realizada aos 40 e 90 dias após a semeadura, em três plantas de milho colhidas aleatoriamente em cada parcela. As raízes e os colmos foram lavados por 30 min em água corrente e, em seguida, desinfestados por 1 min com hipoclorito de sódio (1 %). Após a lavagem em água esterilizada, as raízes e os colmos foram cortados assepticamente em pedaços de 3 a 5 mm de tamanho e transferidos para placas com meio de cultura de BDA com adição de oxitetraciclina. Foram cortados 25 fragmentos de raízes e colmos por plantas e depois colocados em placas as quais foram mantidas durante sete dias em estufa de crescimento à temperatura de 25 ± 2 °C, com 12 horas de luz e 12 horas de escuro (Reis et al. 1998). Após a incubação, os microrganismos desenvolvidos nos fragmentos de raízes e colmos foram examinados em lâminas para microscopia em microscópio óptico e pela observação direta dos colmos e raízes em microscópio estereoscópico. A ocorrência de *Fusarium* spp. foi determinada pela porcentagem de raízes e colmos com crescimento micelial em relação ao total de fragmentos de raízes e colmos amostrados.

5.7.3 Quantificação de bactérias e fungos

Foram utilizadas amostras de solo não-rizosférico coletadas antes da aplicação do lodo e aos 30, 60, 90 e 120 dias após a semeadura do milho; já as amostras de solo rizosférico foram coletadas aos 90 e 120 dias. Os microrganismos foram estimados pela técnica da diluição seriada em placas. As diluições, para determinação de bactérias e fungos, foram realizadas com base numa suspensão obtida pela mistura de 10 g de terra em 90 mL de água destilada em um frasco de Erlenmeyer. Os frascos foram agitados por cerca de 10 min e, em seguida, foram realizadas as diluições sucessivas e utilizadas para plaqueamento as diluições 10^{-4} , 10^{-5} e 10^{-6} , para bactérias, e 10^{-3} e 10^{-4} , para fungos.

O plaqueamento do meio de cultura foi realizado em câmara de fluxo laminar, com a distribuição de uma alíquota de 1 mL para fungos e 0,1 mL para bactérias da suspensão sobre a superfície do meio e depois distribuída com o auxílio de uma alça de Drigalski. Para o crescimento de bactérias, o meio de cultura utilizado foi o de Thornton e, para os fungos, o meio de Martin. No meio utilizado para a contagem de bactérias foi adicionado actidione (ciclohexamida), na concentração de 500 mg/Lg. No meio utilizado para fungos, foi adicionado 50 mg/Lg de estreptomicina. As placas de Petri foram mantidas em estufa à temperatura de aproximadamente, 28°C, as colônias de fungos foram quantificadas após três dias de incubação, e as de bactérias, após seis dias.

5.8 Avaliação da ocorrência da doença no campo

5.8.1 Plantas com sintomas de podridão no colmo

Esta avaliação foi realizada aos 120 dias após a semeadura, em todas as plantas de milho coletadas na linha central da parcela. A incidência da podridão foi avaliada nos 30 cm basais dos colmos. (Borges et al. 2001; Blum et al. 2003).

5.8.2 Espigas com sintomas de podridão

Foram utilizadas plantas de milho coletadas para avaliar a incidência de podridão no colmo. A incidência de espigas doentes em cada parcela foi avaliada por meio da porcentagem de espigas com sintomas de podridão em relação ao total de espigas amostradas.

5.8.3 Avaliação da ocorrência de *Fusarium* spp. nas sementes de milho

Para a avaliação da sanidade das sementes, foram coletadas 200 sementes por parcela e colocadas em placas de petri de 9 cm de diâmetro, contendo três discos de papel filtro umedecidos com água destilada esterilizada. As placas foram mantidas inicialmente por 24 horas em câmara de incubação regulada a 20-22°C e sob um regime de 12 horas de luz e 12 horas de escuro. Em seguida, foram submetidas ao congelamento por (-20°C) por 24 horas. Após esse período, as sementes retornaram à câmara de incubação por mais 7 dias. Após essa etapa, as sementes foram examinadas sob microscópio estereoscópico (50X) para a quantificação de *Fusarium* spp.

5.9 Análise estatística

Os resultados foram avaliados estatisticamente por meio de análises de variância, e os efeitos dos tratamentos foram testados pelo teste F. Quando atingida a significância estatística, foi feita a comparação entre médias pelo teste de **Duncan** em nível de porcentagem de probabilidade de erro. Também foi realizada análise de correlação entre as medidas microbiológicas e a composição química do solo e de regressão entre composição química da terra x período de coleta, ocorrência de *Fusarium* spp. x período de coleta e incidência da doença x doses de lodo de esgoto.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Composição química do solo tratado com lodo de esgoto

Quanto às características químicas do solo rizosférico e não-rizosférico, nos anos agrícolas de 2001/2002 e 2002/2003, observa-se nas Figuras de 1 até 21 que as variáveis químicas apresentaram variações em função das doses e do tipo de lodo aplicado no solo. De uma maneira geral, percebe-se que, nas parcelas tratadas com o lodo de Barueri, ocorreram as maiores alterações na composição química do solo. Esse comportamento em relação ao lodo de Barueri talvez esteja relacionado às reações de interação do lodo com o solo, pois, com exceção do cálcio, os demais componentes não apresentam grandes diferenças em suas concentrações quando comparados com o lodo de Franca.

Analisando as Figuras 1, 14 (A e B), 18 e 20, constatam-se, em todos os períodos de coleta, a ocorrência de duas fases na variação do pH em função das doses de lodo aplicadas no solo: a primeira com elevação no pH entre as doses de 0N e 4N; e a segunda com declínio entre as doses de 4N e 8N. Provavelmente, esse comportamento na curva do pH esteja relacionado à disponibilidade de amônio para ser convertido em nitrato, pois, durante a nitrificação, são liberados íons H^+ , reduzindo assim o pH do solo. Essa reação foi mais acentuada nas parcelas tratadas com a dose de 8N de lodo, pois esse tratamento proporcionou o aporte de quantidade elevada de nitrogênio, e que, ao ser convertido em

amônio, teve uma parte absorvida pelo milho e o restante remanescente transformado em nitrato, conforme se pode verificar nas Figuras 8, 15 (G e H) e 19, 21. Todavia, nas parcelas com a incorporação de 1N, 2N e 4N, a quantidade de amônia excedente foi menor do que no tratamento 8N e a sua transformação em nitrato gerou poucos íons H^+ no solo. Esse resultado também foi constatado por e Leoni (2002), quando incorporaram lodo de esgoto ao solo. Também se deve ressaltar que a acidificação poderá ocorrer devido à oxidação de sulfitos e à produção de ácidos orgânicos liberados durante a decomposição do lodo no solo (Oliveira et al., 2002).

Os valores na variação da matéria orgânica estão apresentados nas Figuras 2, 14 (C e D), 18 e 20, em que se verifica que os teores de matéria orgânica aumentam proporcionalmente, à medida que se elevam as doses de lodo incorporadas ao solo. O aumento no teor da matéria orgânica observado no presente estudo ocorreu devido à quantidade e às sucessivas aplicações de lodo ocorridas no solo desde 1999 (Melo et al., 1994; Oliveira et al., 2002).

As quantidades de fósforo no solo aumentaram em todos os períodos de coleta e foram mais acentuados com a incorporação da dose 8N de lodo (Figuras 3, 14E, 14F, 18 e 20). O incremento de fósforo no solo devido ao aumento nas doses de lodo foi ocasionado possivelmente pela mineralização do fósforo orgânico durante a decomposição do lodo no solo (Silva et al., 2002; Vaz & Gonçalves, 2002).

O potássio, de uma maneira geral, tende a ter sua concentração diminuída à medida que se elevam as doses de lodo incorporadas ao solo (Figuras 4, 14G e 14H, 18 e 20). Essa redução nos teores de potássio poderá estar associada a sua perda por lixiviação e absorção pelo milho, pois, com a diminuição do pH no solo, o potássio se desloca para a solução, tornando-se, assim, disponível para ser lixiviado e absorvido pelo milho. Outro fator responsável pela redução de potássio é o aumento de cálcio e magnésio proporcionado pela adição de lodo. Nessa situação o cálcio e o magnésio deslocam o potássio dos sítios de trocas para a solução do solo. Dessa forma, em razão da baixa concentração no lodo e do comportamento do potássio no solo e da sua importância na indução de resistência das plantas ao ataque de fitopatógenos, fica evidente a necessidade de uma adubação complementar à base de potássio quando se for realizar uma fertilização à base de lodo de esgoto (Silva et al., 2002; Vaz & Gonçalves, 2002).

Houve uma variação do magnésio (Figuras 5, 15A e 15B, 18 e 20) devido às doses de lodo, porém os teores de magnésio foram mais elevados nas parcelas tratadas com doses de lodo de Franca, porém não se pode estabelecer uma relação de causa e efeito entre a composição química do lodo de Franca e os teores de magnésio determinados no solo, porque a concentração do magnésio no lodo de Franca praticamente apresenta o mesmo valor do lodo de Barueri. Em relação aos resultados referentes ao magnésio no solo em resposta à aplicação do lodo, Oliveira (1995) e Tamiso et al. (2000) verificaram aumentos significativos no solo somente após a adição de doses elevadas de lodo, conforme também observado no presente estudo.

O comportamento do cálcio (Figuras 6, 15C e 15D, 18 e 20) no solo refletiu a relação existente entre a composição química do lodo e os teores de cálcio no solo, pois se pode verificar que, nas parcelas que receberam as doses do lodo de Barueri, os valores de cálcio ficaram acima dos observados nas parcelas tratadas com o lodo de Franca. Provavelmente este fato ocorreu porque a concentração de cálcio no lodo de Barueri foi em média igual a 19,7 g/kg, e, no lodo de Franca, o valor foi de 12,4 g/kg. Resultados similares a estes também foram verificados por Berton et al. (1989), Oliveira et al. (1995), e Vaz & Gonçalves (2002).

As quantidades de amônio apresentadas nas Figuras 7, 15E, 15F, 19 e 21 e de nitrato, nas Figuras 8, 15G, 15H, 19 e 21, demonstram que a elevação nos teores de amônio e nitrato no solo, após a adição do lodo, ocorreu em razão da transformação do nitrogênio orgânico proveniente dos compostos nitrogenados existentes no lodo e, também, da quantidade de lodo aplicada no solo (Lindermam et al., 1989; Serna & Pomares, 1991).

A incorporação de doses crescentes de lodo de esgoto, tanto de Franca, quanto de Barueri, ocasionou aumentos na condutividade elétrica do solo (Figuras 9, 16A, 16B, 19 e 21). A elevação da condutividade elétrica observada no presente estudo foi devida à liberação de cálcio, magnésio, amônio, nitrato e outros sais durante a decomposição do lodo no solo (Oliveira et al., 2002).

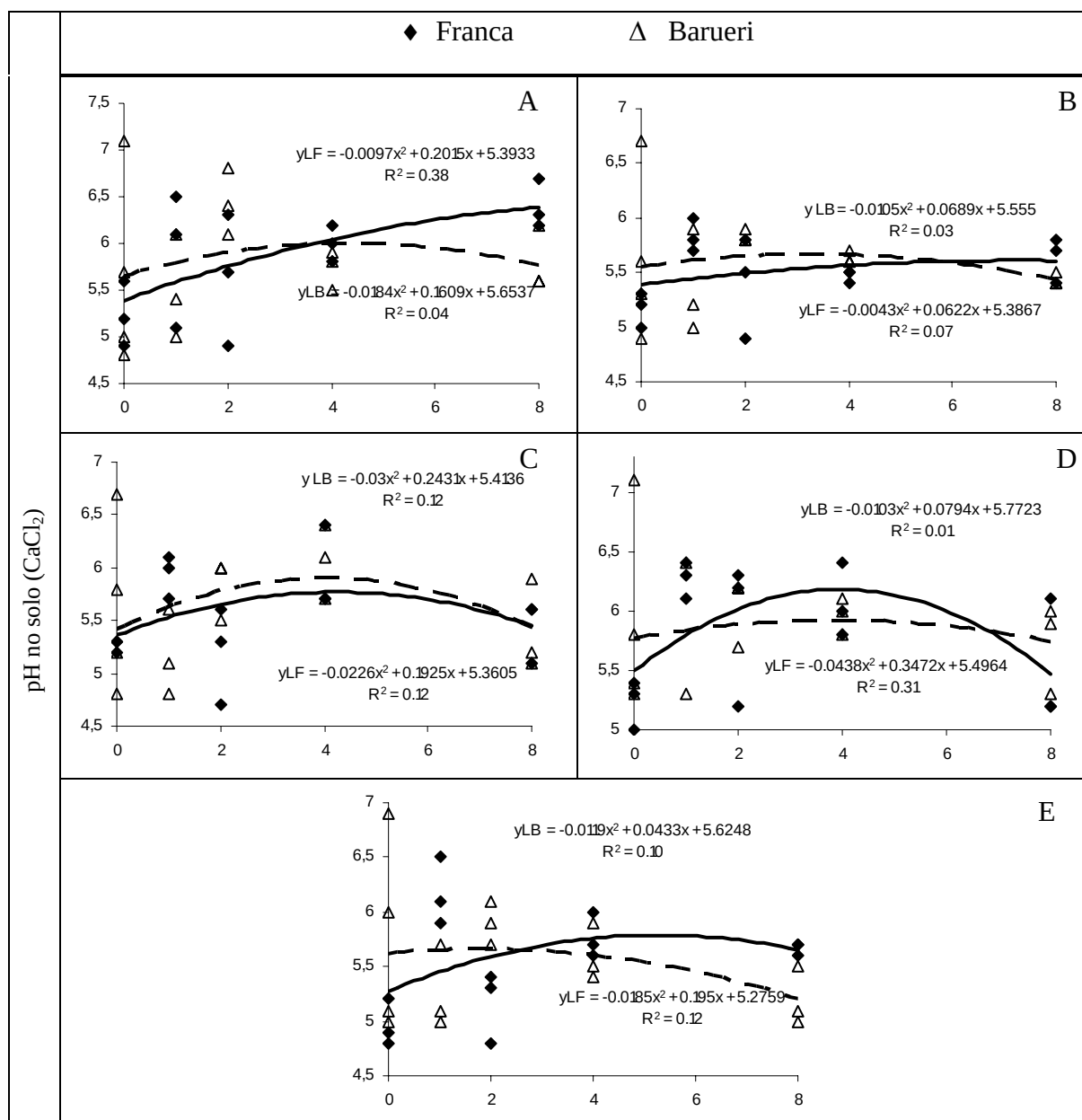
A capacidade de troca de cátions foi influenciada pela elevação nas doses de lodo aplicadas no solo (Figuras 10, 16C, 16D, 19 e 21), pois a adição de lodo proporcionou aumentos expressivos nos teores de cálcio e magnésio no solo. Depreende-se que o aumento da capacidade de troca de cátions no solo foi provavelmente devido ao aporte

de cálcio e magnésio provenientes do lodo, pois, neste estudo, a capacidade de troca de cátions foi calculada pela soma de bases, o que, segundo Oliveira et al. (2002), poderá levar a valores superestimados devido à presença de elevadas concentrações de cálcio e magnésio.

A acidez potencial tende a aumentar com a elevação das doses de lodo de Franca e Barueri em consequência justamente do processo de nitrificação da amônia no solo (Figuras 11, 16E, 16F, 19 e 21), conforme discutido anteriormente com o pH do solo.

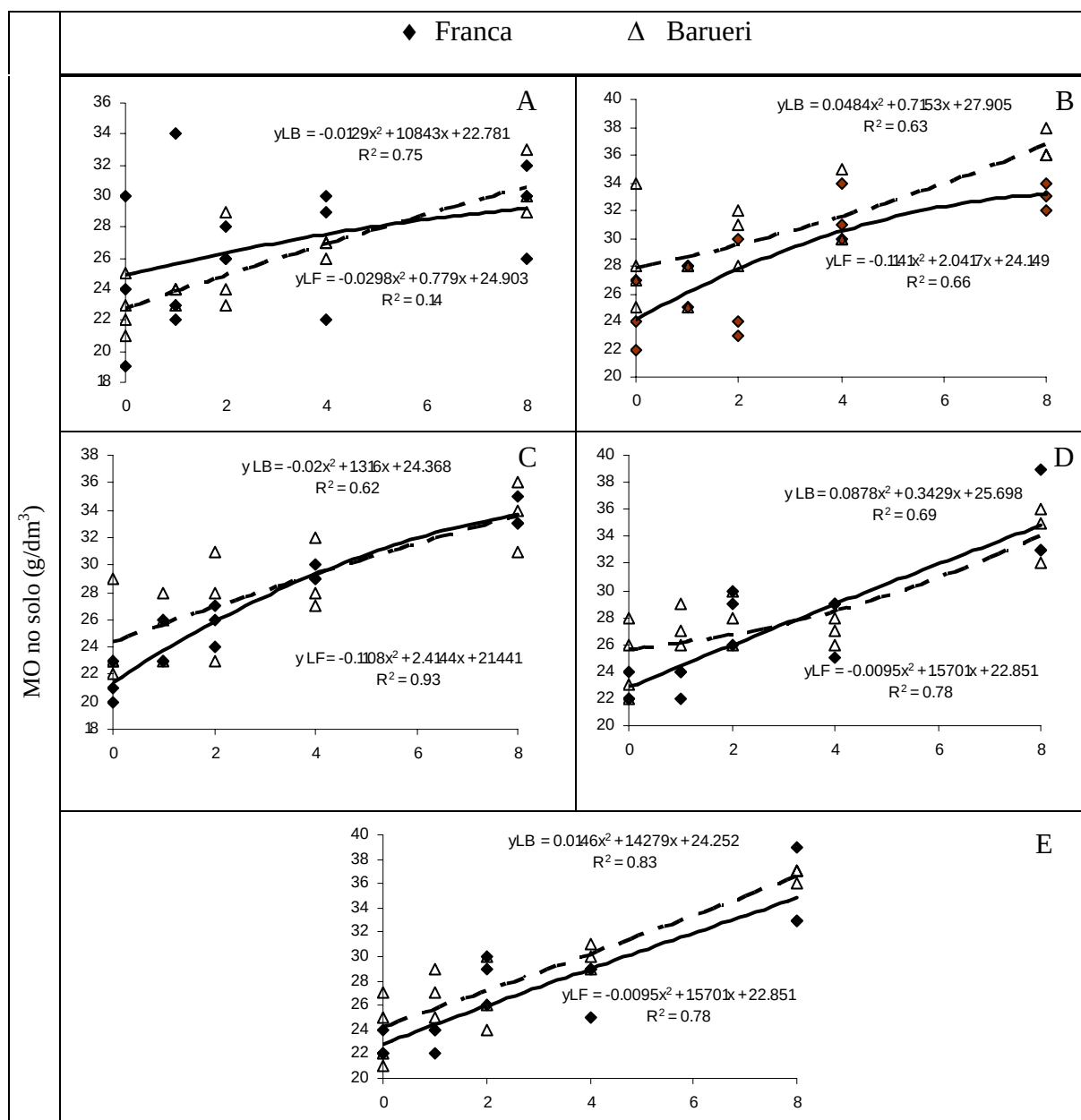
Os valores de saturação de bases no ano agrícola de 2001/2002 para o solo rizosférico e não-rizosférico apresentaram tendência de elevação com as doses de lodo (Figuras 12 e 16G e 16H). Por outro lado, no ano agrícola de 2002/2003, foi constatado o inverso com a saturação de bases, que apresentou uma tendência de redução com as doses de lodo (Figuras 19 e 21). A diminuição da saturação de bases ocorreu porque, no ano agrícola de 2002/2003, houve também uma redução nos valores da soma de bases no solo.

A adição de lodo proporcionou aumentos na soma de bases nos dois anos agrícolas de 2001/2002 e 2002/2003, devido ao aporte de cálcio e magnésio no solo (Figuras 13, 17A e 17B, 19 e 21).



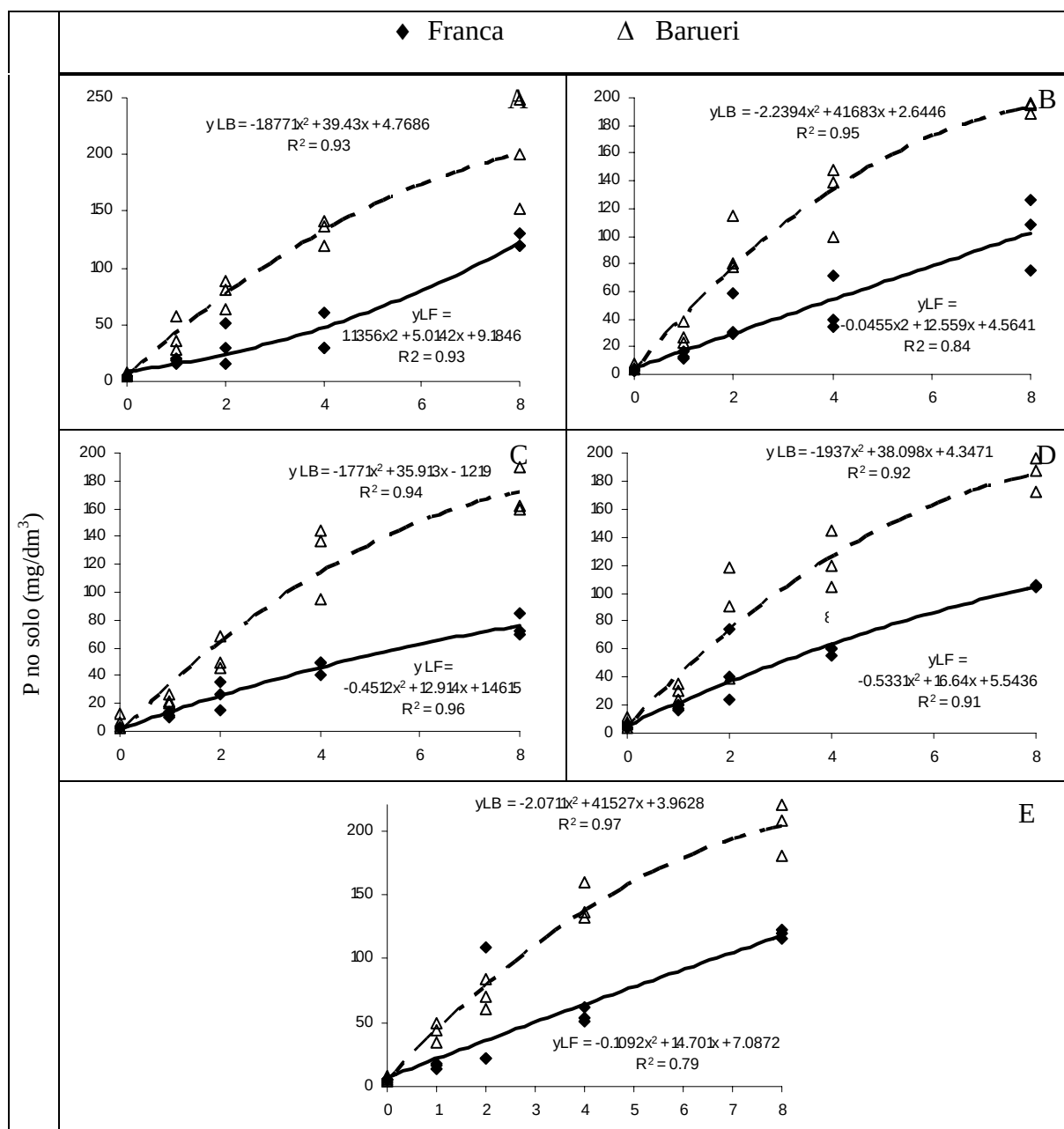
Dose de lodo baseado no conteúdo de N

Figura 1. O pH (CaCl₂) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com dose de lodo de esgoto de Franca (♦, —) e Barueri (Δ, --), antes (A) e após 30 (B), 60 (C), 90 (D) e 120 (E) dias da adição de lodo no ano agrícola de 2001/2002.



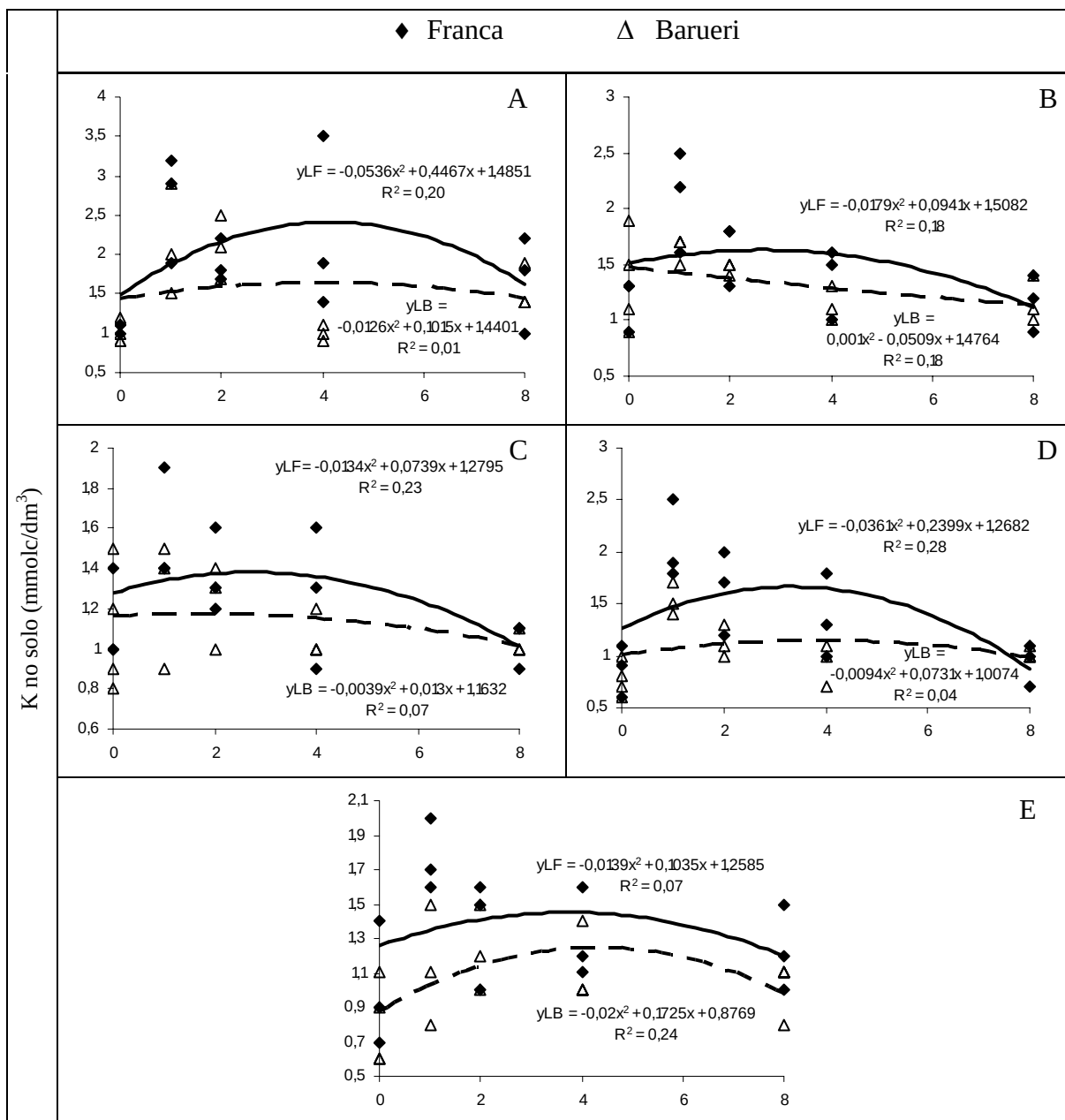
Dose de lodo baseado no conteúdo de N

Figura 2. O teor de matéria orgânica (MO) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com dose de lodo de esgoto de Franca (♦, -) e Barueri (Δ, --), antes (A) e após 30 (B), 60 (C), 90 (D) e 120 (E) dias da adição de lodo no ano agrícola de 2001/2002.



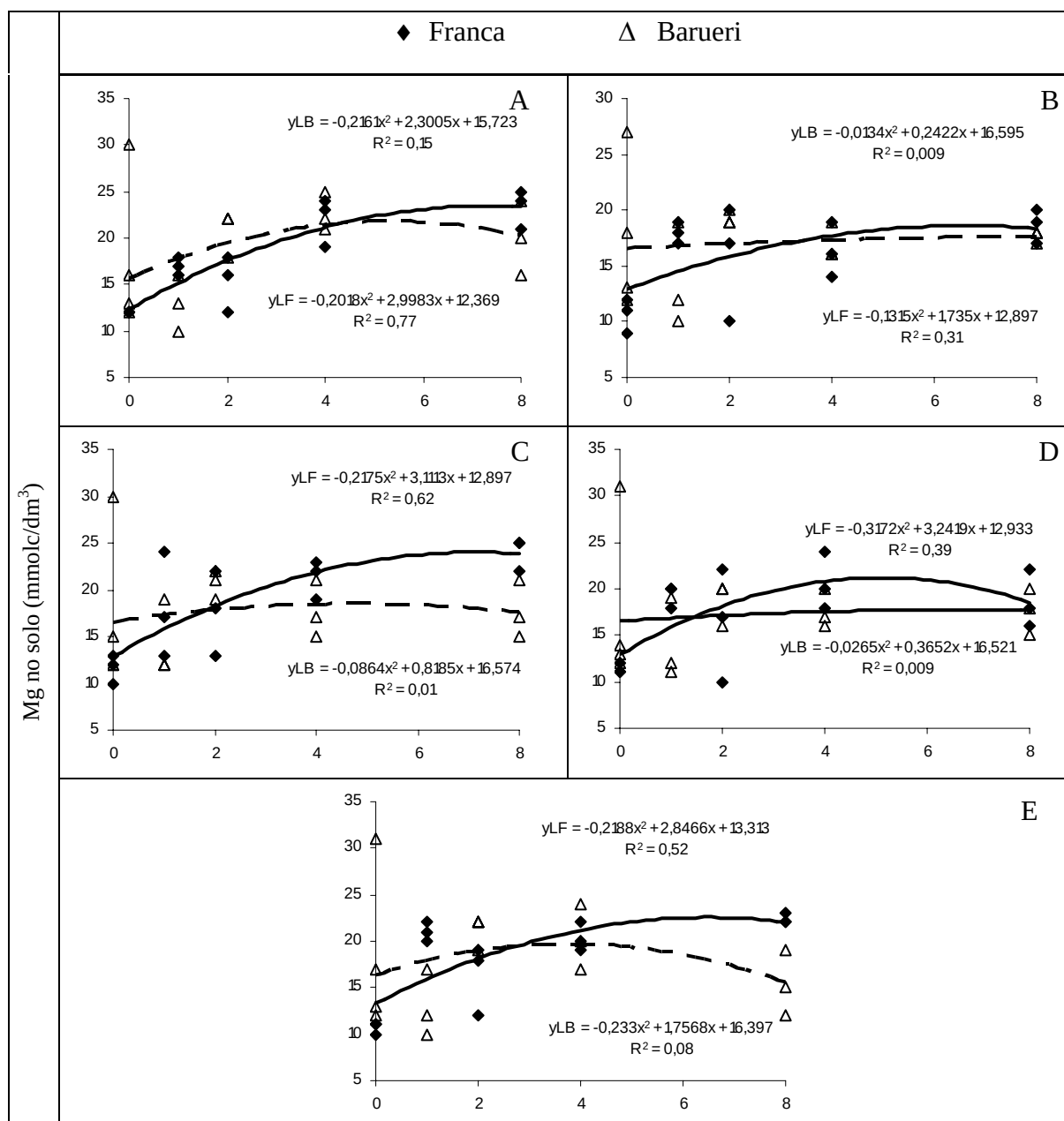
Dose de lodo baseado no conteúdo de N

Figura 3. Teor de fósforo (P) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com dose de lodo de esgoto de Franca (♦, —) e Barueri (Δ, --), e após 30 (B), 60 (C), 90 (D) e 120 (E) dias da adição de lodo no ano agrícola de 2001/2002.



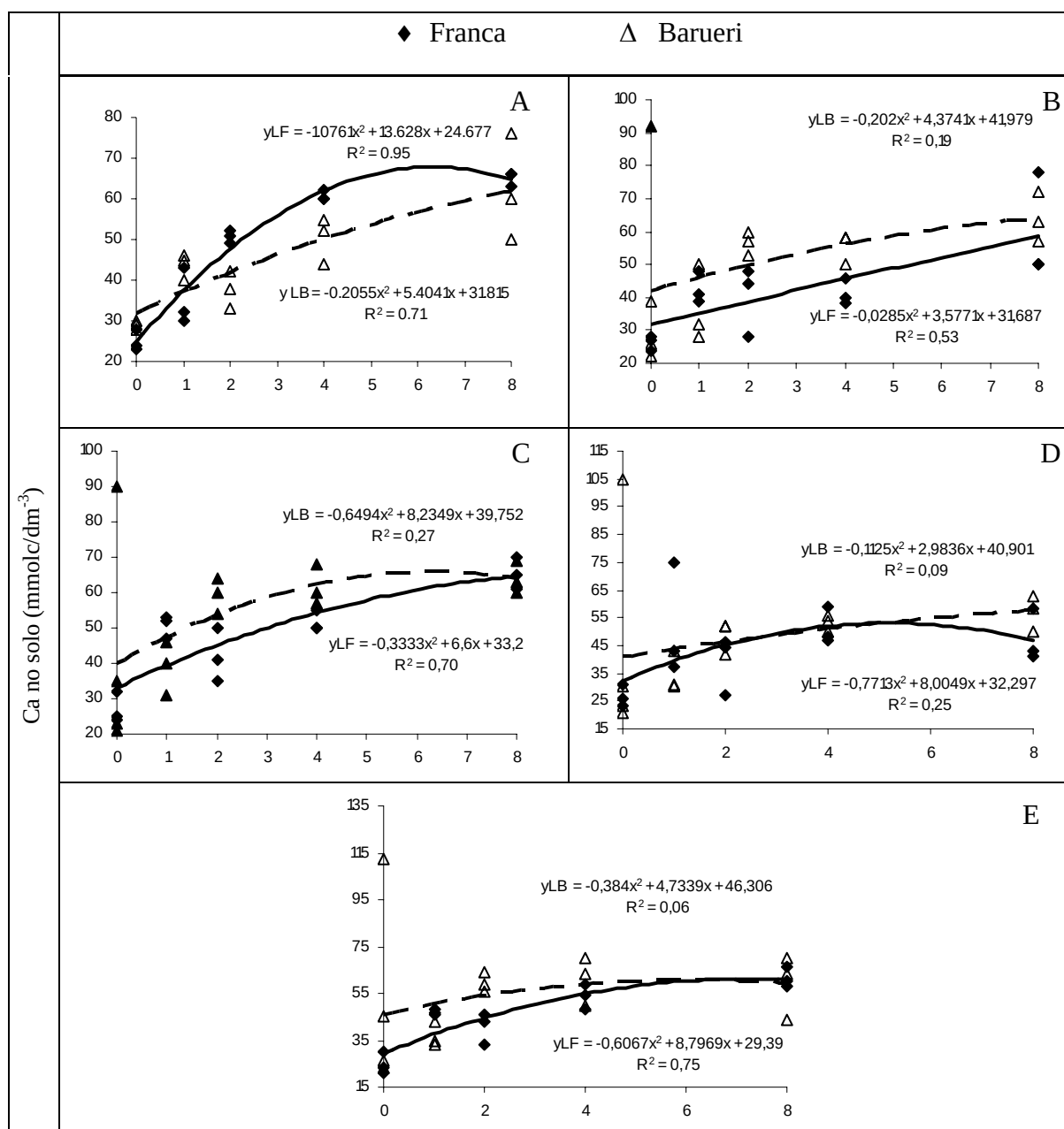
Dose de lodo baseado no conteúdo de N

Figura 4. Teor de potássio (K) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com dose de lodo de esgoto de Franca (♦, -) e Barueri (Δ, --), antes (A) e após 30 (B), 60 (C), 90 (D) e 120 (E) dias da adição de lodo no ano agrícola de 2001/2002.



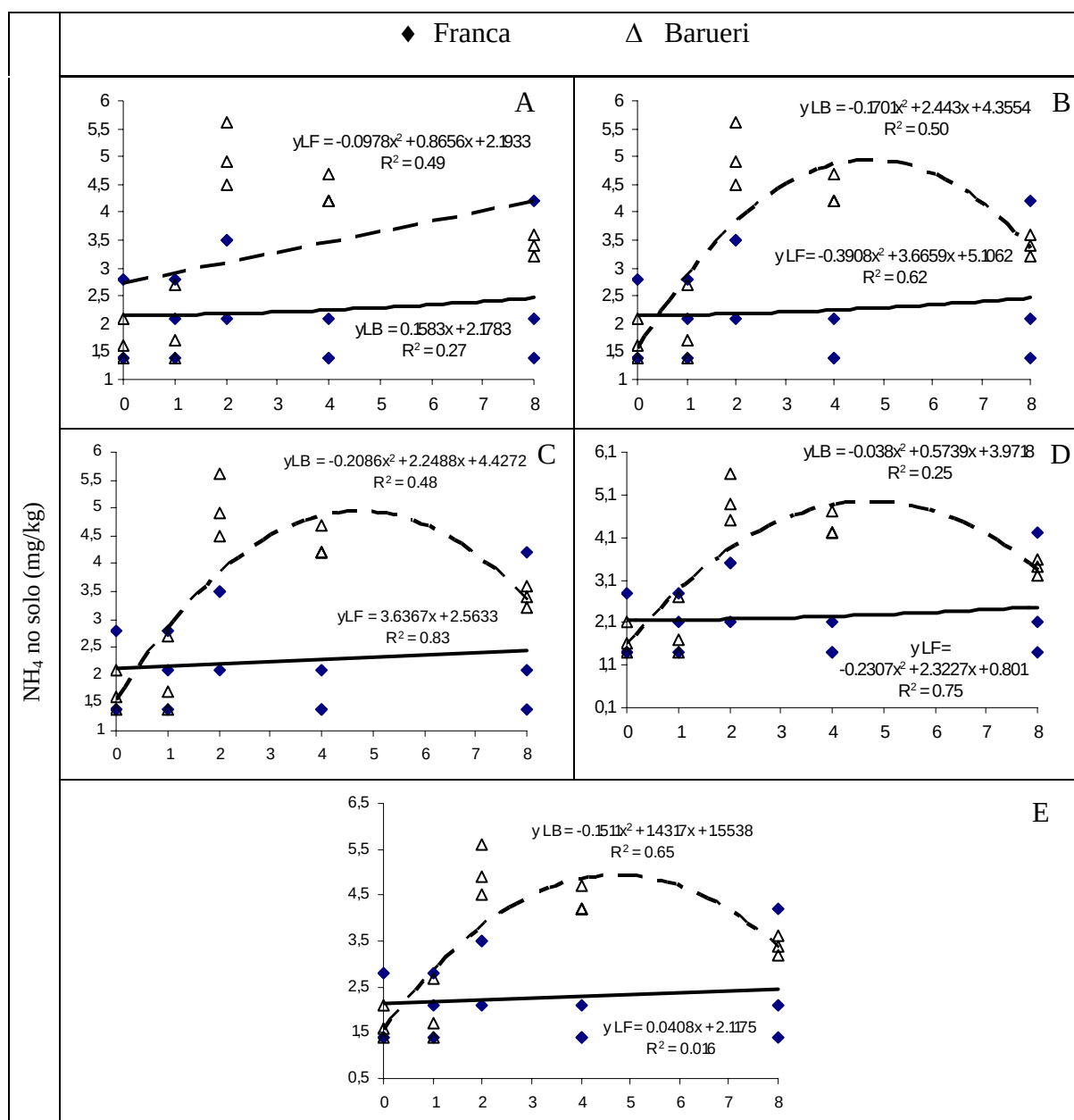
Dose de lodo baseado no conteúdo de N

Figura 5. Teor de magnésio (Mg) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com dose de lodo de esgoto de Franca Franca (◆, —) e Barueri (△, --), antes (A) e após 30 (B), 60 (C), 90 (D) e 120 (E) dias da adição de lodo no ano agrícola de 2001/2002.



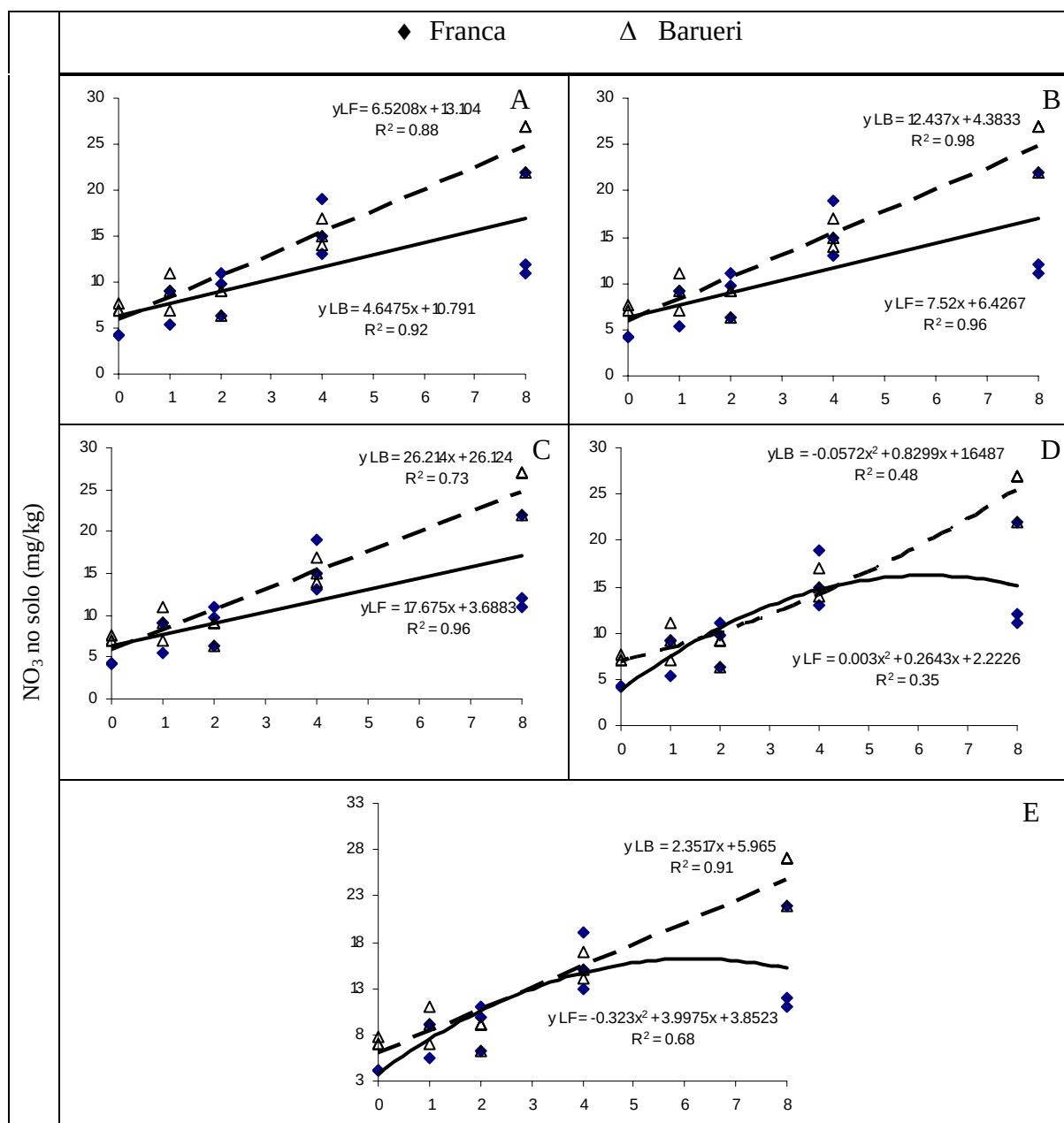
Dose de lodo baseado no conteúdo de N

Figura 6. Teor de cálcio (Ca) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com dose de lodo de esgoto de Franca (♦, -) e Barueri (Δ, --), antes (A) e após 30 (B), 60 (C), 90 (D) e 120 (E) dias da adição de lodo no ano agrícola de 2001/2002.



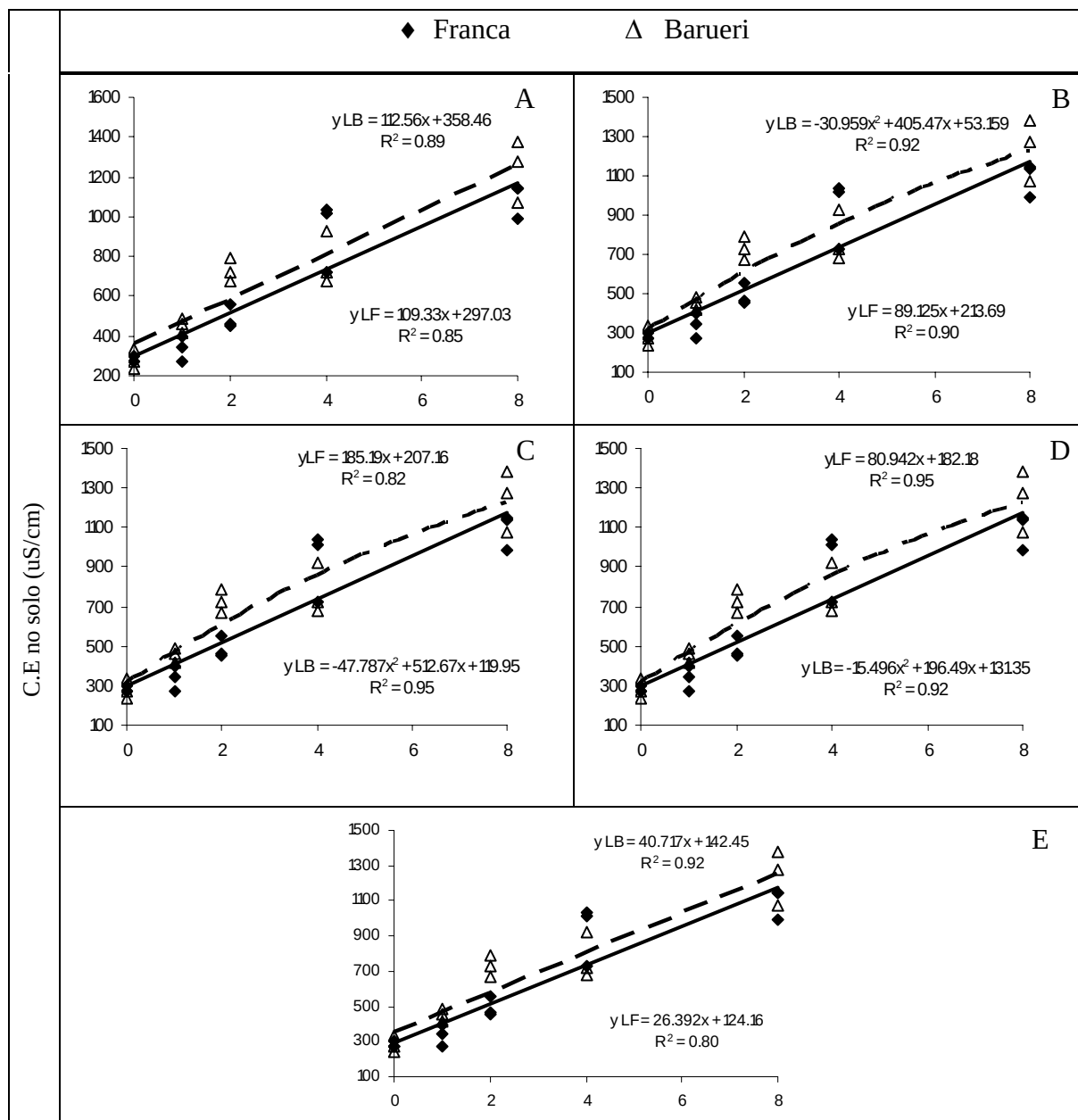
Dose de lodo baseado no conteúdo de N

Figura 7. Teor de amônio (NH_4) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com dose de lodo de esgoto de Franca (♦, —) e Barueri (Δ, --), antes (A) e após 30 (B), 60 (C), 90 (D) e 120 (E) dias da adição de lodo no ano agrícola de 2001/2002.



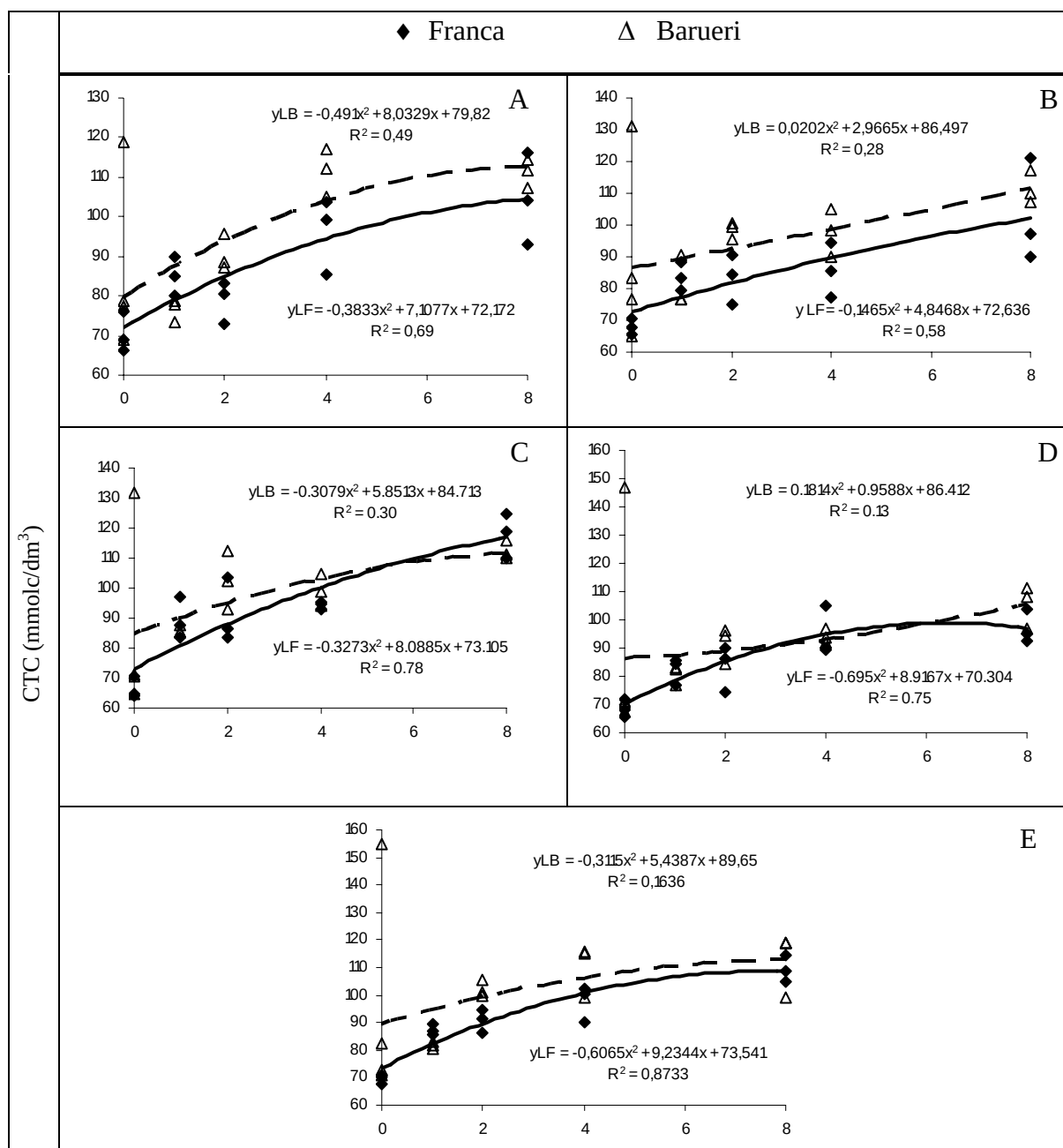
Dose de lodo baseado no conteúdo de N

Figura 8. Teor de (NO_3^-) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com dose de lodo de esgoto de Franca (♦, —) e Barueri (Δ, --), antes (A) e após 30 (B), 60 (C), 90 (D) e 120 (E) dias da adição de lodo no ano agrícola de 2001/2002.



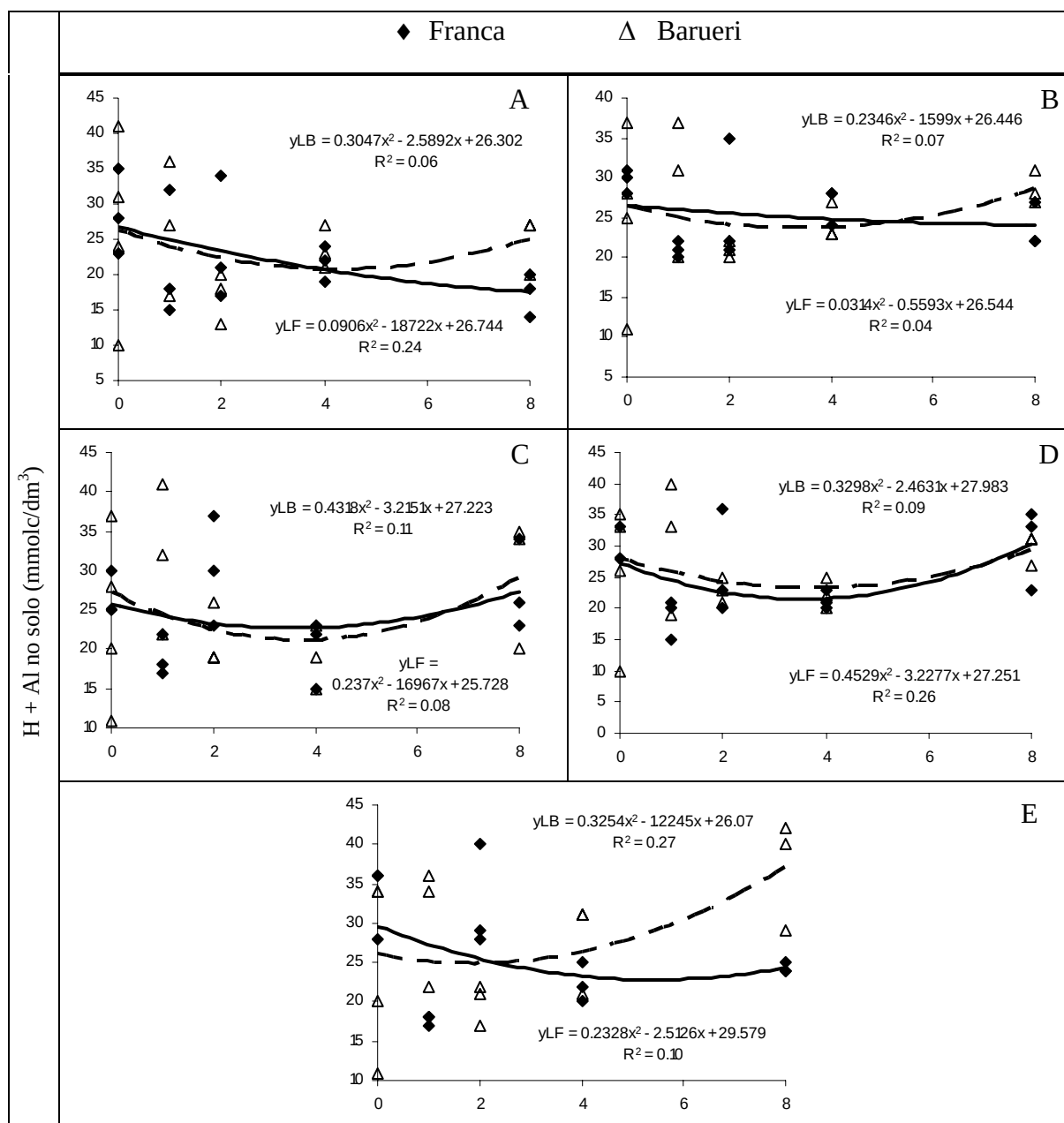
Dose de lodo baseado no conteúdo de N

Figura 9. A condutividade elétrica (CE) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com dose de lodo de esgoto de Franca (♦, —) e Barueri (Δ, --), antes (A) e após 30 (B), 60 (C), 90 (D) e 120 (E) dias da adição de lodo no ano agrícola de 2001/2002.



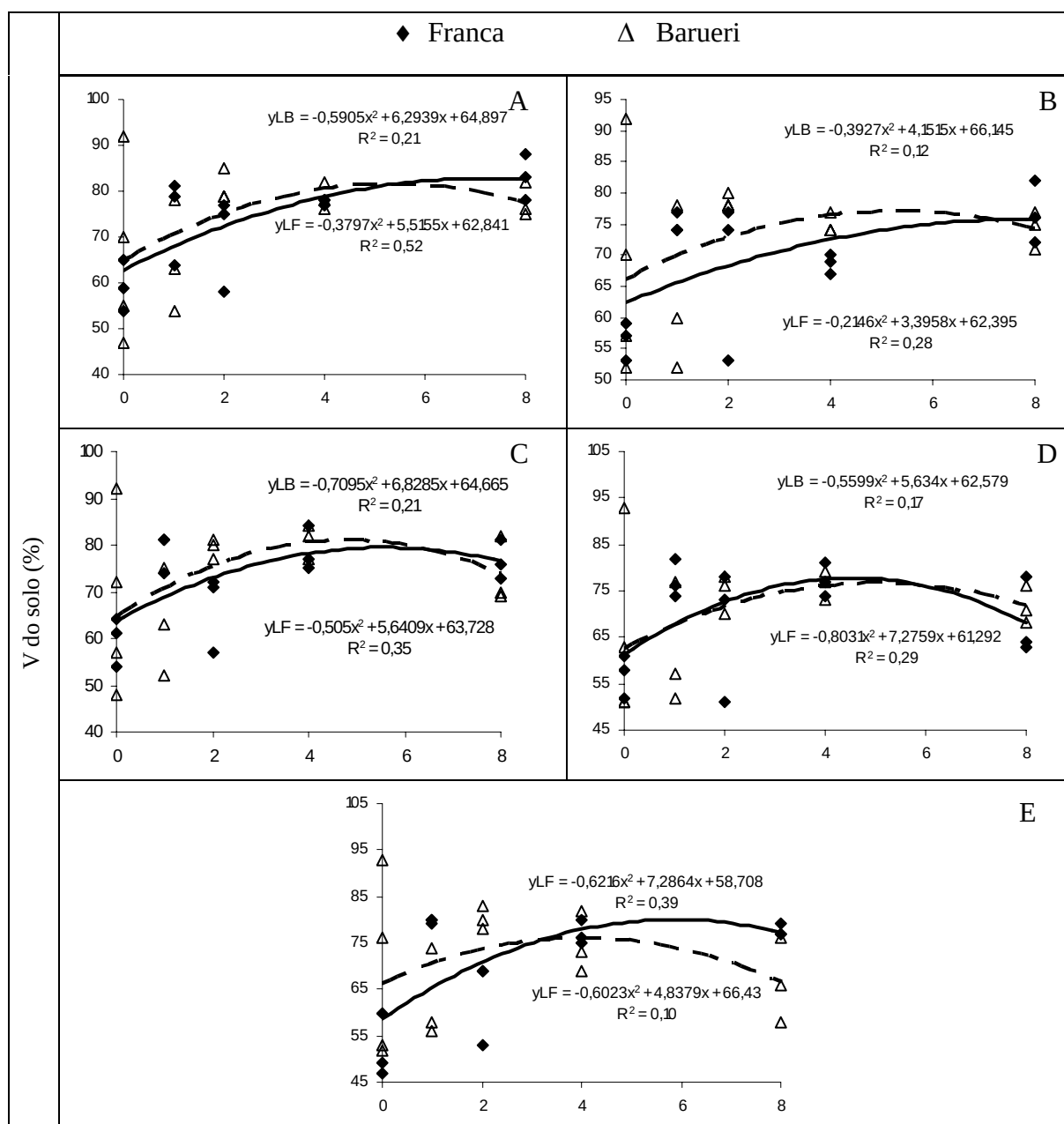
Dose de lodo baseado no conteúdo de N

Figura 10. A capacidade de troca de cátions (CTC) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com dose de lodo de esgoto de Franca (♦, -) e Barueri (Δ, --), antes (A) e após 30 (B), 60 (C), 90 (D) e 120 (E) dias da adição de lodo no ano agrícola de 2001/2002.



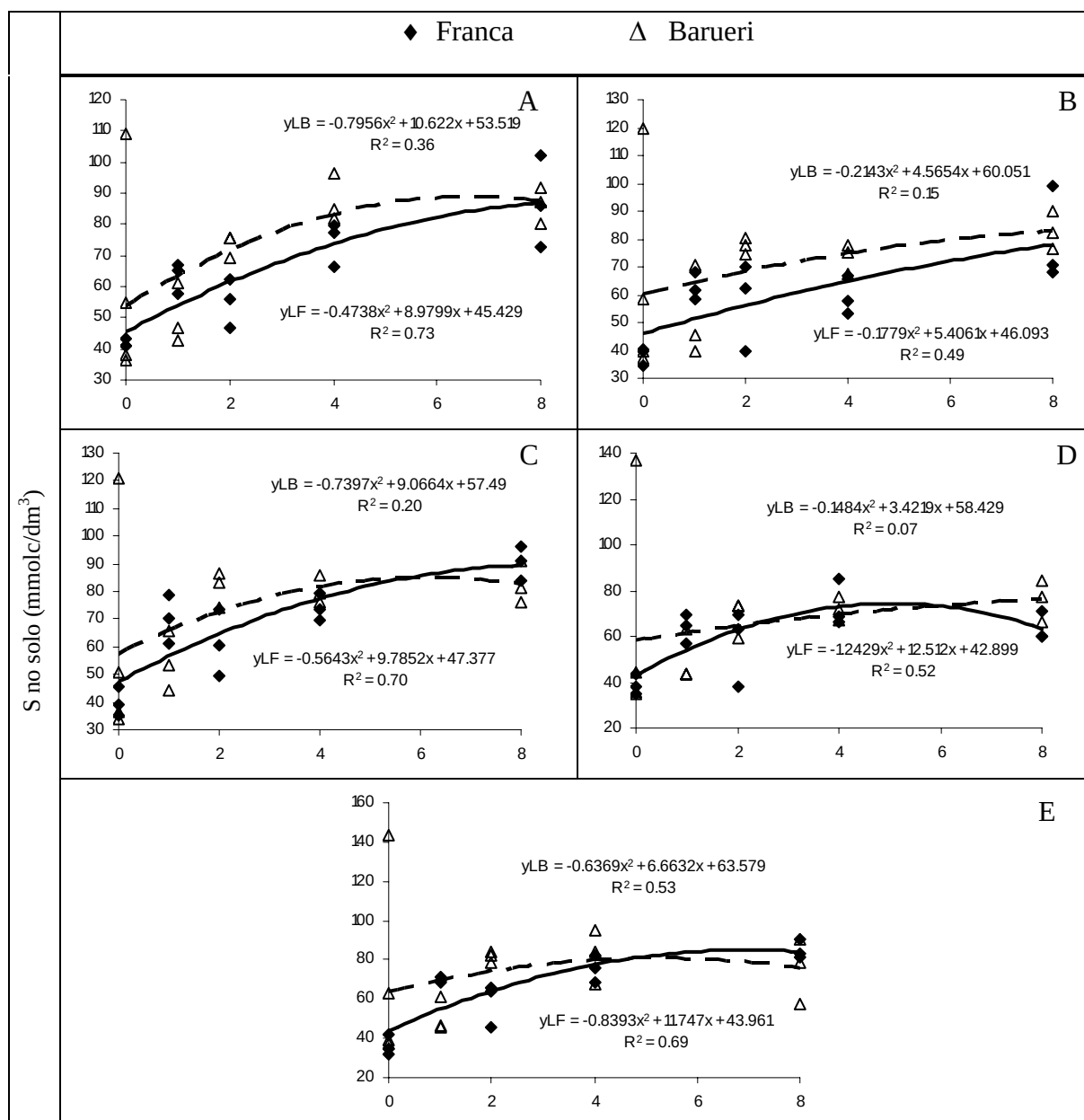
Dose de lodo baseado no conteúdo de N

Figura 11. A acidez potencial (H + Al) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com dose de lodo de esgoto de Franca (♦,—) e Barueri (Δ, --), antes (A) e após 30 (B), 60 (C), 90 (D) e 120 (E) dias da adição de lodo no ano agrícola de 2001/2002.



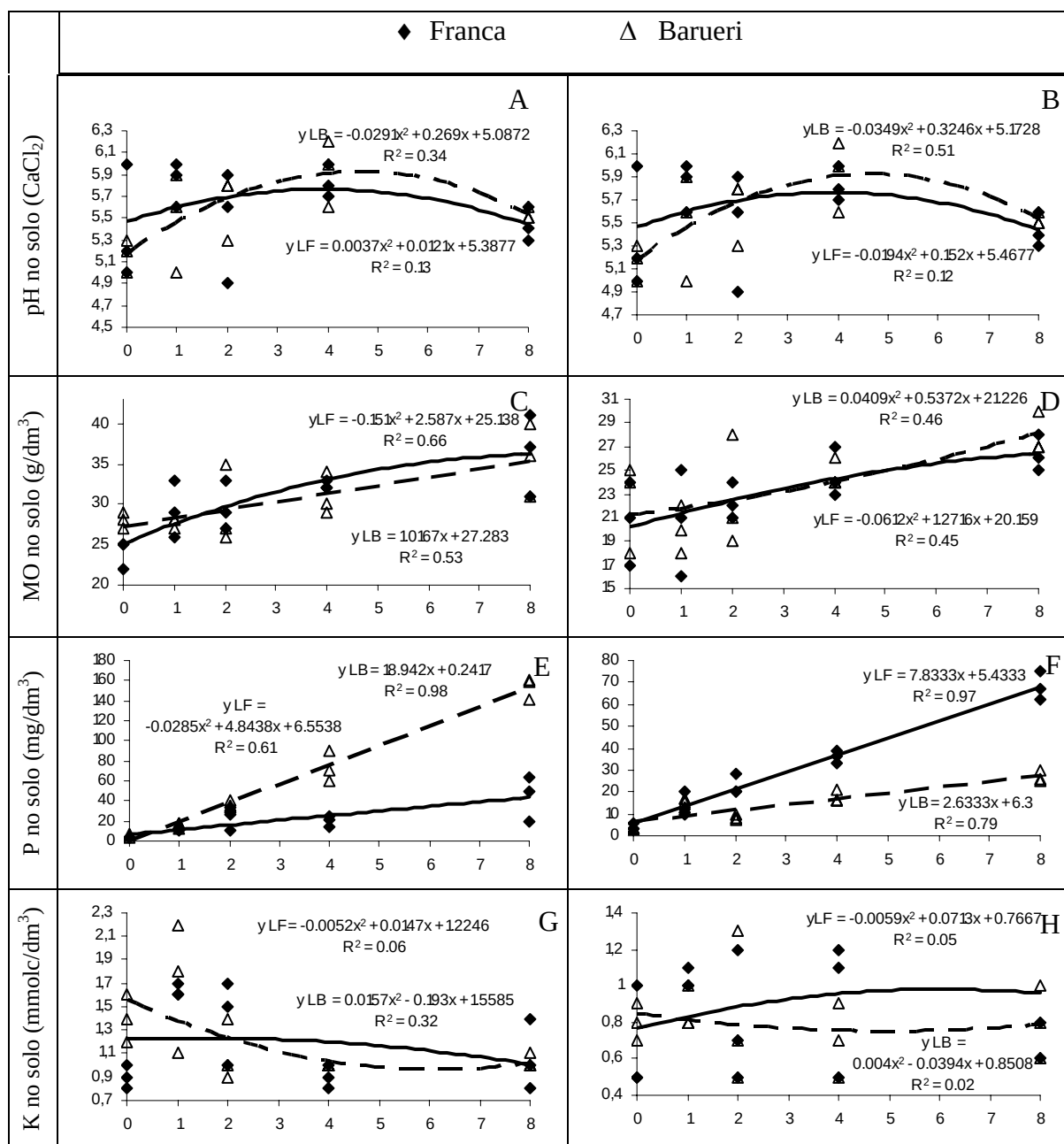
Dose de lodo baseado no conteúdo de N

Figura 12. A saturação de bases (V) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com dose de lodo de esgoto de Franca (♦, -) e Barueri (Δ, --), antes (A) e após 30 (B), 60 (C), 90 (D) e 120 (E) dias da adição de lodo no ano agrícola de 2001/2002.



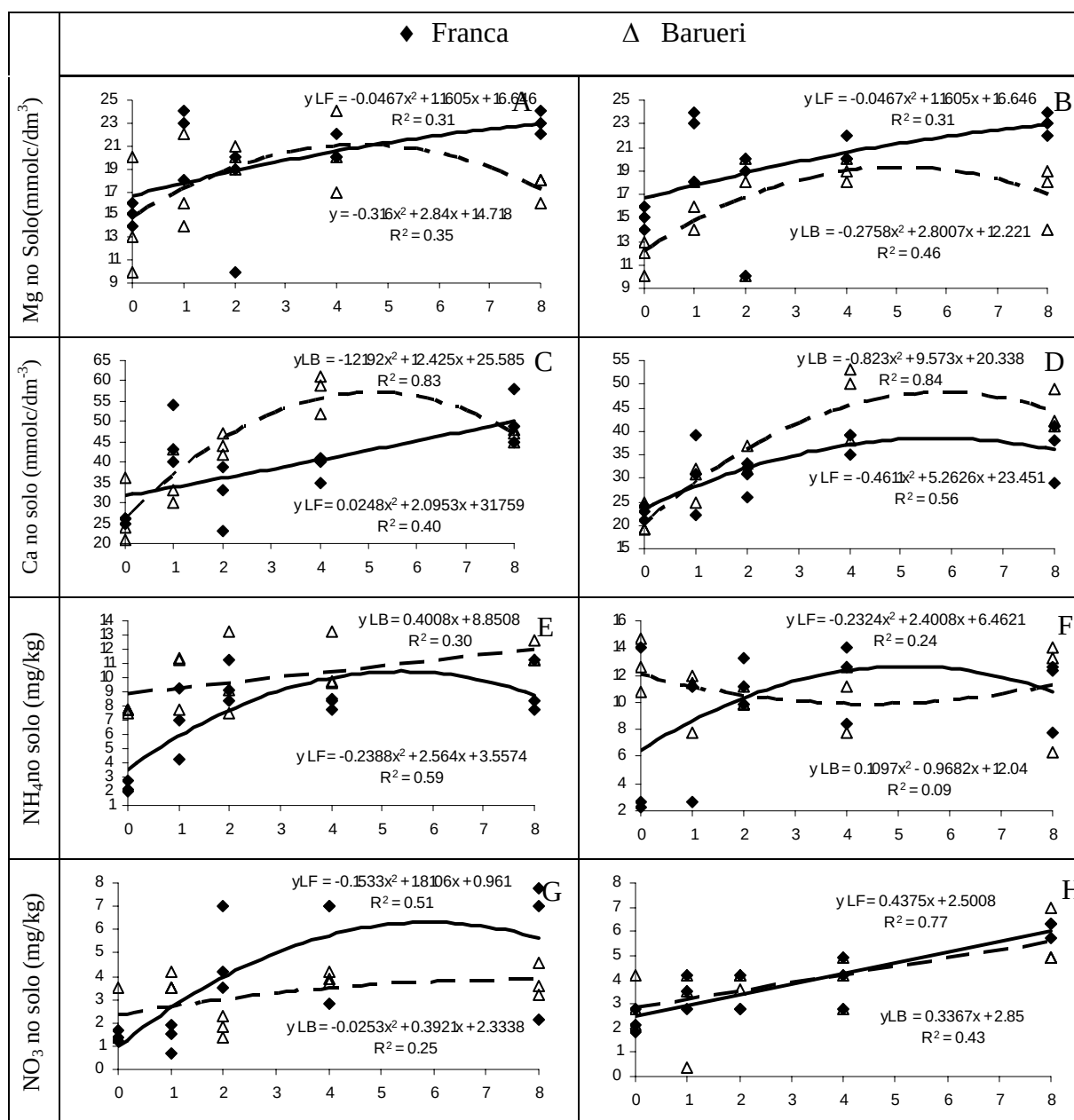
Dose de lodo baseado no conteúdo de N

Figura 13. A soma de bases (S) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com dose de lodo de esgoto Franca (♦, -) e Barueri (Δ, --), antes (A) e após 30 (B), 60 (C), 90 (D) e 120 (E) dias da adição de lodo no ano agrícola de 2001/2002.



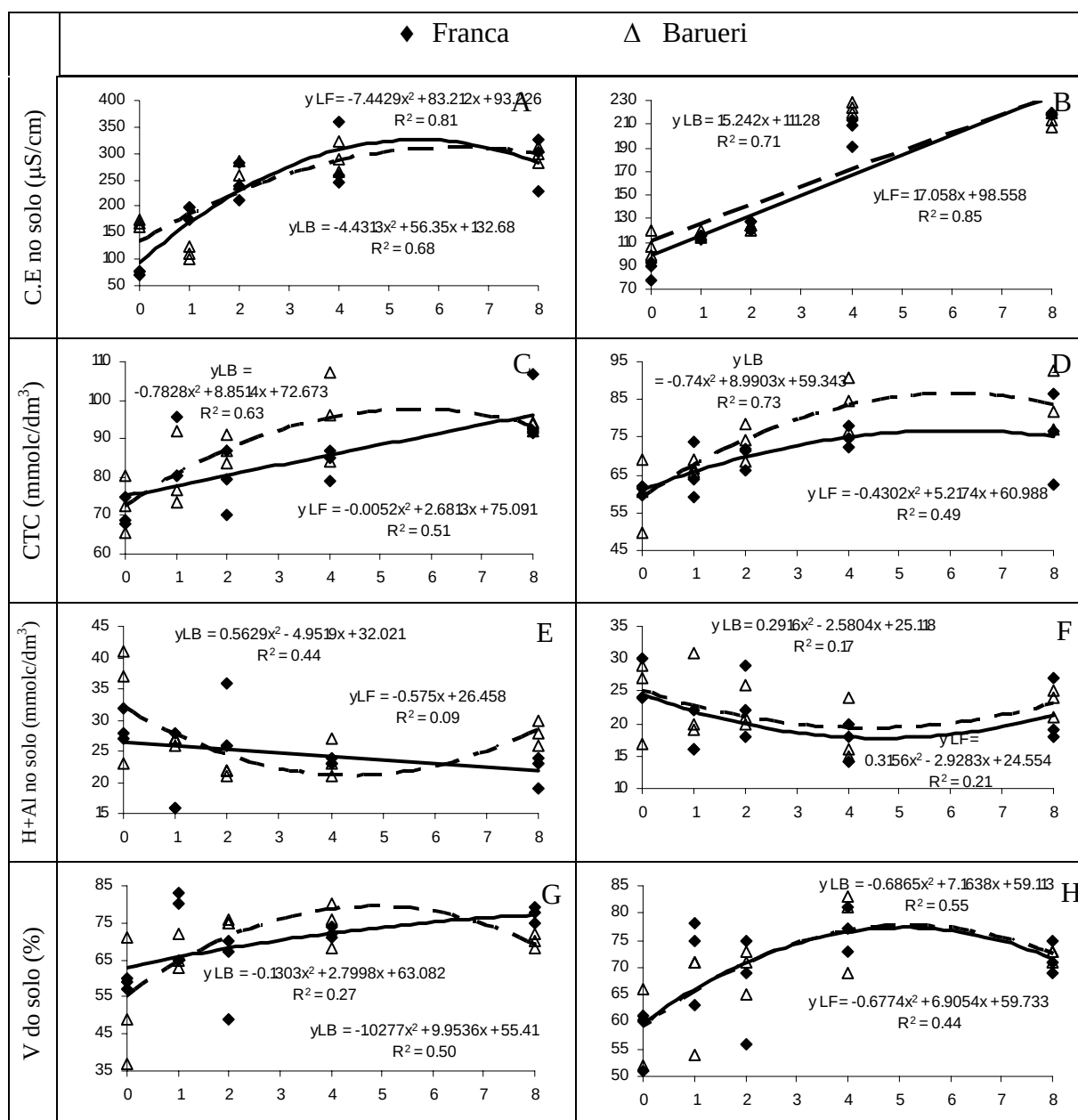
Dose de lodo baseado no conteúdo de N

Figura 14. O pH (CaCl₂), matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo rizosférico tratado com doses de lodo de esgoto de Franca (◆, -) e Barueri (△, -) aos 90 (A, C, E e G) dias e 120 (B, D, F e H) dias após a semeadura do milho no ano agrícola de 2001/2002.



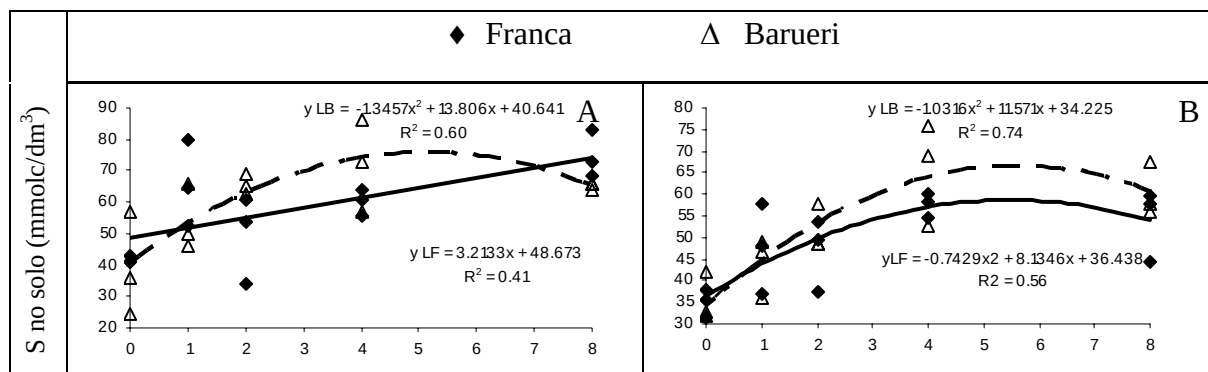
Dose de lodo baseado no conteúdo de N

Figura 15. Os teores de magnésio (Mg), Cálcio (Ca), amônio (NH₄) e nitrato (NO₃) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo rizosférico tratado com doses de lodo de esgoto de Franca (◆, -) e Barueri (△, --) aos 90 (A, C, E e G) dias e 120 (B, D, F e H) dias após a semeadura do milho no ano agrícola de 2001/2002.



Dose de lodo baseado no conteúdo de N

Figura 16. A condutividade elétrica (C.E), capacidade de troca de cátions (CTC), acidez potencial (H+Al), saturação de bases (V) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo rizosférico tratado com doses de lodo de esgoto de Franca (◆,--) e Barueri (△,--) aos 90 (A, C, E e G) dias e 120 (B, D, F e H) dias após a semeadura do milho no ano agrícola de 2001/2002.



Dose de lodo baseado no conteúdo de N

Figura 17. A soma de bases (S) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo rizosférico tratado com doses de lodo de esgoto de Franca (♦, -) e Barueri (Δ, --) aos 90 (A, C, E e G) dias e 120 (B, D, F e H) dias após a semeadura do milho no ano agrícola de 2001/2002.

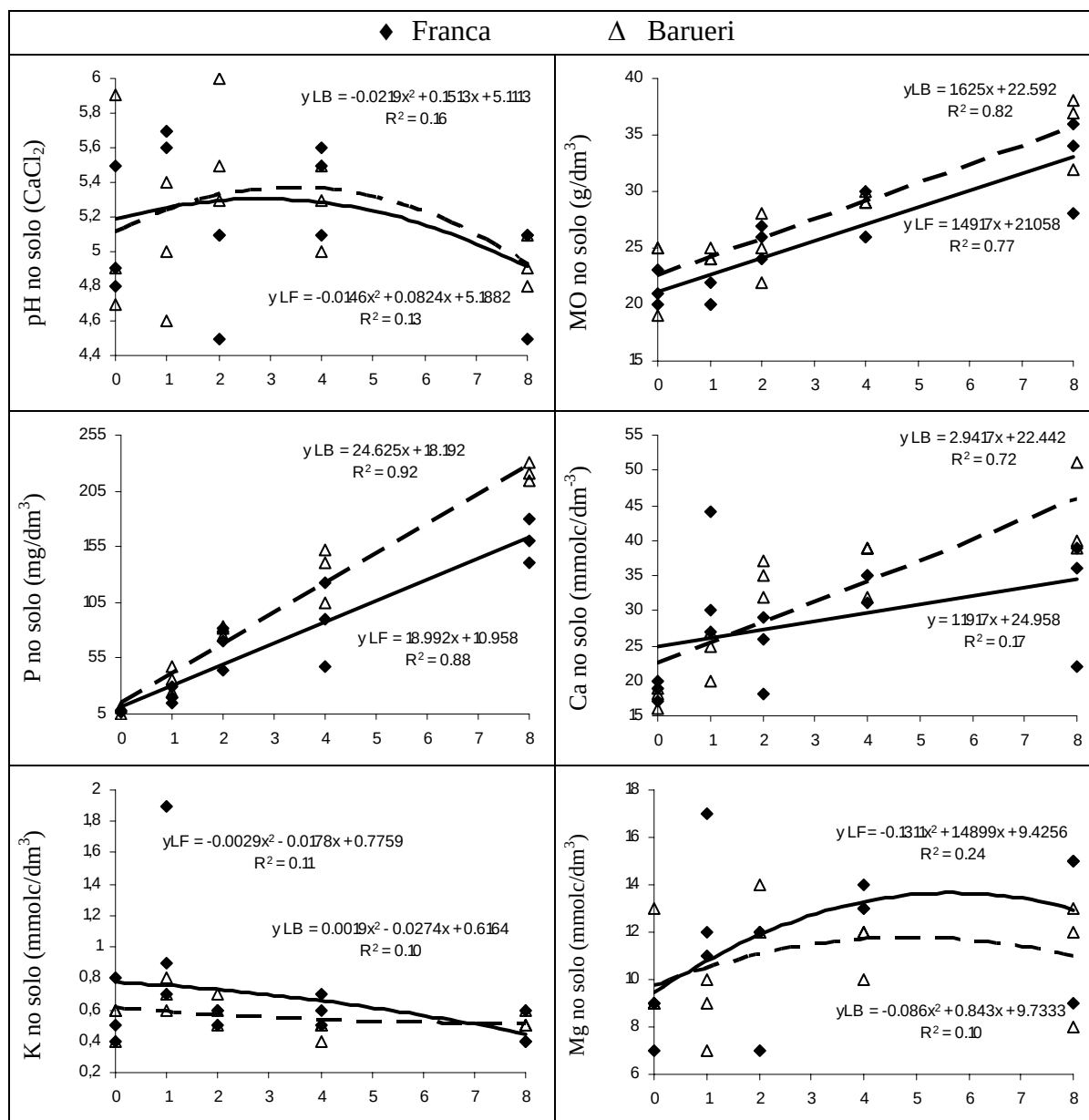


Figura 18. O pH (CaCl₂), matéria orgânica (MO), fósforo (P), cálcio (Ca), potássio (K) e magnésio (Mg) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com doses de lodo de esgoto de Franca (♦,--) e Barueri (Δ,--) a 90 dias após a semeadura do milho, no ano agrícola de 2002/2003.

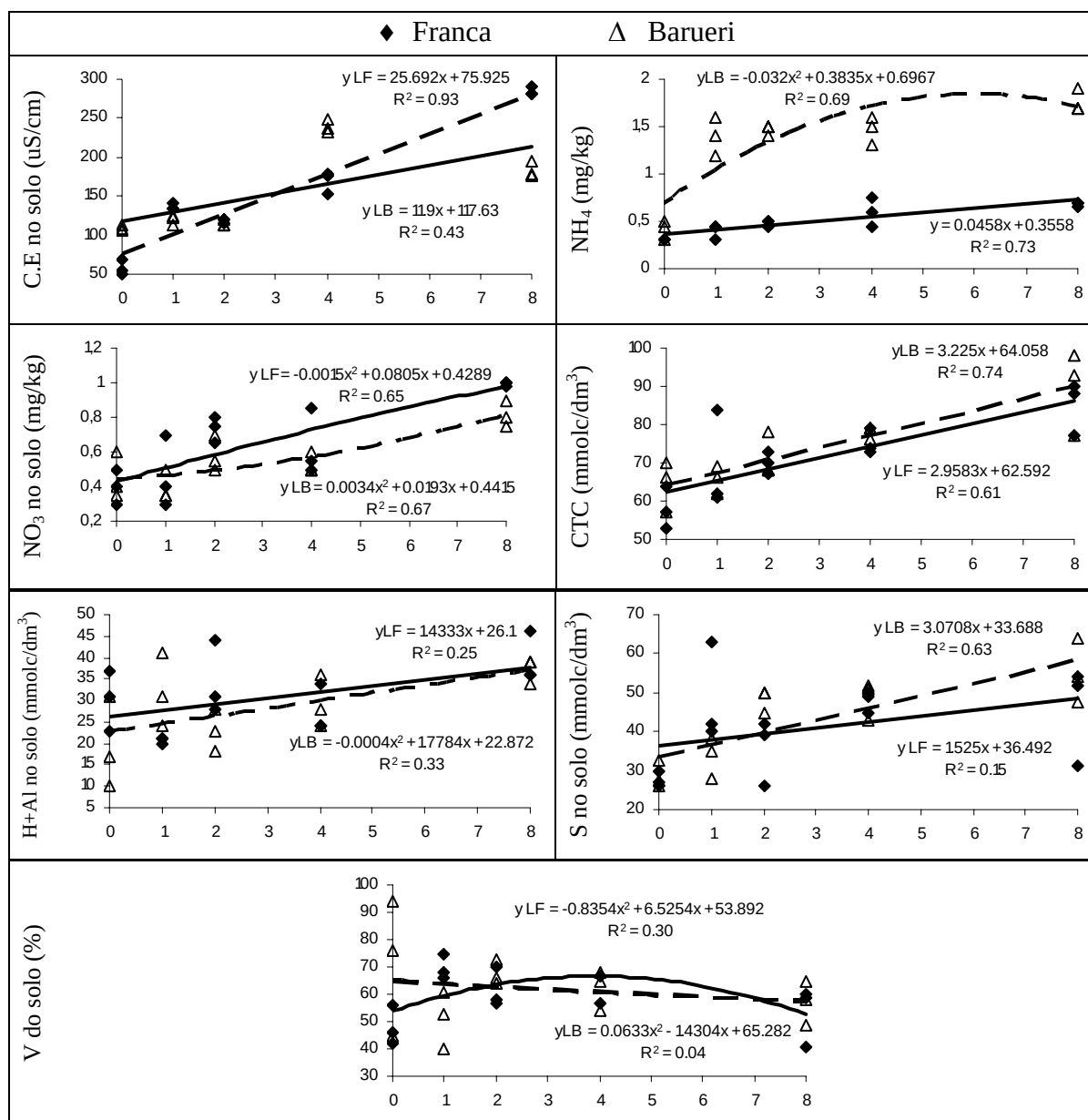


Figura 19.A condutividade elétrica (CE), amônia (NH_4), nitrato (NO_3), capacidade de troca de cátions (CTC), acidez trocável (H+Al), soma de bases (S) e saturação de bases (V) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com doses de lodo de esgoto de Franca (♦,—) e Barueri (Δ,—) a 90 dias após a semeadura do milho, no ano agrícola de 2002/2003.

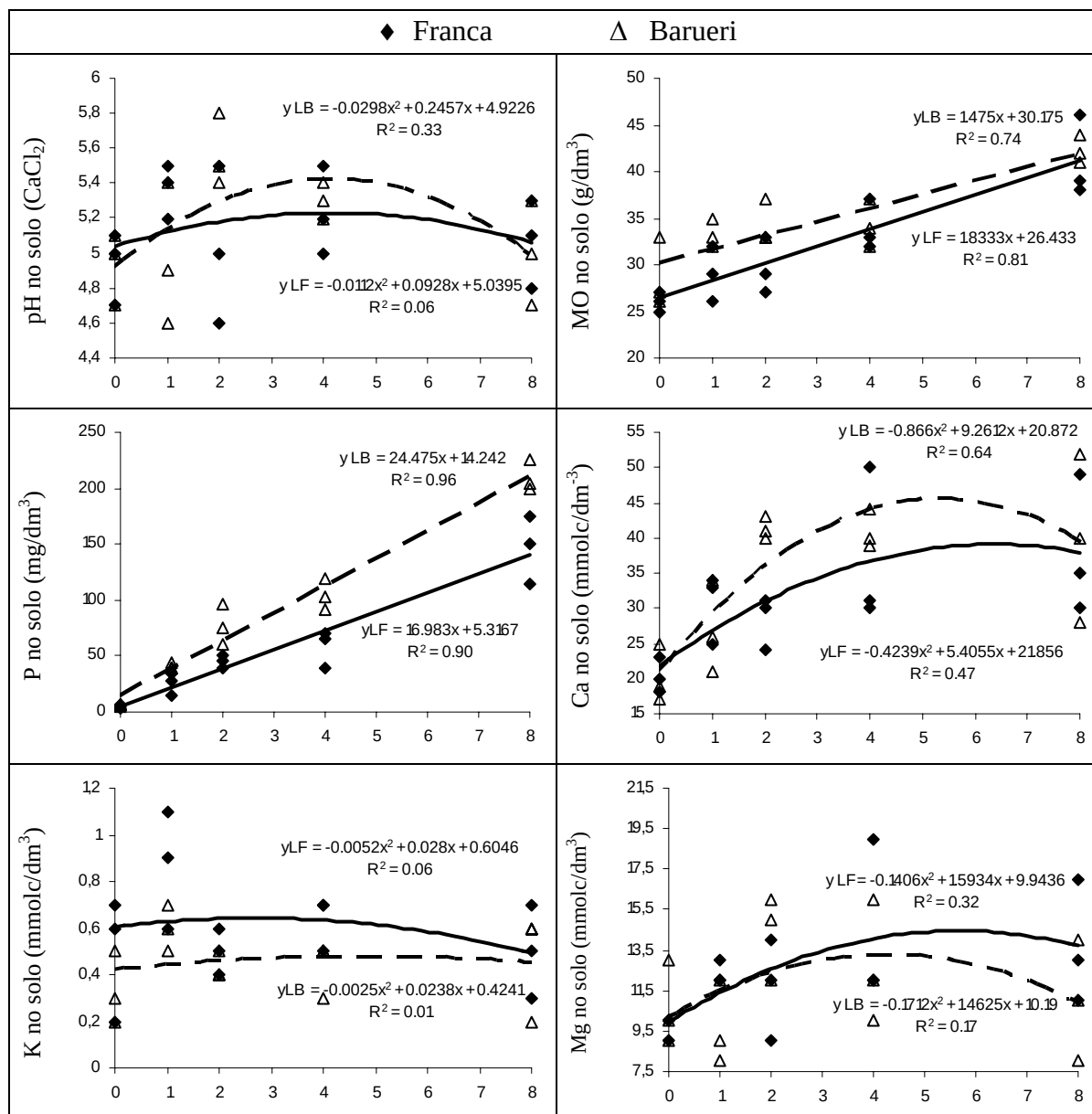


Figura 20. O pH (CaCl₂) matéria orgânica (MO), fósforo (P), cálcio (Ca), potássio (K) e magnésio (Mg) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo rizosférico tratado com doses de lodo de esgoto de Franca (♦, -) e Barueri (Δ, --) a 90 dias após a semeadura do milho, no ano agrícola de 2002/2003.

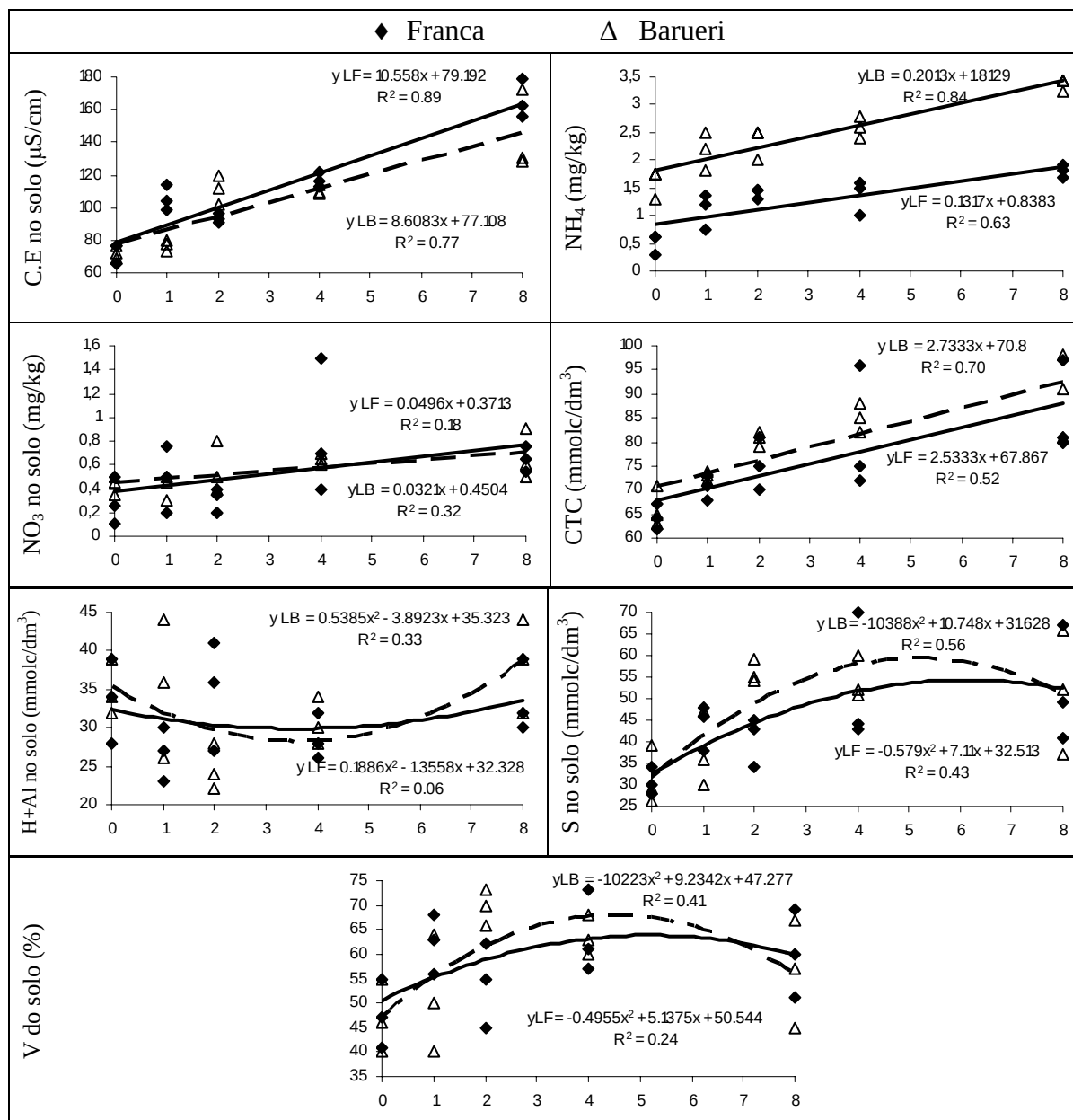


Figura 21. A condutividade elétrica (CE), amônia (NH₄), nitrato (NO₃), capacidade de troca de cátions (CTC), acidez trocável (H+Al), soma de bases (S) e saturação de bases (V) na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo rizosférico tratado com doses de lodo de esgoto de Franca (♦,-) e Barueri (Δ,-,-) a 90 dias após a semeadura do milho, no ano agrícola de 2002/2003.

6.2 Bactérias e fungos no solo tratados com lodo de esgoto

As comunidades de bactérias e fungos no solo rizosférico e não-rizosférico, nos anos agrícolas de 2001/2002 e 2002/2003, foram de uma maneira geral alteradas pela incorporação de doses de lodo de Franca e Barueri (Figuras 22, 23, 24, 25 e 26). Percebe-se, na Figura 22, que as bactérias foram estimuladas pela aplicação de doses de lodo de esgoto e que o valor no número de bactérias foi mais elevado aos 30 dias após a adição de lodo no solo, com a contagem variando entre 2×10^4 ufc g solo⁻¹ para o solo sem lodo e 302×10^4 ufc g solo⁻¹ na parcela com 2N de lodo de Barueri. Comparando-se as curvas de tendências das bactérias antes e 30 dias após a adição do lodo, nota-se que o lodo de Barueri estimulou mais o desenvolvimento da comunidade de bactérias do que o lodo de Franca, isto ocorreu provavelmente porque as doses de lodo de Barueri proporcionaram uma liberação mais acentuada de fósforo, cálcio, amônio e nitrato (Figuras 3B, 6B, 7B e 8B).

A contagem de fungos no solo (Figura 23) também revelou que esses microrganismos foram favorecidos pelo aumento nas doses de lodo incorporadas no solo. Foi constatado que o número de fungos variou de 3×10^3 ufc g solo⁻¹ no solo testemunha antes da adição do lodo para 250×10^3 ufc g solo⁻¹ na parcela com 8N de lodo de Barueri, após 90 dias dessa aplicação. Analisando-se os períodos, verifica-se que, 30 dias após a aplicação do lodo de Franca, os fungos foram estimulados no solo. Por outro lado, os fungos das parcelas tratadas com lodo de Barueri foram inibidos no solo. Porém, essa inibição foi passageira, pois percebe-se depois que, entre o 60º e o 120º dia, os maiores valores no número de fungos no solo foram observados nas parcelas tratadas com as doses do lodo de Barueri. Na figura 23 não estão apresentadas as contagens de fungos no solo tratado com lodo de Barueri, devido a perda da amostra.

O número de bactérias determinado aos 90 e 120 dias na rizosfera de milho fertilizado com lodo de Franca e Barueri (Figura 24A e 24B) mostra a mesma tendência observada no solo não-rizosférico, com as bactérias sendo estimuladas pela incorporação de doses de lodo. Também se constata uma alternância na comunidade de bactérias em função do tipo de lodo e do período de coleta. Assim, verifica-se que, aos 90 dias, o maior número de bactérias foi determinado no solo rizosférico tratado com lodo de Barueri, e, aos 120 dias, as parcelas tratadas com lodo de Franca apresentam os valores mais elevados de bactérias.

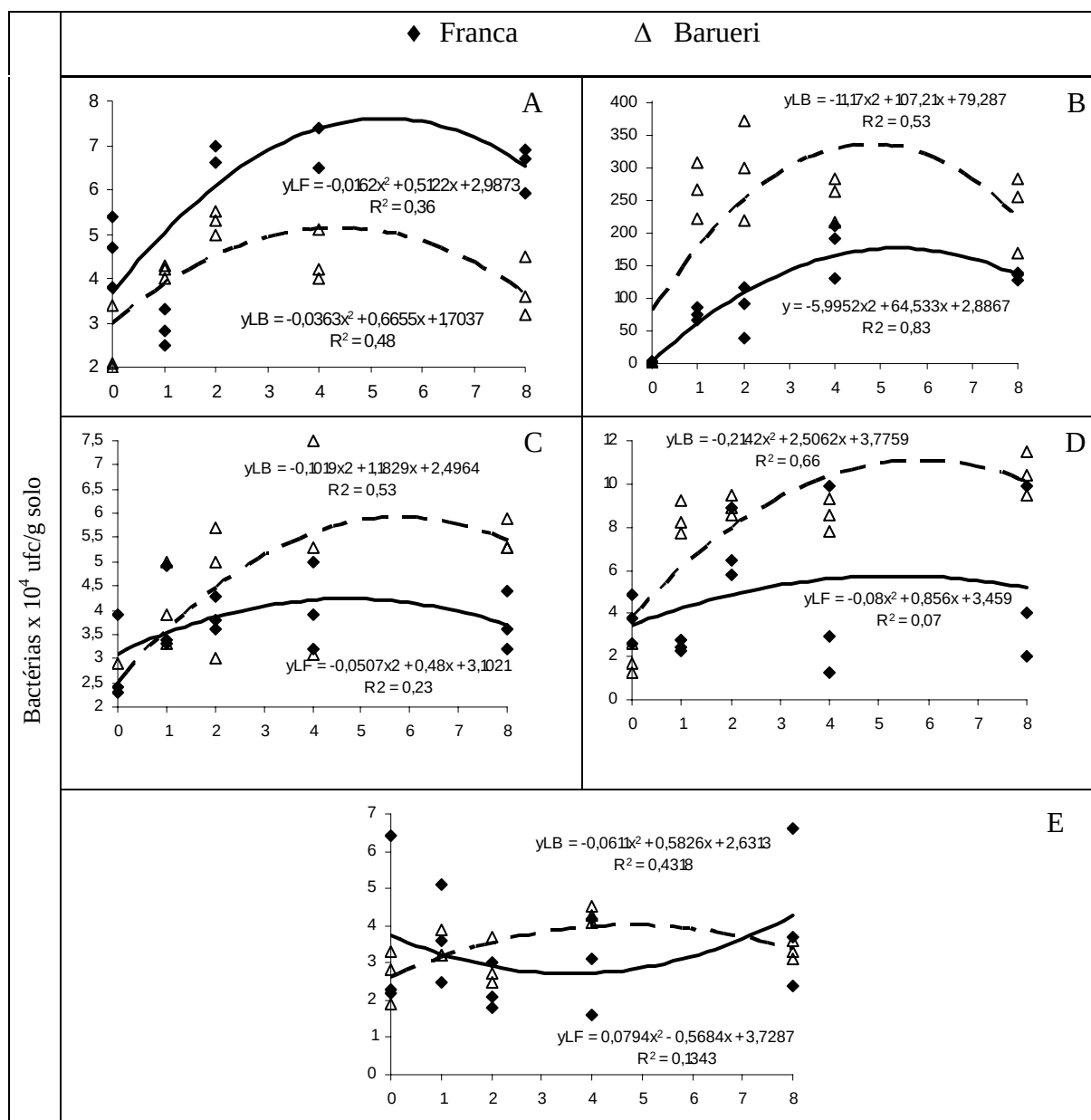
O número de fungos na rizosfera (Figuras 24C e 24D) aos 90 e 120 dias foram estimulados pela aplicação de doses de lodo e, principalmente, pelo lodo de Barueri.

No ano agrícola de 2002/2003, a contagem de bactérias e fungos no solo rizosférico e não-rizosférico foi realizada aos 90 dias após a semeadura do milho (Figuras 25 e 26). Pelos resultados, constata-se que o lodo de Franca foi mais favorável às bactérias do solo do que o lodo de Barueri; em relação aos fungos não houve diferença entre os tipos de lodo.

Já no solo rizosférico (Figura 26), observa-se que o lodo de Franca na dose 8N reduziu acentuadamente as bactérias no solo, ao contrário do lodo de Barueri, que apresenta um crescimento linear. Em relação aos fungos na rizosfera, verifica-se que o lodo de Barueri estimulou mais do que o lodo de Franca.

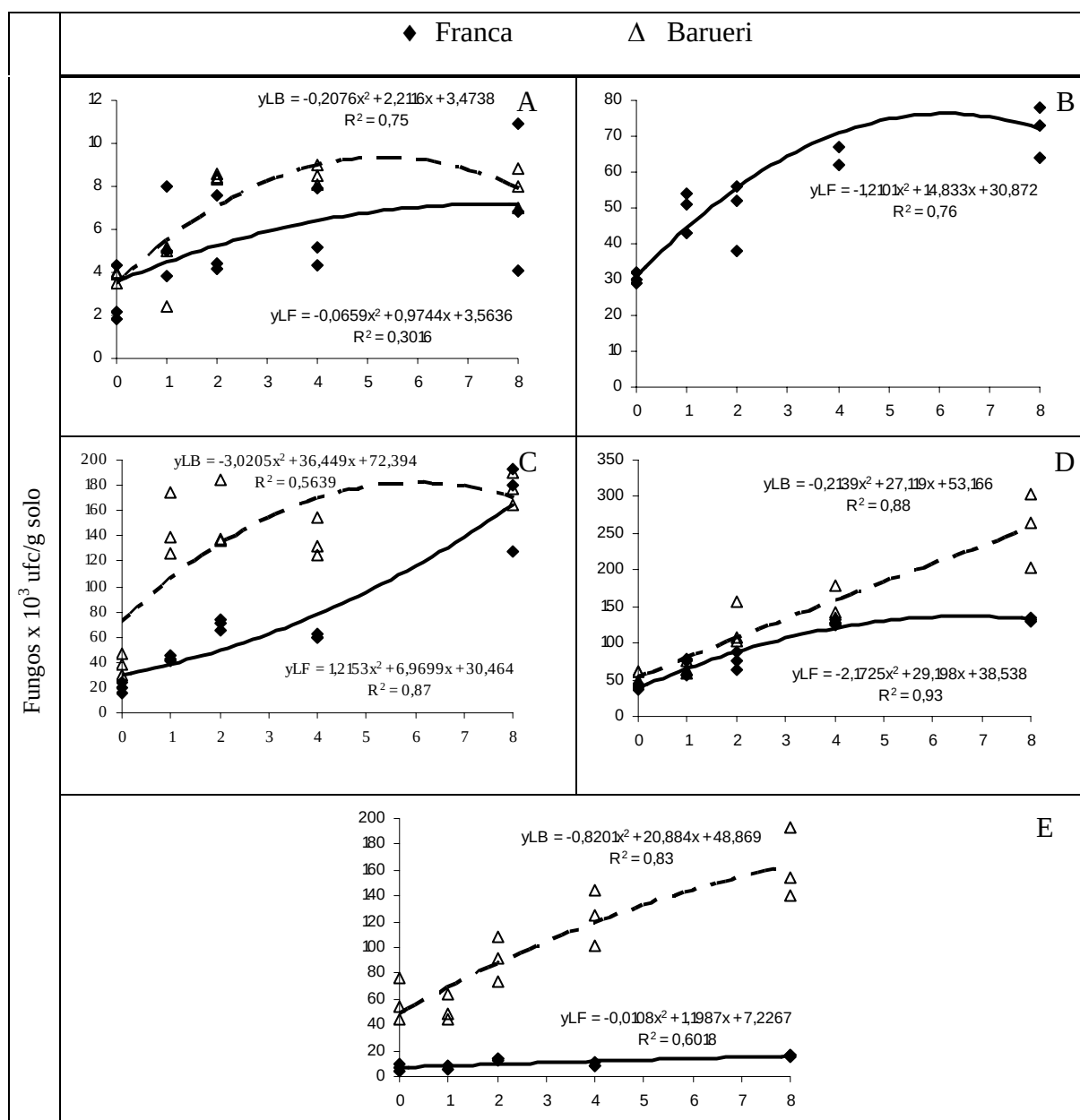
Em linhas gerais pode-se dizer que o aumento no número de bactérias e fungos, verificado nas parcelas com lodo de esgoto, pode ter ocorrido devido à introdução no solo de microrganismos existentes no lodo e, também, pelo fornecimento de substratos

energéticos e nutrientes para a multiplicação das células de bactérias e fungos (Brendecke et al., 1993; Dias-Júnior et al., 1998; Jahnelt et al., 1999, Fortes Neto, 2000).



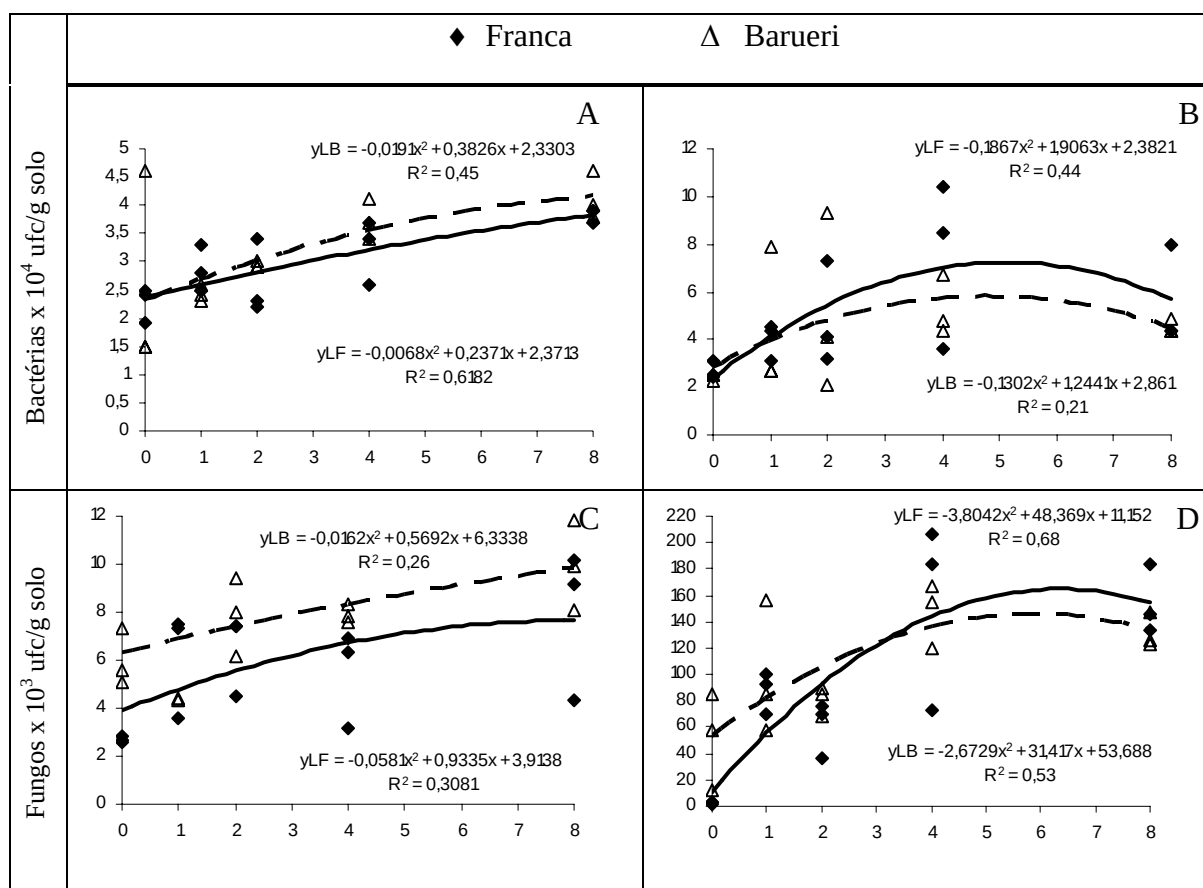
Dose de lodo baseado no conteúdo de N

Figura 22. Comunidade de bactérias na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com dose de lodo de esgoto de Franca (♦,–) e Barueri (Δ,--), antes (A) e após 30 (B), 60 (C), 90 (D) e 120 (E) dias após a adição de lodo no ano agrícola de 2001/2002.



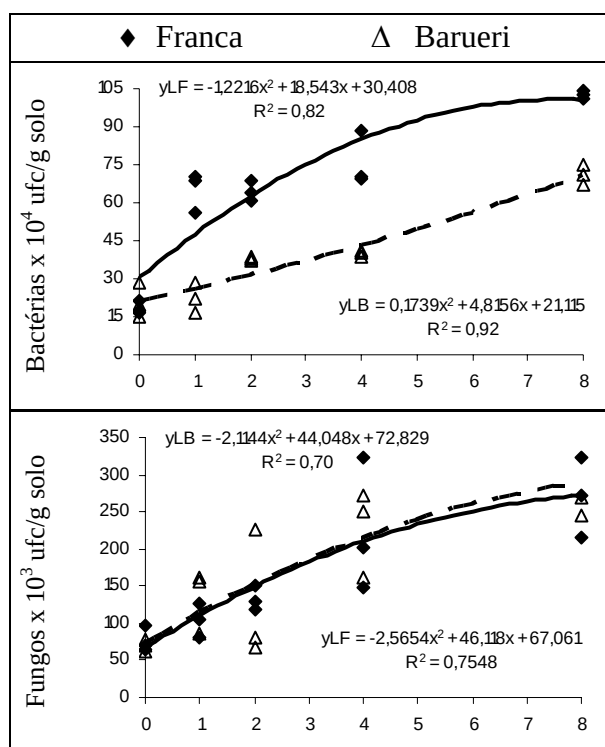
Dose de lodo baseado no conteúdo de N

Figura 23. Comunidade de fungos na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com dose de lodo de esgoto de Franca (♦, —) e Barueri (Δ, --), antes (A) e após 30 (B), 60 (C), 90 (D) e 120 (E) dias após a adição de lodo, no ano agrícola de 2001/2002.



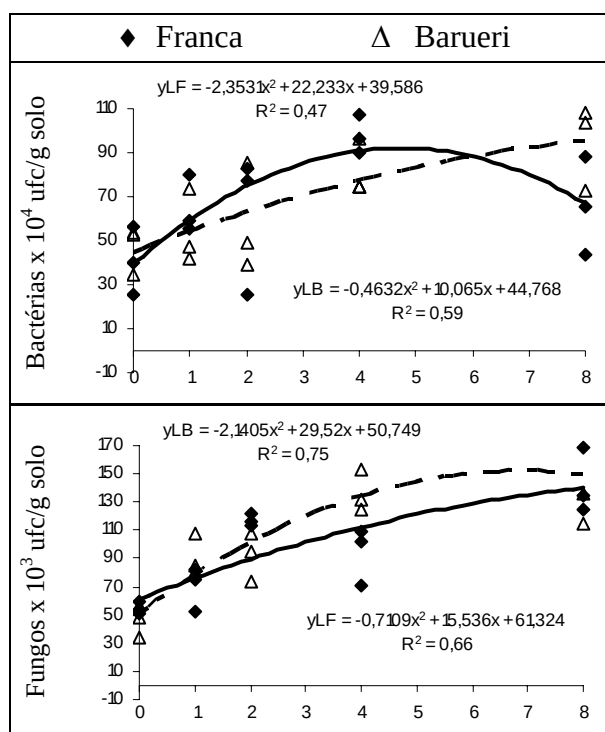
Dose de lodo baseado no conteúdo de N

Figura 24. Comunidade de bactérias e fungos na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo rizosférico tratado com dose de lodo de esgoto de Franca (◆, —) e Barueri (△, --), aos 90 dias (A e C) e os 120 dias (B e D) após a semeadura do milho no ano agrícola de 2001/2002.



Dose de lodo baseado no conteúdo de N

Figura 25 Comunidade de bactérias e fungos na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo não rizosférico tratado com dose de lodo de esgoto de Franca (♦,—) e Barueri (Δ,--), aos 90 dias após a semeadura do milho, no ano agrícola de 2002/2003.



Dose de lodo baseado no conteúdo de N

Figura 26. Comunidade de bactérias e fungos na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo rizosférico tratado com dose de lodo de esgoto de Franca (◆,—) e Barueri (△,--), aos 90 dias após a semeadura do milho, no ano agrícola de 2002/2003.

6.3 *Fusarium* spp. no solo tratado com doses de lodo de esgoto

A quantificação da comunidade de *Fusarium* spp. no solo foi expressa em 10⁴ unidades formadoras de colônia (ufc) por grama de solo seco, nas amostras coletadas antes da adição de lodo e, posteriormente, aos 30, 60, 90 e 120 dias após a incorporação do lodo de Franca e Barueri, no ano agrícola de 2001/2002 (Tabelas 3 e 4). Verifica-se que a comunidade de *Fusarium* spp. variou significativamente com as doses de lodo de Franca e Barueri. Os valores de *Fusarium* spp. no solo com lodo de Franca oscilaram de 4,6 x 10⁴ ufc g⁻¹ solo seco, para a dose 1N no primeiro dia da coleta, para 22,9 x 10⁴ ufc g solo⁻¹ na dose 8N. Após 30 dias da adição do lodo os valores foram de 11,8 x 10⁴ ufc g solo⁻¹ e de 24,7 x 10⁴ ufc

g^{-1} solo, respectivamente. A comunidade de *Fusarium* spp. apresentou uma variação entre $5,6 \times 10^4$ ufc g^{-1} solo, para a dose 1N, e 30×10^4 ufc g^{-1} solo, para a dose 8N do lodo de Barueri, no mesmo período antes da incorporação do lodo no solo (Tabela 5). Em todos os períodos de coleta e com os dois tipos de lodo, a comunidade de *Fusarium* spp. das parcelas com as doses de 1N em alguns períodos e 2N, 4N e 8N mantém-se com valores significativamente acima daqueles verificados nas parcelas sem a incorporação de lodo. Pelos dados obtidos, pode-se afirmar, de uma maneira geral, que as doses de lodo de Franca e Barueri, nas doses acima de 2N, estimulou o desenvolvimento de *Fusarium* spp. no solo.

Tabela 4. Comunidade de *Fusarium* spp. (10^4 ufc. g^{-1} solo seco) no solo não-rizosférico sem e com a adição de doses de lodo de esgoto de Franca, no ano agrícola de 2001/2002 (Médias de 3 repetições).

Tratamentos ⁽¹⁾	Épocas de amostragem em relação à aplicação de lodo (dias)				
	1	30	60	90	120
NPK	8,5b ⁽²⁾	10bc	12,5ab	12,7a	5,1c
0N	5,7bc	7,4c	8,4b	3,8b	7,8b
1N	4,6c	11,8bc	12,5ab	12,1a	12,2a
2N	21,6a	14,3b	12ab	13,5a	13,9a
4N	20,8a	14,8b	15,8a	13,4a	11,4a
8N	22,9a	24,7a	14,5a	12,9a	11,8a
CV %	11,09	19,40	22,30	27,03	12,7

⁽¹⁾ NPK = adubação mineral recomendada para a cultura, 0N, 1N, 2N, 4N e 8N = doses de lodo de esgoto correspondentes a zero, uma, duas, quatro e oito vezes a dose recomendada com base no teor de nitrogênio. ⁽²⁾ Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem significativamente entre si, pelo teste de Duncan 5%.

Tabela 5. Comunidade de *Fusarium* spp. (10^4 ufc.g⁻¹ solo seco) no solo não-rizosférico sem e com a adição de doses de lodo de esgoto de Barueri, no ano agrícola de 2001/2002 (Médias de 3 repetições).

Tratamentos ⁽¹⁾	Épocas de amostragem em relação à aplicação de lodo (dias)				
	1	30	60	90	120
NPK	7,4d ⁽²⁾	11,4c	14,2b	14,5c	7,2bc
0N	7,6d	11,6c	8,8c	5,7d	5,3c
1N	5,6d	14,1bc	14,1b	20,8b	5,8bc
2N	13,3c	16,6abc	16,1ab	24,8a	9,6b
4N	24,6b	22,3a	18,9a	27,5a	17,6a
8N	30,0a	19,6ab	20,2a	22,9a	15,0a
CV (%)	19,09	21,30	15,80	11,01	19,41

⁽¹⁾ NPK = adubação mineral recomendada para a cultura, 0N, 1N, 2N, 4N e 8N = doses de lodo de esgoto correspondentes a zero, uma, duas, quatro e oito vezes a dose recomendada com base no teor de nitrogênio. ⁽²⁾ Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem significativamente entre si, pelo teste de Duncan 5%.

Os resultados de *Fusarium* spp. determinados nos solos tratados com lodo de Franca e Barueri estão acima dos valores observados anteriormente por Bettiol (2004) nesses mesmos solos, nos anos agrícolas de 1999/2000 e 2000/2001, em que se constatou que a população de *Fusarium* spp. no solo tratado com lodo de Franca e Barueri variou de 10×10^3 ufc de g solo seco⁻¹ em solo sem lodo para 40×10^3 ufc de *Fusarium* spp. g solo⁻¹ em solo com a dose de 8N de lodo.

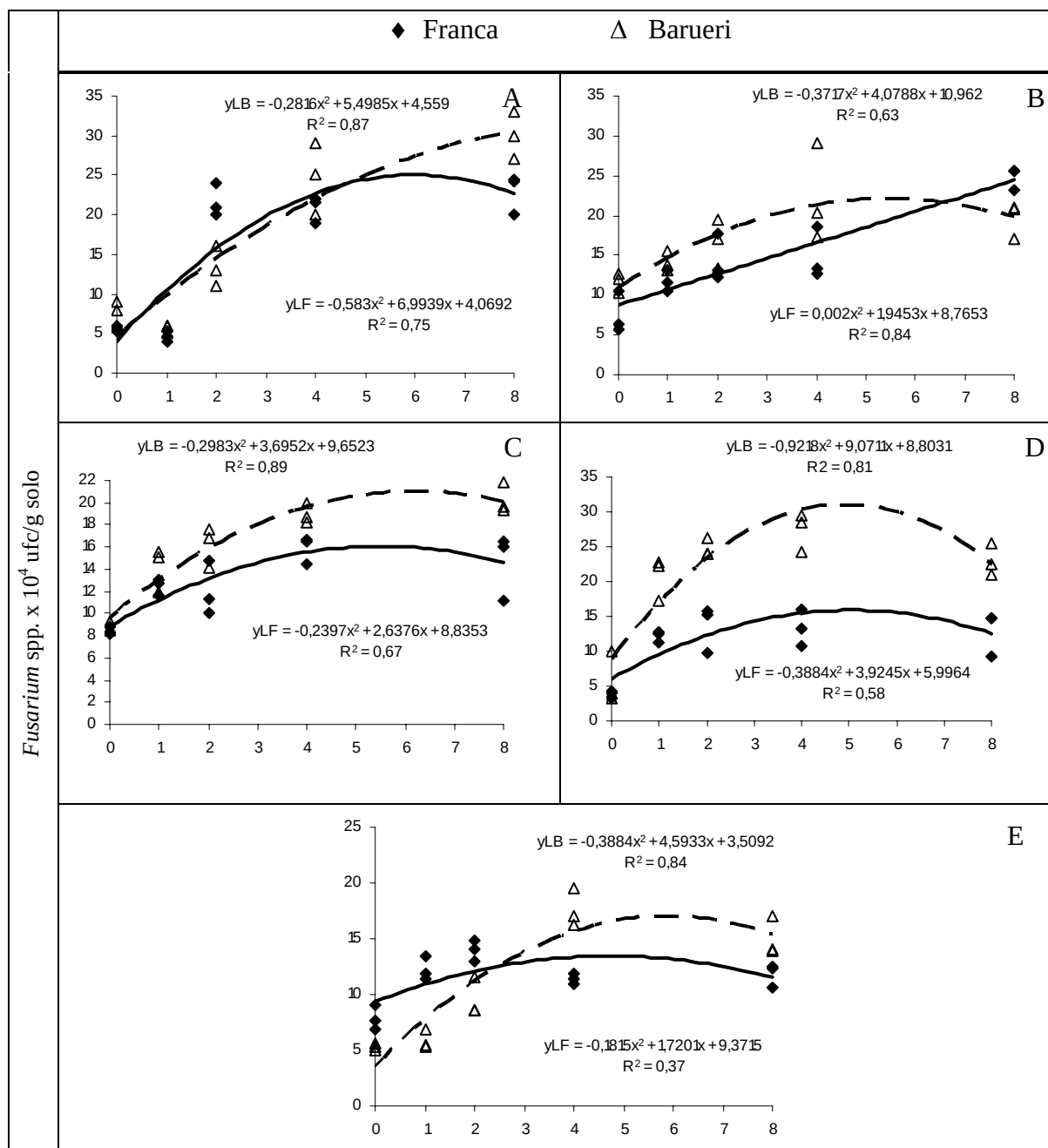
A comunidade de *Fusarium* spp. realizada ao longo do tempo nas parcelas sem a adição de lodo de Franca e Barueri variou entre $3,8 \times 10^4$ ufc de g⁻¹ solo seco e $11,6 \times 10^4$ ufc de *Fusarium* spp. g⁻¹ solo (Tabelas 4 e 5). Estes resultados são relativamente elevados, pois Serra-Wittling et al. (1996), em amostras de solo natural com moderada conducividade à murcha do tomateiro, verificaram que o número de *Fusarium oxysporum* f.

sp. *lini* ficou em $1,4 \times 10^3$ ufc de *Fusarium* spp. g⁻¹ solo. Já Juzwik et al. (1998), ao avaliarem a influência de práticas culturais e fatores edáficos sobre a ocorrência de podridão de raízes em mudas de *Pinus*, determinaram valores variando entre $0,25 \times 10^3$ ufc de g⁻¹ solo seco e $1,8 \times 10^3$ ufc de *Fusarium* spp. g⁻¹.solo, e Hussein et al. (2002), em amostras de solos de áreas cultivadas com milho, constataram um valor médio de $2,8 \times 10^3$ ufc de *Fusarium* spp. g.solo⁻¹. Os elevados valores observados na comunidade de *Fusarium* spp. no solo sem a incorporação do lodo estão relacionadas ao fato de que a área vem sendo cultivada com milho consecutivamente, desde 1999.

A Figura 27 apresenta a flutuação da comunidade de *Fusarium* spp. em amostras de solo coletadas nas parcelas com 0N, 1N, 2N, 4N e 8N de lodo de Franca e Barueri, antes e depois de 30, 60, 90 e 120 dias após a incorporação de lodo, no ano agrícola de 2001/2002. Observa-se que a comunidade de *Fusarium* spp. aumenta à medida que se elevam as doses de lodo aplicadas ao solo.

Em relação ao tipo de lodo, percebe-se que a comunidade de *Fusarium* spp. foi mais estimulada pela adição do lodo de Barueri, pois o número de *Fusarium* spp. foi superior ao verificado nas parcelas tratadas com lodo de Franca (Figura 27). Este comportamento também foi verificado em amostras de solo coletadas aos 90 dias após a incorporação do lodo no ano de 2002/2003 (Figura 28). Esses resultados sugerem que a ocorrência de *Fusarium* spp. foi influenciada pelo tipo de lodo incorporado ao solo, pela quantidade aplicada e, provavelmente, pelas alterações químicas do solo proporcionadas pela decomposição do lodo (Hoitink & Fahy, 1986; Serra-Wittling et al., 1996; Tilson et al., 2002; Cotxarrera et al., 2002; Bettiol, 2004).

O aumento de *Fusarium* spp. nas parcelas que receberam aplicação de lodo pode ter ocorrido devido à introdução ao solo de *Fusarium* spp. existente no próprio lodo (Gambale et al., 1987) e, também, ao estímulo ocasionado pelo fornecimento de carbono e nutrientes necessários para o crescimento e multiplicação do *Fusarium* spp. (Höpper & Alabouvette, 1996; Rodrigues-Molina et al., 2000).



Dose de lodo baseado no conteúdo de N

Figura 27. Comunidade de *Fusarium* spp. na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo tratado com dose de lodo de esgoto de Franca (◆, -) e Barueri (Δ, --), antes (A) e após 30 (B), 60 (C), 90 (D) e 120 (E) dias após a adição de lodo, no ano agrícola de 2001/2002.

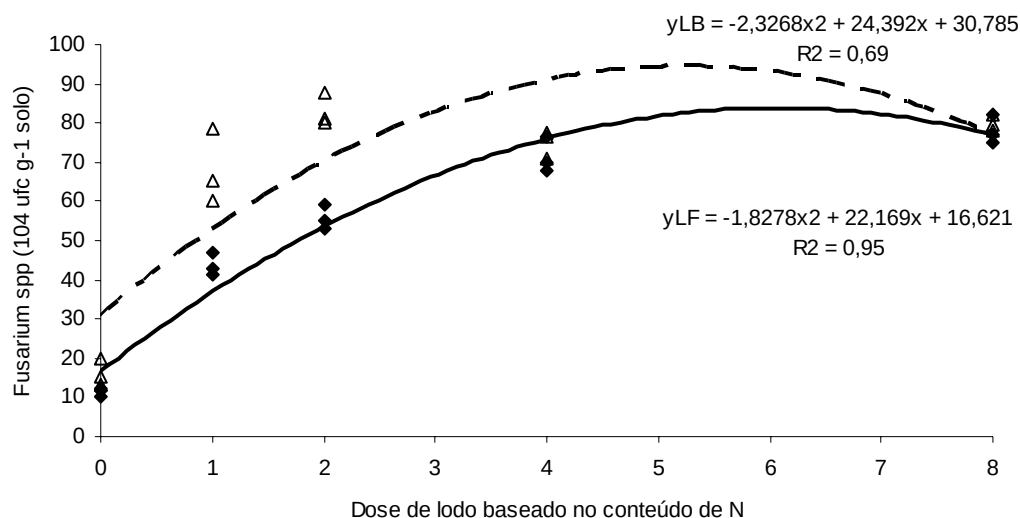


Figura 28. Comunidade de *Fusarium* spp. determinada na camada de 0-20 cm de profundidade de solo 90 dias após a adição de doses de lodo de Franca (♦,–) e Barueri (Δ,--), no ano agrícola de 2002/2003.

A Tabela 6 apresenta a análise de correlação entre o número de *Fusarium* spp. e as alterações químicas do solo proporcionadas pelos dois tipos de lodo, nos anos agrícolas de 2001/2002 e 2002/2003. Observa-se que a ocorrência de *Fusarium* spp. no solo se correlacionou positivamente com os teores de matéria orgânica, fósforo, cálcio, CTC, NO_3^- e condutividade elétrica do solo.

Tabela 6. Correlação entre atributos químicos do solo fertilizado com lodo de esgoto das Estações de Tratamento de Esgoto de Franca e de Barueri e a ocorrência de *Fusarium* spp no solo, nos anos agrícolas de 2001/2002 e 2002/2003.

Lodo de esgoto	Ano agrícola	MO	pH	P	K	Ca	Mg	H + Al	CTC	NH_4^+	NO_3^-	CEC
Franca	2001/2002	0,79**	0,38	0,84**	-0,16	0,70**	0,46	-0,18	0,72**	0,37	0,92**	0,92**
	2002/2003	0,88**	0,25	0,72**	-0,18	0,59*	0,54*	-0,03	0,77**	0,84**	0,72**	0,84**
Barueri	2001/2002	0,72**	0,34	0,76**	0,14	0,62*	0,25	-0,21	0,57*	0,44	0,81**	0,84**
	2002/2003	0,90**	0,16	0,66**	0,04	0,53*	0,28	0,41	0,49	0,94**	0,49	0,41

*significativo ao 5% e **significativo ao 1% de probabilidade pelo teste de Pearson

A indução da condutividade do solo ao *Fusarium* spp., provavelmente, foi ocasionada pelo aumento da matéria orgânica e aporte de fósforo, cálcio e NO_3^- provenientes da incorporação de doses de lodo de esgoto, pois o teor da matéria orgânica determinado nas parcelas com 8N de lodo de Franca e Barueri, aumentou em média 1,5 vezes em relação ao valor determinado na parcela sem lodo. O teor de fósforo determinado nas parcelas com 8N de lodo de Franca e Barueri foi de 35,5 e 48,3 vezes superior aos teores determinados nas parcelas sem lodo. O teor de cálcio nos tratamentos com lodo de Franca e Barueri foram cerca de 1,8 e 2,3 vezes maior do que os teores determinados nas parcelas em que não houve a aplicação de lodo, e o teor de NO_3^- com o lodo de Franca foi de 4,6 e com o de Barueri foi de 22,6 vezes superior ao determinado nas parcelas sem a adição de lodo. Outro fator que pode ter contribuído para esse resultado foi a elevação da condutividade elétrica do solo, pois esta variou nas parcelas com lodo de Franca de 154 a 904 $\mu\text{S cm}^{-1}$ para as doses de 0N e 8N, e de 148 a 1297 $\mu\text{S cm}^{-1}$ para as mesmas doses no solo das parcelas com o lodo de Barueri.

Na Tabela 7 estão apresentados os resultados da correlação entre a composição química do solo e a comunidade de bactérias e fungos totais. A incorporação de doses de lodo de Franca correlacionou-se positivamente com as bactérias e fungos nos anos de cultivos sucessivos; já com o lodo de Barueri as correlações foram significativas apenas no ano de 2002/2003.

Tabela 7 Correlação entre a dose de lodo com a comunidade de bactérias e fungos no solo, nos anos agrícolas de 2001/2002 e 2002/2003.

Lodo de esgoto	Ano agrícola	Bactérias	Fungos
Franca	2001/2002	0,51*	0,59*
	2002/2003	0,92**	0,54*
Barueri	2001/2002	0,46	-0,13
	2002/2003	0,54*	0,58*

*significativo a 5% e **significativo a 1% de probabilidade pelo teste de Pearson

A condutividade do solo ao *Fusarium* spp. induzida pelo aumento nos teores de fósforo, cálcio e nitrato e pela elevação na condutividade elétrica, observada neste trabalho, também foi relatada por outros autores com diferentes espécies de fitopatógenos. Assim, Oyarzun et al. (1998), em amostras de solo conducente a *Fusarium solani*, constataram que a presença do fitopatógeno foi estimulada pela disponibilidade de fósforo e nitrogênio total. Rodrigues-Molina et al. (2000), ao analisarem amostras provenientes de solos naturais, observaram que os fungos *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani*, *Fusarium roseum* e *Fusarium moniliforme* ocorreram com maior frequência em solos com elevados teores de fósforo e nitrogênio total. Celar (2003), ao estudar o efeito das formas nitrogenadas sobre o desenvolvimento de fitopatógenos no solo, constatou que os fungos *Fusarium solani*, *Fusarium sambucinum* e *Fusarium moniliforme* predominaram no solo, porque essas espécies apresentam como característica a capacidade de absorver o nitrogênio nas formas amoniacal e nítrica. Bettiol (2004), em amostras de solo coletadas de áreas tratadas com lodo de esgoto, também verificou que o teor de cálcio e o aumento da condutividade elétrica estimularam o desenvolvimento de *Fusarium* spp. no solo.

Deve-se ressaltar que a matéria orgânica também pode ser um fator indutor da condutividade do solo, pois a característica saprofítica do *Fusarium* spp. permite que ele sobreviva por muito tempo no solo (Reis & Casa, 1996).

6.4 *Fusarium* spp. na rizosfera de milho tratado com lodo de esgoto

Os resultados da quantificação de *Fusarium* spp. determinados na rizosfera das parcelas com adubação mineral, sem e com adição de doses de lodo de Franca e Barueri, após 90 e 120 dias da incorporação do lodo, estão apresentados nas Tabelas 8 e 9, respectivamente. A comunidade de *Fusarium* spp. no solo tratado com lodo de Franca variou significativamente com as doses de lodo: o menor valor foi de 3,8 ufc de *Fusarium* spp. x 10⁴ g solo⁻¹ e o maior valor, 26,5 ufc de *Fusarium* spp. x 10⁴ g solo⁻¹. Houve diferença significativa entre as doses de lodo de Barueri e a comunidade de *Fusarium* spp. no solo, com menor valor de 4,0 ufc *Fusarium* spp. x 10⁴ g solo⁻¹, determinada no solo sem lodo e o maior valor de 8,2 ufc de *Fusarium* spp. x 10⁴ g solo⁻¹ com a dose 4N de lodo.

Tabela 8. Comunidade de *Fusarium* spp. na rizosfera de solo com e sem aplicação de doses de lodo de Franca e adubação mineral, no ano agrícola de 2001/2002 (Médias de 3 repetições).

Tratamentos ⁽¹⁾	Épocas de amostragem em relação a aplicação de lodo (dias)	
	90	120
NPK	7,7de ⁽²⁾	5,8 abc
0N	3,8 e	4,0 c
1N	13,1 cd	5,5 bc
2N	16,1 bc	6,0 abc
4N	21,2 ab	8,2 a
8N	26,5 a	8,0 ab
CV(%)	22,89	21,7

⁽¹⁾ NPK = adubação mineral recomendada para a cultura, 0N, 1N, 2N, 4N e 8N = doses de lodo de esgoto correspondentes a zero, uma, duas, quatro e oito vezes a dose recomendada com base no teor de nitrogênio. ⁽²⁾ Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem significativamente entre si, pelo teste de Duncan 5%.

O aumento na comunidade de *Fusarium* spp. em solo rizosférico (Tabelas 8 e 9) com o aumento das doses de lodo também foi verificado com solo não-rizosférico (Tabelas 4 e 5).

Comparando-se a ocorrência de *Fusarium* spp. na rizosfera entre os períodos de 90 e 120 dias, verifica-se, nas Figuras 29 e 30, que a comunidade de *Fusarium* spp. determinada aos 90 dias foi superior aos valores quantificados aos 120 dias, sendo que esse comportamento foi mais evidenciado nas parcelas com a aplicação das doses de lodo de Franca. A comunidade de *Fusarium* spp. foi maior aos 90 dias do que aos 120 dias, provavelmente porque aos 120 dias a planta de milho atinge o ponto máximo da senescência e, conseqüentemente, há declínio da atividade metabólica e a redução na liberação de exsudatos radiculares importantes para a multiplicação e desenvolvimento dos fitopatógenos (Hawes &

Brigham, 1992). Outro fator importante relacionado a esse aumento na comunidade de *Fusarium* spp. aos 90 dias pode ser atribuído à presença e à maior disponibilidade de nutrientes na rizosfera (Alabouvette & Steinberg, 1995), pois, analisando-se as Tabelas 10 e 11, observa-se que nesse período houve as melhores correlações entre as características químicas com o número de *Fusarium* spp. na rizosfera.

Tabela 9. Comunidade de *Fusarium* spp. na rizosfera de plantas de milho cultivadas em solo com e sem aplicação de doses de lodo de Barueri e adubação mineral, no ano agrícola de 2001/2002 (Médias de 3 repetições).

Tratamentos ⁽¹⁾	Épocas de amostragem em relação à aplicação de lodo (dias)	
	90	120
NPK	9,2 b ⁽²⁾	3,6 b
0N	4,1 c	4,0 b
1N	12,4 b	10,3 a
2N	10,9 b	7,2 ab
4N	17,8 a	8,0 a
8N	11,4 b	9,8 a
CV (%)	18,57	28,02

⁽¹⁾ NPK = adubação mineral recomendada para a cultura, 0N, 1N, 2N, 4N e 8N = doses de lodo de esgoto correspondentes a zero, uma, duas, quatro e oito vezes a dose recomendada com base no teor de nitrogênio. ⁽²⁾ Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem significativamente entre si, pelo teste de Duncan 5%.

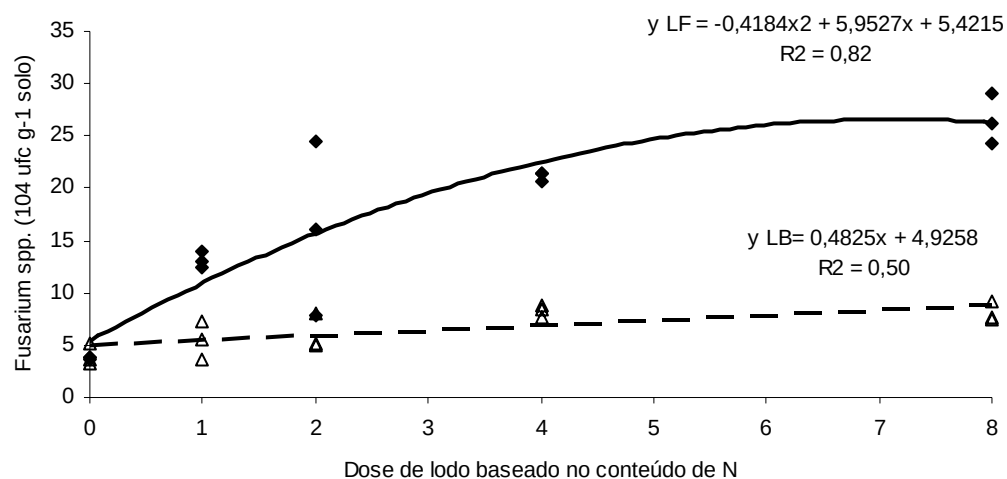


Figura 29. Comunidade de *Fusarium* spp. na rizosfera de milho aos 90 (♦,–) e 120 (Δ,--) dias após a aplicação de doses de lodo de esgoto de Franca, no ano agrícola de 2001/2002.

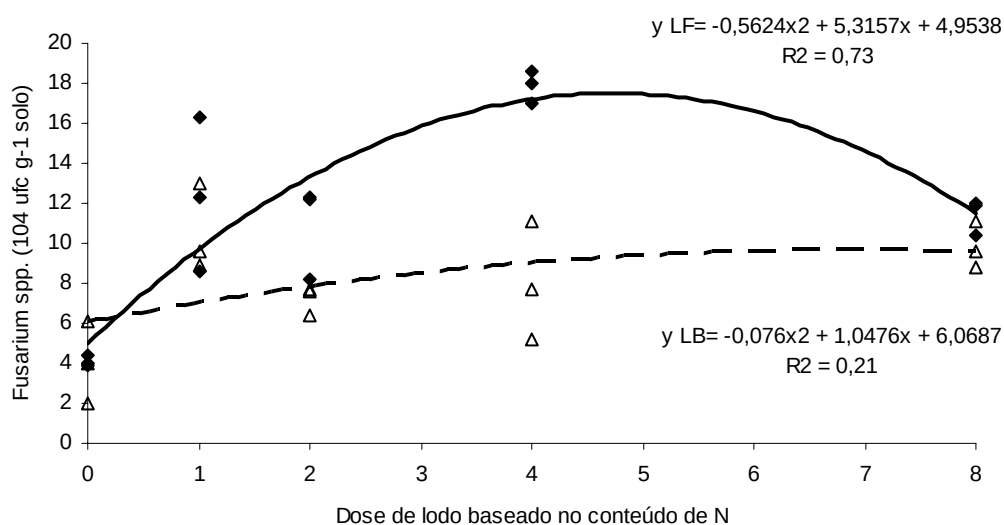


Figura 30. Variação de *Fusarium* spp. na rizosfera de milho aos 90 (♦,–) e 120 (Δ,--) dias após a aplicação de doses de lodo de esgoto de Barueri, no ano agrícola de 2001/2002.

Na Figura 31, que apresenta a curva de resposta do *Fusarium* spp. na rizosfera de milho no ano agrícola de 2002/2003, percebe-se que a comunidade de *Fusarium* spp. foi estimulada pela a adição de lodo no solo, conforme também foi observado no ano de 2001/2002. Entretanto, ao se comparar os valores da comunidade de *Fusarium* spp. entre os anos de cultivo, verifica-se que a ocorrência de *Fusarium* spp. foi maior no ano agrícola de 2002/2003.

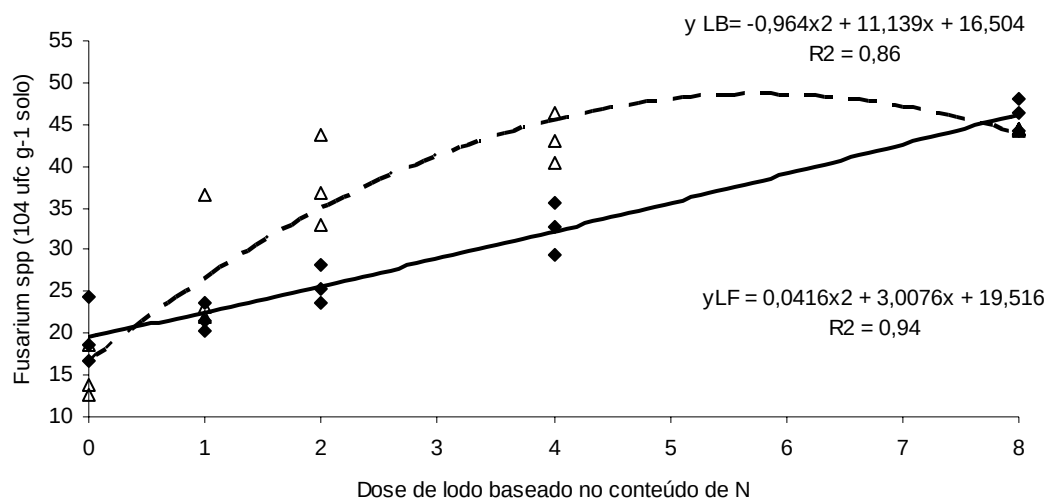


Figura 31. Variação de *Fusarium* spp. na rizosfera de milho aos 90 dias após a aplicação de doses de lodo de esgoto de Franca (♦,—) e Barueri (Δ,—), no ano agrícola de 2002/2003.

Pelos dados apresentados na Tabela 10, percebe-se que, nas parcelas com a incorporação de lodo de Franca e Barueri, a ocorrência de *Fusarium* spp. correlacionou-se positivamente com os teores de matéria orgânica, fósforo, cálcio, CTC, NH_4^+ , NO_3^- e condutividade elétrica no dois períodos de cultivo. Já com o cálcio as correlações ocorreram com o lodo de Franca no ano de 2001/2002 e com Barueri no ano de 2002/2003. Também se observa, na Tabela 11, que o número de *Fusarium* spp. na rizosfera de milho cultivado com lodo de Franca se correlacionou positivamente com as bactérias no ano de 2001/2002 e com os fungos nos dois anos de cultivo. Nas áreas tratadas com lodo de Barueri, a comunidade de *Fusarium* spp. Correlacionou-se com as comunidades de bactérias e fungos somente no

cultivo de 2002/2003. Esses resultados assemelham-se àqueles observados no solo não-rizosférico e indicam que a conducividade observada na rizosfera é de natureza abiótica, pois as comunidades de bactérias e fungos detectadas na rizosfera não inibiram a comunidade de *Fusarium* spp., embora seja freqüente a associação entre a elevação na comunidade microbiana e a supressão dos fitopatógenos do solo (Serra-Wittling et al., 1996; Larkin et al., 1996; Michereff et al., 1996; Tilston et al., 2002).

Tabela 10. Correlação entre atributos químicos do solo fertilizado com lodo de esgoto da Estação de Tratamento de Esgoto de Franca e Barueri e a ocorrência de *Fusarium* spp na rizosfera, nos anos agrícolas de 2001/2002 e 2002/2003.

Lodo de esgoto	Ano agrícola	MO	pH	P	K	Ca	Mg	H + Al	CTC	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	CEC
Franca	2001/2002	0,83**	0,37	0,72**	0,50	0,57*	0,48	-0,21	0,62*	0,82**	0,66**	0,85**
	2002/2003	0,75**	0,26	0,63*	-0,39	0,35	0,35	0,45	0,68**	0,78**	0,81*	0,92**
Barueri	2001/2002	0,89**	0,42	0,63*	-0,50	0,56	0,49	0,51	0,61*	0,52*	0,58*	0,81**
	2002/2003	0,86**	0,06	0,79*	-0,21	0,54*	0,21	0,31	0,67**	0,83**	0,58*	0,66**

* significativo em 5% e ** significativo em 1% de probabilidade pelo teste de Pearson

Tabela 11. Correlação entre doses de lodo de esgoto da Estação de Tratamento de Esgoto de Franca e Barueri com a comunidade de bactérias e fungos no solo, nos anos agrícolas de 2001/2002 e 2002/2003.

Lodo de esgoto	Ano agrícola	Bactérias	Fungos
Franca	2001/2002	0,70**	0,52*
	2002/2003	0,24	0,78**
Barueri	2001/2002	0,46	0,48
	2002/2003	0,67**	0,76**

*significativo a 5% e **significativo a 1% de probabilidade pelo teste de Pearson

A condutividade a *Fusarium* spp. observada no solo e na rizosfera também pode estar relacionada ao pH ácido, pois, no solo com lodo de Franca e Barueri, a média de variação foi de 5,8 e, na rizosfera, a média foi de 5,6. Nessas condições de pH as bactérias antagônicas, como *Pseudomonas* spp. e *Bacillus* spp. não se desenvolvem devido à presença de íons de hidrogênio disponíveis no ambiente (Trillas-Gay et al., 1986; Huber, 1989). Entretanto, os fungos fitopatogênicos são estimulados pela disponibilidade de micronutrientes no solo. Porém, deve-se destacar que nem sempre a variação do pH afeta a densidade das populações de fitopatógenos no solo. A esse respeito, Eloy et al. (2004), ao estudarem a natureza da supressividade do solo a murcha-de-fusario do caupi e a população de *Fusarium oxysporum* f. sp. *tracheiphilum*, constataram que a variação do pH de 5 para 8, tanto no solo supressivo, quanto no conducente, não influenciou significativamente a população de *F. oxysporum* f. sp. *tracheiphilum*.

Outra característica interessante verificada no presente estudo foi a capacidade de sobrevivência do *Fusarium* spp. em ambiente com elevada condutividade elétrica. Sobre isso, Costa et al. (2003), ao estudarem o desenvolvimento de *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* em diferentes potenciais osmóticos, constataram que a incidência do *Fusarium* spp. foi de 70% em sementes de feijão tratadas com soluto contendo KCl. Esses dados sugerem que a presença e o acúmulo de sais proporcionado pelo lodo tendem a estimular o desenvolvimento de *Fusarium* spp. no solo, provavelmente porque, nessa condição, o ambiente fica desfavorável para o desenvolvimento de microrganismos antagônicos ao *Fusarium* spp.

6.5 *Fusarium* spp. na raiz de milho

A avaliação da ocorrência de *Fusarium* spp. nas raízes de plantas de milho no ano agrícola de 2001/2002 foi realizada aos 40 e 90 dias após a semeadura do milho cultivado com doses de lodo de Franca e Barueri (Tabelas 12 e 13). A incidência de *Fusarium* spp. foi influenciada pela quantidade de lodo aplicada ao solo, pois a porcentagem de raízes colonizadas com *Fusarium* spp. tende a crescer com o aumento da dose de lodo aplicada no solo (Tabelas 12 e 13).

É interessante observar que, com exceção dos resultados do lodo de Barueri aos 40 dias, a porcentagem de raízes com *Fusarium* spp. no milho proveniente das parcelas com adubação mineral é superior aos valores determinados nas parcelas-controle (0N). Esses dados evidenciam que a presença de nutrientes, como nitrogênio, fósforo e potássio, resultantes da solubilização do fertilizante, deve ter estimulado o desenvolvimento do *Fusarium* spp. nas raízes de milho (Papandick et al., 1974; Höpper et al. 1995; Höpper & Alabouvette, 1996; Rodrigues et al., 1998).

Tabela 12. Incidência (%) de *Fusarium* spp. em fragmentos de raízes de milho colonizadas com *Fusarium* spp. provenientes de parcelas com diferentes doses de lodo de esgoto de Franca e adubação mineral, aos 40 e 90 dias após o plantio de milho, no ano agrícola de 2001/2002 (Médias de 3 repetições).

Tratamentos ⁽¹⁾	Épocas de amostragem em relação à aplicação de lodo (dias)	
	40	90
NPK	69,6 b ⁽²⁾	55,4 c
0N	47,3 c	24 d
1N	73,2 ab	70,6 ab
2N	67,4 bc	69,3 b
4N	82,5 ab	78,6 ab
8N	92,9 a	82,4 a
CV(%)	16,03	10,68

⁽¹⁾ NPK = adubação mineral recomendada para a cultura, 0N, 1N, 2N, 4N e 8N = doses de lodo de esgoto correspondentes a zero, uma, duas, quatro e oito vezes a dose recomendada com base no teor de nitrogênio. ⁽²⁾ Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem significativamente entre si, pelo teste de Duncan 5%.

As Figuras 32 e 33 ilustram as curvas de variação do percentual de raízes colonizadas com *Fusarium* spp. em amostras de raízes de milho coletadas aos 40 e 90 dias nas parcelas com 0N, 1N, 2N, 4N e 8N de lodo de Franca e Barueri. Observa-se que o crescimento de *Fusarium* spp. nas raízes de milho foi acentuado para os dois tipos de lodo e nas duas épocas de coleta, até a adição de 4N de lodo.

Tabela 13. Incidência (%) de *Fusarium* spp. em fragmentos de raízes de milho provenientes de parcelas com diferentes doses de lodo de esgoto de Barueri e adubação mineral, aos 40 e 90 dias após o plantio de milho, no ano agrícola de 2001/2002 (Médias de 3 repetições).

Tratamentos ⁽¹⁾	Épocas de amostragem em relação à aplicação de lodo (dias)	
	40	90
NPK	48,4 c ⁽²⁾	50,6 d
0N	48,4 c	36 e
1N	53,2 bc	78,4 ab
2N	71,2 b	66,6 c
4N	93,7 a	77,3 bc
8N	99,4 a	89,2 a
CV(%)	16,92	9,24

⁽¹⁾ NPK = adubação mineral recomendada para a cultura, 0N, 1N, 2N, 4N e 8N = doses de lodo de esgoto correspondentes a zero, uma, duas, quatro e oito vezes a dose recomendada com base no teor de nitrogênio. ⁽²⁾ Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem significativamente entre si, pelo teste de Duncan 5%.

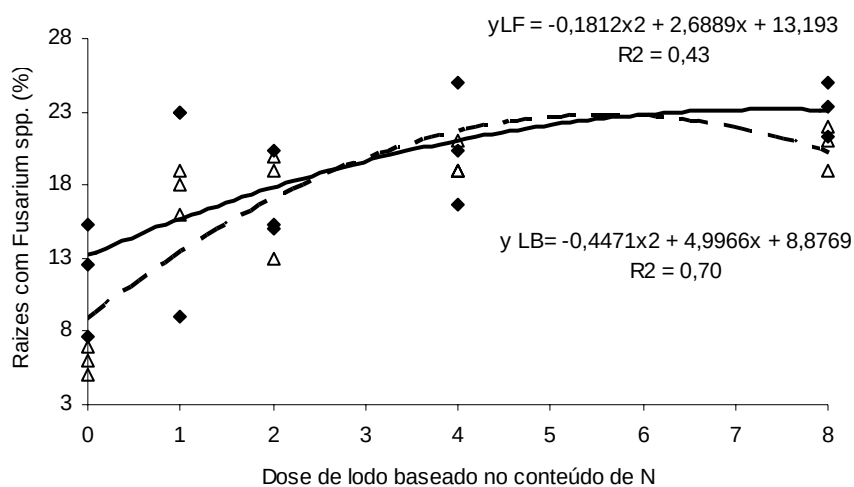


Figura 32. Porcentagem de raízes colonizadas com *Fusarium* spp. em milho cultivado com lodo de esgoto de Franca 40 (♦, -) e 90 (Δ, --) dias após a semeadura, no ano agrícola de 2001/2002.

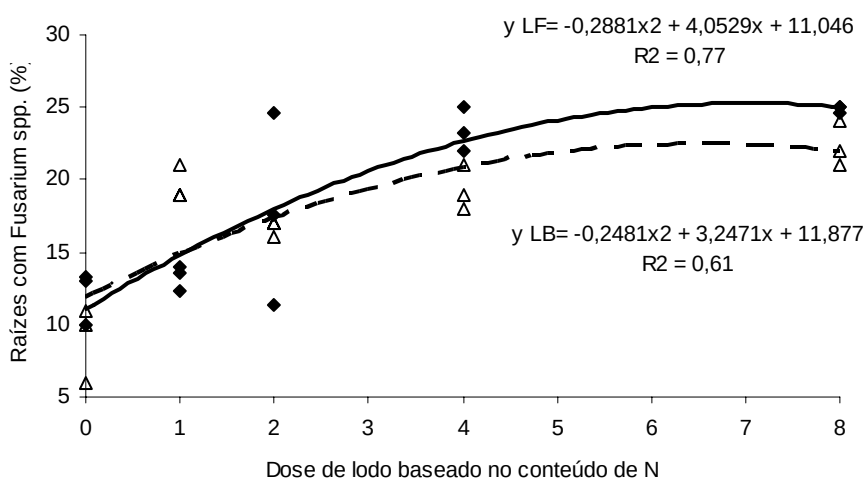


Figura 33. Porcentagem de raízes colonizadas com *Fusarium* spp. em milho cultivado com lodo de esgoto de Barueri 40 (♦, -) e 90 (Δ, --) dias após a semeadura, no ano agrícola de 2001/2002.

Quanto às alterações na composição química do solo e da rizosfera sobre a incidência de *Fusarium* spp. na raiz, observa-se, nas Tabelas 14 e 15, que a melhoria nas condições de fertilidade e a elevação da condutividade elétrica do solo, proporcionada pela adição de lodo de Franca e Barueri, favoreceu o desenvolvimento de *Fusarium* spp. nas raízes de milho, pois foram encontradas correlações positivas com o fósforo, cálcio, CTC, NH_4^+ , NO_3^- e condutividade elétrica, tanto no solo quanto na rizosfera. Ainda em relação às variáveis químicas, verifica-se que o magnésio apresentou correlação positiva com o *Fusarium* spp. no solo e na rizosfera, somente nas parcelas onde houve a incorporação de doses do lodo de Franca; tal comportamento não foi observado com o lodo de Barueri.

A colonização de fragmentos de raízes por *Fusarium* spp. verificada nas parcelas com fertilização mineral e com lodo de esgoto revela que a disponibilidade de fósforo, cálcio, NH_4^+ e NO_3^- estimulou a germinação, o desenvolvimento e a multiplicação de hifas sobre a superfície das raízes de milho (Marschner, 1995).

Tabela 14. Correlação linear simples entre a ocorrência de *Fusarium* spp. na raiz e características químicas do solo e da rizosfera aos 90 dias após a aplicação de doses de lodo de esgoto de Franca, no ano agrícola de 2001/2002.

Variáveis químicas	Solo	Rizosfera
pH	0,18	0,48
Fósforo	0,67**	0,67**
Potássio	0,25	0,24
Cálcio	0,34	0,63*
Magnésio	0,64**	0,56*
H + Al	-0,19	-0,46
CTC	0,72**	0,62**
N- NH_4^+	0,62*	0,80**
N- NO_3^-	0,47	0,52*
Condutividade elétrica	0,73**	0,67**

* significativo em 5% e ** significativo em 1% de probabilidade pelo teste de Pearson

Tabela 15. Correlação linear simples entre a ocorrência de *Fusarium* spp. na raiz e as características químicas do solo e da rizosfera aos 90 dias após a aplicação de doses de lodo de esgoto de Barueri, no ano agrícola de 2001/2002.

Variáveis químicas	Solo	Rizosfera
pH	0,47	0,47
Fósforo	0,64**	0,69**
Potássio	0,27	-0,19
Cálcio	0,75**	0,60*
Magnésio	0,47	0,41
H + Al	-0,34	-0,52*
CTC	0,76**	0,62**
N-NH ⁺ ₄	0,75**	0,64**
N-NO ⁻ ₃	0,78**	0,61*
Condutividade elétrica	0,76**	0,36

* significativo em 5% e ** significativo em 1% de probabilidade pelo teste de Pearson

Na Tabela 16 observa-se que o percentual de *Fusarium* spp. na raiz apresentou correlação com o *Fusarium* spp. no solo e na rizosfera das parcelas com a incorporação de lodo de Franca e Barueri, demonstrando que a comunidade de *Fusarium* spp. no solo e na rizosfera está intimamente relacionada com as raízes, ou seja, existe a possibilidade de ocorrer entre a comunidade de *Fusarium* spp. espécies patogênicas para o milho, tais como *Fusarium moniliforme* e *Fusarium graminearum* (Reis & Casa, 1996).

Já, em relação à correlação entre a ocorrência de *Fusarium* spp. na raiz e as comunidades de bactérias e fungos no solo e na rizosfera, percebe-se que apenas a rizosfera das parcelas tratadas com lodo de Barueri não apresentou correlação; por outro lado, nas demais parcelas tratadas com lodo, verificam-se correlações significativas e positivas, (Tabela 16) indicando, de uma maneira geral, que o aumento nas comunidades de bactérias e

fungos nem sempre pode estar relacionado à supressividade dos fitopatógenos induzida pela presença de microrganismos antagonísticos. A esse respeito, Eloy et al. (2004) afirmam também que as comunidades de bactérias e fungos detectadas na rizosfera de plantas cultivadas no solo conducente não influíram no nível de supressividade desse solo, embora seja freqüente a associação entre densidade microbiana e supressão ao patógeno (Alabouvette, 1999; Weller et al., 2002).

Tabela 16. Correlação linear simples entre a ocorrência de *Fusarium* spp. na raiz e *Fusarium* spp., bactérias e fungos no solo e na rizosfera aos 90 dias após a aplicação de doses de lodo de Franca e Barueri, no ano agrícola de 2001/2002.

Lodo de esgoto	Solo	<i>Fusarium</i> spp.	Bactérias	Fungos
Franca	não-rizosférico	0,77**	0,91**	0,76**
	rizosférico	0,72**	0,63 *	0,56 *
Barueri	não-rizosférico	0,72**	0,90**	0,65**
	rizosférico	0,70**	0,48	0,38

* significativo em 5% e ** significativo em 1% de probabilidade pelo teste de Pearson

6.6 Isolamento de *Fusarium* spp. no colmo de milho

A porcentagem de fragmentos de colmo com crescimento de colônias de *Fusarium* spp., determinada em plantas de milho coletadas nos períodos de 40 e 90 dias após a adição de doses de lodo de esgoto de Franca e Barueri, está apresentada nas Tabelas 17 e 18. Nas parcelas com doses de lodo de Franca e nos dois períodos de coleta, o percentual de crescimento de *Fusarium* spp. eleva-se a partir da dose 1N e se mantém constante até a dose 8N, quando comparado com as parcelas com fertilizante mineral e sem lodo de esgoto.

Já, nas parcelas com doses de lodo de Barueri (Tabela 18), observa-se, aos 40 dias, que o percentual de colmo com colônias de *Fusarium* spp. aumenta

gradativamente com a elevação das doses de lodo incorporadas ao solo e, aos 90 dias, o maior percentual de colmo colonizado foi o das plantas de milho coletadas na parcela com 8N.

Tabela 17. Porcentagem de fragmentos de colmo de milho colonizado com *Fusarium* spp. nas parcelas com e sem aplicação de doses de lodo de Franca e adubação mineral aos 40 e 90 dias após o plantio de milho, no ano agrícola de 2001/2002 (Médias de 3 repetições).

Tratamentos ⁽¹⁾	Épocas de amostragem em relação à aplicação de lodo (dias)	
	40	90
NPK	18,1 c ⁽²⁾	5,2 b
0N	27,8 b	6 b
1N	89,3 a	34,9 a
2N	82,8 a	34,4 a
4N	89,2 a	34,1 a
8N	81,2 a	36,0 a
CV(%)	7,5	9,5

⁽¹⁾ NPK = adubação mineral recomendada para a cultura, 0N, 1N, 2N, 4N e 8N = doses de lodo de esgoto correspondentes a zero, uma, duas, quatro e oito vezes a dose recomendada com base no teor de nitrogênio. ⁽²⁾ Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem significativamente entre si, pelo teste de Duncan 5%.

Nas parcelas tratadas com 1N e 4N de lodo de Franca, foi observado, aos 40 dias, que o percentual de colmo colonizado por *Fusarium* spp. foi cerca de 3,2 vezes superior ao valor determinado na parcela sem a incorporação de lodo e, aos 90 dias, constata-se com a dose de 8N que esta diferença foi para 5,8 (Tabela 17). Já nas parcelas tratadas com lodo de Barueri na dose 8N, o incremento no crescimento de *Fusarium* spp., aos 40 dias, foi de 1,8 e, aos 90 dias, foi de 3,8 vezes superior aos resultados determinados nas parcelas sem aplicação de lodo (Tabela 18).

Com a fertilização mineral recomendada para a cultura do milho, o percentual de colmo com crescimento de *Fusarium* spp. foi igual ao valor verificado nas parcelas sem lodo. Esses dados sugerem que a quantidade equilibrada de nutrientes proporcionada pela fertilização mineral induziu a resistência do milho ao ataque do fitopatógeno. E que a decomposição da matéria orgânica e a liberação de nutrientes decorrentes da biodegradação do lodo devem ser os fatores responsáveis pelo aumento da incidência de *Fusarium* spp. nos tecidos de colmo de milho. Nessas condições, os nutrientes são liberados no solo e absorvidos pelas raízes, provocando desequilíbrios nutricionais e alterações fisiológicas. Essa combinação de fatores pode resultar na quebra de resistência da planta, tornando-a suscetível ao ataque do patógeno (Widmer et. al. 1999; Szczech & Smolinska, 2001; Tilson et al., 2002).

Tabela 18. Porcentagem de fragmentos de colmo de milho colonizado com *Fusarium* spp. nas parcelas com e sem aplicação de doses de lodo de Barueri e adubação mineral aos 40 e 90 dias após o plantio de milho, no ano agrícola de 2001/2002 (Médias de 3 repetições).

Tratamentos ⁽¹⁾	Épocas de amostragem em relação à aplicação de lodo (dias)	
	40	90
NPK	56,2 c ⁽²⁾	19,0 c
0N	51,8 c	12,8 c
1N	54,5 c	30,0 b
2N	77,0 b	31,6 b
4N	81,3 a	33,7 b
8N	95,4 a	48,8 a
CV(%)	7,05	17,9

⁽¹⁾ NPK = adubação mineral recomendada para a cultura, 0N, 1N, 2N, 4N e 8N = doses de lodo de esgoto correspondentes a zero, uma, duas, quatro e oito vezes a dose recomendada com base no teor de nitrogênio. ⁽²⁾ Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem significativamente entre si, pelo teste de Duncan 5%.

É provável que a disponibilização de nitrogênio e os baixos teores de potássio verificados no solo sejam os responsáveis pela incidência de *Fusarium* spp. no colmo, pois, com a absorção excessiva de nitrogênio, a planta passa a concentrar NH_4^+ no tecido e reduz a produção de carboidratos. Com isso, a planta fica sem quantidades suficientes de carboidratos para converter o excesso de amônio, que se acumula e se torna tóxico para a planta, diminuindo assim a resistência das plantas à infecção pelo patógeno. A carência de potássio tende a proporcionar o acúmulo de açúcares solúveis e aminoácidos, e a presença desses compostos no tecido interno e externo do colmo estimula a germinação dos esporos e a penetração das hifas para o interior das células. Também a falta de potássio diminui a velocidade de cicatrização das injúrias e retarda os processos de síntese de lignina e tanino, que são responsáveis pela resistência do hospedeiro ao ataque do patógeno (Marschner, 1995; Duffy & Defago, 1999; Borges et al., 2001).

Analisando-se as Figuras 34 e 35, constata-se que o percentual de colmo com crescimento de *Fusarium* spp. foi mais acentuado aos 40 dias; aos 90 dias, a incidência de colmo com *Fusarium* spp. tende a se reduzir acentuadamente em todos os tratamentos. Essa redução aos 90 dias deve-se ao fato de que, nessa fase de crescimento do milho, o tecido está mais lignificado, ao passo que, aos 40 dias, os tecidos estão jovens e suculentos e com elevados teores de aminoácidos e proteínas (Agrios, 1997; Blum et al., 2000).

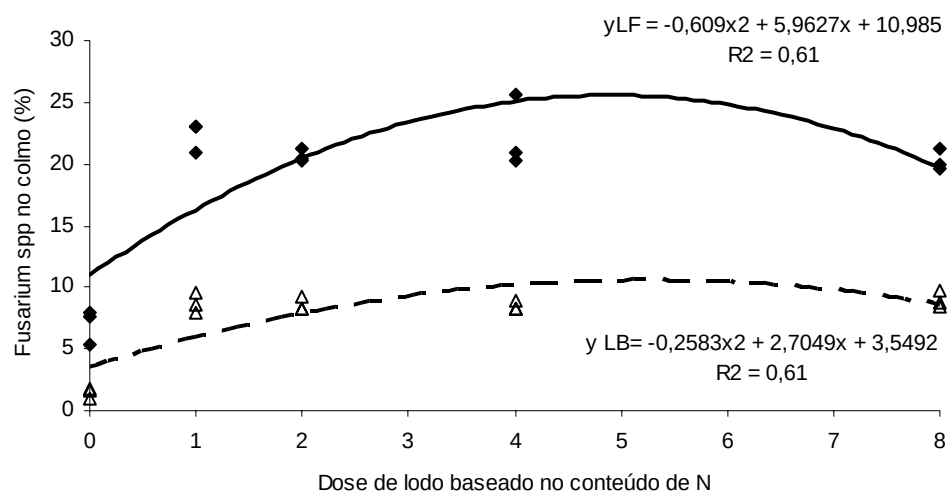


Figura 34. Incidência (%) de *Fusarium* spp. em fragmentos de colmo de milho cultivado com lodo de esgoto de Franca, aos 40 (♦, -) e 90 (Δ, --) dias após a semeadura, no ano agrícola de 2001/2002.

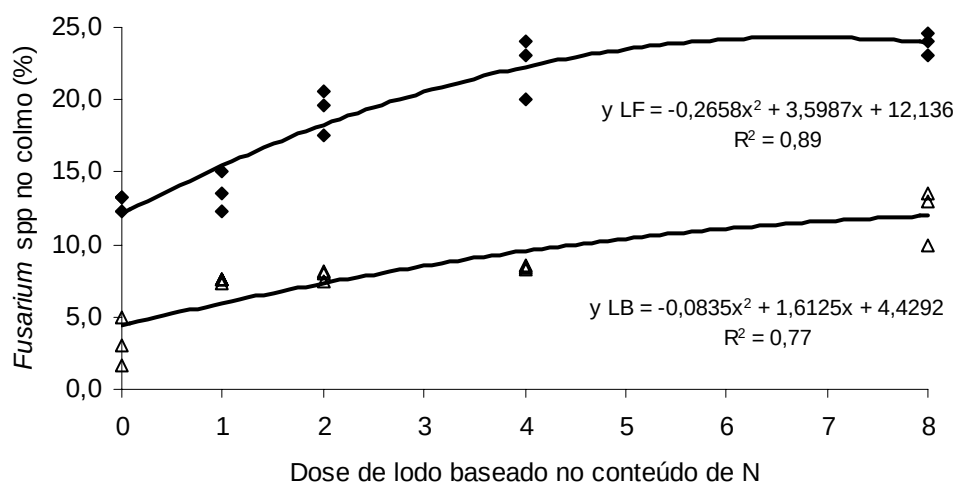


Figura 35. Incidência (%) de *Fusarium* spp. em fragmentos de colmo de milho cultivado com lodo de esgoto de Barueri, aos 40 (♦, -) e 90 (Δ, --) dias após a semeadura, no ano agrícola de 2001/2002.

Com relação ao crescimento de colônia de *Fusarium* spp. no tecido do colmo e às alterações químicas do solo e da rizosfera, verifica-se, no primeiro e no segundo cultivo, que a presença do fitopatógeno no colmo nas parcelas tratadas com os lodos de Franca e Barueri correlacionou-se positivamente no solo e na rizosfera com o fósforo, cálcio, CTC, NH_4^+ , NO_3^- e a condutividade elétrica (Tabelas 19 e 20). Esses resultados reforçam a hipótese de que a condutividade do solo a *Fusarium* spp. foi induzida pelo aporte de nutrientes e pelo aumento da salinidade do solo (Utkhede, 1984; Cotxarrera et al., 2002; Tilson et al., 2002; Bettiol, 2004).

A análise de correlação entre *Fusarium* spp., bactérias e fungos, apresentada nas Tabelas 21 e 22, demonstra que o percentual de colmo com crescimento de *Fusarium* spp. se correlacionou positivamente com o *Fusarium* spp. e os fungos do solo e da rizosfera das parcelas tratadas com o lodo de Franca e Barueri. Esses resultados, quando analisados em conjunto com os dados obtidos anteriormente para o *Fusarium* spp. no solo, na rizosfera e na raiz, indicam que, tanto os lodos de Franca, como o de Barueri, induziram a condutividade devido às alterações químicas ocasionadas no solo.

Tabela 19. Correlação entre atributos químicos do solo fertilizado com lodo de esgoto das Estações de Tratamento de Esgoto de Franca e de Barueri e o crescimento de *Fusarium* spp. em fragmentos de colmo de milho, nos anos agrícolas de 2001/2002 e 2002/2003.

Lodo de esgoto	Ano agrícola	pH	P	K	Ca	Mg	H +Al	CTC	NH_4^+	NO_3^-	CEC
Franca	2001/2002	0,52*	0,61*	0,47	0,87*	0,69**	-0,32	0,70**	0,61*	0,52*	0,64**
	2002/2003	-0,04	0,63*	-0,27	0,53*	0,47	0,26	0,71**	0,78**	0,71**	0,90**
Barueri	2001/2002	0,43	0,63*	0,02	0,75**	0,61*	-0,34	0,81**	0,68**	0,53*	0,74**
	2002/2003	-0,08	0,92**	-0,32	0,69**	0,30	0,48	0,85**	0,86**	0,75**	0,68**

* significativo a 5% e **significativo a 1% de probabilidade pelo teste de Pearson

Tabela 20. Correlação entre atributos químicos da rizosfera de solo fertilizado com lodo de esgoto das Estações de Tratamento de Esgoto de Franca e de Barueri e o crescimento de *Fusarium* spp, no colmo, nos anos agrícolas de 2001/2002 e 2002/2003.

Lodo de esgoto	Ano agrícola	pH	P	K	Ca	Mg	H +Al	CTC	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	CEC
Franca	2001/2002	0,15	0,86**	0,21	0,74**	0,42	-0,10	0,83**	0,68**	0,66**	0,84**
	2002/2003	0,20	0,83**	-0,01	0,77**	0,64*	-0,02	0,85**	0,85**	0,58*	0,90*
Barueri	2001/2002	0,33	0,86**	0,05	0,56*	0,14	-0,23	0,62*	0,56*	0,50*	0,56*
	2002/2003	0,21	0,92**	0,04	0,75**	0,65*	0,03	0,90**	0,92**	0,62**	0,91**

* significativo a 5% e **significativo a 1% de probabilidade pelo teste de Pearson

Tabela 21. Correlação linear simples entre o *Fusarium* spp. no colmo e a comunidade de *Fusarium* spp., bactérias e fungos no solo aos 90 dias após a aplicação de doses de lodo de Franca e Barueri, no ano agrícola de 2001/2002.

Lodo de esgoto	Ano agrícola	<i>Fusarium</i> spp.	Bactérias	Fungos
Franca	2001/2002	0,86**	0,15	0,68**
	2002/2003	0,92**	0,85**	0,70**
Barueri	2001/2002	0,71**	0,47	0,68**
	2002/2003	0,75**	0,88**	0,81**

*significativo a 5% e **significativo a 1% de probabilidade pelo teste de Pearson

Tabela 22. Correlação linear simples entre o *Fusarium* spp. no colmo e a comunidade de *Fusarium* spp., bactérias e fungos na rizosfera aos 90 dias após a aplicação de doses de lodo de Franca e Barueri, no ano agrícola de 2001/2002.

Lodo de esgoto	Ano agrícola	<i>Fusarium</i> spp.	Bactérias	Fungos
Franca	2001/2002	0,71**	0,10	0,80**
	2002/2003	0,89**	0,47	0,71**
Barueri	2001/2002	0,53*	0,48	0,47*
	2002/2003	0,82**	0,69**	0,82**

*significativo a 5% e **significativo a 1% de probabilidade pelo teste de Pearson

6.7 Plantas com sintomas de podridão no colmo

Os resultados de plantas de milho com o sintoma de podridão no colmo determinados em amostras coletadas em parcelas fertilizadas com doses de lodo de Franca e Barueri e adubação mineral encontram-se apresentados na Tabela 23. Observa-se que a incidência de plantas com podridão no colmo aumentou com os dois tipos de lodo, porém esse aumento não foi linear conforme o aumento das doses. Nos tratamentos com o lodo de Franca, verifica-se que o percentual de plantas doentes aumenta significativamente a partir da dose 4N; já, nos tratamentos com a aplicação de doses do lodo de Barueri, o percentual difere estatisticamente a partir da dose 1N, indicando que o lodo de Barueri foi mais favorável ao desenvolvimento da doença.

O tratamento com adubação mineral não teve efeito sobre o aumento da severidade da doença, quando comparado com a testemunha sem adição de lodo. Isso ocorreu, provavelmente, porque os nutrientes aplicados via fertilização mineral foram fornecidos em proporções equilibradas para as plantas, ao passo que o mesmo não ocorreu com o lodo. Esses resultados reforçam a hipótese de que a indução da conducividade do solo à

doença não depende apenas da ocorrência do fitopatógeno, mas também da predisposição do hospedeiro proporcionada pelo desequilíbrio nutricional das plantas (Huber, 1994).

Deve-se ressaltar que a resistência das plantas ao ataque do fitopatógeno depende da nutrição mineral, pois os nutrientes são importantes para a formação das estruturas anatômicas, tais como células epidérmicas e cutículas mais finas, parede celular com menor grau de silificação, suberização e lignificação. Além disso, a nutrição pode afetar as propriedades bioquímicas, como a redução de compostos fenólicos que atuam como inibidores do desenvolvimento das doenças ou acúmulo de glicose, sacarose e aminoácidos, resultante da atividade de enzimas decompositoras, como amilase, celulase, protease e sacarase (Ellet, 1973; Perrenoud, 1990; Marschner, 1995).

Tabela 23. Porcentagem de plantas de milho com sintomas de podridão no colmo cultivado em parcelas com e sem aplicação de doses de lodo de Franca e Barueri e adubação mineral 120 dias após o plantio de milho, no ano agrícola de 2001/2002 (Médias de 3 repetições).

Tratamentos ⁽¹⁾	Origem do lodo de esgoto	
	Franca	Barueri
NPK	20,6 b ⁽²⁾	22,7 b
0N	17,7 b	26,1 b
1N	24,7 b	38,3 a
2N	25,3 b	41,7 a
4N	39,5 a	36,6 a
8N	41,1 a	42,5 a
CV(%)	21,89	11,02

⁽¹⁾ NPK = adubação mineral recomendada para a cultura, 0N, 1N, 2N, 4N e 8N = doses de lodo de esgoto correspondentes a zero, uma, duas, quatro e oito vezes a dose recomendada com base no teor de nitrogênio. ⁽²⁾ Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem significativamente entre si, pelo teste de Duncan 5%.

A Figura 36 ilustra o percentual de plantas de milho com sintomas de podridão no colmo no ano agrícola de 2001/2002, em resposta à incorporação de doses de lodo de Franca e Barueri, 120 dias após a semeadura do milho. Observa-se que o número de plantas com sintomas de podridão no colmo aumentou com a elevação na dose de lodo até 4N e depois se manteve constante entre 4N e 8N, para os dois tipos de lodo. Apesar de o número de plantas doentes do solo-testemunha (0N) da parcela referente ao tratamento com o lodo de Barueri ser superior ao da parcela-testemunha com lodo de Franca, isso não descaracteriza o fato de que o lodo de Barueri proporcionou os maiores aumentos no número de plantas com podridão no colmo. Por outro lado, analisando a Figura 37, verifica-se que, no ano de

2002/2003, a incorporação do lodo de Franca proporcionou um aumento linear no número de plantas doentes, e as parcelas fertilizadas com o lodo de Barueri apresentaram a mesma tendência observada no ano agrícola de 2001/2002.

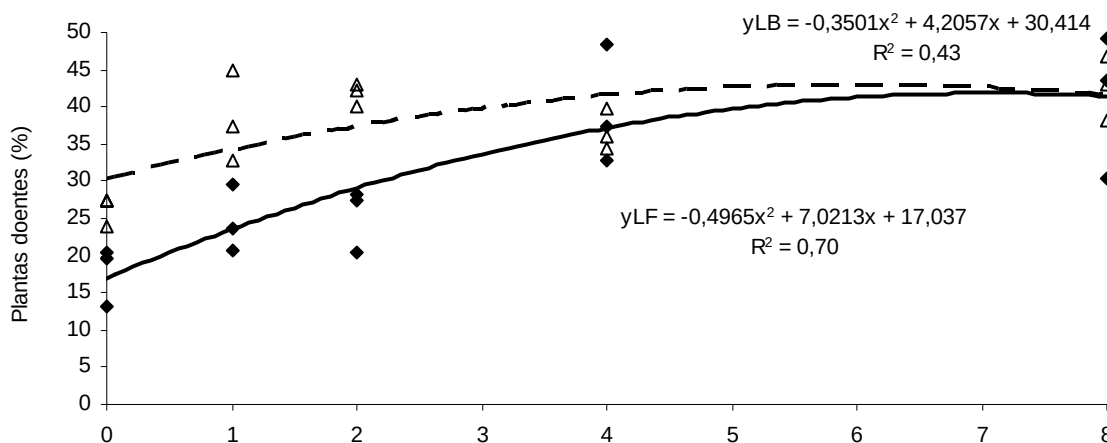


Figura 36. Percentual de plantas doentes com podridões no colmo em solo tratado com doses de lodo de esgoto de Franca (♦, -) e Barueri (Δ, --), no ano agrícola de 2001/2002, aos 120 dias após a semeadura do milho.

Comparando as tendências nos anos agrícolas de 2001/2002 e 2002/2003, percebe-se que o número de plantas doentes foi maior no ano de 2001/2002, indicando dessa maneira uma provável influência das condições edafo-climáticas sobre a incidência da podridão no colmo (Bacon et. al., 1994; Pinto, 1997). Em relação ao efeito do lodo, verificou-se que, no primeiro cultivo, a incidência de plantas doentes foi maior nas parcelas tratadas com o lodo de Barueri e, no segundo cultivo, a incidência foi mais elevada nas parcelas com lodo de Franca.

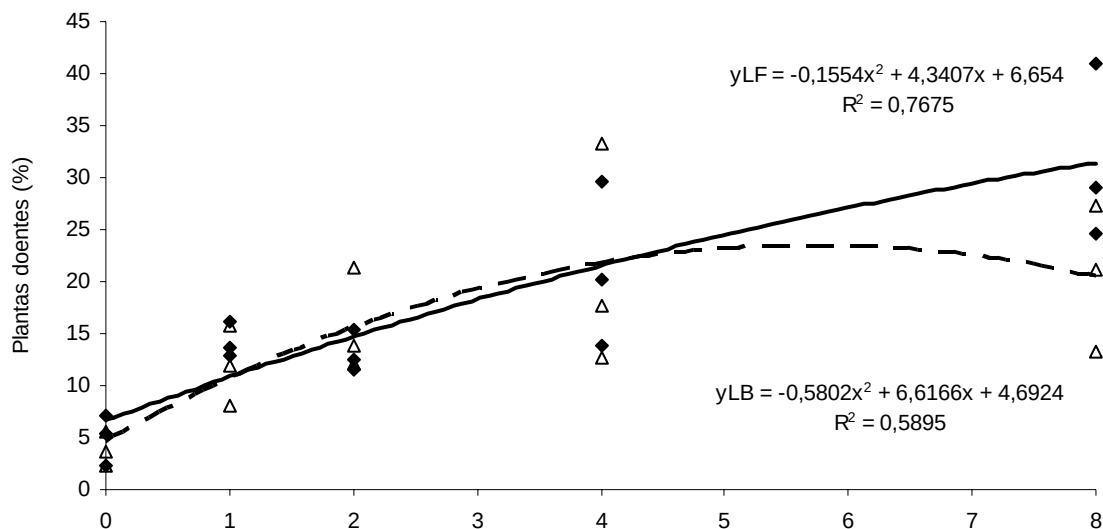


Figura 37. Percentual de plantas doentes com podridões no colmo em solo tratado com doses de lodo de esgoto de Franca (♦,—) e Barueri (Δ,—), no ano agrícola de 2002/2003, aos 120 dias após a semeadura do milho.

Os trabalhos a respeito do uso de lodo de esgoto e da ocorrência de doenças em plantas vêm demonstrando diferentes resultados em relação à indução da supressividade e conducividade. Assim como no presente estudo, alguns autores têm verificado que o uso de lodo de esgoto tem favorecido a ocorrência de doenças, tais como *Pythium ultimum* e *Fusarium solani* no tombamento em ervilha, na podridão do colo em macieira, causado por *Phytophthora cactorum*, e na podridão do colmo de milho, causado por *Gibberella* spp. e por *Fusarium* spp. (McIlveen & Cole, 1977; Lumsden et al., 1983; Utkhede, 1984; Bettiol, 2004). Por outro lado, outros autores têm constatado que o lodo de esgoto foi eficiente no controle de doenças causadas por *Fusarium oxysporum*, *Phytophthora capsici*, *Rhizoctonia solani*, *Sclerotinia minor*, *Sclerotinia rolfsii*, *Pythium arrhenomances* e *Phytophthora nicotianae* (Millner et al., 1982; Lumsden et al., 1986; Lewis et al., 1992; Dissanayake & Hoy, 1999; Santos & Bettiol, 2003; Leoni & Ghini, 2003).

Neste estudo, pôde-se verificar, de uma maneira geral, que as doses crescentes de lodo proporcionaram aumentos na incidência de plantas com podridões no colmo. Isso ocorreu, provavelmente, devido ao aporte de quantidade elevada de nitrogênio

liberado pela decomposição do lodo no solo. A esse respeito, vários estudos têm verificado que as concentrações de nitrogênio na forma mineral aumentam e se acumulam no solo, à medida que se elevam as doses de lodo, pois a quantidade de nitrogênio mineralizável no solo é proporcional ao conteúdo de nitrogênio orgânico existente no lodo (Lindermam et al., 1989; Serna & Pomares, 1991).

Nessas condições de alta concentração de nitrogênio proporcionada pelas doses de lodo, a planta passa a absorver em excesso o NH_4^+ e NO_3^- e, conseqüentemente, reduz a produção de compostos fenólicos de ação anti-fúngica ou fungistática e também a concentração de lignina no colmo, ao mesmo tempo que aumenta a concentração de aminoácidos e amidas e reduz a produção de tanino nos tecidos. Com isso, inicia-se uma rápida e prematura senescência dos tecidos do colmo e, em conseqüência, uma maior suscetibilidade ao ataque de fungos necrotóficos causadores de podridões do colmo (Yamada, 1995; Borges et al., 2001). Por outro lado, Marschner (1995) relata que altas concentrações de nitrogênio aumentam a severidade de infecção provocada por parasitas obrigatórios, mas têm um efeito oposto em doenças causadas por parasitas facultativos, tais como *Alternaria* sp. e *Fusarium* spp.

Quanto ao efeito do nitrogênio proveniente da decomposição do lodo sobre a indução de podridão no colmo de milho, Bettiol (2004), sob as mesmas condições do presente estudo, constatou que o aumento na incidência da podridão do colmo de milho causada por *Fusarium* spp. ocorreu em razão do aumento na concentração de NH_4^+ e NO_3^- no solo.

A disponibilização de fósforo é outro fator que pode ter contribuído para o aumento da incidência da doença, pois foi constatada a ocorrência de correlação positiva entre as concentrações de fósforo no solo e na rizosfera e o número de plantas com podridões no colmo. No solo, a correlação de fósforo com a doença para as parcelas com lodo de Franca em 2001/2002 foi de $r = 0,78^*$ e, em 2002/2003, foi de $r = 0,62^{**}$. Com o lodo de Barueri, foi de $r = 0,57^*$ e $r = 0,77^{**}$, respectivamente para os anos de 2001/2002 e 2002/2003. Já na rizosfera das áreas tratadas com lodo de Franca, a correlação do fósforo foi de $r = 0,80^*$, no primeiro cultivo, e de $r = 0,84^*$, no segundo cultivo, e, para as áreas com lodo de Barueri, as correlações foram de $r = 0,57^*$ e $0,63^{**}$ (Tabelas 24 e 25). Provavelmente, esse aumento na incidência de plantas doentes ocorreu devido ao desbalanço entre o fósforo e o

potássio, pois a concentração do fósforo aumentou 23 vezes no solo e 17 vezes na rizosfera; já o potássio teve aumento de 1,6 no solo e de 1,4 na rizosfera. Sobre este aspecto, Jones et al. (1989) verificaram que altas concentrações de fósforo no solo favoreceram a incidência de murcha de *Fusarium* em plantas ornamentais; Heinz & Heifschneider (1990) constataram que o fósforo em doses elevadas proporcionou um aumento na incidência de *Colletotrichium acutatum* em morangueiro; Muniz et al. (1991) observaram que o aumento no teor de fósforo no tecido de planta causou aumento na severidade da murcha de *Fusarium* em feijão; e Bettiol (2004) observou que os índices elevados de fósforo no solo tratado com doses de lodo de esgoto estimularam a ocorrência de podridões em colmo de milho.

Tabela 24. Correlação entre atributos químicos do solo fertilizado com lodo de esgoto das Estações de Tratamento de Esgoto de Franca e de Barueri e a incidência de plantas de milho com sintoma de podridão do colmo causada por *Fusarium* spp., nos anos agrícolas de 2001/2002 e 2002/2003.

Lodo de esgoto	Ano agrícola	pH	P	K	Ca	Mg	H +Al	CTC	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	CEC
Franca	2001/2002	0,44	0,78*	-0,04	0,74**	0,63*	-0,30	0,74**	-0,27	0,63*	0,70**
	2002/2003	0,01	0,62**	-0,27	0,60**	0,53**	0,21	0,74**	0,73**	0,63**	0,87**
Barueri	2001/2002	0,49	0,57*	0,33	0,54*	0,25	-0,05	0,70*	0,48	0,44	0,63*
	2002/2003	0,10	0,77**	-0,17	0,35	0,18	0,26	0,37	0,58**	0,42	0,69**

* significativo a 5% e **significativo a 1% de probabilidade pelo teste de Pearson

O cálcio apresentou correlações positivas com a incidência da doença, tanto no solo, quanto na rizosfera. Assim, no solo da área com o lodo de Franca, as correlações foram de $r = 0,74^{**}$ e $r = 0,60^{*}$ e, nas parcelas com a incorporação do lodo de Barueri, a correlação com cálcio ocorreu apenas no primeiro cultivo. Na rizosfera com o lodo de Franca e Barueri, os valores das correlações aumentam no segundo cultivo. É interessante ressaltar que, na maioria dos trabalhos, o aumento no teor de cálcio está associado à supressividade das doenças, pois geralmente a presença deste elemento estimula o desenvolvimento de microrganismos antagônicos no solo e também proporciona resistência ao tecido das plantas quando submetido ao ataque do patógeno (Jones et al. 1989; Huber, 1994; Rodrigues-Molina

et al 2000). Talvez a elevação de cálcio no solo não signifique que ele tenha sido absorvido em quantidades suficientes pelo milho, a ponto de oferecer resistência ao ataque de *Fusarium* spp., pois, junto com o cálcio, o lodo também disponibilizou nitrogênio. E, dependendo da quantidade de nitrogênio absorvido pelo milho, pode haver inibição na absorção do cálcio. Esse comportamento foi observado por Biazon et al. (2004), quando avaliou a influência de cálcio e nitrogênio na suscetibilidade do feijoeiro ao cretamento bacteriano, constando que, com o aumento de nitrogênio na solução nutritiva, houve uma diminuição nos teores de cálcio nos folíolos do feijão.

Tabela 25. Correlação entre atributos químicos da rizosfera de solo fertilizado com lodo de esgoto das Estações de Tratamento de Esgoto de Franca e de Barueri e a incidência de plantas doentes, nos anos agrícolas de 2001/2002 e 2002/2003.

Lodo de esgoto	Ano agrícola	pH	P	K	Ca	Mg	H +Al	CTC	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	CEC
Franca	2001/2002	0,08	0,80*	0,41	0,54*	0,50	-0,33	0,44	0,17	0,62*	0,86**
	2002/2003	0,27	0,84**	0,13	0,85**	0,72**	-0,11	0,88**	0,76**	0,48	0,88**
Barueri	2001/2002	0,40	0,63**	0,19	0,49*	-0,16	-0,40	0,50	-0,37	0,46	0,58*
	2002/2003	0,3	0,56*	0,14	0,59*	0,36	-0,13	0,65**	0,66**	0,31	0,61*

* significativo a %5 e **significativo a1% de probabilidade pelo teste de Pearson

A condutividade elétrica pode ser outro fator relacionado à ação do lodo na indução da podridão do colmo, pois, nos dois cultivos, foi possível determinar correlações positivas e significativas com a incidência da doença, tanto no solo, quanto na rizosfera (Tabela 24 e 25). Provavelmente, o aumento da condutividade elétrica foi decorrente do aumento na concentração de sais na solução do solo; nessa condição de alta pressão osmótica muitos microrganismos não conseguem se desenvolver devido à desidratação das células. Portanto, é possível que o aumento da salinidade do solo e da rizosfera, provocado pelo aporte de lodo, tenha prejudicado o desenvolvimento de bactérias antagonicas ao *Fusarium* spp. e, por outro lado, favorecido a multiplicação do fitopatógeno. A esse respeito, Hoitink et al. (1993) também observaram, em solo tratado com lodo de esgoto, que a elevação da condutividade elétrica provocou aumento na incidência da podridão de raiz em soja, e

Bettiol (2004), nesta mesma área e com os mesmos tratamentos adotados no presente estudo, também verificou, em dois cultivos sucessivos de milho, que a podridão do colmo em milho se correlacionou positivamente com a condutividade elétrica do solo. Por outro lado, alguns autores têm verificado que a presença de sais no solo tende a induzir a supressividade para *Phytophthora nicotianae*, *Phoma medicaginis* e *Sclerotium rolfsii* (Tilson et al. 2002; Santos & Bettiol, 2003; Leoni & Ghini, 2003).

A incidência de plantas com podridão no colmo no ano agrícola de 2001/2002 apresentou correlação positiva e significativa com a ocorrência de *Fusarium* spp. na rizosfera e no colmo de milho tratado com lodo de Franca e Barueri (Tabela 26). Já no ano de 2002/2003 as correlações foram estabelecidas com o *Fusarium* spp, do solo, da rizosfera e do colmo. Evidentemente, esse resultado era esperado, devido à própria evolução da doença, ou seja, o crescimento do micélio na rizosfera, que colonizou posteriormente os tecidos radiculares, atingindo o entrenó subcoronal, a coroa e os primeiros nós do colmo, terminando com a descoloração do colmo próximo à maturação fisiológica do milho (Sartori et al., 2004). Estes dados demonstram a importância da presença do hospedeiro na atração do fitopatógeno habitante do solo, pois a presença de *Fusarium* spp. no solo não evidenciou correlação com o número de plantas doentes.

Tabela 26. Correlação linear simples entre plantas com podridão no colmo e *Fusarium* spp. no solo, rizosfera e no colmo aos 90 dias após a aplicação de doses de lodo de Franca e Barueri, nos anos agrícolas de 2001/2002.

Lodo de esgoto	Ano agrícola	<i>Fusarium</i> spp.		
		Solo	Rizosfera	Colmo
Franca	2001/2002	0,29	0,81**	0,61*
	2002/2003	0,83**	0,81**	0,94**
Barueri	2001/2002	0,39	0,60*	0,81*
	2002/2003	0,67**	0,64**	0,65**

*significativo a 5% e **significativo a 1% de probabilidade pelo teste de Pearson

Os resultados da relação evidenciam que o *Fusarium* spp. responsável pela causa da podridão no colmo foi provavelmente estimulado pela atividade da rizosfera, pelos exsudatos e excreções liberados pelas raízes e pelos tecidos jovens e suculentos do colmo de milho (Hawes & Brigham, 1992; Agrios, 1997).

6.8 Espigas de milho com sintomas de podridão

Pela análise das Figuras 38 e 39, percebe-se que há uma tendência de aumento no número de espigas doentes à medida que se aumentam as doses de lodo aplicadas no solo, nos dois anos de cultivos. Esse comportamento é similar, tanto para o lodo de Franca, quanto para o de Barueri, e também se nota que o número de espigas doentes tende a aumentar a partir da dose 4N.

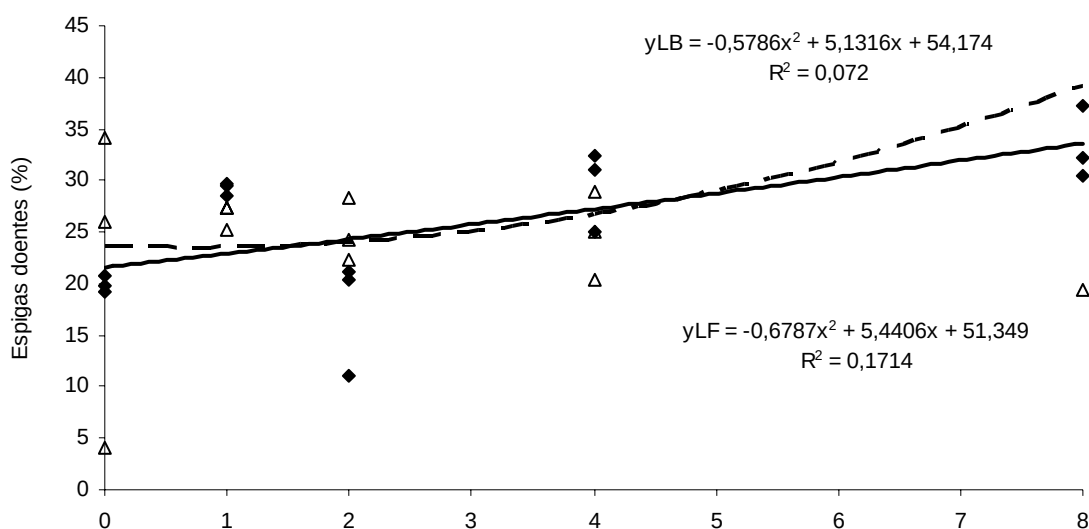


Figura 38. Incidência de espigas com sintoma de podridão (%) em solo tratado com doses de lodo de esgoto de Franca (♦,—) e Barueri (Δ,—), no ano agrícola de 2001/2002.

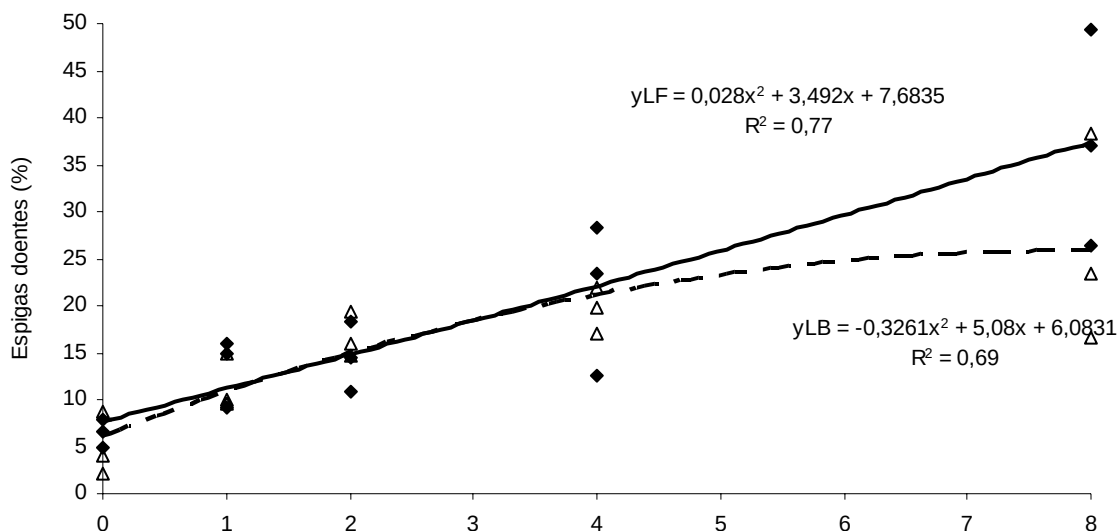


Figura 39. Incidência de espigas com sintoma de podridão (%) em solo tratado com doses de lodo de esgoto de Franca (♦,–) e Barueri (Δ,--), no ano agrícola de 2002/2003.

Os resultados sobre o número de espigas doentes refletem a relação existente entre a doença e o desenvolvimento da planta, pois a adição de lodo aumentou a disponibilidade de nitrogênio, estimulando, dessa maneira, o crescimento vegetativo do milho. Nessa situação, a planta passa a ter um desenvolvimento mais acentuado das folhas, provocando, assim, o sombreamento da cultura e, conseqüentemente, reduzindo a eficiência da produção e distribuição de fotoassimilados entre as diferentes estruturas da planta. A redução na produção e translocação de carboidratos durante o enchimento dos grãos, associada à absorção de nitrogênio, pode estar associada à incidência de podridões nas espigas de milho analisadas no presente estudo (Pinto et al., 1997; Blum et al., 2003).

6.9 Ocorrência de *Fusarium* spp. em sementes

A Tabela 27 apresenta o percentual de sementes de milho colonizadas por *Fusarium* spp., provenientes de espigas coletadas 120 dias após a semeadura nas parcelas com e sem adição de doses de lodo de esgoto de Franca e Barueri.

Pelos resultados, nota-se que a incidência de *Fusarium* spp está elevada em todos os tratamentos, pois Sartori et al., (2004), ao avaliar a quantificação da transmissão de *Fusarium moniliforme* de sementes para plântulas de milho, constataram uma incidência natural do patógeno em torno de 46% em sementes sem tratamento com fungicida.

Os elevados valores na incidência de sementes doentes observadas no tratamento com fertilização mineral e sem aplicação de lodo provavelmente foram ocasionados pelo cultivo sucessivo de milho realizado desde 1999, na área.

Observa-se ainda que a incidência de *Fusarium* spp. demonstra um aumento significativo à medida que se elevam as doses de lodo, tanto de Franca, quanto de Barueri. Também se verifica que o percentual de sementes colonizadas pelo fungo aumenta a partir da dose 2N; com a dose 8N, foram observadas as maiores incidências de sementes com crescimento de *Fusarium* spp.

Tabela 27. Porcentagem de sementes colonizadas com *Fusarium* spp. provenientes de milho fertilizado com lodo de Franca e Barueri e adubação mineral 120 dias após a semeadura do milho, no ano agrícola de 2001/2002 (Médias de 3 repetições)

Tratamentos ⁽¹⁾	Origem do lodo	
	Franca	Barueri
NPK	63,5c ⁽²⁾	61,3d
0N	69,5c	67,5c
1N	63,0c	69,6bc
2N	79,5b	74,0b
4N	87,0ab	74,1b
8N	92,5 ^a	88,8 ^a
CV(%)	7,22	4,28

⁽¹⁾ NPK = adubação mineral recomendada para a cultura, 0N, 1N, 2N, 4N e 8N = doses de lodo de esgoto correspondentes a zero, uma, duas, quatro e oito vezes a dose recomendada com base no teor de nitrogênio. ⁽²⁾ Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem significativamente entre si, pelo teste de Duncan 5%.

As Figuras 40 e 41 mostram as curvas de regressão obtidas entre o percentual de sementes colonizadas por *Fusarium* spp. e as doses de lodo de esgoto, aplicadas nos anos de 2001/2002 e 2002/2003. Percebe-se que, para os dois períodos de cultivos e para os dois tipos de lodo, a incidência de sementes infectadas começa a aumentar a partir da dose 1N de lodo calculado como adequado para a cultura de milho. Verifica-se, ainda, que o percentual de sementes com crescimento de *Fusarium* spp. foi maior nas espigas de milho colhidas nas parcelas tratadas com a dose de 8N de lodo de Franca.

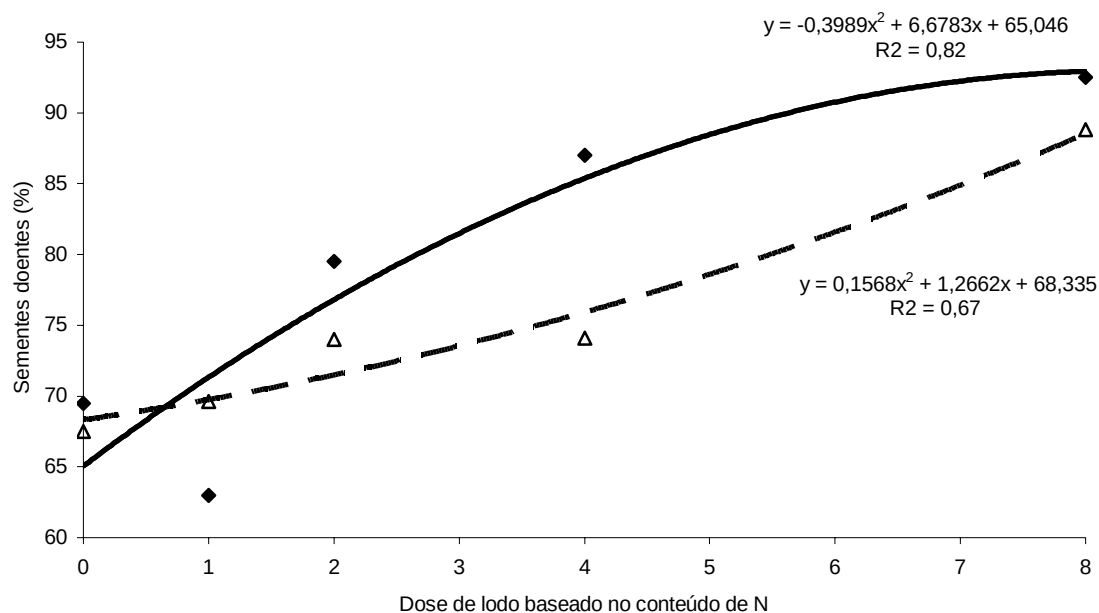


Figura 40. Ocorrência de sementes contaminadas (%) com *Fusarium* spp. de plantas de milho cultivadas em solo tratado com doses de lodo de esgoto de Franca (♦,—) e Barueri (Δ,--), no ano agrícola de 2001/2002.

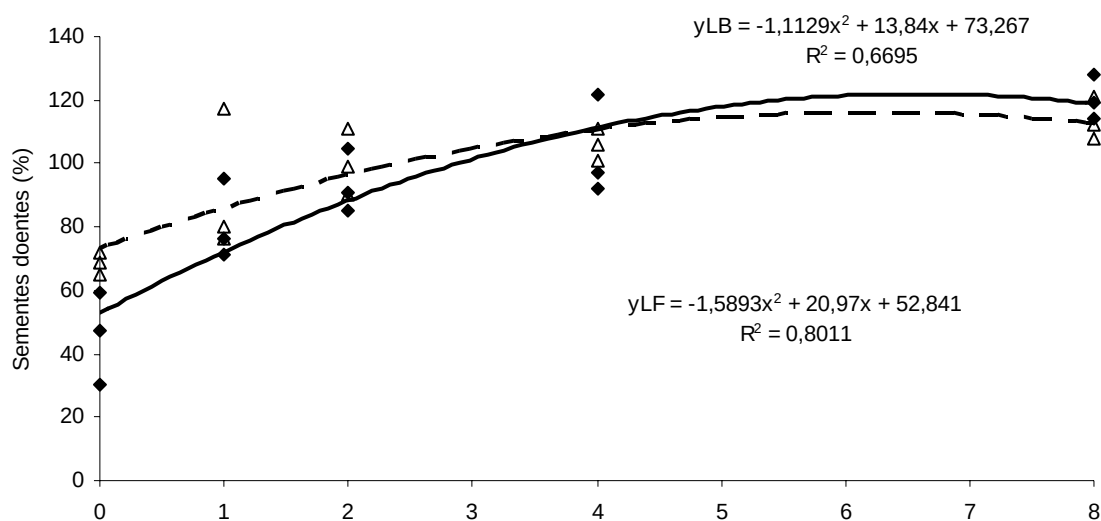


Figura 41. Ocorrência de sementes contaminadas (%) com *Fusarium* spp., de plantas de milho cultivadas em solo tratado com doses de lodo de esgoto de Franca (♦,—) e Barueri (Δ,--), no ano agrícola de 2002/2003.

A análise de correlação entre o percentual de sementes colonizadas por *Fusarium* spp. e as características químicas do solo e da rizosfera apresentada nas Tabelas 28 e 29 sugere que a liberação e a disponibilização de nutrientes tenham favorecido o desenvolvimento de *Fusarium* spp. nas sementes, pois foi constatada correlação significativa e positiva com o fósforo, cálcio, capacidade de troca de cátions, condutividade elétrica, NH_4^+ e NO_3^- no solo.

Tabela 28. Correlação entre atributos químicos do solo fertilizado com lodo de esgoto da Estação de Tratamento de Esgoto de Franca e Barueri e a incidência de sementes doentes, nos anos agrícolas de 2001/2002 e 2002/2003.

Lodo de esgoto	Ano agrícola	pH	P	K	Ca	Mg	H +Al	CTC	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	CEC
Franca	2001/2002	0,14	0,73**	0,09	0,70**	0,47	0,50	0,83**	0,17	0,72**	0,75**
	2002/2003	-0,09	0,68**	-0,21	0,45	0,41	0,27	0,65**	0,73**	0,76**	0,82**
Barueri	2001/2002	0,18	0,89**	-0,01	0,74**	0,27	0,21	0,75	0,35	0,87**	0,85**
	2002/2003	0,14	0,77**	-0,21	0,63*	0,39	0,36	0,62*	0,85**	0,59**	0,57*

* significativo ao %5 e **significativo ao 1% de probabilidade pelo teste de Pearson

Tabela 29. Correlação entre atributos químicos da rizosfera de solo fertilizado com lodo de esgoto das Estações de Tratamento de Esgoto de Franca e Barueri e a incidência de sementes doentes, nos anos agrícolas de 2001/2002 e 2002/2003.

Lodo de esgoto	Ano agrícola	pH	P	K	Ca	Mg	H +Al	CTC	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	CEC
Franca	2001/2002	0,13	0,76**	-0,12	0,57**	0,40	0,03	0,63**	0,85**	0,59**	0,82**
	2002/2003	0,10	0,73**	-0,11	0,51**	0,29	0,01	0,68**	0,89**	0,63**	0,87**
Barueri	2001/2002	0,14	0,77**	-0,21	0,63*	0,39	-0,36	0,62*	0,85**	0,57*	0,58*
	2002/2003	0,41	0,74**	-0,12	0,73**	0,27	-0,22	0,74**	0,67**	0,24	0,67**

*significativo ao %5 e **significativo ao 1% de probabilidade pelo teste de Pearson

Provavelmente, a presença desses nutrientes associada à presença de sais deve ter provocado um desequilíbrio nutricional no milho durante a formação das espigas, ocasionando, assim, a redução nos teores de açúcares e substâncias fungistáticas e aumentando, como consequência, a suscetibilidade das sementes ao ataque de *Fusarium* spp. (Pinto et al., 1997).

6.10 Produção de milho

As Figuras 42 e 43 apresentam a curva de resposta do milho fertilizado com doses de lodo de Franca e Barueri, pelos resultados observa-se nos agrícolas de 2001/2002 e 2002/2003, tanto para o lodo de Franca e Barueri um aumento na produção até a adição da dose de lodo correspondente a 4 vezes a quantidade de nitrogênio recomendado para a cultura, após esta dose a produção tende a declinar.

A tendência de redução na produção de grãos na medida em que a quantidade de lodo ultrapassa a dose de 4 N pode ter sido ocasionada pelo aumento na incidência da prodridão do colmo no milho, conforme pode ser observado nas Figuras 36 e 37.

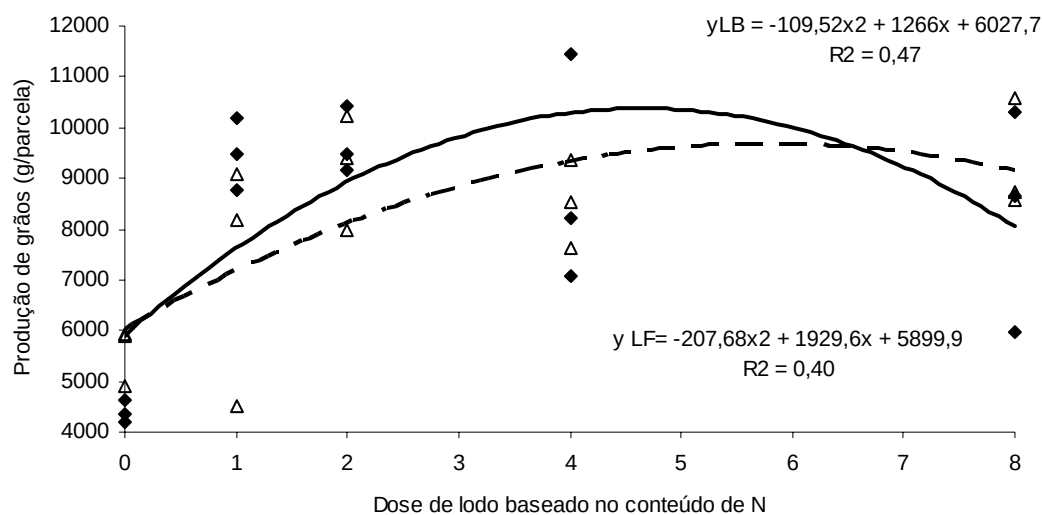


Figura 42. Produção de grãos de milho cultivados em solo fertilizados com doses de lodo de esgoto de Franca 2(♦,–) e Barueri (Δ,--), no ano agrícola de 2001/2002.

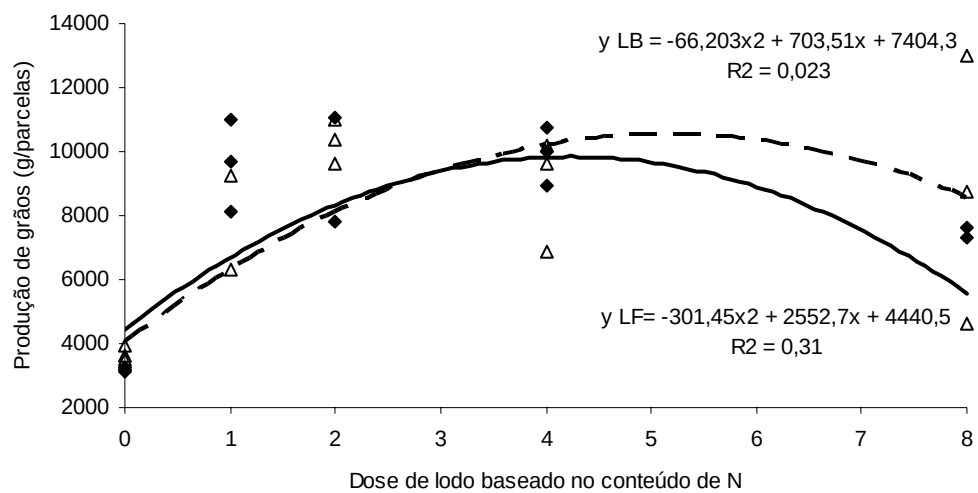


Figura 43. Produção de grãos de milho cultivados em solo fertilizados com doses de lodo de esgoto de Franca (♦, -) e Barueri (Δ, --), no ano agrícola de 2002/2003.

7 CONCLUSÕES

1) A incorporação de lodo de esgoto ocasiona mudanças nas características químicas e microbiológicas do solo rizosférico e não-rizosférico. Essas alterações ocasionam variações significativas na comunidade de *Fusarium* spp. no solo e na rizosfera, na incidência de *Fusarium* spp. na raiz, no colmo e na semente, e na incidência de podridões no colmo e nas espigas de milho.

2) A matéria orgânica, fósforo, cálcio, CTC, NH_4^+ , NO_3^- e a condutividade elétrica são os elementos físico-químicos do solo associados à indução da condutividade do solo a *Fusarium* spp. e a podridão do colmo em milho.

3) A comunidade de *Fusarium* spp. no solo e na rizosfera é estimulada pela quantidade e pelo tipo de lodo, sendo mais acentuada com a incorporação do lodo de Barueri.

4) As comunidades de bactérias e fungos do solo rizosférico e não-rizosférico, estimuladas pelas doses de lodo de esgoto, não inibem o desenvolvimento de *Fusarium* spp.

5) A incorporação de lodo em dose acima da adequada para atender às necessidades de nitrogênio da cultura do milho aumenta a incidência de podridão no colmo e na espiga de milho.

6) A adição de lodo em dose acima de quatro vezes a quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura do milho reduziu a produção de grãos.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIOS, G.N. **Plant pathology**. 4.ed. San Diego: Academic Press, 1997. 635p.

ALABOUVETTE, C.; COUTEAUDIER, Y.; LOUVET, J. Recherches sur la résistance des sols aux maladies. XI. Etude comparative du comportement des *Fusarium* spp. dans un sol résistant et un sol sensible aux fusarioses vasculaires enrichis en glucose. **Agronomie**, Paris, 1985. v.5, p.63-68.

ALABOUVETTE, C.; COUTEAUDIER, Y.; LOUVET, J. Recherches sur la résistance des sols aux maladies. XII. Activité respiratory dans un sol résistant et un sol sensible aux fusarioses vasculaires enrichis en glucose. **Agronomie**, Paris, 1985. v.5, p.69-72.

ALABOUVETTE, C. *Fusarium*-wilt suppressive soils from Chateaufort region: review of 10 years of study. **Agronomie**, Paris, 1986. 6:273-284.

ALABOUVETTE, C. Soil borne plant pathogens: prospects for disease management. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E; CARVALHO, J.G. (eds) **Inter-relações entre fertilidade do solo e nutrição de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Lavras: Departamento de Ciência do Solo/Universidade Federal de Lavras, 1999. p.509-528.

ALABOUVETTE, C.; STEINBERG, C. Suppressiveness of soils to invading micro-organism. In: HOKKANEN, H.M.T.; LYNCH, J.M. (eds.) **Biological Control**: benefits and risks. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. p.3-12.

AMIR, H.; ALABOUVETTE, C. Involvement of soil abiotic factors in the mechanisms of soil suppressiveness to *Fusarium* wilts. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, 1993. v.25, p.157-164.

AMIR, H.; RIBA, O. Influence de la salinité des sol de palmeraies surles *Fusarium* In. Relation entre la densité des la conductivité des sols. **Revue d'Ecologie et de Biologie du sol**, Montrouge, France, 1990. v.26, p.147-158.

BACON, C.W.; HINTON, D.M.; RICHARDSON, M.D. A corn seedling assay for resistance to *Fusarium moniliforme*. **Plant Disease**, Saint Paul, 1994. v.78, p.302-305.

BAKER, K.F.; COOK, R.J. **Biological Control of Plant Pathogens**, San Francisco: W.H. Freeman, 1974. p.433.

BERTON, R.S.; CAMARGO, O. A.; VALADARES, J.M.A.S. Absorção de nutrientes pelo milho em resposta a adição de lodo de esgoto a cinco solos paulistas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 1989. v.13, p.187-190.

BETTIOL, W.; KRUGNER, T.L. Influência do lodo de esgoto na severidade da podridão de raiz do sorgo causada por *Pythium arrhenomanes*. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, 1984. v.10, p.243-251.

BETTIOL, W. Efeito do lodo de esgoto na incidência da podridão do colmo do milho causada por *Fusarium*. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, 2004. v.30, p.16-22.

BIAZON, V.L.; MARINGONI, A.C.; GRASSI FILHO, H. Influência de cálcio e de nitrogênio nos teores de macronutrientes foliares e na suscetibilidade do feijoeiro cultivar Iapar 14 ao cretamento bacteriano comum. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, 2004. v.30, p.320-323.

BLOK, W.J.; LAMERS, J.G.; TERMORSHUI, A.J.; BOLLEN, G.T. Control of soilborne plant pathogens by incorporating fresh organic amendments followed by tamping. **Phytopathology**, Saint Paul, 2000. v.90, n.3, p.253-259.

BLUM, L.E. B.; SANGOI, L.; KOTHE, D.M.; SIMMLER, A. O. Efeito do nitrogênio na intensidade da ferrugem comum e das podridões do colmo de híbridos de milho. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, 2000. v.6, n.2, p.257-264.

BLUM, L.E.B.; SANGOI, L.; CASSANDRO, V.T.A.; ARIOLI, C.J.; GUIMARÃES, L.S. Desfolha, população de plantas e precocidade do milho afetam a incidência e a severidade de podridões de colmo. **Ciência Rural**, Santa Maria, 2003. v.33, p.805-811.

BOEHM, M. J.; HOITINK, H. A . J. Sustenance of microbial activity in potting mixes and its impact on severity of *Pythium* root rot of Poinsettia. **Phytopathology**, Saint Paul. 1992.

BOOTH, K.J. **The Genus *Fusarium***. Kew, Surrey; C.M.I., 1971.

BORGES, M.F.; REZENDE, M.L.V.; VON PINHO, R.G. Inoculação artificial de colmos de milho em diferentes idades e concentrações de inóculo e sua relação com a expressão da

resistência a *Fusarium moniliforme*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, 2001. v.26, p.715-720.

BREMNER, J.M. Total Nitrogen. In: BLACK, C.A. et al; Ed **Methods of Soil Analysis**. American Society of Agronomy, Madison, 1965. p.1149-1178.

BRENDECKE, J.W.; AXELSON, R.D.; PEPPER, I.L. Soil microbial activity an indicator of soil fertility: long-term effects of municipal sewage sludge on an arid soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, 1993. v.25, n.6, p.751-758.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Boletim técnico no 106, Campinas, Instituto Agrônomo, 1986.

CARMO, J.B. do. **Impacto da aplicação de biossólidos nas atividades microbianas do solo**. Piracicaba, 2001. 105p. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

CELAR, F. Competition for ammonium and nitrate forms of nitrogen between some phytopathogenic and soil fungi. **Biological Control**, Cambridge, 2003. v. 28, p.19-24.

CETESB. **Sistema de aplicação de biossólido e lodos de tratamentos biológicos em áreas de uso agrícola**: critérios para projetos e operação. São Paulo, 1999. 29p. (CETESB. Norma P 4230)

CHEN, W.; HOITINK, H. A . J.; SCHMITTHENNER, A. F. Factores affecting suppression of *Pythium* damping-off in container media amended with composts. **Phytopathology**, Saint Paul, 1987. v.77, p.755-760.

COOK, R.J. The oxygen-ethylene cycle and the value of compoSaint **Compost Science**, Pennsylvania, 1976. v.3. p.23-25.

COSTA, M.L.N; MACHADO, C.J.; GUIMARÃES, R.M; POZZA, E.A.; ARIDE, D. Inoculação de *Fusarium oxysporum* f.sp. *phaseoli* em sementes de feijoeiro através de restrição hídrica. **Ciências Agrotécnicas**, Lavras, 2003. v.5. p.1023-1030.

COSTAMILAN, L. M.; LHAMBY, J.C.B.; BONATO, E.R. Sobrevivência de fungos necrotróficos em restos de cultura de soja em sistema de plantio direto. **Fitopatologia Brasileira**. Brasília: 1999. v.24, p.175-177.

COTXARRERA, L.; TRILLAS-GAY M.I.; STEINBERG C.; ALABOUVETTE C. Use of sewage sludge compost and *Trichoderma asphellum* isolates to suppres *Fusarium* wilt of tomato. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, 2002. v.34, p.467-476.

CRAFT, C.M.; NELSON, E.B. Microbial properties of composts that suppress damping-off and root rot of creeping bentgrass caused by *Pythium graminicola*. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, 1996. v.62, n.5, p.1550-1557.

DIAS-JÚNIOR, H.E.; MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. Metais pesados, densidade e atividade microbiana em solo contaminado por rejeitos de indústria de zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 1998. v.22, n.4, p.631-640.

DISSANAYAKE, N.; HOY, J.W. Organic material soil amendment effects on root rot and sugarcane growth and characterization of the materials. **Plant Disease**, Saint Paul, 1999. v.83, n.11, p.1039-1046.

DUFFY, B.K.; DÉFAGO, G. Macro and microelement fertilizers influence the severity of *Fusarium* crown and root rot of tomato in soilless production system. **Hortscience**, Alexandria, 1999. v.34, n.2, p.287-291.

ELLET, C.W. Soil fertility and disease development. **Better Crops With Plant Foods**. Atlanta, 1973. v.57, n3, p. 6-8.

ELOY, A.P.; MICHEREFF, S.Y.; NASCIMENTO, C.W.A.; LARENJEIRA, D.; BORGES, M.A.S. Natureza de supressividade de solo à murcha de fusário do Caupi e dinâmica populacional de *Fusarium oxysporum* f. sp. *tracheiphilum*. **Summa Phytopatologica**, Jaboticabal, 2004. v.30, p.209-218.

FINSTEIN, M.S.; ALEXANDER, M. Competition for carbon and nitrogen between *Fusarium* and bacteria. **Soil Science**, New York, 1962. v.94. p.334-339.

FILIPPI, C.; PERA, A. The role of telluric microflora in the control of *Fusarium* wilt in carnations grown in soils with bark compost. **Biological Wastes**, Saint Paul, 1989. v.27, p.271-279.

FENILLE, R.C.; SOUZA, N.L. Efeitos de materiais orgânicos e da umidade do solo na patogenicidade de *Rhizoctonia solani* Kühn GA-4 HGI ao feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 1999. v.34, n.10, p.1959-1967.

FORTES NETO, P. Degradação de biossólido incorporado ao solo avaliada através de medidas microbiológicas. 2000. 113f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

GAMBALE, W.; PAULA, C.R.; CORREA, B.; PURCHIO, A.; MARTINS, M.T. Avaliação da microbiota fúngica em lodo digerido submetido a tratamento químico e térmico. **Revista de Microbiologia**, São Paulo, 1987. v.18, p.363-365.

- GHINI, R.; MENDES, M.D.L.; BETTIOL, W. Método de hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) como indicador de atividade microbiana no solo e supressividade a *Rhizoctonia solani*. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, 1998. v.24, p.239-274.
- GHINI, R.; SCHOENMAKER, I. A. S.; BETTIOL, W. Solarização do solo e incorporação de fontes de matéria orgânica no controle de *Pythium* spp. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, 2002. v.37, n.9, p.1253-1261.
- HAWES, M.C.; BRIGHAM, L. A. Impact of root border cells on microbial populations in the rhizosphere. **Advances in Plant Pathology**, London. 1992. v.8, p.119-148.
- HENIS, Y.; A. GHAFFAR.; R. BAKER. Factors affecting suppressiveness to *Rhizoctonia solani* in soil. **Phytopathology**, Saint Paul, 1979. v.69, p.1166-1169.
- HEINZ, P.C.; HEIFSCHEIDER, F.J. Surto de antracnose em morangueiro no Distrito Federal. **Horticultura Brasileira**, Brasília, 1990. v.8, n.1.
- HOITINK, H.A. J.; FAHY, P.C. Basis for the control of soilborne plant pathogens with compost. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, 1986. v.24, p.93-114.
- HOITINK, H.A. J.; BOEHM, M.J. Interaction between organic matter decomposition level, biocontrol agents and plant pathogens in soilborne disease. **Anais, 4ª Reunião Brasileira sobre Controle Biológico de Doenças de Plantas**, Campinas, SP. 1991. p.63-77.
- HOITINK, H.A. J.; BOEHM, M.J. Biocontrol within the context of soil microbial communities: a substrate dependent phenomenon. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, 1999. v.37, p.427-446.
- HOITINK, H. A. J.; BOEHM, M. J.; HADAR, Y. Mechanisms of suppression of soilborne plant pathogens in compost-amended substrates. In: HOITINK, H.A. J, KEENER, H. M., (Eds). **Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects**. Renaissance Publishing, Worthington, 1993. p.601-621.
- HÖPPER, H.; ALABOUVETTE, C. Importance of physical and chemical soil properties in the suppressiveness of soil to plant diseases. **European Journal of Soil Biology**, Oxford, 1996. v.32. p.41-58.
- HÖPPER, H.; STEINBERG, G.; ALABOUVETTE, C. Involvement of clay type and in the mechanisms of soil suppressiveness to *Fusarium* wilt of flax. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, 1995. v. 27. p.955-967.
- HUBER, D.M. The role of mineral nutrition in the Take-all disease of wheat and other small grains. In: Engelhard, A.W. **Soilborne plant pathogens: management of diseases with macro- and microelements**. Saint Paul: APS, 1989. p.46-74.

HUBER, D.M. The influence of mineral nutrition on vegetable diseases. **Horticultura Brasileira**, Brasília, 1994. v.12, n.2, p.206-214.

HUSSEIN, H.M.; CHRISTENSEN, M.J. , BAXTER, M. Occurrence and distribution of *Fusarium* species in maize fields in New Zealand. **Mycopathologia**, New York, 2002. v.156 (1), p. 25-30.

JAHNEL, M.C.; CARDOSO, E.J.B.N.; DIAS, C.T.S. Determinação do número mais provável de microrganismos do solo pelo método de plaqueamento por gotas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 1999. v 23, n.3, p.553-559.

JONES, J. P.; S.S. WOLTZ. *Fusarium*-incited diseases of tomato and their control. In: NELSON P.E.; T.A. TOUSSOUN and R.J. COOK (eds), ***Fusarium: Diseases, Biology and Taxonomy***, State University of Press, Pennsylvania, 1981. p.157-168.

JONES, J.P.; ENGELHARD, A.W.; WOLTZ, S.S. Management of *Fusarium* wilt of vegetables and ornamentals by macro- and microelement nutrition. In: Engelhard, A.W. **Soilborne plant pathogens: management of diseases with macro- and microelements**. Saint Paul: APS, 1989. p.18-32.

JUAREZ, J.A.; SANCHEZ-ANDREW, J.; MATAIX, J. Interesse agrícola de lodos de depuradores de águas residuais. **Edafology Agrobiology**, 1987. v.16, p.211-228.

JUZWIK, J.; GUST, K.M.; ALLMARAS, R.R. Influence of cultural practices on edaphic factors related to root disease in pinus nursery seedlings. **Plant and soil**, Saint Paul, 1999. v.207(2), p.195-208.

LARKIN, R.P.; HOPKINS, D.L.; MARTIN, F.N. Ecology of *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum* in soils and suppressive and conducive to *Fusarium* wilt of water-melon. **Phytopathology**, Saint Paul, 1993. v.83, p.1105-1116.

LARKIN, R.P.; HOPKINS, D.L.; MARTIN, F.N. Suppression of *Fusarium oxysporum* and other microorganisms recovered from a disease-suppressive soil. **Phytopathology**, Saint Paul, 1996. v.86, p.812-819.

LEMANCEAU, P.; ALABOUVETTE, C.; COUTEAUDIER, Y. Recherches sur la résistance des sols aux maladies. XIV. Modification du niveau de réceptivité d um sol sensible aux fusariose vasculaires en réponse à des apports de fer ou de glucose. **Agronomie**, Paris, 1988. v.8, p. 155-162.

LEONI, C. Introdução de supressividade a *Phytophthora nicotianae* em mudas de limão cravo com lodo de esgoto. Piracicaba, 2002. p.66. Tese (Mestrado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

LEONI, C.; GHINI, R. Efeito do lodo de esgoto na indução de supressividade *in vitro* a *Phytophthora nicotianae*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, 2003. v.28, p.67-75.

LEWIS, J.A.; LUMSDEN, R.D.; MILLNER, P.D.; KEINATH, A.P. Suppression of damping-off of peas and cotton in the field with composted sewage sludge. **Crop Protection**, Oxford, 1992. v.11, n.11, p.260-266.

LINDERMAN, W.C.; FRESQUEZ, P.R.; CARDENAS, M. Nitrogen mineralization in coal mine spoil and topsoil. **Biology and Fertility of Soils**, Firenze, Italy, 1989. v.7, n.4, p.318-324.

LIU, S.D.; BAKER, K.F. Mechanism of biological control in soil suppressive to *Rhizoctonia solani*. **Phytopathology**, Saint Paul, 1980. v.70, p.404-412.

LIU, L.X.; HSIANG, T.; CAREY, K.; EGGENS, J.L. Microbia populations and suppression of dollar spot disease in creeping bentgrass with inorganic and organic amendments. **Plant Disease**, Saint Paul, 1995. v.79, n.2, p.144-147.

LUMSDEN, R.D.; LEWIS, J.A.; MILLNER, P.D. Effect of composted sewage sludge on several soilborne pathogens and diseases. **Phytopathology**, Saint Paul, 1983. v.73, n.11, p.1543-1548,

LUMSDEN, R.D.; MILLNER, P.D.; LEWIS, J.A. Suppression of lettuce drop caused by *Sclerotinia minor* with composted sewage sludge. **Plant Disease**, Saint Paul, 1986. v.70, n.3, p.197-201.

MARASAS, W.F.O.; KRIERS, N.P.J.; WIGGINS, V.M.; STEYN, P.S.; TOWERS, D.K.; HASTIE, T.J. Incidence, geographical distribution and toxigenicity of *Fusarium* species in South African corn. **Phytopathology**, Saint Paul, 1979. 69: 1181-1185.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. Ed. New York: Academic Press, 1995. 887p.

MARSHALL, K.C.; ALEXANDER, M. Competition between soil bacteria and *Fusarium*. **Plant and Soil**, Saint Paul, v.12. p. 143-153.

MCLLVEEN, W.D.; COLE JR., H. Influence of sewage sludge soil amendment on various biological components of the corn field ecosystem. **Agriculture and Environment**, Amsterdam, 1977. v.3, n.3, p.349-361.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; SANTIAGO, G. et al. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações da matéria orgânica e CTC de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 1994. v.18. p.449-445.

MICHEREFF FILHO, M.; MICHEREFF, S.J.; SILVA, E.B.; ANDRADE, D.E.G.T.; ANTUNES SOBRINHO, S.; NORONHA, M.A.; MARIANO, R.L.R. Influência de tipos de solo do estado de Pernambuco na intensidade da doença induzida por *Rhizoctonia solani* em feijoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, 1996. v.21. p.19-25.

MILLNER, P.D.; LUMSDEN, R.D.; LEWIS, J.A. Controlling plant disease with sludge compoSaint **Biocycle**, Emmaus, 1982. v.23. p.50-52.

MUNIZ, M de F. S; MUCHOVEJ, J. J; MAFFIA, L.A.; MUCHOVEJ, R.M.C; BROMMONSCHENEL,S.H.; ALVAREZ-VENEGAS, V.H. Influência da nutrição com cálcio sobre a murcha-de-fusario em feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 1991. v.26 (11/12), p. 2033–2041.

NAKAMURA, K.; BALMER, E.; CARDOSO, E.J.B.N; NAKAMURA, A.M. Microrganismos antagonicos a *Fusarium oxysporum* f. vasinfectum (ATK.) Snyder and Hansen em alguns solos do estado de São Paulo. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, 1977. v.3. 124-130.

NASH, S.M.; SNYDER, W.C. Quantitative estimations by plate counts of propagules of the bean root rot *Fusarium* in field soils. **Phytopathology**, Saint Paul, 1962. v.52, n.6, p.567-572.

NELSON, E.B.; KUTER, G.A.; HOITINK, H.A.J. Effects of fungal antagonists and compost age on suppression of Rhizoctonia damping-off in container media amended with composted hard wood bark. **Phytopathology**, Saint Paul, 1983. v.73. p.1457-1462.

NELSON, P.E.; TOUSSON, T.A.; MARASAS, W.F.O. **FUSARIUM SPECIES**. An Illustrated Manual for Identification. The Pennsylvania State University Press. 1983. p.193.

OLIVEIRA, F.C.; MARQUES, M.O.; BELLINGIERI, P. A. Lodo de esgoto como fonte de macronutrientes para cultura do sorgo granífero. **Sciencia Agrícola**, Piracicaba, 1995. v. 52, p. 360-367.

OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R.; ROSSETO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em um latossolo amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: Carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 2002. v.26, p.150-156.

OSUNLAJA, S. Effect of organic soil amendments on the incidence of stalk rot of maize. **Plant and soil**, Saint Paul, The Hague, 1990. v.127, p. 237-241.

OYARZUN, M.G.; GERLAGH, M.; ZADOKS, J.C. Factors associated with soil receptivity to some fungal root rot pathogens of peas. **Applied Soil Ecology**, New York, 1998. v. 10, p.151-169.

PERRENOUD, S. **Potassium and plant health**. 2. ed. Berne: International Potash Institute, Horgen, Switzerland 1990. 363p.

PAPANDICK, R. I.; COOK, R.J.; SHIPTON P. J., Plant Water stress and development of *Fusarium* foot rot in wheat subjected to different cultural practices. **Phytopathology**, Saint Paul, 1974. v. 64 p. 358-363.

PASCUAL, J.A.; HERNANDEZ, T.; GARCIA, C.; DELEIJ, F.A.A. M.; LYNCH, J. M. Long-term suppression of *Pythium ultimum* in arid soil using fresh and composted municipal wastes. **Biology and Fertility of Soils**, Firenze, Italy, CIDADE, 2000. v.30, p. 478-484.

PEREIRA, J.C.R.; CHAVES, G.M.; ZAMBOLIM, L.; MATSUOKA, K.; SILVA-ACUNÃ, R.; RIBEIRO DO VALE, F.X. Controle integrado de *Sclerotinia sclerotiorum*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, 1996. v.21. p.254-260.

PEREIRA, O.A.P. Doenças do milho (*Zea mays* L.). In: Kimati, H.; Amorim, L.; Bergamin Filho, A.; Camargo, L.E.A.; Rezende, J.A.M. **Manual de fitopatologia**. São Paulo: Ceres, 1997. v.2. Doenças de plantas cultivadas, p.538-555.

PERUCCI, P. Enzyme activity and microbial biomass in field soil amended with municipal refuse. **Biology and Fertility of Soils**, Firenze, Italy, 1992. v.17. p.54-60.

PHAE, C.; SASAKI, M.; SHODA, M.; KUBOTA, H. Characteristics of *Bacillus subtilis* Isolated from composts suppressing phytopathogenic microorganisms. **Soil Science Plant Nutrition**, Saint Paul, 1990.v. 361, n.4, p. 575-586.

PINTO, N.F.J.A. Tratamento de sementes de milho. **Anais**, 4º Simpósio Brasileiro de Patologia de Sementes, Gramado, RS. 1996. pp. 52-57

PINTO, N.F.J.A.; FERNANDES, F.T.; OLIVEIRA, E. MILHO (*Zea mays*) Controle de Doenças. In: Vale, F.C.R. do and Zambolim, L. (Eds) **Controle de doenças de plantas: grandes cultura**. Viçosa – MG:UFV, Dep.de Fitopatologia; Brasília, DF: Ministério da Agricultura e do Abastecimento. 1997. p. 821-857.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H. et al. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas, Fundação Cargill, 1987. p.170.

REIS, E.M.; CASA, R.T. **Manual de Identificação e Controle de Doenças de Milho**. Passo fundo: Ed. Aldeia Norte, 1996, p.80.

REIS, E.M.; SILVA, C.E.L.; CASA, R.T.; MEDEIROS, C.A. Decomposition of wheat crop residues and saprophytic survival of *Bipolaris sorokiniana*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, 1998. v.23, p.62-64.

RODRIGUES, F.A.; CORREIA, G.F.; dos SANTOS, M.A.; BORGES FILHO, E.L. Fatores envolvidos na supressividade a *Rhizoctonia solani* em alguns solos tropicais brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 1998. v.22. p.239-246.

RODRIGUEZ-MOLINA, M.C.; TELLO-MARQUINA, J.C.; TORRES-VILA, L.M.; BIELZA-LINO, P. Micro-scale systematic sampling of soil: heterogeneity in populations of *Fusarium oxysporum*, *F.solani*, *F.roseum* and *F.moniliforme*. **Journal Phytopathology**, Berlin, 2000. v.148, p.609-614.

SANTOS, I.; BETTIOL, W. Effect of sewage sludge on the rot and seedling damping-off of bean plants caused by *Sclerotium rolfsii*. **Crop Protection**, Oxford, 2003. v. 22, p.1093-1097.

SARTORI, A.F.; REIS, E.M.; CASA, R.T. Quantificação da transmissão de *Fusarium moniliforme* de sementes para plântulas de milho. **Fitopatologia Brasileira** 1, Brasília, 2004. 29: 456-458p.

SCHER, F.N.; BAKER, R. Effects of *Pseudomonas putida* and synthetic iron chelator on induction of soil suppressiveness to *Fusarium* wilt pathogens. **Phytopathology**, Brasília, 1982. v.72. p.1567-1573.

SCHER, F.N.; BAKER, R. Mechanisms of biological control in *Fusarium*-suppressive soil. **Phytopathology**, Brasília, 1980. v.70. p.412-417.

SCHNEIDER, R. W. Suppression of *Fusarium* yellows of celery with potassium, chloride and nitrate. **Phytopathology**, Brasília, 1985. v.75 p.40-48.

SERNA, M.D.; POMARES F. Nitrogen mineralization in soil amended with sewage sludge and fly ash. **Biology and Fertility of soils**, Firenze, Italy, 1991. v.12, n.3 p. 199-201.

SERRA-WITTLING, C.; HOUOT, S.; ALABOUVETTE, C. Increased soil suppressives to *Fusarium* wilt of flax after addition of municipal solid waste compost. **Soil Biology Biochemistry**, Oxford, 1996. v.28. p.1207-1214.

SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S.; SHARMA, R.S. Alternativa agronômica 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**, Campinas, 2002. v 26, n.2, p.487-495.

SMILEY, R.W.; COOK, R.J.; PAPENDICK, R.I. *Fusarium* root rot of wheat and peas as influenced by soil applications of anhydrous ammonia and ammonia-potassium azide solutions. **Phytopathology**, Saint Paul, 1972. v. 62, p.86-91.

SZCZECZ, M. Suppressiveness of vermicopost against *Fusarium* wilt of tomato. **Journal Phytopathology**, Berlin, 1999. v.147, p.155-161.

SZCZECZ, M.; U.; SMOLINSKA. Comparison of suppressiveness of vermicomposts produced from animal manures and sewage against *Phytophthora nicotianae*. **Journal Phytopathology**, Berlin, 2001. v.149, p.77-82.

TAMISO, L.G.; TRANI, E.; TESSARIOLLI NETO, J.; BERTON, R.S.; HASS, F.J.; TAVARES, M. Efeitos do lodo de esgoto sobre o solo e o desenvolvimento da cultura da alface sob cultivo protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, 2000. v.18, p.789-791.

TANAKA, M.A.; BALMER, E. Efeito da temperatura e dos microorganismos associados ao tombamento na germinação de sementes de milho (*Zea mays* L.). **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, 1980. v.5. p.87-93.

TANAKA, M.A.S.; PASSOS, F.A.; FEITOSA, C.T.; TANAKA, R.T. Efeito da adubação mineral e orgânica do morangueiro sobre a antracnose do rizoma, causada por *Colletotrichum fragariae*. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, 2002. v.28, p.236-241.

TILSTON, E. L.; PITT, D. GROENHOF, A.C. Composted recycled organic matter suppresses soil-borne diseases of field crops. **New Phytologist**, London, 2002. v.154, p.731-740.

TIVOLI, B.; CORBIÈRE, R.; JONAN, B. Influence de la température et de l'humidité sur le comportement dans le sol de 3 espèces ou variétés de *Fusarium* responsables de la pourriture sèche des tubercules de pomme de terre. **Agronomie**, Paris, 1983. v.3 (10), p.1001-1009.

TIVOLI, B.; CORBIÈRE, R.; LEMARCHAND, E. Relation entre le pH sol et leur niveau de réceptivité à *Fusarium solani* var *coruleum* et *Fusarium roseum* var *sambucinum* agents de la pourriture sèche des tubercules de pomme de terre. **Agronomie**, Paris, 1990. v.10, p.63-68.

TRILLAS – GAY, M.I.; HOITINK, H. A. J.; MADDEN, L.V. Nature of suppression of *Fusarium* wilt of radish in a container medium amended with composted hardwood bark. **Plant Diseases**, Saint Paul, 1986. v.70, p.1023-1027.

TOLEDO, A.C.D.; CARDOSO, E.J.B.N. Antagonismo de alguns fungos do solo ao *Fusarium moniliforme* SH. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, 1975. v.1, p.164-168.

TOLEDO, A.C.D.; CARDOSO, E.J.B.N. Eficiência comparada de métodos de inoculação de *Fusarium moniliforme* SH. em platinhas de *Oryza sativa* L. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, 1975. v.1, p.55-60.

TOLEDO, A.C.D.; CARDOSO, E.J.B.N. Efeito da microflora natural e de suplementação do solo no controle biológico do “Bakanae” do arroz. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, 1975. v.1, p.81-86.

TOYOTA, K.; YAMAMOTO, K.; KIMURA, M. Mechanisms of Suppression of *Fusarium oxysporum* f. sp. *Raphani* in Soils So-Called Suppressive to *Fusarium*-Wilt of Radish. **Soil Science Plant Nutrition**, Saint Paul, 1994. v.40, p.373-380.

UTKHEDE, R.S. Effect of nitrogen fertilizers and wood composts on the incidence of apple crown rot in British Columbia. **Canadian Journal of Plant Pathology**, Ottawa, 1984. v.6, p.329-332.

WELLER, D.M.; RAAIJMAKERS, J.M.; GARDENER, B.B.M.; TOMASHOW, L.S. Microbial populations responsible for specific suppressiveness to plant pathogens. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, 2002. v.40, p.309-348.

VAZ, L.M.S.; GONÇALVES, J.L.M. Uso de biossódios em povoamento de eucalipto: Efeito em atributos químicos do solo, no crescimento e na absorção de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 2002. v.26, p.747-758.

VON TIEDMANN, A. Single and combined effects of nitrogen fertilization and ozone on fungal leaf diseases on wheat. **Journal of Plant Diseases and Protection**, Stuttgart, 1996. v.103, n.4, p.409-419.

WIDMER, T. L.; GRAHAM, J.H.; MITCHELL, D.J. Composted municipal solid wastes promote growth of young citrus trees infested with *Phytophthora nicotianae*. **Compost Science and Utilization**, Pennsylvania, 1999. v.7, p.6-16.

WORKNEH, F.; VAN BRUGGEN, A.H.C.; DRINKWATER, L.E.; SHENNAN, C. Variables associates with corky root and *Phytophthora* root rot of tomatoes in organic and conventional farms. **Phytopathology**, Saint Paul, 1993. v.83, p.581-589.

YAMADA, T. **A nutrição mineral e a resistência das plantas às doenças**. POTAFOS. Piracicaba: POTAFOS, 1995. p.1-3. (Informações Agronômicas, n.72)

YU, J.Q.; KOMADA, H. Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) bark, a substrate with anti-pathogen properties that suppress some root diseases of tomato. **Scientia Horticulturae**, Oxford, 1999. v.81 p.13-24.

ZAMBOLIM, L.; SANTOS, M.A.; BECKER, W.F.; CHAVES, G.M. Agro-waste soil amendments for the control of *Meloidogyne javanica* on tomato. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, 1996. v.21. p.250-253.