

*Biossólidos em Algodoeiro Herbáceo:
Modificações no Crescimento,
Desenvolvimento e Ambiente Edáfico*



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE DOUTORADO TEMÁTICO
DOUTORADO EM RECURSOS NATURAIS



*Biossólidos em Algodoeiro Herbáceo:
Modificações no Crescimento, Desenvolvimento e
Ambiente Eddífico*

JUAREZ PAZ PEDROZA

Tese apresentada à Universidade
federal de Campina Grande – UFCG,
para obtenção do Título de Doutor em
Recursos Naturais, Área de Concen-
tração: Recursos Hídricos.

**Orientadores: Dr. Adrianus Cornelius van Haandel
Dr. Napoleão Esberard de Macedo Beltrão**

CAMPINA GRANDE – PB
DEZEMBRO DE 2002.

JUAREZ PAZ PEDROZA

*Biossólidos em Algodoeiro Herbáceo:
Modificações no Crescimento, Desenvolvimento e
Ambiente Edáfico*

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE DOUTORADO TEMÁTICO
DOUTORADO EM RECURSOS NATURAIS

CAMPINA GRANDE – PB
DEZEMBRO DE 2002.

JUAREZ PAZ PEDROZA

BIOSSÓLIDOS EM ALGODOEIRO HERBÁCEO: MODIFICAÇÕES NO
CRESCIMENTO, NO DESENVOLVIMENTO E NO AMBIENTE EDÁFICO

APROVADA EM: 11/12/2002

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. Adrianus Cornelius van Haandel


Departamento de Engenharia Civil – DEC
Centro de Ciências e Tecnologia - CCT
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG


Prof. Dr. Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão

Centro Nacional de Pesquisa do Algodão – Embrapa Algodão
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA


Prof. Dr. Vicente de Paula Queiroga

Centro Nacional de Pesquisa do Algodão – Embrapa Algodão
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA


Prof. Dr. Jair Alves Dionísio

Departamento de Solos e Engenharia Agrícola - DSEA
Universidade Federal do Paraná - UFPR


Prof. Dr. José Dantas Neto

Departamento de Engenharia Agrícola – DEAg
Centro de Ciências e Tecnologia - CCT
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG


Profa. Dra. Annemarie König

Departamento de Engenharia Civil – DEC
Centro de Ciências e Tecnologia - CCT
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

DIGITALIZAÇÃO:

SISTEMOTECA - UFCG

*À Deus e aos protagonistas do meu livro de
memórias: minha esposa Valéria, minha filha
Waleska Valéria e aos meus pais, Jeová e
Maria Lúcia, dedico.*

AGRADECIMENTOS

A Deus pela sua misericórdia e amor incondicional, pela minha existência, pela saúde, paz e pelo amparo nos momentos de dificuldades.

A minha esposa Valéria e minha filha Waleska Valéria (amadas) pelo apoio, pela paciência e compreensão. Sirvo-me da oportunidade para salientar que, embora sabendo que nada resgata as horas, lhes prometo resgatar os momentos porque tenho consciência que estes não são duráveis e que na vida nada é para sempre, bem como resgatar os detalhes porque são nessas pequenas coisas, que geralmente passam despercebidas, que consiste o amor e perfeição.

Aos meus pais, irmãos e familiares pelo apoio, carinho e incentivo.

Aos Doutores Napoleão Esberard M. Beltrão e Adrianus C. van Haandel pela amizade, atenção, incentivo e orientação em toda execução do trabalho.

Ao Professor Dr. Jair Alves Dionísio da UFPR pela dedicação, amizade e pela relevante contribuição.

A Professora Joana D' Arc pela valiosa colaboração durante a condução dos experimentos.

A Professora Paula Franssinette pela atenção e dedicação dispensada.

A Gleibson Cardoso e ao Dr. José Wellington do CNPA pela parte estatística do trabalho.

A todos os pesquisadores do Laboratório de Análises de Solo do CNPA, especialmente ao Valdomiro e Jânio.

A todos os pesquisadores do Laboratório de fibras e fios do CNPA, especialmente ao Dr. João Cecílio e ao Alfredo Trajano.

A todos os funcionários do CNPA, especialmente ao Napoleão Silveira e Tereza pela preciosa presteza e atenção.

Aos pesquisadores, estagiários e funcionários do Laboratório de Análises Químicas, Físicas e Microbiológicas do Prosab/DEC/CCT/UFCG, especialmente ao Múcio Paz, Mabel Kalina, Katiane, Adriana Valéria e Romário pelo empenho, atenção, amizade e carinho.

Ao Prof. Dr. Pedro Vieira de Azevedo, Coordenador do Curso de Doutorado em Recursos Naturais do PIDT/CCT/UFCG, pela dedicação e esforços para atender aos doutorandos.

A todos os Professores credenciados ao Programa de Doutorado pela transmissão dos conhecimentos, apoio e dedicação.

Um agradecimento especial às colegas, aliás, amigas da Área de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas do DEAg/CCT/UFCG, Professoras Doutoradas Maria Elita Duarte e Josivanda Palmeira Gomes, pela inestimável colaboração.

Aos colegas e amigos de jornada: João Miguel de M. Neto, Hamilton Medeiros de Azevedo, Hamilcar Filgueira, Augusto, Mônica Garcia, José Espínola, Frederico Tejo Di Pace e Francisco Porto pelo companheirismo, apoio e amizade.

À FINEP pelo apoio financeiro mediante o Programa de Pesquisa de Saneamento Básico (PROSAB) e o Programa de Núcleo de Excelência (PRONEX).

A todos que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito agradecido a todos e que Deus os abençoe!!!

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	vii
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
1.0- INTRODUÇÃO	1
2.0- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1- A questão do saneamento	4
2.2- Processos de tratamento de águas residuárias	6
2.2.1- Metabolismo bacteriano dos processos de tratamentos de águas residuárias	7
2.3- Produção de lodo nos processos de tratamentos de águas residuárias	9
2.4- Os metais pesados	11
2.5- Os organismos patogênicos	19
2.5.1- Agentes patogênicos no lodo de esgoto – bactérias entéricas	20
2.5.2- Agentes patogênicos no lodo de esgoto – helmintos e protozoários	22
2.6- Caracterização microbiológica do lodo de reatores de fluxo ascendente e manto de lodo	24
2.7- Normas para reciclagem agrícolas de bioossólido	26
2.8- Processos de tratamento de lodo de esgoto	29
2.9- Tratamento de lodo através da calagem	31
2.10- Sobrevivência em solo agrícola de bactérias entéricas do lodo de esgoto	33
2.11- Sobrevivência em solo agrícola de parasitos no lodo digerido aeróbio e anaeróbio	35
2.12- Adubação orgânica	37
2.13- Características e potencial agrônômico do bioossólido	39
2.14- A cultura do algodoeiro	50
2.15- Características físicas da fibra do algodão	53
2.16- Origem e características da cultivar BRS 187 8H	56
3.0- MATERIAL E MÉTODOS	58
3.1- Locais dos experimentos	58
3.2- Material usado nos experimentos	58
3.2.1- O substrato	58
3.2.2- O lodo de esgoto	59
3.2.3- A variedade do algodoeiro	60
3.2.4- A água de irrigação	60
3.3- Métodos	60
3.3.1- Desinfecção do lodo	60
3.3.2- Caracterização do lodo de esgoto calado (bioossólido)	61
3.3.3- Tratamentos	63

3.3.4- Instalação e condução dos experimentos	63
3.4- Variáveis analisadas	66
3.4.1- Variáveis relacionadas ao crescimento do algodoeiro	66
3.4.2- Variáveis relacionadas ao desenvolvimento do algodoeiro	66
3.4.3- Variáveis relacionadas à produção e componentes do algodoeiro	66
3.4.4- Variáveis relacionadas à qualidade física de fibra do algodão	67
3.4.5- Variáveis relacionadas às características químicas e físicas do solo	68
3.5- Análise estatística	68
4.0- RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
4.1- EFEITOS DA CALAGEM SOBRE O LODO DE ESGOTO	69
4.2 - RESULTADOS E DISCUSSÃO DO EXPERIMENTO I	71
4.2.1- Efeitos da aplicação de biossólido sobre o crescimento do algodoeiro	71
4.2.2- Efeitos da aplicação do biossólido sobre a produção e os componentes do algodoeiro	79
4.2.3- Efeitos da aplicação do biossólido sobre a qualidade física de fibra do algodão	86
4.3- RESULTADOS E DISCUSSÃO DO EXPERIMENTO II	94
4.3.1- Efeitos da aplicação de biossólido sobre o crescimento do algodoeiro	94
4.3.2- Efeitos da aplicação do biossólido sobre o desenvolvimento do algodoeiro	104
4.3.3- Efeitos da aplicação do biossólido sobre a produção e os componentes do algodoeiro	108
4.3.4- Efeitos da aplicação do biossólido sobre a qualidade física de fibra do algodão	115
4.3.5- Efeitos da aplicação do biossólido sobre as características químicas do solo	122
4.3.6- Efeitos da aplicação do biossólido sobre as características físicas do solo	130
5.0- APRECIÇÃO GERAL DOS RESULTADOS OBTIDOS	137
6.0- CONCLUSÕES	141
7.0- RECOMENDAÇÕES	142
8.0- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	143

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS	PAGINA
Figura 1- Croqui da distribuição dos blocos e tratamentos na casa de vegetação – experimento I	65
Figura 2 - Croqui da distribuição dos blocos e tratamentos na casa de vegetação – experimento II	65
Figura 3 - Instrumento de alto volume (HVI) utilizado nas análises da qualidade física de fibra de algodão	67
Figura 4 - Altura de plantas do algodoeiro herbáceo em função do tempo de acordo com as doses de biossólido - Experimento I	75
Figura 5 - Diâmetro caulinar do algodoeiro herbáceo em função do tempo de acordo com as doses de biossólido - Experimento I	75
Figura 6 - Abertura de capulhos – experimento I	77
Figura 7 - Diferença de altura de plantas entre os tratamentos T ₆ e T ₁ – experimento I	78
Figura 8 - Peso do algodão em caroço (a), peso de pluma (b) e fitomassa da parte aérea (c) em função das doses de biossólido	83
Figura 9 - Fitomassa total (a), relação peso seco da parte aérea/raiz (b), número de capulhos (c) e fitomassa da raiz (d) em função das doses de biossólido	84
Figura 10 - Finura (a), resistência (b), e comprimento (c) de fibra do algodão em função das doses de biossólido	90
Figura 11 - Uniformidade de comprimento (a), índice de fibra curta (b), e alongação (c) de fibra do algodão em função das doses de biossólido	91
Figura 12 - Fiabilidade (a), reflectância (b), e grau de amarelo (c) de fibra do algodão em função das doses de biossólido	92
Figura 13 - Altura de plantas em função do tempo de acordo com as doses de biossólido - Experimento II	98
Figura 14 - Diâmetro caulinar em função do tempo de acordo com as doses de biossólido - Experimento II	98
Figura 15 - Altura de plantas 120 dias após a emergência em função das doses de biossólido	100
Figura 16 - Diâmetro caulinar 120 dias após a emergência em função das doses de biossólido	101

Figura 17 - Emergência das plantas - experimento II	101
Figura 18 - Comparação entre as raízes das plantas da testemunha e dos tratamentos que receberam biossólido	102
Figura 19 - Surgimento do primeiro botão (a), da primeira flor (b), e abertura do primeiro capulho (c) no algodoeiro em função das doses de biossólido	107
Figura 20 - Peso do algodão em caroço (a), peso de pluma (b) e número de capulho(c) em função das doses de biossólido	112
Figura 21 - Fitomassa da parte aérea (a), fitomassa da raiz(b) e fitomassa total (c) em função das doses de biossólido	113
Figura 22 - Peso de um capulho (a), percentagem de fibra (b) e peso de 100 sementes (c) em função das doses de biossólido	114
Figura 23 - Finura (a), resistência (b), e comprimento (c) da fibra de algodão em função das doses de biossólido	119
Figura 24 - Uniformidade de comprimento (a), alongação (b) e fiabilidade (c) de fibra do algodão em função das doses de biossólido	120
Figura 25 - Reflectância (a), e grau de amarelo (b) de fibra do algodão em função das doses de biossólido	121
Figura 26 - Teores de nitrogênio (a), fósforo (b) e potássio (c) do solo acrescido de biossólido e cultivado com algodoeiro herbáceo	127
Figura 27 - Teores de cálcio (a), matéria orgânica (b) e magnésio (c) do solo acrescido de biossólido e cultivado com algodoeiro herbáceo	128
Figura 28 - Densidade global (a) e porosidade (b) do solo acrescido com biossólido e cultivado com algodoeiro herbáceo	135
Figura 29- Ponto de murcha permanente (a) e capacidade de campo (b) do solo acrescido com biossólido e cultivado com algodoeiro herbáceo	136

LISTA DE TABELAS

TABELAS	PAGINA
1 - Concentrações máximas permissíveis de metais no bioestabilizado para uso agrícola	13
2 - Concentrações máximas permissíveis de metais no solo para uso agrícola	14
3 - Principais características físicas e de produção da variedade BRS 187 8H frente as demais linhagens	57
4 - Principais características químicas do solo usado nos experimentos	58
5 - Principais características físicas do solo usado nos experimentos	59
6 - Composição física e química parciais do lodo digerido	59
7 - Composição físico-química da água de irrigação usada nos experimentos	60
8 - Composição física e química parciais do bioestabilizado decorridos 40 dias da calagem	62
9 - Teores de metais pesados no solo, no lodo digerido e no bioestabilizado usados nos experimentos	62
10 - Análise bacteriológica do lodo digerido e do bioestabilizado decorridos 40 dias da calagem	69
11 - Redução do número e da viabilidade de ovos de helmintos no bioestabilizado, 2 horas, 15 e 40 dias após a calagem	70
12 - Valores médios da variável altura de planta em função das doses de bioestabilizado e do tempo – experimento I	72
13 - Valores médios da variável diâmetro caulinar em função das doses de bioestabilizado (kgN/ha) e do tempo – experimento I	73
14 - Equações exponenciais da altura de plantas em função do tempo para cada tratamento – experimento I	73
15 - Equações exponenciais do diâmetro caulinar em função do tempo para cada tratamento – experimento I	74
16 - Valores médios das variáveis de produção e componentes do algodoeiro – experimento I	80

17 -	Resumo das análises de variância e de regressão dos variáveis de produção e componentes do algodoeiro – experimento I	81
18 -	Valores médios das variáveis da qualidade física da fibra do algodão – experimento I	88
19 -	Resumo das análises de variância e de regressão das variáveis da qualidade física de fibra do algodão – experimento I	89
20 -	Valores médios da variável altura de planta em função das doses de biossólido e do tempo – experimento II	94
21 -	Valores médios da variável diâmetro caulinar em função das doses de biossólido e do tempo – experimento II	94
22 -	Equações exponenciais da altura de plantas em função do tempo para cada tratamento – experimento II	95
23 -	Equações exponenciais do diâmetro caulinar em função do tempo para cada tratamento – experimento II	96
24 -	Resumo das análises de variância e de regressão da altura de planta e do diâmetro caulinar em função das doses de biossólido 120 dias após a emergência das plantas	99
25 -	Valores médios das variáveis de desenvolvimento do algodoeiro	104
26 -	Resumo das análises de variância e de regressão das variáveis de desenvolvimento do algodoeiro	106
27 -	Médias dos tratamentos das variáveis de produção e componentes do algodoeiro – experimento II	109
28 -	Resumo das análises de variância e de regressão das variáveis de produção e componentes do algodoeiro – experimento II	110
29 -	Valores médios das variáveis da qualidade física de fibra do algodão – experimento II	116
30 -	Resumo das análises de variância e de regressão das variáveis da qualidade física de fibra do algodão – experimento II	117
31 -	Médias dos tratamentos das variáveis químicas do solo	122
32 -	Resumo das análises de variância e de regressão das variáveis químicas do solo	123
33 -	Potencial hidrogeniônico do solo de acordo com os tratamentos empregados	129

34 -	Valores médios das variáveis físicas do solo	131
35-	Resumo das análises de variância e de regressão das variáveis físicas do solo	132

RESUMO

Através de dois experimentos conduzidos em condições de casa de vegetação do Centro Nacional de Pesquisa do Algodão (EMBRAPA/CNPA), estudou-se os efeitos de doses crescentes, que foram 0, 60, 100, 200, 250 e 300kgN.ha⁻¹, no primeiro experimento e 0, 150, 250, 350, 450 e 550kgN.ha⁻¹, no segundo experimento, de lodo de esgoto (calado à 50%ST – biossólido), sobre o crescimento (altura de planta e diâmetro caulinar), sobre o desenvolvimento (surgimento do primeiro botão, da primeira flor e abertura do primeiro capulho), sobre a produção (produção do algodão em caroço, peso de 01 capulho, número de capulhos, porcentagem de fibra, peso de pluma, peso de 100 sementes, fitomassa da parte aérea, fitomassa da raiz e relação fitomassa da parte aérea/fitomassa da raiz) de um algodoeiro, sobre as características físicas da pluma (finura, resistência, comprimento, uniformidade de comprimento, índice de fibra curta, alongação, fiabilidade, reflectância e grau de amarelo) e por fim, sobre o meio edáfico: características químicas (teores de N, P, K, Ca, Mg, matéria orgânica e pH) e físicas (densidade real, densidade global, porosidade total, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e capacidade de armazenamento de água) de um solo típico da região (Neossolo Regolítico). Além disso, foram realizadas análises parasitológicas visando detecção de ovos viáveis de helmintos na água percolada de cada unidade experimental. O algodoeiro herbáceo, variedade BRS 187 8H, foi escolhido como planta teste. O delineamento experimental utilizado, para ambos os experimentos, foi em blocos ao acaso com 6 tratamentos e 5 repetições, totalizando 30 unidade experimentais em cada experimento. Cada unidade experimental constitui-se de vaso plástico de 90 dm³. A calagem eliminou os organismos patogênicos do lodo e, de acordo com os resultados estimados obtidos por modelos de regressão linear e não linear, concluiu-se que a planta do algodão, representada pela cultivar BRS 187 8H, respondeu de forma favorável à aplicação de biossólido, desde que esse resíduo seja incorporado ao solo em doses adequadas, uma vez que, a partir da dose equivalente a 450kgN.ha⁻¹, houve decréscimos de todas as variáveis estudadas. A análise conjunta das variáveis avaliadas permite afirmar que os melhores resultados, em termos de crescimento, produção e qualidade tecnológica de fibra, foram obtidos com a dose de biossólido equivalente a 300kgN.ha⁻¹. As doses de biossólido aumentaram linearmente os teores de N, P, K, Ca, Mg, de matéria orgânica e o índice pH, bem como a porosidade total, a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente do solo. Não foi verificada a presença de ovos de helmintos na água percolada de cada unidade experimental.

Palavras-chave: biossólido; algodoeiro; crescimento, desenvolvimento e ambiente edáfico.

ABSTRACT

Through two experiments taken in vegetation house condition at Centro Nacional de Pesquisa do Algodão – EMBRAPA/CNPA (National Center for Research on Cotton) increasing doses effects were studied, which were 0, 60, 100, 200, 250, and 350 kg.ha⁻¹ for the first experiment, and 0, 150, 250, 350, 450, and 550 kg.ha⁻¹ for the second experiment, of sewage sludge limed (at 50%ST - biosolid), on the growth (plant height and stalk diameter), on the development (first flowerbud and first cotton capsule), on a production (production of stone cotton, weight of 1 capsule, number of capsules, percentage of fibre, plumage weight, weight of 100 seeds, aerial part phytomass, root phytomass, and relation phytomass of aerial part/root phytomass) of a cotton plant, on the physical features of the plumage (how thin, resistance, length, length uniformity, short fibre rate, stretching, spiness, reflectingness, and yellow degree) and finally on the edaphic environment: chemical features, (contents of N, P, K, Ca, Mg, organic matter and pH) and physic features (real density, global density, total porousness, field capacity, permanent wither point, and capacity for water storage) from a typical ground in the region (Regolitic Neosoil). Besides all those, parasitologic analyses have been done with the aim to detect helmint eggs in stored water of each experimental unit. Herbaceous cotton plant, variety BRS 187 8H has been chosen as test plant. The experimental design used, for both experiments, was in casual blocks, with 6 treatments and 5 replications, in a total of 30 experimental units for each case. Each experimental unit to establish vase plastic of 90 dm³. The liming eliminated the pathogens organisms of the sludge and, according to estimated results obtained by models of linear and non-linear regression, we could come into the conclusion that the cotton plant represented by the crop BRS 187 8H, responded in a favorable way to the biosolid application, as long as this waste can be added to the soil in proper doses, since from the equivalent dose to 450kgNha⁻¹ , there has been some decreasing in all varieties studied. The overall analyses of studied varieties allow to affirm that the best results, in terms of growth, production and fibre technologic quality were obtained with the equivalent biosolid dose of 300 kgN.ha⁻¹ . The biosolid doses increased linearly the contents of N, P, K, Ca, Mg, organic matter and indice Ph, as well as the total porousness, field capacity and permanent soil wither point. Helmint eggs presence in stored water for each experimental unit hasn't been noticed.

Key-words: biosolid; cotton plant; growth, development, and edaphic environment.

1. INTRODUÇÃO

Os mananciais de superfície e poços subterrâneos fornecem água que depois de tratadas nas Estações de Tratamento de Água (ETA's) é distribuída para as residências e é utilizada para os mais variados fins. O produto resultante é reconduzido, pelo sistema de coleta de esgotos. Além de dejetos de origem doméstica, o esgoto pode ser originário de hospitais indústrias, clubes, lojas, abatedores de animais, etc.

De uma maneira geral, os esgotos sanitários possuem mais de 99% de sua composição constituída por água, porém há contaminantes, entre os quais destacam-se: sólidos suspensos, compostos orgânicos (proteínas: 40 a 60%, carboidratos: 25 a 30%, e óleos e graxas: 10%), nutrientes (nitrogênio e fósforo), metais, sólidos dissolvidos inorgânicos, sólidos inertes, sólidos grosseiros, organismos patogênicos e, ocasionalmente tóxicos decorrentes das atividades industriais ou acidentais (Neto et al., 1999).

A Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), destaca que, do total de água disponível do planeta, 97,3% é de água salgada dos mares e oceanos, 2,07% é de água congelada das calotas polares e no cume das montanhas e apenas 0,63% é de água doce, cifras que evidenciam a escassez de água em muitas regiões do planeta e que vislumbram uma crise mundial de água para os próximos anos. Esta perspectiva despertou, principalmente nos países desenvolvidos, a consciência de que o tratamento de **águas residuárias** é de fundamental importância para a conservação dos mananciais e para a saúde pública, incrementando as tecnologias de tratamentos.

Para que o esgoto não cause problemas ambientais e de saúde pública, é necessário que seja tratado antes do lançamento nos corpos receptores (rios, lagos, oceanos e solo). Esses tratamentos atuam de duas formas: na redução do conteúdo da matéria orgânica, através de sua oxidação e no estímulo a formação de flocos, de forma a possibilitar a sedimentação e a remoção de um subproduto (resíduo) denominado **lodo de esgoto** ou **biossólido** que possui as seguintes características indesejáveis: odores desagradáveis, presença de microrganismos patogênicos, elementos tóxicos de origem orgânica ou mineral e dificuldade de desidratação.

Portanto, seguindo as tendências do crescimento dos índices de coleta e tratamento de esgotos, haverá um crescimento proporcional de produção de lodo, cuja disposição final tem sido um problema para a maioria das Estações de Tratamentos de Esgotos (ETE's) que não dispõem de uma alternativa consistente para o destino final deste resíduo. O destino final adequado do lodo é um desafio e fator fundamental para o sucesso de um sistema de tratamentos de águas residuárias e, acima de tudo, uma benevolência para o meio ambiente.

O problema de gestão destes resíduos, de grande complexidade técnica e com custos significativos nos procedimentos operacionais, passou a ser gerenciado em situações de crise pelas áreas operacionais, que inicialmente armazenam este material em áreas contíguas as ETE's e quando a quantidade vai se avolumando, lançam mão de todos os meios para se livrar emergencialmente dos resíduos gerados.

As principais alternativas de disposição final do lodo são os aterros sanitários, a disposição oceânica, a incineração e a reciclagem agrícola. Os aterros sanitários, além de possuírem o inconveniente de concorrer com os resíduos sólidos urbanos, apresentam altos custos de manutenção. A disposição oceânica, que, segundo Tsutiya (1999c), foi proibida nos Estados Unidos, desde 1992, pela Ocean Dumping Act, na Comunidade Européia desde 1998 e em vários países. A incineração, técnica que para evitar problemas de emissões atmosféricas tem de usar incineradores de leito fluidizado de custos elevados, além de demandar uma grande quantidade de energia. A **reciclagem agrícola**, que, segundo Andreoli et al. (1994) e Tsutiya (1999c), é a forma de disposição final que pode ser considerada com a mais adequada em termos técnicos, econômicos e ambientais, desde que convenientemente tratado e aplicada. O uso agrícola desse resíduo o torna num produto útil dentro de um processo produtivo, mantendo suas reciclagens ou pelo menos a reciclagem de elementos que o compõem.

A destinação do lodo de esgoto para a agricultura é a alternativa que merece maior destaque pelas seguintes razões, segundo Oliveira (2000): pode ser viabilizada tecnicamente através da pesquisa, apresenta os menores custos, utiliza o solo como um meio favorável ao consumo da carga orgânica potencialmente poluidora, pode trazer os benefícios inerentes da matéria orgânica, além de proporcionar a reciclagem de nutrientes.

Dentre as alternativas de disposição final do lodo de esgoto, a reciclagem agrícola tem se constituído, segundo Neiva (1999), em uma das formas mais utilizadas em diversos países desenvolvidos (Bélgica, 29%; Dinamarca, 54%; França, 58%; Alemanha, 27%; Itália, 33%; Espanha, 50%; Reino Unido, 44%) como condicionador e fertilizante do solo. De acordo com Anderson (1959), citado por Marques (1996), o uso de lodo de esgoto como fertilizante nos Estados Unidos, data de 1927, quando esse tipo de material tornou-se comercialmente disponível. Atualmente, segundo Tsutiya (1999b), cerca de 25% de todo o bio sólido produzido nos Estados Unidos (aproximadamente 13 milhões de t.ano⁻¹), é utilizado na agricultura. Esse autor relata que o uso agrícola constitui na alternativa mais adequada para a disposição final de bio sólidos gerados nas ETE's do Estado de São Paulo.

Uma das alternativas para o uso de bio sólido na agricultura seria no algodoeiro herbáceo que tem uma grande importância para a economia do Nordeste, uma vez que apresenta uma significativa contribuição para o produto interno bruto do país e para o emprego da mão de obra rural. Segundo dados da CONAR, citados no Anuário Brasileiro do Algodão (2002), dos 746.000ha plantados no Brasil (safra 2001/2002), 161.100ha foram na região Nordeste, e 13.900ha foram no Estado da Paraíba. Da produção brasileira, na mesma safra, de 804.600t do algodão em pluma, 91.900t foram produzida na região Nordeste e 3.400t no Estado da Paraíba.

Considerando a inexistência de trabalhos no país sobre a reciclagem agrícola do lodo no algodoeiro, aliada ao fato de se tratar de uma cultura que não é diretamente comestível e que tem, como produto principal, a fibra para a indústria têxtil, considerando a importância do algodão na agricultura brasileira, as nossas condições tropicais e subtropicais que expõem os nossos solos a intenso intemperismo e rápida mineralização da matéria orgânica e o interesse agrônomo de se dispor de uma fonte de matéria orgânica para os solos e culturas, de tecnologia simples, barata, que contribuirá para a resolução ambientalmente segura de um problema que tende a se agravar à medida em que são implantadas e/ou ampliadas os sistemas de coleta e tratamento de esgotos do país, este trabalho visa avaliar os efeitos de doses crescentes de bio sólido sobre o crescimento, a produção e os componentes do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. r. *Latifolium hutch* L.), sobre a qualidade física de fibra do algodão, e sobre o ambiente edáfico.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A QUESTÃO DO SANEAMENTO:

Um dos principais instrumentos aprovados durante a Conferência Mundial do Meio Ambiente e Desenvolvimento foi a Agenda 21 (1997). O documento propõe ações sobre avaliação dos recursos hídricos, a proteção da qualidade das águas e dos ecossistemas aquáticos, abastecimento de água potável, saneamento, manejo ambientalmente saudável dos resíduos isolados e questões relacionadas com esgotos, além de estabelecer programas prioritários para o aumento ao máximo da reutilização e reciclagem e a ampliação do alcance dos serviços que se ocupem dos resíduos.

A realidade sanitária brasileira é bastante crítica, típica de um país subdesenvolvido. Andreoli & Fernandes (1999), destacam que, de acordo com dados da Secretaria Nacional de Saneamento, apenas 35% da população brasileira, é servida por rede de coleta de esgotos, o que representa 75,5 milhões de pessoas sem acesso a estes serviços. Do esgoto coletado menos de 10% recebe alguma forma de tratamento, o que implica no lançamento diário de 10 bilhões de litros de esgoto bruto no meio ambiente.

Ceballos (1990) relata que, de acordo com Divisão de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde, 65% das internações hospitalares no Brasil são consequência de doenças de veiculação hídrica. Esse pesquisador estima que a falta de saneamento básico e a desnutrição (principalmente devido o desmame precoce) matam por meio de doenças diarréicas, 50 a cada 1.000 crianças nascidas vivas, no Brasil. Tal realidade evidencia a urgente necessidade de ampliação de sistemas de saneamento no Brasil, como já vem ocorrendo em alguns Estados. A perspectiva é que a coleta e o tratamento de esgotos seja uma nova prioridade no saneamento, principalmente com o objetivo de atender os requisitos de proteção de mananciais e à saúde pública.

Segundo A. Neto & Campos (1999), a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) geralmente varia na faixa de 150 a 600 mg O₂.L⁻¹ em média. Isso nos permite estimar que cada litro de esgoto lançado em um corpo aquático pode provocar consumo de 150 a 600 mg.L⁻¹ de oxigênio dissolvido nesse meio aquático, por intermédio das reações bioquímicas (respiração de microrganismos, principalmente). Esse ensaio é

padronizado para a temperatura de 20°C e 5 dias de duração. Isso significa que na realidade, o consumo de oxigênio pode ser maior ou menor do que aquele determinado em laboratório, pois, no meio natural, há outras variáveis não ponderadas no ensaio.

Para se ter uma estimativa da contribuição de cada pessoa na degradação dos corpos de águas naturais, é interessante notar que, segundo os mesmos pesquisadores, as atividades normais de um ser humano leva à “produção” de cerca de 50 a 60 de $DBO_{20^{\circ}C, 5d}$ por dia, ou seja, cada pessoa, por meio de seus esgotos, provoca um consumo de oxigênio no corpo receptor da ordem de 50 a 60 g. Assim, se for considerado que um corpo receptor “sadio” tem geralmente teor de oxigênio dissolvido de aproximadamente 7 mg.l^{-1} , cada pessoa provoca a redução deste teor para zero mg/l , correspondente a um volume de $8 \text{ m}^3/\text{dia}$, aproximadamente ($54 \text{ g de DBO/hab dia}^{-1}$). Extrapolando-se para uma cidade de 100.000 habitantes, por exemplo, chega-se a um volume da ordem de $800.000 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$.

Portanto, se lançado sem tratamento nos rios, os esgotos consomem o oxigênio das águas “matando” toda a vida aeróbia nele existente. O processo resumido ocorre da seguinte maneira: a matéria orgânica é alimento para microrganismos (bactérias, algas, protozoários, etc.); quando há excesso de alimento, os microrganismos se reproduzem rapidamente, retirando o oxigênio dissolvido que necessitam para o seu metabolismo; quando a quantidade de oxigênio retirada da água é maior que a existente e repostada, pela ação do vento, agitação de corredeiras, fotossíntese das algas e outros mecanismos naturais, os organismos superiores, tais como peixes morrem, pois o meio não lhes é mais favorável.

No que se refere à contaminação do corpo receptor por microrganismos patogênicos, um número bastante representativo refere-se ao número mais provável de coliformes por 100mL (NMP), característico dos esgotos sanitários. De acordo com A. Neto & Campos (1999), a faixa de valores mais comuns encontra-se entre 10^6 e 10^8 NMP/100mL. Isso significa que, cada litro de esgoto bruto lançado em um rio, tem-se de 10^7 a 10^9 organismos coliformes que indiretamente podem estar relacionados com a presença de patogênicos.

2.2 PROCESSOS DE TRATAMENTOS DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS:

A coleta e o tratamento de esgotos é uma prioridade no saneamento, principalmente no que diz respeito à proteção de mananciais e à saúde pública. O tratamento consiste na redução da concentração de pelo menos um dos quatro constituintes mais importantes do esgoto: **sólidos em suspensão** (sedimentáveis), **material orgânico** (biodegradável), **nutrientes** (notadamente N e P) e **organismos patogênicos**.

Uma vez que os esgotos domésticos e industriais são, efetivamente, os maiores poluidores dos mananciais, o seu tratamento permite uma redução nos custos do tratamento das águas, uma recuperação mais rápida dos rios, permitindo sua utilização para fins recreativos e atividade pesqueira, além de outras **vantagens sociais**.

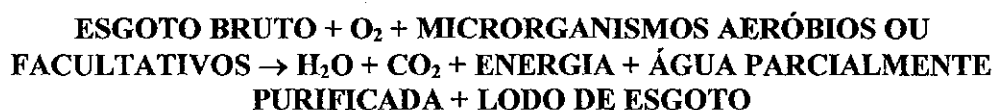
O tratamento do esgoto envolve uma série de processos físicos, biológicos e químicos. Os sistemas de tratamentos de esgotos normalmente utilizam, de forma otimizada, os fenômenos de biodegradação que já ocorrem na natureza. Os métodos mais comuns de tratamentos são os biológicos, que utilizam os microrganismos já presentes no esgoto. Sendo o esgoto rico em nutrientes, ao passar por instalações onde as condições facilitam a atividade biológica, os microrganismos usam a matéria orgânica como alimento, degradando-a e conseqüentemente reduzindo o potencial poluidor.

Ao chegar às ETE's, o afluente passa por um pré-tratamento onde as impurezas grosseiras são retidas por gradeamento. Em seguida separa-se os sólidos suspensos inorgânicos em caixas de areia. O líquido livre da fração grosseira passa a conter sólidos finos dissolvidos. Em algumas estações o esgoto passa então por um decantador primário, onde parte da matéria fina sedimenta naturalmente. Até a fase de sedimentação (decantação) diz-se que o tratamento é primário. A eficiência, em termos de redução da demanda biológica de oxigênio (DBO) do esgoto varia, segundo Marques (1990), de 30 a 35%. Depois do tratamento primário, as estações de tratamento biológico utilizam mecanismos e dispositivos que permitem otimizar os processos naturais de biodegradação, fornecendo aos microrganismos, condições ótimas para que

eles se desenvolvam e degradem a matéria orgânica. Por fim, o tratamento terciário que remove os nutrientes evitando a eutrofização nos corpos receptores. A eliminação dos organismos patogênicos se dá, geralmente, através da combinação entre os tratamentos secundário e terciário.

Na natureza existem duas vias principais de biodegradação: a via aeróbia e a via anaeróbia.

BIODEGRADAÇÃO AERÓBIA: é realizada em presença de oxigênio pelos microrganismos aeróbios. Desde que haja fornecimento de oxigênio no meio líquido, é a via mais rápida de biodegradação. De maneira simplificada pode ser representada como:



A biodegradação aeróbia acontece em lagoas de estabilização facultativas e de maturação sistemas com injeção de ar (lodos ativados, lagoa aerada, etc.).

BIODEGRADAÇÃO ANAERÓBIA: é realizada na ausência de oxigênio pelos microrganismos anaeróbios. Ela ocorre quando o oxigênio dissolvido no esgoto já foi consumido pelos microrganismos aeróbios. De forma simplificada pode ser representada como:



2.2.1 METABOLISMO BACTERIANO DOS PROCESSOS DE TRATAMENTOS DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS

O mecanismo mais importante para a remoção de material orgânico em sistema de tratamento biológico é o metabolismo bacteriano. Esta denominação, segundo Haandel & Lettinga (1994), se refere à utilização pelas bactérias do material orgânico seja como fonte de energia (catabolismo), onde o material é transformado em produtos estáveis, ou como fonte material para síntese de material celular (anabolismo), onde o material orgânico se transforma e é incorporado na massa celular. O anabolismo é um processo que consome energia e somente é viável se o catabolismo estiver ocorrendo

simultaneamente e fornecendo a energia necessária para a síntese do material celular. Por outro lado, o catabolismo somente é possível se estiver presente uma população de bactérias vivas (processos interdependentes e concomitantes).

A parte catabólica do metabolismo bacteriano dividi-se em dois processos fundamentais e distintos: catabolismo oxidativo e catabolismo fermentativo. O primeiro processo é uma reação redox na qual o material orgânico é o redutor que é oxidado por um oxidante também presente na fase aquática. Esse oxidante pode ser o oxigênio molecular, nitrato ou sulfato. Esse processo também se chama respiração, podendo ser respiração aeróbia quando o oxigênio é o oxidante e respiração anaeróbia quando nitrato ou sulfato são os aceptores de elétrons do material orgânico (Haandel & Letinga, 1994).

O segundo processo, de acordo com esses autores, se caracteriza pelo fato de não haver presença de um oxidante. Pode ser interpretado como um processo que resulta na transferência intramolecular (ao contrário da transferência intermolecular no catabolismo oxidativo) de tal maneira que o produto composto carbolizado se decompõe em pelo menos duas partes. Se os produtos catabólicos são diferentes, um será mais oxidado e outro mais reduzido do que o composto original.

A digestão anaeróbia é o processo fermentativo de interesse especial para a Engenharia Sanitária e Ambiental. O processo se caracteriza pela produção de metano (CH_4), que é o composto orgânico mais reduzido e de dióxido de carbono (CO_2). Neste sentido a digestão anaeróbia pode ser considerada como a última fermentação, ou seja, os produtos são estáveis no sentido de que não são susceptíveis de outras fermentações. Trata-se de um processo de transformação e não de destruição do material orgânico visto que, como não há participação de um oxidante no processo, a capacidade de transferência de elétrons do material orgânico permanece intacta no metano produzido. Visto que não há oxidação, tem-se que, necessariamente, a DQO teórica do metano se iguala à DQO do material orgânico digerido para produzi-lo.

A forma de anabolismo que ocorre no tratamento de água residuárias é, segundo os mesmos pesquisadores, a síntese de massa bacteriana a partir de material orgânico do afluente. A energia necessária deste processo vem, portanto, da atividade catabólica simultânea das bactérias. O anabolismo é mensurado pelo consumo de oxidante

(processo oxidativo) ou pela produção de metano (processo fermentativo). O efeito combinado (metabolismo) é avaliado pela diminuição da concentração do material orgânico (substrato). De acordo com Haandel & Lettinga (1994), as proporções entre catabolismo e anabolismo de material orgânico são, respectivamente, de 33% e 67%, no metabolismo aeróbio e de 97% e 3%, respectivamente, no metabolismo metanogênico.

2.3 PRODUÇÃO DE LODO NOS PROCESSOS DE TRATAMENTOS DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS

Todos os sistemas biológicos de tratamento de esgoto produzem lodo de excesso, uma denominação para os sólidos que se acumulam no sistema de tratamento e que devem ser descarregados com uma determinada frequência. O lodo inorgânico se origina da floculação de sólidos inorgânicos em suspensão. O lodo orgânico se compõe de uma fração de massa bacteriana viva e outra de sólidos voláteis suspensos sem atividade biológica que vem da floculação de sólidos orgânicos inertes no afluente e do decaimento das bactérias: o resíduo endógeno.

De acordo com Haandel & Lettinga (1994), os microrganismos gerados num sistema aeróbio diferem daqueles produzidos num sistema anaeróbio em dois aspectos: (1) o coeficiente de rendimento e, (2) a taxa de decaimento da bactéria anaeróbia, são muito maiores. Segundo esses mesmos pesquisadores, nos sistemas anaeróbios a produção de lodo geralmente é maior que a mínima 0,02g SVS/g DQO (o crescimento das bactérias metanogênicas), porque (1) antes da metanogênese há outros processos preparatórios na digestão anaeróbia de material orgânico complexo, resultando na formação de várias populações bacterianas e (2) há floculação de sólidos orgânicos inertes do afluente. Desse modo, pode-se esperar uma produção de torno de 0,10kg SVS/g DQO, mas esta produção ainda é muito menor que aquela de um sistema aeróbio, onde há uma produção de no mínimo 0,2g SVS/g DQO para esgoto bruto.

Apesar da taxa de decaimento relativamente alta das bactérias em sistemas de tratamento aeróbio, o lodo de excesso produzido conta ainda com fração elevada de material vivo, sujeita a decaimento. Por essa razão o lodo produzido nesses sistemas é instável. Em contraste o lodo anaeróbio de excesso, por sua natureza, já é estabilizado quando sai do reator (ele não é suscetível de apodrecimento). Por essa razão, o lodo

anaeróbico não requer estabilização (caso do lodo aeróbico) antes da separação sólido-líquido (os custos de estabilização representam em torno de 40-60% do custo operacional do sistema).

Dependendo da composição do esgoto e das condições operacionais, notadamente o tempo de permanência hidráulica e a temperatura, a produção de lodo num reator UASB, por exemplo, tipicamente está na faixa de 50 a 100g STS/l (Haandel & Lettinga, 1994).

Andreoli & Fernandes (1999) relatam que nos sistemas aerados de tratamento de esgotos, a média de produção de lodo varia de 17 a 27 t.dia⁻¹ de lodo pastoso (20% de sólidos) para cada 100.000 habitantes. Este esgoto coletado no Brasil, se devidamente tratado, produziria 25.000 a 35.000m³ de lodo primário (com 3 a 7% de sólidos) por dia. Este problema será ainda mais agravado com a perspectiva de inclusão de mais de 70 milhões de habitantes urbanos nas redes de coleta nos próximos 15 anos.

Segundo Oliveira (2000), apenas na região metropolitana de São Paulo (SP) com a capacidade instalada e em operação, gera-se diariamente em torno de 100 toneladas de lodo de esgoto seco, com uma previsão para o ano de 2015 de 766 toneladas diárias. O autor destaca ainda que a produção diária de lodo seco no Estado do Paraná, de acordo com Andreoli & Pegorini (1988), é de aproximadamente 29 toneladas, destacando-se a cidade de Curitiba (PR) com 20 toneladas diárias.

Existem basicamente três tipos de lodo orgânico: bruto ou primário, ativado e digerido, cada um com características e propriedades distintas:

- **LODO BRUTO OU PRIMÁRIO:** é produzido nos decantadores primários das ETE's e possui coloração acinzentada, é pegajoso, de odor ofensivo e facilmente fermentável; os sólidos são separados dos líquidos por gravidade, flotação e sedimentação.
- **LODO ATIVADO:** é produzido em reatores biológicos e ETE's que utilizam o processo biológico de tratamento; tem aparência floculenta, coloração marrom e odor pouco ofensivo quando fresco; os sólidos são separados após ação de microrganismos.
- **LODO DIGERIDO:** é aquele que sofreu o processo de estabilização biológica, obtida por biodigestores anaeróbios ou aeróbios. O lodo digerido

anaerobiamente é de cor marrom escura. Quando bem digeridos, tanto o lodo aeróbio com aquele anaeróbio, não possuem odor ofensivo.

2.4 OS METAIS PESADOS:

Vários pesquisadores (Chu & Wong, 1987; Cabrera et al., 1988; Adms & Kissel, 1989; Martins, 1993; Tsutiya, 1999b e Miyazawa et al., 1999) colocam como fator limitante, para o emprego do lodo como fertilizante, a presença de metais pesados, principalmente quando é proveniente de cidades altamente industrializadas. Destarte, sua aplicação deve ser cuidadosamente avaliada em relação ao conteúdo em metais pesados que podem permanecer no solo, serem absorvidos pelas plantas e, assim, atingir a cadeia alimentar, percolar para as águas subterrâneas ou, através da enxurrada, atingir as águas superficiais e os mananciais aquáticos, também assim atingindo a cadeia alimentar.

A gravidade da contaminação com metais pesados se deve a dois fatores: não são biodegradáveis, sofrendo apenas alterações químicas e são tóxicos, pois são capazes de se ligar ao grupo sulfidril das proteínas e também a outros radicais orgânicos (Summers & Silver, 1978; Valle & Ulmer, 1972, citados por Marques, 1996).

De acordo com Tsutiya (1999b) são considerados como metais pesados os elementos químicos que possuem peso específico maior que 5g.cm^{-3} ou número atômico maior do que 20. Entretanto, o termo "metais pesados" é utilizado para elementos químicos que contaminam o meio ambiente, provocando diferentes danos à biota. Os principais elementos enquadrados neste conceito são: alumínio, antimônio, arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cobalto, cromo, ferro, manganês, mercúrio, molibdênio, níquel, selênio e zinco (Barceló & Poschernrieder, 1992; Tsutiya, 1999b; Miyazawa et al., 1999).

De acordo com Pepin & Coleman (1984), citados por Martins (1993), os teores de metais pesados em amostras de terra são variáveis dentro das seguintes faixas: Cd (0,01-7ppm), Cr (5-3000ppm), Cu (2-100ppm), Pb (2-200ppm), Ni (10-1000ppm), Zn (10-300ppm).

Tsutiya (1999b) afirma que, para a aplicação de bio sólidos em culturas agrícolas, devem ser levadas em consideração as concentrações máximas de metais pesados nos bio sólidos, as concentrações máximas em solos agrícolas e as cargas cumulativas máximas de metais em solo pela aplicação de bio sólidos. Esse autor relata que as concentrações máximas permissíveis de metais pesados nos bio sólidos para uso agrícola, foram estabelecidas em 17 países (Tabela 1). Como pode se observar, países como a Holanda e Suécia tendem a restringir os valores máximos de metais pesados, por outro lado, os Estados Unidos recomendam os maiores níveis permitidos para todos os elementos, com exceção do chumbo.

Com relação a concentração máxima de metais em solos agrícolas, Tsutiya (1999b), relata que os Estados Unidos é o país que permite as maiores concentrações exceto quanto ao chumbo, onde a Nova Zelândia, Inglaterra e a Comunidade Européia admite valores superiores aos americanos (Tabela 2). Os valores de metais pesados em solos paulistas e paranaenses, geralmente estão, de acordo com esse autor, dentro dos intervalos permitidos em solos europeus e americanos.

Bettiol & Carvalho (1982) destacam que, no Brasil, enquanto houve predominância de esgotos domésticos sobre industriais, o teor de metais pesados permaneceu dentro de limites toleráveis.

Os principais metais contidos nos bio sólidos são: cobre, níquel, cádmio, zinco, chumbo e cromo. A intensidade da concentração desses metais é função da maior ou menor participação de esgotos industriais, portanto, é de fundamental importância o controle de efluentes industriais para uma boa qualidade de bio sólidos gerados em ETE's, principalmente no que se refere às concentrações de metais pesados (Galloway & Jacobs, 1977; Tsutiya, 1999b).

Tabela 1- Concentrações máximas permissíveis de metais no bio-sólido para uso agrícola. Bio-sólidos em algodoeiro herbáceo: modificações no crescimento, desenvolvimento e ambiente edáfico. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

País	Concentração máxima de metais, mg/kg (base seca)										
	Arsênio	Cádmio	Cobalto	Cromo	Cobre	Mercúrio	Molibdênio	Níquel	Chumbo	Selênio	Zinco
Comunidade Européia	-	20/40	-	-	1000/ 1750	16/25	-	300/ 400	750/ 1200	-	2500/ 4000
Bélgica	-	10	20	500	500	10	-	100	300	25	2000
Dinamarca	-	8	-	-	-	6	-	50	400	-	-
Inglaterra	-	-	-	-	-	-	-	-	1000	-	-
Alemanha	-	20	-	1200	1200	25	-	200	1200	-	300
França	-	20	-	2000	1000	10	-	200	800	100	3000
Grécia	-	40	-	-	1750	25	-	400	1200	-	4000
Itália	-	10	-	750	1000	10	-	200	500	-	3000
Holanda	10	5	-	500	600	5	-	100	500	-	2000
Finlândia	-	30	100	1000	3000	25	-	500	1200	-	5000
Noruega	-	10	20	200	1500	-	-	100	300	-	3000
Suécia	-	4	-	150	600	5	-	100	200	-	1500
Escócia	150	20	-	800	1000	10	20	200	1000	40	1000
Suíça	-	30	100	1000	1000	10	20	200	1000	-	1000
Áustria	-	10	100	500	500	10	20	100	500	-	2000
Canadá	75	20	150	-	-	5	20	180	500	14	850
EUA	75	85	-	-	4300	57	75	420	840	100	7500
São Paulo	75	85	-	-	4300	57	75	420	840	100	7500

Fonte: Tsutiya (1999b).

De acordo com Andreoli et al. (1994) e Tsutiya (1999b), os metais pesados contidos nos bio-sólidos podem ser divididos em duas categorias, dependendo do risco que eles apresentam às plantas e aos animais. São considerados metais que oferecem pequeno risco o manganês, o ferro, o alumínio, o cromo, o arsênio, o selênio, o antimônio, o chumbo e o mercúrio. Os metais potencialmente perigosos aos homens e animais são os seguintes: zinco, cobre, níquel e molibdênio.

Tsutiya (1999b) classifica os metais pesados que são considerados micronutrientes para as plantas, indispensáveis ao seu crescimento, como essenciais (Cu, Fe, Mn, Mo, Zn), benéficos (Co, Ni) e não essenciais ou sem função (Al, Cd, Cr, Hg, Pb, etc.).

O acúmulo desses elementos no solo em decorrência da disposição de esgoto, vem sendo apontada nos EUA, por vários pesquisadores desde a década de 70 (Oliveira, 2000).

Tabela 2 - Concentrações máximas permissíveis de metais em solos agrícolas para aplicação de biossólidos. Biossólidos em algodoeiro herbáceo: modificações no crescimento, desenvolvimento e ambiente edáfico. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

País	Concentração máxima permissível de metais em solos agrícolas (mg/ha)										
	Arsênio	Cádmio	Cobalto	Cromo	Cobre	Mercúrio	Molibdênio	Níquel	Chumbo	Selênio	Zinco
Comunidade Européia	-	1/3	-	50/140	-	1/1,5	-	30/75	50/300	-	150/300
Alemanha	-	3	100	100	-	2	-	50	100	-	300
França	-	2	150	100	-	1	-	50	100	10	300
Inglaterra	20	3	600	135	500	1	4	75	250	3	300
Itália	-	3	150	100	-	-	-	50	100	-	300
Escócia	12	1,6	80	60	-	0,4	2	40	80	2,4	150
Áustria	-	3	100	100	-	2	-	50	100	-	300
Canadá	14	1,6	120	100	-	0,5	4	32	60	1,6	220
Espanha	-	1	100	50	-	1	-	30	50	-	150
Dinamarca	-	0,5	30	40	-	0,5	-	15	40	-	100-
Finlândia	-	0,5	200	100	-	0,2	-	60	60	-	150
Noruega	-	1	100	50	-	0,5	-	15	40	-	100
Nova Zelândia	-	3,5	600	140	-	1	-	35	300	-	300
EUA	-	20	1500	750	-	8	-	210	150	-	1400

Fonte: Tsutiya (1999b).

No Brasil, este potencial de acúmulo foi verificado nos trabalhos de Berton et al. (1989), Oliveira (1992), Vanzolini (1994), Oliveira (1995), Barreto (1995), Marques (1996), entre outros. No entanto, devido aos vários fatores que influenciam o comportamento desses elementos nos ecossistemas, existem grandes dificuldades na interpretação e na reprodução ou aplicação dos resultados de pesquisa, principalmente no que diz respeito a intensidade de absorção dos metais pesados pelas plantas e as possibilidades desses elementos alcançarem concentrações fitotóxicas avaliadas nos solos e ou nas plantas (Sommers, 1977 e Singh & Keefer, 1989, citados por Oliveira, 2000).

Quando adicionados aos solos, os metais pesados contidos em lodo de esgoto passam por inúmeras reações, as quais são responsáveis pelas várias espécies químicas e físicas que serão difundidas nesse ambiente. De maneira geral, tais reações ocorrem por processos de precipitação e dissolução, complexação com compostos orgânicos e/ou

inorgânicos e adsorção, desorção (Alloway, 1990, citado por Oliveira 2000). A intensidade desses processos é influenciada pelos vários atributos dos solos incluindo o valor pH, textura e composição mineral (teor e tipos de argila, teor de óxidos de ferro, alumínio e manganês), teor de matéria orgânica, CTC, potencial redox, composição da solução do solo e a temperatura ambiente (Kabata- Pendias & Pendias, 1984; Alloway, 1990, citados por Oliveira, 2000).

Segundo Andreoli et al. (1997) a absorção de metais pesados pelas plantas é influenciada por propriedades do solo como pH, CTC, teor de matéria orgânica e pelas características das plantas, pois enquanto algumas têm tendência a acumular metais pesados, outras têm pouca afinidade para absorver tais elementos.

De acordo com Tsutiya (1999b) trabalhos realizadas por diversos pesquisadores avaliaram a absorção de metais pesados provenientes de biossólidos nas seguintes culturas: trigo, soja, alfafa, cevada e feijão. Pela análise dos resultados obtidos, concluiu-se que cada metal pesado é absorvido de modo diferente para cada cultura.

Andreoli et al. (1997), citando Sommer (1980), relatam que os resultados de pesquisas realizados em vários países indicam que a absorção de metais pelas plantas é afetada pela variação das condições ambientais, da espécie vegetal e de fatores edáficos. Esses autores, citando Page (1974) e Chaney & Giordino (1976), destacam que as diferenças na absorção de metais pesados pelas espécies são bastante grandes. Page et al. (1987), citados por Oliveira (2000), relatam, por exemplo, que a absorção de metais pesados pela plantas em função das taxas de aplicação do resíduo, tem apresentado diferentes tipos e respostas incluindo comportamentos lineares, assintóticos, respostas negativas ou simplesmente nenhum tipo de resposta.

Neste contexto, com base em observações de dados referentes a absorção de metais pesados por diversas culturas, obtidos em diferentes experimentos de campo, Corey et al. (1987), citados por Oliveira (2000), perceberam que, na maioria dos casos, a absorção desses elementos não aumentava linearmente com as taxas de aplicação de lodo de esgoto e sim, a partir de determinadas doses do resíduo, atingia e se estabelecia num valor máximo. Os autores denominaram este comportamento de “resposta platô” surgindo daí, a chamada “teoria de platô” ou do original “plateau theory”. De acordo

com esta teoria, a capacidade de adsorção específica dos metais pesados adicionados ao solo, via lodo de esgoto, persistirá enquanto esses elementos estiveram no solo, sugerindo, portanto, que os metais não permaneceriam em formas prontamente disponíveis às plantas e que o resíduo, que é a fonte de contaminação de metais pesados, tem em sua carga orgânica uma forma de aumentar a capacidade dos solos em reter esses elementos. Nesse sentido, após as concentrações de metais no tecido vegetal terem alcançado o chamado platô, após sucessivas aplicações de lodo de esgoto, estas permanecerão nestes níveis até mesmo depois da interrupção das aplicações (Chang et al., 1997 e Logan et al., 1997, citados por Oliveira, 2000).

Para Marques (1996) o teor de um elemento no solo, por si só, não tem muito significado, pois do ponto de vista agrônômico é a sua fitodisponibilidade, ou sua ocorrência em forma que permita às plantas a sua assimilação é o que importa, tendo em vista que esse procedimento permite estimar o potencial de acúmulo de elemento na planta.

Assim, Oliveira (1995), encontrou que a presença de lodo de esgoto no solo elevou os teores de Cd, Cu, Cr, Ni e Zn, porém a fitodisponibilidade só foi aumentada quando se empregou a dose de 150 t/ha do resíduo. Por outro lado, Barreto (1995), estudando a velocidade de decomposição de resíduos, entre eles o lodo de esgoto, e o efeito dessa aplicação sobre a capacidade de retenção de água e alguns atributos químicos, concluiu que os metais Cd, Ni e Cr expressaram fitodisponibilidade mesmo quando doses reduzidas foram utilizadas.

Day et al. (1987), através de estudos realizados com lodo de esgoto seco de Phoenix, Arizona, sugerem que este pode ser aplicado continuamente, na produção de forragem de milho, sem causar efeitos tóxicos decorrentes de metais pesados, se a taxa de aplicação for limitada a quantidades que supram a necessidade de N para a cultura.

Em experimento conduzido em casa de vegetação, Vanzolini (1994), avaliando os efeitos da incorporação de calcário, lodo de esgoto (0, 20, 40 e 80 t/ha) e vinhaça no sorgo granífero, constatou que as doses de lodo de esgoto alteraram as características do solo estudado (areia quartzosa), inclusive aumentaram os teores de Ni, Pb, Cr e Cd.

Dias (1994) encontrou teores baixos de metais pesados em plantas de sorgo granífero desenvolvidas em solo que recebeu lodo de esgoto, vinhaça e calcário. Contudo, o autor ressalta a potencialidade do lodo de esgoto em promover acúmulo desses elementos no solo, principalmente depois do mesmo ser submetido a aplicações sucessivas por anos seguidos.

Estudando o acúmulo de nutrientes e metais pesados por sorgo granífero em solo que recebeu doses crescentes de lodo de esgoto (0, 40 e 80 t/ha), Martins (1993), observou que os teores de Ni, Pb e Cr no solo aumentaram significativamente com o aumento das doses de lodo. A absorção dos metais pesados, Pb e Cr pela parte aérea e sistema radicular do sorgo, ocorreram de modo proporcional às doses de lodo aplicadas.

Hernandez et al. (1991) verificaram que, devido a aplicação de lodo de esgoto no solo, os níveis de Cu, Zn e Pb aumentaram; o teor de Fe decresceu enquanto a disponibilidade do Fe, Cu, Mn, Zn e Pb aumentou quando comparada com a testemunha; já as plantas cultivadas com lodo também apresentaram maiores teores de Fe, Cu e Zn. Verificaram, ainda, que a absorção de metais tóxicos pelas plantas depende da espécie vegetal.

Seki (1995), citado por Marques (1996), observou que o lodo incorporado ao solo atuou também como fornecedor de Fe, Mn e Zn as plantas de aveia.

Estudando os efeitos da incorporação de doses crescentes de lodo de esgoto (0, 8, 16, 32 e 64 t/ha), ao solo cultivado com sorgo granífero, André (1994), verificou que o resíduo atuou como fonte de Ca, Cu e Zn, além de fornecer metais pesados como Pb e Cr. Houve acúmulo de metais pesados nos grãos do sorgo dos vasos que receberam lodo de esgoto, embora não tenha ocorrido qualquer efeito significativo aparente sobre o desenvolvimento das plantas.

Cuningham et al. (1975) obtiveram decréscimos de produção de milho e de centeio com aplicação de lodo de esgoto com elevados teores de Zn e Cu na dose de 63t/ha. Segundo esses autores a interação desses nutrientes influenciou negativamente no rendimento das culturas.

De acordo com Barceló & Poscherrnrieder (1992) os principais mecanismos de resistência e tolerância das plantas a metais pesados são: exclusão seletiva do metal pelo processo de absorção; excreção do metal, na qual a eliminação de compostos pela raiz reduz a disponibilidade do metal para a planta; retenção do metal na raiz através da imobilização na parede celular e em vacúolos; formação, pelas plantas, de compostos inativadores de metais tóxicos; tolerância de sistemas enzimáticos frente aos metais. Esses autores, citando Vasques et al. (1992) e Wallnofer & Engelhardt (1988), destacam que os sintomas mais visíveis de fitotoxicidade por metais incluem redução do crescimento, sobretudo das raízes, clorose, necrose na parte aérea das plantas, que evoluem para sintomas típicos de senescência e abscisão.

Hemkes et al. (1983) aplicaram doses crescentes de lodo de esgoto (0, 6, 12 e 18 t.ha⁻¹ ano) em associação a várias doses de nitrogênio (0, 30, 60 e 90 kg.ha⁻¹) em solo arenoso cultivado com grama forrageira. Verificaram a ocorrência de aumento expressivo nos teores de Cd das plantas em função do aumento da dose de lodo de esgoto e fertilizante nitrogenado. Além disso, os teores de Cd e Pb nas plantas jovens foram maiores do que nas plantas mais velhas, onde a relação entre o Pb disponível no solo e o conteúdo de Pb nas plantas foi baixa.

Hinesly et al. (1984) estudando a aplicação de lodo de esgoto digerido, por vários anos consecutivos, em solo resultante da extração de calcário e solo areno-siltoso ácido, verificaram que os teores de Cd e Zn em folhas e grão de milho foram proporcionais às quantidades desses elementos acrescentados ao solo através do lodo de esgoto, em épocas imediatamente anteriores ao cultivo. Entretanto, repetidas aplicações de lodo de esgoto nesse mesmo solo por vários anos não causaram qualquer alteração nos teores de Cd, tanto nas folhas quanto nos grãos de milho. Para o Zn, apenas os teores nas folhas aumentaram significativamente. Nos solos calcários, ambos os elementos tiveram seus teores elevados nas folhas e nos grãos de milho, em decorrência das sucessivas aplicações, contrariando as expectativas.

Para Warman (1986), citado por Marques (1996), doses de 150 e 300 t/ha de lodo de esgoto, contendo 300 mg/kg de Cu, não resultaram em aumento do elemento em plantas forrageiras. O pesquisador concluiu que, para Zn, Cu e Mn, o total recuperado pela planta forrageira (*Phleum pratense L.*) variou entre 1 e 2% das quantidades

aplicadas através do lodo de esgoto. Atenção especial é dada ao Pb, que para o controle da incorporação desse metal pesado em terras cultivadas, esse autor estabelece que um lodo de esgoto contendo 550 mg.kg^{-1} de Pb pode ser aplicado por anos seguidos, de forma segura, no máximo na dose de 135 t.ha^{-1} , base peso seco.

Smith (1994), citado por Marques (1996), verificou aumento da absorção de Cd, Cu, Ni e Zn em plantas de centeio cultivadas em solos ácido aos quais se aplicou lodo de esgoto.

Oliveira (2000) constatou acúmulos de Cu, Cr, Ni, e Zn na camada agrícola (0-20cm) de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. Entretanto, não encontrou teores de Cu e Zn nas amostras de plantas, superiores aos limites normais de variação encontrado na literatura.

2.5 OS ORGANISMOS PATOGÊNICOS:

O tipo e o número de organismos patogênicos no lodo é, segundo Andreoli et al. (1994), função da natureza do esgoto, população atendida, tipo de tratamento do esgoto e do lodo. De acordo com esses pesquisadores os patógenos que apresentam risco potencial para a saúde dos humanos e animais dentro de lodo proveniente de esgotos domésticos são de várias fontes. Os humanos infectados com doenças entéricas são, para esses pesquisadores, a fonte mais importante; as outras são os matadouros, fazendas, fábricas de laticínios e fezes de animais carregadas para os sistemas de esgoto via drenagem de águas superficiais.

Para Elissalde et al. (1994), a concentração de patógenos presente no lodo de esgoto, de uma determinada localidade é bastante variável e depende das condições sócio-econômicas da população, das condições sanitárias, da região geográfica, da presença de animais vivendo na rede, da presença de indústrias agro-alimentares e do tipo de tratamento a que o lodo foi submetido. A contaminação do lodo também difere de acordo com natureza do efluente, o tipo de estação e dentro de uma mesma estação ela pode variar de um período para outro.

Dean & Smith (1973) afirmam que o lodo primário ou bruto, pelo fato de não ter sido digerido, apresenta uma maior quantidade de microrganismos patogênicos em relação aos outros tipos onde se destacam a elevada concentração de bactérias fecais, especialmente a espécie *Escherichia coli*, e de parasitas como *helintos*, *Áscaris lumbricoide*, etc.

2.5.1 AGENTES PATOGÊNICOS NO LODO DE ESGOTO – BACTÉRIAS ENTÉRICAS:

A presença de bactérias patogênicas no lodo de esgoto, sua sobrevivência e concentração no lodo, sua patogenicidade, e potencial de riscos à saúde associados com a aplicação no solo, tem sido pesquisada e documentada por vários autores referenciados em USEPA (1991).

A transmissão da maioria das bactérias entéricas se dá por via fecal-oral, pela água e alimentos. Algumas bactérias persistem, como reservatórios, em animais infectados e o contágio direto, entre pessoas pode ocorrer.

A capacidade da bactéria entérica patogênica causar infecção depende da virulência ou da infectividade das espécies, da hereditariedade e da suscetibilidade do receptor humano e das condições ambientais de transmissão. Conseqüentemente, a infecção é uma relação dose/resposta na qual a dose é o número de células bacterianas viáveis as quais o humano está exposto, e a resposta é o nível da infecção, ou seja é uma infecção sub-clínica sem doença (portadores sadios), ou uma infecção com doença (Kowal, 1985, citado por Andraus et al., 1999).

A Mínima Dose Infectiva (DMI) para humanos pode variar de poucos organismos com 10 a 100 para *Shigella spp.* até um número tão grande quanto 10^5 - 10^8 para *Salmonella spp.* (Kowal, 1985, citado por Andraus et al, 1999; Ceballos, 1990). A DMI é geralmente considerada como a dose média infecção 50% da população, sendo também conhecida como a dose média infectiva ou DI_{50} , segundo Blaser & Newman (1982) e Feachen et al. (1983), citados por Andraus et al. (1999). Estimativas de DMI para bactérias variam consideravelmente dependendo, segundo esses

autores, de diversos fatores: via de exposição, tempo de exposição, concentração de organismos; mecanismos de resistência do hospedeiro, incluindo respostas imunológicas ou barreiras à infecções, tais como a acidez estomacal ou atividade dos leucócitos; saúde geral e idade do hospedeiro; tratamento com antibióticos, o que reduz as competições e assim o número de bactérias requeridas para causar infecção e a virulência da cepa ou o sorotipo da bactéria.

Andraus et al. (1999), citando Kowal (1985), descrevem que a *Salmonella spp.* e *Shigella spp.* representam, provavelmente, o maior risco de infecção uma vez que estas são bactérias patogênicas mais comumente encontradas em esgotos domésticos. As doses infectivas mínimas para bactérias entéricas são da ordem de $10^2 - 10^8$ organismos, concentrações que estão presentes em alguns lodos. Esses autores destacam pesquisas realizadas por Metro (1983), que fornece um limite para doses infecciosas de $10^2 - 10^5$ para *Salmonella spp.*, Keswick (1984) que descreve doses infecciosas de $10^1 - 10^2$ para *Shigella dysenteriae*; $10^6 - 10^8$ para *E. coli*; $10^6 - 10^8$ para *Vibrio cholerae* e Levine (1973), que descreve doenças em voluntários saudáveis causados *Shigella dysenteriae* por virulentos (toxigênico invasivo) em doses abaixo de 10^1 organismos. Os mesmos autores destacam, ainda, os trabalhos de Kowal (1985), Who (1981), Faber e Losos (1988), que verificaram a ocorrência de salmonelose, shigelose, histeriose e cólera em irrigação de plantações com água de efluente não tratado ou esgoto, mas com pequena evidência epidemiológica ligando a aplicação de lodo tratado com doenças entérico bacterianas. Eles destacam a revisão de Gelcreuch e Bordner (1972) que cita diversos casos de salmonelose e febre tifóide ligadas à contaminação de frutas e vegetais, mas citando Feachen et al. (1983), enfatizam que os riscos de contaminação bacteriana podem se minimizados pela interrupção da irrigação ou fertilização com lodo de efluentes pelos menos duas semanas antes da colheita.

Para avaliar os efeitos na saúde humana e animal, associados com aplicação de lodo de esgoto tratado com doses entre 2 a 10 t/ha em oito fazendas, Reddy et al. (1985), citados por Andraus et al. (1999), não notaram nenhum risco significativo para a saúde pela *Salmonella spp.*. Segundo esses autores, Ottolengh e Hamparian (1987), verificaram que aplicações em solo agrícola de lodo digerido anaerobiamente que, sabia-se, contendo salmonelas, não apresentaram riscos aparentes para o homem quando usado em aplicações na agricultura.

2.5.2 AGENTES PATOGÊNICOS NO LODO DE ESGOTO – HELMINTOS E PROTOZOÁRIOS

Os parasitos, geralmente, apresentam especificidade de hospedeiro e podem ser representados esquematicamente por:

- a) específicos para um hospedeiro, no caso de parasitos monoxênicos (necessitam de apenas um hospedeiro para completar o ciclo biológico) como o *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, são infectantes apenas para o homem.
- b) específicos para os hospedeiros intermediários, no caso de parasitos heteroxênicos (precisam de mais de um hospedeiro para completar o ciclo biológico) como *Taenia*, que é infectante para bovinos e suínos (hospedeiros intermediários) num primeiro tempo, porém, se o homem (hospedeiro definitivo) ingerir carne infectada destes animais vai desenvolver o parasito adulto no intestino.
- c) hospedeiros acidentais. Certos parasitos de animais, como por exemplo, o *Toxocara canis*, parasitam habitualmente os cães. No entanto o homem, ao ingerir ovos larvados destes parasitos, funcionará como hospedeiro acidental, uma vez que a evolução do ciclo é abortiva. Porém, o início do desenvolvimento do ciclo, no homem, pode ter repercussão patológica grave conhecido como larva migrans visceral.

As helmintíases mais freqüentes, no mundo são: enterobíase (103 milhões pessoas.ano⁻¹), ascaridíase (900 milhões pessoas.ano⁻¹), ancilostimíase (800 milhões pessoas.ano⁻¹), e tricuriíase (500 milhões pessoas.ano⁻¹), segundo dados da Organização Mundial da Saúde (1990), relatados por Soccol et al. (1999). Elas afetam o homem, tanto em países desenvolvidos quanto em países de terceiro mundo. Evidentemente, há uma variabilidade na taxa de infecção nas respectivas populações.

Segundo Soccol et al. (1999) o tempo de sobrevivência de ovos de helmintos e dos cistos de protozoários, no meio ambiente, varia com: a espécie em causa, as condições de temperatura ambiental, umidade, pH do solo, oxigênio e luz solar.

Estudos epidemiológicos têm mostrado que parasitos intestinais (ovos de helmintos e cistos de protozoários) presentes no lodo, representam riscos para a saúde humana e animal. Estes riscos são devidos:

- as amplas distribuição geográfica de parasitismo que os helmintos e protozoários apresentam;
- a alta frequência de parasitismo na população em diferentes partes do mundo;
- longo tempo de sobrevivência dos ovos de helmintos no meio externo;
- a sua baixa dose infectante (um ovo ou um cisto é suficiente para infectar um hospedeiro);
- ausência de imunidade permanente no hospedeiro.

Caracterizando os ovos de helmintos presentes no lodo, produzido por processo de digestão aeróbia na estação ETE Belém, Curitiba (PR), Soccol et al. (1997a; 1997b) verificaram que a média total de ovos de helmintos (viáveis e não viáveis) encontrada, em 12 análises, foi de 4,85 por grama de M.S. O percentual de viabilidade destes ovos apresentou variação de 17 a 60%. A porcentagem média de redução de ovos de helmintos no lodo foi de 56,7%, o que indica que o processo de tratamento aeróbio tem uma eficácia mediana a baixa, na higienização do lodo. Portanto, a média de ovos viáveis por grama de M.S., resultantes das 12 análises foi de 1,85, número esse que, segundo esses pesquisadores, não difere das médias encontradas nos EUA ou em países da Europa.

Esses pesquisadores destacam, ainda, que a maioria dos dados de literatura é unânime em assinalar que ovos de parasitos são resistentes ao processo de digestão aeróbia. Dentre eles, ovos de *Ascaris sp.* são os mais resistentes aos diferentes processos de tratamento e apresentam maior tempo de sobrevivência no meio ambiente (Shwartzbrod et al., 1986; Rey, 1992; Ayres, 1993, citados por Soccol et al., 1999). Por esta razão, eles foram utilizados como organismos indicadores da eficiência dos diferentes processos de tratamento.

Objetivando determinar a existência de helmintos e a viabilidade dos ovos em lodo resultante de processo de digestão anaeróbia em quatro estações de tratamento de esgoto da Região Metropolitana de Curitiba, esses mesmos pesquisadores, observaram que a *Ascaris sp.* foi o parasito prevalente em todos os RALF's estudados, superando 80% do total de ovos viáveis e que ovos de *Taenia sp.* estiveram presentes em todos os RALF's estudados, embora em pequeno percentual (0,4% em média). Nos quatro RALF's o percentual de redução de viabilidade variou de 61 a 85%. A viabilidade dos ovos de helmintos variou de 15 a 39%. Todavia a quantidade de ovos viáveis resultante é ainda alta (2,66 ovos por grama de M.S.), mostrando a necessidade de higienização posterior para sua utilização sem riscos à saúde humana e animal.

2.6 CARACTERIZAÇÃO MICROBIOLÓGICA DO LODO DE REATORES DE FLUXO ASCENDENTE E MANTO DE LODO

Historicamente os sistemas de tratamento de esgotos sanitários foram concebidos para remover constituintes físicos e impurezas químicas dos efluentes. A preocupação quanto a destruição de organismos patogênicos ocorreu posteriormente, conforme relata a história do desenvolvimento da microbiologia ambiental.

De modo geral, os sistemas biológicos convencionais de tratamento de esgotos são dimensionados com ênfase na remoção de carga orgânica, provocando também alguma redução na concentração de microrganismos patogênicos. Os sistemas de tratamento de esgotos convencionais, normalmente apresentam baixa eficiência de remoção de microrganismos, tendo sido considerado como o mais eficiente, no tocante a este parâmetro, o processo de lagoas de estabilização que chegam a apresentar eficiência de 90 a 99,9% de remoção de coliformes fecais, quando o sistema conta com lagoa de maturação.

Andraus et al. (1999) destacam o reator anaeróbio de fluxo ascendente e manto de lodo, também conhecido como reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), desenvolvido por Lettinga et al. (1980), originalmente concebido e utilizado para tratar efluentes industriais. Esses mesmos autores afirmam que pesquisas realizadas por Lettinga et al. (1984) em Cali na Colômbia, bem como, por Vieira et al. (1984) em São

Paulo, demonstraram, entretanto, que o sistema possuía grande potencial para o tratamento dos esgotos domésticos.

Gasi (1991) estudou a remoção de coliformes totais, coliformes fecais, estreptococos fecais, *Clostridium perfringens*, *Salmonella spp.*, colífagos, ovos de helmintos e cistos de protozoários em um reator UASB, operando com esgoto bruto. A unidade avaliada apresentava 120m³ de volume útil e foi operada com tempo de detenção hidráulica variando de 5,1 e 14,6 horas e a temperatura entre 20 e 25°C. Foram realizadas amostragens instantâneas da alimentação, do efluente, do lodo descartado e de cinco outros pontos no manto de lodo. Os resultados mostraram que em relação aos coliformes totais e estreptococos fecais ocorreu um pequeno acúmulo, que foi da ordem, respectivamente, de 0,39 e 0,86 unidade log. Os coliformes fecais estavam sendo eliminados no lodo, tendo se observado uma taxa de acumulação negativa. Houve um acúmulo significativo de clostrídios, da ordem de 2,9 unidades log. Os colífagos também se acumularam no lodo, apresentando uma taxa 1,5 unidades log. A taxa de acumulação de salmonelas, não foi efetuada, entretanto, pode-se dizer que a incidência foi de 94% nas amostras de esgoto bruto e de 47% nas amostras de lodo.

Através da confrontação entre o número de organismos no lodo e as taxas de remoção dos mesmos, no reator, esse pesquisador concluiu:

- Coliformes totais, coliformes fecais, *Salmonella spp.* e cistos de protozoários acumularam-se no lodo a taxas menores que as de remoção, indicando que esses organismos morrem em reatores UASB;
- Estreptococos fecais são removidos a uma taxa menor que a de acúmulo no lodo, não foi possível identificar o fator responsável pelo acréscimo de bactérias no lodo;
- Clostrídios sulfito-redutores, medidos com *Clostridium perfringens*, aparentemente proliferam no lodo, sugerindo-se que os mesmos participam da etapa hidrolítica do processo anaeróbio;
- Colífagos podem proliferar no lodo de reatores UASB.

Operando um reator anaeróbio de fluxo ascendente e manto de lodo de 450 litros de volume útil, tempo de detenção mínimo de 6,4h, que era alimentado com 92% de seu volume com esgoto sanitário, sendo 40-50% da carga orgânica total era dividida aos efluentes de origem industrial, Silva (1993) verificou que ocorreu morte das bactérias coliformes totais e fecais no reator, visto que houve remoção para ambos os casos de aproximadamente 0,6 unidades log, sem ocorrer acúmulo no reator. Neste caso houve incidência de 71% de *Salmonella spp.*.

Fernandes et al. (1996) analisaram amostras de lodos provenientes de vários reatores tipos RALF totalizando 30 análises; obtendo os seguintes resultados médios:

- Coliformes totais $1,4 \times 10^7$ NMP.100mL⁻¹;
- Coliformes fecais $7,95 \times 10^6$ NMP.100mL⁻¹;
- Salmonella ausente;
- Estreptococos $1,3 \times 10^6$ NMP.100mL⁻¹.

Observa-se que o lodo gerado no processo anaeróbio de fluxo ascendente é altamente contaminado por bactérias e vírus, recomendando-se tratamento no sentido de torna-lo adequado para uma disposição final segura e mais nobre, como a utilização agrícola.

2.7 NORMAS PARA RECICLAGEM AGRÍCOLA DE BIOSSÓLIDO:

De acordo com Melo et al. (1994), Neiva (1999) e Tsutiya (1999a) os bioossólidos contêm, além da matéria orgânica, macro e micronutrientes que exercem papel fundamental na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo. Sua reciclagem agrícola interfere benéficamente nas propriedades físicas do solo melhorando a relação solo-água-ar, favorecendo assim sua estrutura. Essa melhoria na qualidade do solo, segundo esses pesquisadores, é refletida no aumento da capacidade de armazenamento e infiltração da água no solo, melhoria do armazenamento de nutrientes e maior capacidade do solo em resistir à erosão.

Todavia, o uso agrícola necessita de parâmetros básicos de desempenho agrônômico do lodo como fertilizante e das condições de segurança ambiental e

sanitária. É necessário neutralizar e controlar os elementos potencialmente contaminantes presentes no lodo principalmente os metais pesados e os microrganismos patogênicos. Nessa ótica, o lodo de esgoto passa a ser entendido como biossólido, ou seja, é o lodo resultante do tratamento físico/químico e/ou biológico dos esgotos condicionado de modo a permitir o manuseio de um produto final dentro de critérios seguros, econômica e agronomicamente interessantes.

A reciclagem agrícola do lodo envolve riscos, devido os metais pesados originários da atividade industrial, da deposição atmosférica, da aplicação de agrotóxicos, resíduos orgânicos e inorgânicos, fertilizantes e corretivos (Kabata-Pendias & Pendias, 1984 e Aeloway, 1990, citados por Vanzolini, 1994), que são altamente tóxicos e que podem estar presentes nos biossólidos, uma vez que as ETE's recebem esgotos sanitários que compõem esgotos domésticos, água de infiltração e esgoto industrial e devido os microrganismos patogênicos (bactérias, protozoários, helmintos e viroses, bem como ovos e cistos) inerentes aos esgotos sanitários, determinando a necessidade de desinfecção.

Andreoli et al. (1994) destacam que precauções devem ser tomadas para assegurar que nutrientes não sejam perdidos pelo escoamento superficial ou lixiviados até o lençol freático, e principalmente para que os organismos patogênicos e os constituintes tóxicos do lodo não contaminem o ambiente, não reduzam a produtividade do solo e não comprometam a qualidades das culturas para alimentação humana e animal.

No tocante às normas para a reciclagem agrícola do biossólido, Rodella & Alcarde (1999), citados por Oliveira (2000), relatam que nos países desenvolvidos, os quais apresentam legislações bem definidas para a deposição final de resíduos com potencial poluente, os critérios adotados para aplicação de lodo de esgoto em solos agrícolas são extremamente variáveis, refletindo as dificuldades em se estabelecer normas a respeito deste assunto, mesmo contendo com um considerável volume de resultados de pesquisas.

Para Andreoli et al. (1994) as normas para utilização agrícola do lodo de muitos países são similares em vários aspectos e consideram a qualidade do lodo, o tempo e

taxa de aplicação, as adições de nutrientes e de metais ao solo e as características do solo. Esses mesmos pesquisadores, citando Bloofield et al. (1976), Chang & Broadbent (1981), Sposito et al. (1982) e Sposito (1984), destacam que os teores de metais pesados e os microrganismos patogênicos presentes no lodo, podem condicionar a sua utilização a variáveis previamente estabelecidos, após passar por processos de descontaminação e/ou desinfecção.

No Brasil, a necessidade de se regulamentar a aplicação desse resíduo é emergente e neste sentido, os Estados do Paraná e de São Paulo já deram passo à frente (Tsutiya, 1999a). No Paraná, através da SANEPAR, foram propostas normas, com alguns critérios adaptados da legislação espanhola, regulamentando a utilização agrícola do lodo de esgoto produzido naquele Estado (Companhia de Saneamento do Paraná, 1997). Para São Paulo, a Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (CETESB), através da Norma P. 4.230 (documento não homologado, segundo Oliveira, 2000), dispõe de critérios e procedimentos para aplicação de lodo de esgoto em áreas agrícolas. Esta Norma, por sua vez, foi, segundo Oliveira (2000), basicamente uma adaptação da Norma 40 CFR (Code of Federal Regulations) Part 503 da USEPA – Unites States Environmental Protection Agency (1993).

Oliveira (2000) destaca que as legislações, de uma maneira geral, são fundamentadas em aspectos comuns como àqueles que dizem respeito às características químicas e microbiológicas dos resíduos, à escolha das áreas aptas a receberem e naquelas que determinam as taxas e frequências de aplicações. Esse pesquisador enfatiza alguns tópicos da norma preparada pela CETESB e os critérios que esta agência vem adotando da USEPA. Para o Estado de São Paulo está previsto que não será permitida a aplicação, em solos agrícolas, de lodo de esgoto contendo metais pesados em concentrações superiores aos limites apresentados na Tabela 1. Com relação aos patógenos, somente será aceita a aplicação de lodo que se enquadrem nas classes A ou B, propostas pela USEPA (1992). Na escolha das áreas aptas a receberem aplicações do resíduo deverão ser levadas em consideração as facilidades de acesso durante o período de aplicação, sua distância de áreas residenciais, a direção predominante dos ventos e os seguintes fatores de restrição: a) a declividade da área não deverá ultrapassar 10% para aplicação superficial e 18% para aplicação subsuperficial; b) deverão ser mantidas zonas de proteção de modo a não causar incômodos à vizinhança pela possível emissão

de odores; c) deverão ser mantidas distâncias de 15 (quinze) metros de vias públicas, 10 (dez) metros de drenos interceptores e divisores de águas superficiais de jusante e de trincheiras drenantes de águas superficiais e subterrâneas; d) a distância entre a superfície do terreno e o nível do lençol freático deverá ser superior a 1,2 m na época da aplicação.

2.8 PROCESSOS DE TRATAMENTOS DE LODOS DE ESGOTOS:

A USEPA (1992) cita vários processos de tratamentos de lodos de esgotos destinados a remover patógenos. A norma americana EPA 40 CFR – Part 503, apesar de rígida, não prevê a completa esterilização do lodo de esgoto. Os processos de tratamento do lodo são classificados, quanto à sua capacidade de remoção de organismos patogênicos em Processos de Avançada Redução de Patógenos – Process to Further Reduce Pathogens (PFRP) e Processos de Significativa Redução de Patógenos – Process to Significantly Reduce Pathogens (PSRP).

Os sete processos reconhecidos pela USEPA (1992) como PFRP são:

- 1) **COMPOSTAGEM:** utilizando-se o método Within-vessel ou em leiras estáticas aeradas, a temperatura da mistura é mantida a 55°C ou superior, por 13 dias ou mais.
- 2) **SECAGEM POR AQUECIMENTO:** o lodo de esgoto é seco, por contato direto ou indireto, por gases aquecidos, desidratando-o a 10% de umidade ou menos.
- 3) **TRATAMENTO TÉRMICO:** o lodo de esgoto líquido é aquecido à temperatura de 180°C ou superior, por 30 minutos.
- 4) **DIGESTÃO AERÓBIA TERMOFÍLICA:** o lodo proveniente de esgoto líquido é agitado, com ar ou oxigênio, para manter as condições aeróbias, a um tempo médio de detenção de 10 dias, entre 55°C a 60°C.
- 5) **IRRADIAÇÃO COM RAIOS BETA:** o lodo proveniente de esgoto líquido é irradiado com raios beta, através de otimizador de dosagens, em ambiente climatizado a temperatura de 20°C.
- 6) **IRRADIAÇÃO COM RAIOS GAMA:** o lodo de esgoto é irradiado com isótopos de cobalto 60 ou césio 137, em ambiente climatizado a temperatura de 20°C.

- 7) **PASTEURIZAÇÃO:** a temperatura do lodo de esgoto é mantida a 70°C ou superior, durante 30 minutos ou mais.

O lodo resultante destes processos de tratamento, é denominado tipo A, nas condições especificadas pela norma USEPA 40. Ele contém bactérias patogênicas, vírus entéricos e ovos viáveis de helmintos, reduzidos a níveis detectáveis. O lodo gerado, por processos acima mencionados, pode ser aplicado em solo para uso agrícola sem restrições (incluindo gramados e jardins). Este lodo deve ser monitorado pelos variáveis de: ovos de helmintos viáveis, coliformes fecais, *Salmonella ssp.*, quando em uso ou estocado, assegurando que não ocorra recrescimento.

Os únicos processos reconhecidos pela USEPA (1992) como PSRP são:

- 1) **DIGESTÃO AERÓBIA:** o lodo de esgoto é agitado com ar ou oxigênio para manter as condições aeróbias, o tempo médio de retenção é de 40 dias a 20°C e de 60 dias a 15°C.
- 2) **DIGESTÃO ANAERÓBIA:** é realizada na ausência de oxigênio com tempo médio de retenção de 15 dias, entre 35°C a 55°C.
- 3) **SECAGEM AO AR:** o lodo de esgoto é secado em pátio de areia, base pavimentada ou não, durante no mínimo três meses.
- 4) **COMPOSTAGEM:** utilizando-se o método Within-vessel; de leiras estáticas aeradas ou de Windrow, a temperatura do lodo de esgoto atinge 40°C ou superior, e é mantida a 40°C ou superior por cinco dias. Por quatro horas ou durante o período de cinco dias, a temperatura do composto excede a 55°C.
- 5) **CALAGEM:** cal é adicionada ao lodo para elevar o pH a 12 após duas horas de contato.

O lodo gerado por esses processos são classificados como tipo B, nas condições especificadas pela norma USEPA 40. Os processos de tratamento reduzem a

concentração de coliformes fecais até menos que 2 milhões (2×10^6) CFU ou NMP por grama de sólidos (base seca) e reduz a densidade de *Salmonella* e vírus entéricos a um fator de 10 (Farrel et al. 1985, citados em USEPA, 1992). O lodo do tipo B é utilizado, com exigências de tempos de carência após sua aplicação, como por exemplo: 14 meses para culturas cujas partes colhidas tenham contato com o lodo; 20 meses para aquelas cujas partes colhidas ficam enterradas no solo; 30 dias para as culturas cujas partes colhidas não tocam o solo com lodo, e níveis de pastagens. Para áreas de aplicação com exposição ao público, diferenciam-se àquelas com alto e baixo potencial de exposição, os tempos de carência vão de um ano e 30 dias, respectivamente.

2.9 TRATAMENTO DO LODO ATRAVÉS DA CALAGEM

A calagem é o processo de desinfecção que consiste na mistura da cal ao lodo em proporções que, segundo Ilhenfeld et al. (1999), variam de 30% a 50% de peso seco do lodo, elevando a temperatura e o pH do lodo a níveis iguais ou superiores a 12, eliminando os patógenos e os maus odores. Objetivando verificar a eficácia do processo de calagem na redução e viabilidade dos ovos de helmintos, esses mesmos pesquisadores, realizaram três experimentos. O primeiro foi realizado sob condições controladas na própria estação (ETE Belém), Curitiba (PR), onde a concentração de cal foi de 50%, o teor de M.S. foi de 12,53%. O pH foi mensurado durante toda a fase do experimento: no dia zero foi de 12,5 e manteve-se nessa faixa nos primeiros 30 dias. O número de ovos de helmintos por grama de M.S. no início do experimento foi de 12,19 e com percentual de viabilidade de 74%. O percentual de viabilidade dos ovos de helmintos encontrados no dia zero, foi de 40% e chegou a 0% em 60 dias. Aos 90 dias confirmou-se o resultado anterior, ou seja, 100% de redução da viabilidade dos ovos encontrados.

O segundo experimento constituiu da quantificação dos ovos de helmintos e do estudo da viabilidade destes em lotes de lodo aeróbio digerido calado à 50% ST acumulados na estação ETE Belém, Curitiba (PR), por período de 60, 90 e 120 dias. Igualmente foram mensurados pH das amostras e a concentração de ST. Para as três amostras o percentual de redução dos ovos de helmintos foi de 95%, 98%, 98,5%, não apresentando, portanto, diferença significativa.

O terceiro experimento foi realizado com a concentração de cal a 50% e o teor de ST foi de 8,03%. Após a adição de cal o pH atingiu 11,94, sofrendo ligeira queda até 60 dias. Quando analisado o número de ovos viáveis observou-se que eles tiveram uma redução de 86% com 60 dias de estocagem do lodo.

Nos três experimentos verificou-se uma eficiência da calagem enquanto método de higienização do lodo. Todavia, a taxa de inativação dos ovos de helmintos variou de 86 a 100%.

De acordo com Gaspard et al. (1996), duas variáveis mostram-se fundamentais na eficiência do processo para reduzir a viabilidade dos ovos de helmintos: o pH e o teor de ST. Primeiramente, o pH no momento da calagem deve ser superior a 12,5 e manter-se nesta faixa por no mínimo um mês. Em segundo lugar, o teor de ST do lodo deve ser levado em consideração para obter-se uma boa eficiência da calagem. Concentrações de ST superior a 20% tendem a ter maior tempo para redução de ovos de helmintos. Esse mesmo autor, realizando estudos sobre higienização de lodo através da calagem, utilizando diferentes concentrações de cal, de ST e lodo provenientes de diferentes processos de tratamentos, observaram que a cal nas concentrações de 30% e 40% requer um tempo de estocagem do lodo de 90 dias para inviabilizar 100% dos ovos de *Ascaris sp.*. Na concentração de 50% o mesmo potencial de redução é obtido em 60 dias. O teor de ST também teve influência no tempo de redução da viabilidade dos ovos de helmintos. Teores de 30 a 50% apresentaram 100% de redução da viabilidade aos 60 dias enquanto que o teor de 10% necessita de um período de 90 dias.

Pesquisando os principais fatores limitantes para o uso agrícola de lodo de esgotos no Estado do Paraná, Fernandes & Andreoli (1997), verificaram que o tratamento químico com a cal e a compostagem eliminaram completamente ou apresentaram elevada redução para as concentrações de coliformes fecais, coliformes totais, estreptococos, ovos de helmintos, *Salmonella sp.*, e cistos de protozoários.

Com o objetivo de comparar a eficiência da calagem em percentuais de 30%, 40% e 50%, Andraus et al. (1999), realizaram análises bacteriológicas em 23 amostras de lodo aeróbio digerido calado da ETE Belém, no período de junho/94 a julho/95. Os resultados obtidos nesse estudo mostraram que a bactéria patogênica *Salmonella*

enteritidis, causadora de gastroenterites, apesar de freqüente em 100% das amostras de lodo aeróbio digerido, foi totalmente eliminada, pelo processo de calagem à 50%. O lodo aeróbio digerido apresentou populações de estreptococos fecais entre 10^5 a 10^8 NMP/100g PS. No lodo aeróbio digerido calado as populações foram eliminadas ou apresentaram remanescentes de 10^4 NMP/100g PS. Se considerada os níveis máximos deste indicador para lodo higienizado Classe A, a USEPA estabelece limite $< 10^3$ NMP/100g PS.

Esses pesquisadores afirmam que a calagem à 50% do lodo aeróbio digerido pode ser considerada eficiente na remoção do patógeno *Salmonella spp.* e coliforme fecais, enquanto o grupo estreptococos fecais mostrou-se mais resistente. As precárias condições de estocagem do lodo em pátios, segundo eles, podem comprometer a higienização do lodo aeróbio digerido calado, favorecendo o recrescimento de estreptococos e coliformes fecais.

2.10 SOBREVIVÊNCIA EM SOLO AGRÍCOLA DE BACTÉRIAS ENTÉRICAS DO LODO DE ESGOTO

A superfície do solo e ocasionalmente das plantas, de uma área onde houver a aplicação de lodo de esgoto, podem conter uma grande quantidade de bactérias entéricas, dependendo do nível de tratamento do lodo. O conhecimento do tempo de sobrevivência de bactérias na superfície do solo e nas plantas é fundamental, pois respalda decisões relativas, quanto ao tempo que deve ser respeitado, entre a última aplicação e o acesso de pessoas e animais ao local e colheita das culturas (USEPA, 1985). Os fatores que afetam a sobrevivência de bactérias no solo, segundo Gerba et al. (1975), USEPA (1981), citados em USEPA (1985), são:

- 1- UMIDADE: solos úmidos e períodos de grande precipitação aumentam o tempo de sobrevivência. Isto tem sido bem demonstrado para *E. coli*, *Salmonella tiphy* e *Mycobacterium avium*;
- 2- CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUA: o tempo de sobrevivência é menor em solos arenosos, do que naqueles capazes de reter a umidade;

- 3- TEMPERATURA: o tempo de sobrevivência é maior a baixas temperaturas, como por exemplo o inverno;
- 4- pH : o tempo de sobrevivência é menor em solos ácidos (pH 3 a 5) do que naqueles solos neutros ou alcalinos. O pH do solo tem efeito sobre a eficácia dos nutrientes e agentes inibidores;
- 5- LUZ DO SOL: o tempo de sobrevivência é menor na superfície, provavelmente devido a dessecação, temperaturas elevadas e pela radiação de raios ultravioletas;
- 6- MATÉRIA ORGÂNICA: sua presença aumenta o tempo de sobrevivência de microrganismos no solo, pela capacidade de reter a umidade. A recuperação de algumas bactérias, como *Salmonella spp.*, pode ocorrer na presença de matéria orgânica abundante. Solos com alta densidade orgânica e em condições anaeróbias, segundo Tate (1978), citado por Andraus et al. (1999), podem aumentar a sobrevivência de *E. Coli*;
- 7- MICRORGANISMOS DO SOLO: a competição e a predação com os microrganismos endêmicos do solo diminuem o tempo de sobrevivência das bactérias. Os protozoários de vida livre, são considerados, segundo Tate (1978), citado pelos mesmos pesquisadores, importantes predadores das bactérias do grupo coliformes. Bactérias entéricas aplicadas em solo estéril sobrevivem mais do que aquelas aplicadas em solo não estéril.

Os cistos de protozoários no solo e nas plantas são rapidamente eliminados pelos fatores ambientais, portanto a ameaça à saúde pública e de animais através de protozoários no lodo de esgoto é mínima. Os vírus, as bactérias e ovos de helmintos são de maior preocupação (USEPA, 1985).

Os microrganismos são inativados em solo a taxas que, de acordo com Andraus et al. (1999), variam com o tipo de organismos e sua condição, o método de aplicação do lodo, o grau de predação, a competição com outros organismos existentes, as condições climáticas e a composição físico-química do solo.

Andraus et al. (1999) relatam experimento de campo na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Paraná em Pinhais cujo objetivo foi avaliar a sobrevivência de bactérias entéricas e solo agrícola. O experimento consistiu na aplicação e incorporação de lodo aeróbio digerido da ETE Belém, em área de 100m², em latosolo com cobertura morta, em dosagem correspondente a 60t/ha. A aplicação consistiu no espalhamento manual com enxada e incorporação a profundidade de cerca de 15cm. Determinou-se uma área de 100m², com o mesmo tipo de solo, como área testemunha. Coletaram-se amostras compostas de 1000g em cinco pontos amostrais aleatórios, de solo fertilizado e solo testemunha. Os resultados revelaram que a *Salmonella spp.* apresentou sobrevivência de aproximadamente 30 dias, após a incorporação. O poder de recuperação desse patógeno deve-se, segundo os pesquisadores, provavelmente pelas baixas temperaturas dos meses de inverno e pelas boas condições físicas do solo. Os estreptococos fecais apresentaram redução de 88,4% de sua população inicial (3x10⁷ NMP/100g PS), após 140 dias da incorporação e os Coliformes fecais apresentaram redução de sua população inicial (10⁵ – 10⁸ NMP/100g PS) com remanescentes de 10⁴ NMP/100g PS. Esses pesquisadores concluíram que a sobrevivência de bactérias em solo é tão dependente de fatores ambientais físicos, químicos e biológicos, que o estabelecimento de taxas de sobrevivência é praticamente impossível.

2.11 SOBREVIVÊNCIA EM SOLO AGRÍCOLA DE PARASITOS NO LODO DIGERIDO AERÓBIO E ANAERÓBIO

Com o objetivo de verificar o tempo de sobrevivência dos ovos de helmintos no solo, Soccol et al. (1997b), realizaram experimentos, com lodo digerido aeróbio, com lodo digerido anaeróbio e lodo higienizado pela cal.

Em experimento realizado na Fazenda Experimental do Cangüiri da UFPR foi utilizado lodo digerido aeróbio incorporado ao solo, em área de 10 m², com cobertura morta, na dosagem correspondente a 60 t.ha⁻¹.

O lodo antes de ser incorporado ao solo continha 10,6 ovos de helmintos por grama de ST e um percentual de viabilidade de 74%. Nas amostragens realizadas nos dias 0, 40 e 180, após a incorporação, o percentual de viabilidade dos ovos de helmintos foi, respectivamente de 60,13%, 45,23% e 19,85%. O número de ovos por

grama de matéria, recuperados após 180 dias foi apenas 0,03. O solo testemunha apresentou ovos de helmintos com percentual de viabilidade de 74%. Embora este percentual seja expressivo, o número de ovos viáveis foi pouco expressivo (0,14/g ST).

Segundo critérios determinados por normas americanas a quantidade de ovos viáveis, para a utilização do lodo, sem por risco a saúde humana e animal, é de 0,25 ovos/g M.S. (USEPA, 1992). Lodo contendo nível de contaminação superior pode ser utilizado porém, com restrição.

Soccol et al. (1999), relatam, ainda, experimentos realizados em dois municípios do Estado do Paraná (Paranavaí, Londrina) onde usou-se solo adubado com lodo anaeróbio digerido e tratado pela cal na concentração de 50%. Nestes municípios foram coletadas amostras de lodo anaeróbio digerido, lodo anaeróbio calado, solo e solo mais lodo anaeróbio digerido calado. Em ambos os municípios tanto o solo, o lodo aeróbio digerido calado e solo mais lodo digerido calado apresentaram 100% dos ovos de helmintos inviáveis. O solo mais lodo digerido por processo anaeróbio, do município de Londrina, apresentou 40% dos ovos viáveis, num total de 0,06 ovos/g ST Este resultado é inferior as exigências feitas pela USEPA de um ovo viável por grama de ST

Quando o lodo é depositado os microrganismos ficam na superfície do solo e dos vegetais. O tempo de sobrevivência deles é variável de acordo com:

- a capacidade de sobrevivência do próprio microorganismo: ovos de *Ascaris sp.*, são os mais resistentes, e por isso são utilizados para monitorar a qualidade do tratamento aplicado ao lodo. Eles podem sobreviver em média dois anos. Porém, quando encontram condições favoráveis, podem sobreviver por um tempo máximo de 7 a 14 anos (USEPA, 1992; Elissalde et al., 1994, citados por Soccol et al. 1999).
- a textura e o pH: em solo arenoso o tempo de sobrevivência de ovos de helmintos é menor que em solos úmidos. Portanto, o tempo de sobrevivência varia de região para região (Hays, 1977, citado por Soccol et al., 1999).

- Incidência de luz solar: os raios solares incidindo diretamente sobre os microrganismos produzem dessecação reduzindo o tempo de sobrevivência dos mesmos.
- Temperatura ambiente: no verão o tempo de vida de cistos de protozoários e ovos de helmintos é mais curto que no inverno (Elissalde, 1994; Granham, 1983, citados por Soccol et al., 1999). Regiões onde o outono é frio e a primavera apresenta-se chuvosa os agentes patogênicos beneficiam-se desta condição por longo período.
- Método de aplicação do lodo no solo: quando o lodo é aplicado diretamente no solo, a incidência de raios solares contribui para diminuir o tempo de sobrevivência dos parasitos. Quando incorporado ao solo, ficando a baixa profundidade, o tempo de vida dos organismos aumenta. Todavia, de acordo com Rosaz (1991), citado por esses mesmos autores, esse procedimento diminui o risco de contato direto para o homem e os animais.

2.12 ADUBAÇÃO ORGÂNICA

Para Gomes (1950), citado por Marques (1990), não há solo fértil sem matéria orgânica. A matéria orgânica do solo é originária das plantas, dos minerais e dos microrganismos que vivem na terra ou a ela vão ter. As plantas são a principal fonte de matéria orgânica, quer pela deposição de ramos e folhas, quer pela contribuição oferecida pelas raízes.

Entretanto, é possível acrescentar-se, através de adubos orgânicos (adubos verdes, esterco, etc), a matéria orgânica ao solo, de tal forma que essa prática, antiga e consagrada ao longo do tempo, exerce influências positivas sobre o mesmo com um todo, principalmente como seu condicionador e em menor escala como fonte de nutrientes às plantas (Marques, 1990).

A adubação ou fertilização é uma prática indispensável para a manutenção da produtividade das culturas. Há quem defenda a utilização maciça dos fertilizantes

minerais. Mas também há quem coloque os adubos de natureza orgânica como a principal fonte de enriquecimento do solo, pelo simples fato deste ser fonte de húmus que, segundo Vitorino (1991), citado por Paz (1998), além de agir como condicionador dos solos, é também fonte de nutrientes.

De acordo com Pereira Neto (1990), citado por Paz (1998), quando a adubação é feita pelos fertilizantes químicos somente porção dele é realmente utilizada pelas culturas. Este fato se agrava nos períodos chuvosos, quando ocorre a lixiviação desses nutrientes, causando sérios danos ao meio ambiente, como a eutrofização dos corpos aquáticos e contaminação do lençol freático. Em compensação os adubos orgânicos, segundo esse pesquisador, são mais resistentes à lixiviação.

A matéria orgânica é de grande importância para a nutrição de plantas e obtenção de boa produtividade. Ela também é responsável por reter umidade e uma grande parte dos nutrientes que podem ser absorvidos pelas plantas. A sua constante renovação é capaz de prover no solo armazenamento adequado de nutrientes que podem ser liberados para as plantas na forma adequada e no tempo certo, mantendo o solo com boa fertilidade.

O elevado custo dos fertilizantes minerais pode viabilizar a adoção de certas práticas básicas de conservação do solo e manutenção de sua fertilidade, criando possibilidades de uso de fertilizantes orgânicos. Nesse contexto devido suas características e composição, os resíduos industriais e os de esgotos domésticos têm grande possibilidade de serem utilizados para adubações orgânicas, sendo, portanto, uma alternativa para a diminuição dos custos de produção e dos problemas ambientais ocasionados pelo acúmulo progressivo dessas fontes poluidoras.

Segundo Webber & Shames (1984), citados por Stefanni et al. (1999), o lodo de esgoto é rico em matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, cálcio e micronutrientes, além de ter a capacidade de agregar partículas minerais, podendo melhorar as características físicas e químicas do solo. Esses mesmos pesquisadores, citando Champ et al. (1996) e Luca et al. (1996), destacam que a utilização do lodo tratado mostrou-se como uma alternativa viável e rentável para melhorar a fertilidade dos solos.

2.13 CARACTERÍSTICAS E POTENCIAL AGRONÔMICO DO BIOSSÓLIDO

As características físicas, químicas e biológicas do lodo dependem, segundo Santos (1979), do tipo de esgoto tratado, bem como do processo de tratamento. Para Sommers et al. (1976), citados por Oliveira (2000), os fatores determinantes da composição química do lodo de esgoto são as características, os métodos de tratamento, a variabilidade sazonal e o tipo e grau de industrialização da região onde são gerados os esgotos.

Tsutiya (1999b) relata que pela sua composição química o biossólido se constitui como um ótimo fertilizante para uso agrícola, uma vez que, é composto por cerca de 40% de matéria orgânica e macronutrientes como o nitrogênio (2,2% à 5,6%), fósforo (1,5% à 3,7%), potássio (0,01% à 0,36%), cálcio (1,59% à 7,29%), magnésio (0,3% à 4,7%) e enxofre (0,5%). Também os micronutrientes como cobre, zinco, manganês, boro, molibdênio e cloro estão presentes nos biossólidos que constituem elementos de vital importância para o desenvolvimento e produtividade das plantas. Esse mesmo autor, citando Webber & Bates (1997) e Melo (1997), destaca que pela quantidade de N e P contido nos biossólidos pode-se admitir que esses elementos podem substituir os fertilizantes minerais com uma fonte de nutrientes para as plantas.

Ressaltando a ocorrência de nutrientes essenciais às plantas no lodo de esgoto, Giordano & Mays (1981), apresentam a seguinte composição parcial: N (2,5%), P (1,9%), K (0,2%), Ca (1,3%), Mg (0,2%), Cd (0,0015%), Zn (0,07), B (0,0465%), Cu (0,0375%), Mn (0,066%), Cr (0,1%), Ni (0,018%) e Pb (0,03%).

Os teores de Ca e Mg variam em função do tratamento químico com calagem para eliminar os patógenos, de acordo com Sommers & Giordano (1984), citados por Favaretto et al. (1997).

Os valores apresentados a seguir são médias de cinco amostragens de lodos de esgoto, segundo Bettioli & Carvalho (1982b): sólidos totais (39,87%), matéria orgânica (31,74), P (2,6%), N (1,26%), K (0,31%), Mg (6.000,00 ppm), Zn (4151,2 ppm), Cu

(1.039,20 ppm), Fe (54.400,00 ppm), Mn (400,00 ppm), Co (30,00 ppm), Cd (11,08 ppm), Pb (730,00 ppm), Ni (562,40 ppm) e Cr (884,00 ppm).

Buting (1963), citado por Martins (1993), afirma que, em relação às necessidades das culturas, os teores de N e P encontrados no lodo de esgoto são adequados.

Sabey (1974), citado por Marques (1996), afirma que o lodo de esgoto, quando usado como fertilizante, além de atuar como fonte de macronutrientes, influi sobre as propriedades físicas do solo. O lodo atua nos solos aumentando a estabilidade dos agregados e mudando sua estrutura, com efeitos diretos sobre as características hídricas, assim como sobre a distribuição de raízes (Bettiol et al., 1983).

Estudando as condições físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro quatro anos após aplicação de lodo de esgoto e calcário, Jorge et al. (1991), concluíram que a adição de lodo de esgoto provocou alteração na relação entre os micro e os macroporos, no índice de agregação e na retenção de água a 0,03 e 0,01 MPa, não alterando a densidade, a porosidade total e variáveis de infiltração. Os pesquisadores relatam, ainda, que Ungér & Stewart (1974), Weber (1978) e Weil & Kroontje (1979), encontraram um aumento na retenção de água, tanto a 0,033 como a 1,5 MPa, em solos adubados com lodo de esgoto.

Bernardes (1982), citado por Marques (1990), afirma que o lodo ocasiona diminuição da densidade dos solos, aumentando a agregação das partículas, o que melhora sobremaneira a aeração do sistema e possibilita uma constante renovação do oxigênio.

Além dos efeitos sobre as propriedades físicas do solo, Carvalho & Barral (1981), destacam que, a decomposição de lodo produz agentes complexantes que facilitam a mobilização de fosfatos, que normalmente acham-se combinados com o ferro e alumínio do solo. Além do mais, o lodo contribui com a adição de nutrientes, na forma de compostos orgânicos, geralmente de liberação lenta, o que permite melhor aproveitamento pelas plantas. Estes mesmos pesquisadores, citando Berry (1977), relatam que o lodo exerce efeito restaurador a solos gravemente danificados, como os

resultantes da mineração superficial, e que sua aplicação significa reciclagem de nutrientes, o que resulta em economia de fertilizantes.

Estudando o efeito de diferentes doses de lodo seco sobre uma variedade de *Pinus taeda* L., Berry & Marx (1977), citados por Marques (1990), encontraram nos solos das parcelas que receberam lodo, quantidades significativamente maiores de matéria orgânica e elementos essenciais ao crescimento das plantas. Os pesquisadores afirmam, ainda, que o biossólido aplicado estimulou significativamente o crescimento e o desenvolvimento de micorrizas em plântulas.

Marques (1996) avaliando os efeitos da aplicação de lodo de esgoto (0,40; 80 e 160 Mg.ha⁻¹ com 74 de umidade) em solo cultivado com cana-de-açúcar concluiu que a incorporação do lodo proporcionou uma melhoria nas condições gerais de fertilidade do solo, além de interferir no seu pH, promovendo sua elevação em intensidade proporcional à dose de lodo (efeito contrário foi obtido com a acidez potencial). Ainda com relação à fertilidade do solo, o autor observou que a redução da fertilização mineral não exerceu efeitos significativos, indicando que a aplicação de lodo de esgoto possibilitou economia de recursos de fertilizantes da ordem de 50%.

Deschamps & Favaretto (1999) relatam, ainda, os trabalhos, à nível de campo, de Sergienko & Mosienko (1991), que observaram a resposta da cultura do girassol à aplicação do lodo de esgoto sendo que, além do aumento de produtividade, os pesquisadores constataram aumento da fertilidade do solo.

Estudando os efeitos da aplicação de lodo de esgoto, vinhaça e calcário em solo areia quartzosa do Município de Guaratapé, SP, cultivado com plantas de sorgo granífero, Dias (1994), constatou que o lodo de esgoto aumentou os teores de P disponível, pH, capacidade de troca catiônica e saturação por bases, ao mesmo tempo em que reduziu a acidez potencial. Entretanto, foi constatado que, mesmo as maiores doses de lodo de esgoto não foram suficientes para promover, ao final do experimento, aumento nos teores de matéria orgânica do solo. O pesquisador ratificou, ainda, a atuação do lodo como potencial fornecedor de nutrientes às plantas (especialmente N, Ca e S) e estimulador do crescimento vegetativo.

Favaretto et al. (1997) relatam os seguintes trabalhos que ostentam os benefícios proporcionados ao solo devido aplicação de lodo de esgoto: aumento no pH (Hue et al., 1988; Sloam & Basta, 1995), maiores teores de P extraível (Hernandes et al., 1992; Da Ros et al., 1993; Folle et al., 1995), aumento na matéria orgânica (Hue et al., 1988), na CTC pH 7 e %V (Wisniewski et al., 1996). O autor, estudando o efeito do lodo de esgoto na fertilidade do solo e no crescimento e produtividade de milho, verificou que o lodo de esgoto diminuiu a acidez potencial e não alterou significativamente o pH, CaCl_2 e os teores de K, C orgânico e CTC pH 7 do solo.

Estudando, à nível de campo, a disposição de lodo de esgoto, resultante de digestão anaeróbia na ETE de Barueri, SP, num Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar, Oliveira (2000), observou que o lodo de esgoto proporcionou aumento nos teores de C orgânico, pH e CTC do solo.

Berton et al. (1989), em condições de casa de vegetação, aplicando doses crescentes de biossólido em cinco solos paulistas, verificaram que a incorporação do lodo proporcionou uma elevação do pH em todos os solos, reduzindo ou eliminando os teores de alumínio trocável naqueles onde esse elemento se encontrava presente.

Aplicando lodo de esgoto nas doses 40 e 240 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (base seca), Epstein et al. (1976), citado por Oliveira (2000), verificaram efeitos sobre o pH do solo somente para a maior dose. Ainda assim, esses efeitos foram temporários sendo que, aos 30 dias após a aplicação do resíduo os valores observados para a testemunha e para as parcelas tratadas foram, respectivamente 5,7 e 7,5, aos 120 dias foram 4,7 e 6,3 e ao final do experimento (aproximadamente 500 dias após a aplicação) os valores obtidos foram 6,2 e 6,3. O autor cita, ainda, os trabalhos desenvolvidos por Stark & Clapp (1980), que, após um ano da última de sucessivas aplicações de lodo de esgoto, verificaram que o pH de um solo arenoso atingiu 6,0 independentemente da dose aplicada, contra um valor de 5,6 da testemunha. Neste mesmo experimento, cinco anos mais tarde, Harding et al. (1985) verificaram que os solos tratados com lodo de esgoto continuavam apresentando valores próximos a 6,0 enquanto a testemunha apresentou pH 5,0. Segundo Oliveira (2000), os autores atribuíram este fato a um possível poder de tamponamento ocasionado pela contínua degradação da matéria orgânica do resíduo. Logan et al. (1997), citados pelo mesmo autor, trabalhando com solo derivado de rochas calcárias e

várias doses de lodo de esgoto, observaram imediatamente após a aplicação do resíduo, para as menores doses (7,5 e 15 Mg.ha⁻¹), um decréscimo no valor do pH. Este decréscimo foi associado às reações de nitrificação. O autor relata, ainda, que, de acordo com King & Morris (1972), Simeoni et al. (1984), Piets et al. (1989) e Dowdy et al. (1991), alguns lodos podem acidificar o solo devido às reações de nitrificação no nitrogênio amoniacal, a provável oxidação de sulfitos e a produção de ácidos orgânicos durante a degradação do resíduo.

A extensão dos efeitos do lodo de esgoto sobre o pH de solos é, segundo Clapp et al. (1986), citados por Oliveira (2000), dependente da matéria orgânica presente no resíduo, das propriedades do solo como textura e capacidade de tamponamento e do tempo e da taxa de aplicação do lodo de esgoto.

Epstein et al. (1976), citados por Oliveira (2000), mostraram que elevadas doses de lodo de esgoto anaeróbio também podem causar aumentos na CTC de solos. Esses autores observaram que enquanto no solo não tratado com o resíduo, a CTC variou de 55 a 64 mmol_c.kg⁻¹, seu valor chegou a 154 mmol_c.kg⁻¹ nos tratamentos com doses de 240 Mg/ha. No entanto, após 18 meses da aplicação houve um decréscimo para 87 mmol_c.kg⁻¹, o que foi atribuído a degradação da matéria orgânica. Em todos esses trabalhos, os autores atribuíram o aumento da CTC dos solos ao acréscimo de cargas negativas provenientes da matéria orgânica dos resíduos.

Em condições de casa de vegetação, Martins (1993), avaliando os efeitos da aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto (0, 40 e 80 t.ha⁻¹) num Latossolo Vermelho Escuro, concluiu que as reações ocorridas no solo proporcionaram aumentos expressivos no valor do pH e teores de P, bases trocáveis, CTC e %V.

O índice pH serve, segundo Raij (1991), como indicador das seguintes características: estrutura do solo, disponibilidade de nutrientes, níveis tóxicos de Al³⁺, conteúdo de cátions trocáveis (soma de base), conteúdo de matéria orgânica e saturação do solo em bases trocáveis (%V).

A condição mais apropriada para a maioria das culturas é a faixa de reação que vai de solos ligeiramente ácidos a ligeiramente alcalino. São indesejáveis os extremos

de acidez e alcalinidade, bem como a salinidade. O pH ideal para a máxima atividade microbiana no solo situa-se entre 6-6,5. É nesta faixa de pH que há maior decomposição da matéria orgânica com fornecimento de húmus que como agente estabilizador dos agregados proporciona melhor estrutura ao solo (Raij, 1991).

Melo et al. (1994) observaram que a aplicação de lodo de esgoto (32 Mg.ha⁻¹; 39% de umidade) promoveu um aumento significativo na CTC de Latossolo Vermelho Escuro distrófico avaliada 473 dias após a aplicação do resíduo.

Para Younos et al. (1982), citados por Martins (1993), além da melhoria ocasionada nas propriedades físicas, o lodo também atua nas propriedades químicas e eletroquímicas, contribuindo, assim, para a melhoria de sua fertilidade que se traduz no aumento da produtividade.

Oliveira (2000) cita, os seguintes autores que avaliaram, a curto prazo, os efeitos benéficos às produtividades das culturas nos Estados Unidos: Leslie (1970), Hinesly et al. (1972), Mays et al. (1973), Sabey et al. (1977), Reed et al. (1991) e Cripps et al. (1992).

No Brasil os trabalhos pioneiros exaltando o potencial de uso agrícola de biossólido foram realizados por Santos (1979), Carvalho & Barral (1981), Bettiol & Carvalho (1982a), Bettiol & Carvalho (1982b), e Carvalho (1983), Biscaia & Miranda (1986). Os trabalhos mais recentes são os de Favaretto et al. (1997), Deschamps & Favaretto (1999), Oliveira (2000) e outros.

Magdoff & Amadon (1980), citados por Vanzolini (1994), verificaram aumento nas produções de milho e centeio, cultivados em solo arenoso adubados com lodo de esgoto.

Bettiol et al. (1983), citados por Deschamps & Favaretto (1999), em experimento em vasos com a cultura do milho, arroz e soja, analisaram a produção de matéria seca e verificaram que o lodo de esgotos pode ser utilizado na dosagem de 9 t ha⁻¹ (base seca) como fonte de nutrientes às culturas, pois não apresentou diferença estatística quando comparado com tratamentos que receberam a fertilização mineral

recomendada. Apesar de não haver diferença estatística, a produção de matéria seca de raízes de milho no tratamento com 9t/ha apresentou tendência a ser superior a adubação mineral. Também com a cultura do milho, Biscaia & Miranda (1996), compararam as dosagens de 2, 4, 6 e 60 t/ha de lodo de esgotos (base seca) sendo obtidas produtividades médias acima de 5 t/ha.

Martins (1993) e Vanzolini (1994) verificaram aumentos das quantidades de matéria seca da parte aérea e do sistema radicular do sorgo granífero proporcionais às doses de lodo empregadas.

Avaliando o efeito residual da aplicação do lodo aeróbio calado, com pH 12 e 90% de umidade, comparado com adubação mineral, Favaretto et al. (1997), observaram que a adubação mineral foi responsável pela maior produção de grãos de milho, no entanto, não foram verificadas diferenças significativas entre a adubação mineral e os tratamentos com lodo de esgoto em três dosagens (32, 64 e 96 t ha⁻¹) cujas produtividades foram 7.576, 7.595 e 7.580 kg.ha⁻¹, respectivamente. Segundo os autores, a adubação orgânica com lodo de esgoto a partir da menor dosagem pode substituir a adubação mineral recomendada no que se refere a produtividade do milho. No crescimento vegetativo, ao contrário da produtividade, obtiveram-se maiores médias nos tratamentos com lodo de esgoto em relação à adubação mineral recomendada e a testemunha. Esses mesmos pesquisadores relatam que, Bettioli (1998) verificou que a produção de matéria seca do milho foi superior nos tratamentos com biossólidos.

Estudando os efeitos da utilização de lodo de esgoto como fertilizante para a cultura do arroz cv. IAC-165, Bettioli et al (1982c), verificaram a não ocorrência de diferenças significativas entre a adubação mineral e as diferentes doses de lodo de esgoto primário empregadas. Verificaram também que qualquer uma das doses de lodo primário empregadas foi superior à testemunha.

Leslie (1970) e Mays et al. (1973), citados por Martins (1993), verificaram que o crescimento vegetativo e a produção de grãos de várias culturas, em solos tratados com lodo, foram iguais ou superiores aos das mesmas plantas adubadas com fertilizantes minerais nas doses convencionais.

Lourenço et al. (1995), citados por Favaretto et al. (1997), avaliaram o efeito do lodo de esgoto na produtividade do milho e feijão no sistema de produção de bracatinga na Região Metropolitana de Curitiba/PR. Os resultados mostraram aumento da produtividade para ambas as culturas e que o lodo de esgoto, dependendo da dose utilizada, pode apresentar efeito residual para as culturas subseqüentes.

O efeito da aplicação de lodo de esgotos, complementado com fertilizantes minerais foi avaliado por Favaretto et al. (1997) na cultura do milho e por Deschamps & Favaretto (1998) nas culturas do feijoeiro e do girassol. Nestes experimentos, os tratamentos utilizados foram: T₁ – testemunha (sem adubação); T₂ – adubação mineral recomendada; T₃ – adubação orgânica com lodo digerido aeróbio calado para suprir 100% do N recomendado e complementação de P₂O₅ e K₂O com adubação mineral; T₄ – adubação orgânica com lodo digerido aeróbio calado para suprir 75% do N recomendado e complementação de N, P₂O₅ e K₂O com adubação mineral; T₅ – adubação orgânica com lodo digerido aeróbio calado para suprir 50% do N recomendado e complementação de N, P₂O₅ e K₂O com adubação mineral. A adubação mineral foi baseada na análise química do solo. Os resultados de produtividade obtidos por Favaretto et al. (1997) na cultura do milho mostraram que a adubação orgânica com lodo de esgoto (T₃) foi responsável pela maior produtividade (4.248 kg.ha⁻¹), porém não houve diferença significativa entre a adubação mineral e os tratamentos com lodo de esgoto nas três dosagens. Apesar disto, foi observada uma tendência do aumento da produção de grãos em função do aumento das dosagens de lodo de esgoto. No parâmetro altura da planta e inserção da primeira e segunda espiga, constatou-se um aumento gradativo dos valores com as doses crescentes de lodo. O tratamento testemunha (T₁) foi responsável pela menor produtividade.

Com relação a altura das plantas de milho esses pesquisadores também não verificaram diferenças significativas entre os tratamentos com lodo de esgoto e adubação mineral. Segundo eles, isto pode ser explicado pela quantidade de N contida no biossólido que, com disponibilidade de 50%, proporcionou uma altura média de plantas igual aos tratamentos com adubação mineral, sendo a menor altura obtida no tratamento testemunha (sem adubação).

Deschamps & Favaretto (1998) verificaram resultados de produtividade na cultura do girassol os quais mostraram que o lodo de esgoto pode ser utilizado sem prejuízo em termos de rendimento quando comparado à adubação mineral. Embora a adubação mineral tenha apresentado as maiores médias de produtividade, não houve diferença em relação aos demais tratamentos com lodo de esgoto.

Radwan (1991), citado por Deschamps & Favaretto (1999), avaliando o desenvolvimento do girassol em vasos contendo diferentes concentrações de lodo de esgoto, obteve aumento de massa seca de plantas, número de peso de 100 sementes quando mais de 40% do peso do substrato continha lodo de esgotos. Ainda em relação a este trabalho, o aumento no teor de óleo das sementes foi verificado em concentrações iguais ou superiores a 20%. Christodoulakis & Margaris (1996), citados pelos mesmos pesquisadores, compararam tratamentos sem adubação, adubação mineral recomendada e lodo de esgotos na proporção de 10 a 50% em combinação com o substrato (areia). Além do crescimento superior de plantas submetidas ao tratamento com lodo de esgotos quando comparado aos tratamentos sem adubação e com adubação mineral, foram obtidos aumento da área foliar de até 150% em tratamento com lodo e 75% com adubação mineral em relação à testemunha.

Na cultura do feijoeiro, Deschamps & Favaretto (1998), não obtiveram diferença estatística entre os tratamentos no experimento, porém verificaram tendência do aumento de produtividade com a utilização da adubação mineral. No entanto, esses mesmos pesquisadores, relatam que Lourenço et al. (1995), observaram aumento da produtividade na cultura do feijoeiro quando o lodo de esgoto foi aplicado sem complementação mineral e em diferentes dosagens.

Trabalhando com diferentes doses de biossólidos e três variedades de *Pinus*, Berry (1982), verificou que as parcelas que receberam a dose de 34 toneladas métricas por hectare, produziram 25 vezes mais volume de plântulas do que aquelas que receberam adubação mineral e calagem. Verificou, ainda, que após 4 anos, as três variedades apresentaram um crescimento significativamente maior, nas parcelas que receberam lodo em comparação com as parcelas que receberam fertilizantes minerais. Houve diferenciação das mesmas no que se refere ao crescimento em comprimento e diâmetro ou volume do colo radicular.

Day et al. (1986), compararam o crescimento vegetativo, a produção e o conteúdo protéico de plantas cultivadas por 4 anos em solos tratados com fertilizantes minerais e como lodo de esgoto previamente seco. Esses pesquisadores observaram que o lodo de esgoto é eficiente em relação à produção e qualidade dos grãos.

Estudando a utilização do lodo de esgoto em pequenas propriedades agrícolas no Estado do Paraná, entre os anos de 1994 a 1997, Bottega & Nascimento (1999), verificaram aumentos de 32 a 54% na produtividade da cultura do milho com uso do lodo digerido aeróbio calado.

Gashi et al (1982), citado por Marques (1990), comparando o efeito de doses crescentes de lodo, suplementadas com nitrogênio e potássio, com o de lodo de esgoto, adubação química e testemunha sem qualquer adubação, para a cultura do feijão não irrigado, verificaram uma relação inversa entre as doses de lodo de esgoto e a produtividade. Tal fato foi verificado por Guimarães et al. (1982), citado pelo mesmo autor, quando testaram estes mesmos tratamentos nas culturas do feijão irrigado. Nestes trabalhos, os tratamentos correspondentes a apenas lodo de esgoto apresentaram produções relativamente inferiores (7 a 10%) às obtidas nos tratamentos que receberam adubação química.

Marques (1990), comparou, à nível de campo e por dois anos consecutivos, os efeitos da fertilização mineral e da aplicação anual de doses crescentes de lodo de esgoto (4, 8, 16 e 32 Mg.ha⁻¹), complementadas com potássio, num Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. O autor concluiu que é possível a utilização do resíduo na cultura uma vez que não foram observadas diferenças significativas, entre os tratamentos, para a produtividade e características tecnológicas da cana-de-açúcar.

O efeito imediato e o poder residual de doses crescentes de lodo de esgoto (equivalentes a 0, 20, 40, 80 e 160 Mg.ha⁻¹ com 92% de umidade) foram estudados por Da Ros et al. (1993), citados por Oliveira (2000), a campo num solo Podzólico Vermelho-Amarelo. De maneira geral, a aplicação de lodo de esgoto aumentou significativamente, em função das doses, o rendimento de matéria seca, tanto da cultura

do milho (efeito imediato) quanto da associação aveia-ervilhaca (efeito residual) e, além disso, foram aumentados no solo os teores de N-total e P-disponível evidenciando a contribuição do lodo em fornecer nutrientes às plantas.

Silva (1995) avaliou o poder fertilizante do lodo de esgoto através de um estudo a campo num Podzólico Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. Foram utilizadas três doses de lodo (0, 20 e 40 Mg.ha⁻¹ com 62% de umidade) combinadas com adubação NP, NK, PK E NPK (dosagens de 60, 80 e 100 kg/ha respectivamente para N, P₂O₅ e K₂O) e sem adubação. O autor verificou que o lodo de esgoto atuou como corretivo do complexo coloidal do solo e como fertilizante para a cultura, essencialmente como fonte de Ca, P, S e Zn. Esses benefícios proporcionaram aumentos lineares da produtividade de biomassa e açúcar. Salientou-se que os citados benefícios foram de curta duração, se restringindo a apenas um ano agrícola.

Num ensaio em vasos, em casa de vegetação, Berton et al. (1989), avaliando a absorção de nutrientes pelo milho em resposta à adição de doses crescentes de lodo (0, 20, 40, 60 e 80 t/ha) em cinco solos paulistas, observaram que a adição de lodo aumentou o rendimento da matéria seca das plantas, bem como as quantidades de N, P, Ca, Mg e Zn absorvidas. Nem mesmo na dosagem mais alta de lodo, a absorção de Cu e Zn pelas plantas chegou a atingir níveis que pudessem causar redução na produção de matéria seca pela parte aérea do milho.

De acordo com Andreoli et al. (1997) devem ser fixadas doses máximas de aplicação de lodo ao solo levando-se em conta a capacidade de assimilação da cultura em elementos fertilizantes, principalmente nitrogênio e fósforo, e a capacidade de absorção dos solos, de modo a evitar lixiviação de nitratos. As doses médias situam-se entre 3 e 9 t ha⁻¹ de lodo seco. Em qualquer situação as doses devem ser, segundo esses pesquisadores, iguais ou inferiores a 50 t.ha⁻¹ de matéria seca, num período de 10 anos. Com relação às culturas mais aptas, esses pesquisadores, destacam as grandes culturas, principalmente aquelas cujos produtos são consumidos após a industrialização ou alimentos não consumidos "in natura"; reflorestamento, fruticultura, em pomares quando o lodo for incorporado em covas. Para adubação de manutenção o lodo deve ser aplicado em época anterior à frutificação e incorporado ao solo.

Não existem na literatura trabalhos que abordem o comportamento do algodoeiro quando cultivado em solo adubado com bio sólidos, mas seus efeitos sobre a produtividade e o desenvolvimento das culturas vem sendo avaliado por vários pesquisadores. Favaretto et al. (1997) relata, por exemplo, que o efeito do lodo de esgoto na produtividade vem sendo avaliado em vários trabalhos em diferentes condições, dosagens, tipo de material, solo e culturas.

Embora não faça parte dos objetivos deste trabalho o estudo da viabilidade econômica do aproveitamento do bio sólido na agricultura, destaque-se que, estudos realizados pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) e pela Universidade Estadual de Londrina (UEL), no Estado do Paraná, registram que, se a tarifa de esgoto fosse elevada em 1,8 centavo, de R\$ 0,63 para R\$ 0,648 por metro cúbico, as despesas com a reciclagem do bio sólido, seriam cobertas. Assim os benefícios sociais dessa alternativa de reciclagem do bio sólido, provavelmente devem superar os gastos a ela relacionados. A necessidade do tratamento e destinação final de resíduos produzidos pela atividade humana já é realidade e que os esforços empregados na resolução desses problemas devem ser apresentados, pelo menos a luz dos conhecimentos atuais, de acordo com Oliveira (2000), como um custo social.

2.14 A CULTURA DO ALGODOEIRO

O algodoeiro, planta da família Malvaceae, gênero *Gossypium*, é uma das fibras mais antigas do mundo. As primeiras referências registram seu cultivo alguns séculos antes de Cristo. No Brasil, pouco se sabe sobre a história dessa Malvaceae. Na época do descobrimento, os indígenas cultivavam o algodão e o transformavam em fios e tecidos (Canechio Filho et al., 1972, citados por Richetti & Melo Filho, 2001).

O algodão é a fibra vegetal mais utilizada pelo homem, cujo comprimento pode atingir, segundo Richetti & Melo Filho (2001), 38mm e, devido às poucas exigências em solo e clima, pode ser produzido, praticamente, em todos os continentes.

Conforme previsão da safra 2001/2002, divulgada pela USDA no Anuário Brasileiro de Algodão (2002), os principais países produtores desta cultura, em ordem decrescente são: China (5.313 mil t), Estados Unidos (4.421 mil t), Índia (2.569 mil t), Paquistão (1.785 mil t), Uzbequistão (1.067 mil t), Turquia (849 mil t) e Brasil (804 mil t).

A cultura o algodoeiro no Brasil está concentrada em praticamente duas regiões distintas. A primeira representada pela região meridional, compreendida pelos Estados: São Paulo, Paraná, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás Minas Gerais e Sul da Bahia. Nestes Estados predominam o algodoeiro anual ou herbáceo, onde se tem a maior produtividade. A segunda representada pela região setentrional, composta pelos Estados produtores do Norte e Nordeste, onde são cultivados o algodoeiro herbáceo e o arbóreo (Cia et al., 1999).

Do algodoeiro quase tudo é aproveitado, principalmente a semente e a fibra. A semente (caroço) representa aproximadamente 65% do peso da produção e a fibra, 35%. A fibra, principal produto do algodão, possui várias aplicações industriais, dentre as quais pode-se citar: confecção de fios para a tecelagem de vários tecidos, preparação de algodão hidrófilo para enfermagem, confecção de feltro, cobertores e estofamentos, obtenção de celulose, películas fotográficas, chapas para radiografias e outros (Corrêa, 1989).

O algodão é um dos produtos de maior importância econômica do grupo das fibras, pelo volume e valor da produção. Seu cultivo é também de grande importância social, pelo número de empregos que gera direta e indiretamente.

Atualmente, nas fiações brasileiras, o algodão responde por aproximadamente 80% das fibras utilizadas. Na tecelagem, 65% dos tecidos são produzidos a partir de fios de algodão, enquanto na Europa gira em torno de 50% (Oliveira, 2001, citado por Richetti & Melo Filho, 2001). A indústria têxtil e de confecção que, segundo o Anuário Brasileiro do Algodão (2002), reúne mais de 30 empresas e emprega aproximadamente 1,5 milhão de brasileiros, vem crescendo nos últimos anos, com faturamento na ordem de US\$ 22 bilhões em 2001 e projetando US\$ 22,7 bilhões para o corrente ano. As exportações passaram de US\$1,220 bilhão em 2000 para US\$ 1,306 bilhão no ano

passado. A meta da Associação Brasileira de Indústria Têxtil e de Confecções (Abit), é superar esse número, elevando as exportações para US\$ 4,0 bilhões até o ano de 2007, aumentando os postos de trabalho no País e gerando superávits para a balança comercial brasileira.

O Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (Mapa), trabalha buscando adotar medidas que garantam ao Brasil retomar e manter a auto-suficiência na produção da fibra. É importante lembrar que já fomos um dos maiores importadores do produto e, graças ao crescimento e à qualidade da produção de regiões como, por exemplo, o Centro-Oeste, voltamos a ser exportadores. Segundo dados do CONAR, citados no Anuário Brasileiro do Algodão (2002), na safra de 2001, por exemplo, a produção brasileira de algodão foi 938,8 mil toneladas, para um consumo interno estimado em 930 mil toneladas. Porém, a retração dos preços em 2002, provocada pelo aumento da produção mundial (21.327 mil toneladas, contra 19.321 mil toneladas da safra anterior), levou os produtores brasileiros a reduzir a área cultivada em 14%. Com isso, a produção deverá ficar nas 804 mil toneladas.

As principais características apresentadas por uma cultivar de algodão para um cultivo com baixo custo e risco são as seguintes: alta produtividade (170 a 300 @.ha⁻¹), resistência a doença (virose, ramulose, bacteriose, complexo fusarium + nematóide, alternaria, ramulária), alto rendimento de fibras (38 a 40%), boa resistência de fibras (+ 26gf.tex⁻¹), finura na faixa de 3,9 a 4,2, fibras de padrão médio (30-34mm) e adaptação à colheita mecânica.

A exigência nutricional de qualquer planta é determinada pela quantidade de nutrientes que ela extrai durante o seu ciclo para obtenção de produções econômicas. Nesse tocante, Astaut & Kurihara (2001), relatam, por exemplo, que, para uma população de 88.800 plantas e uma produtividade de 2.500 kg.ha⁻¹, o algodoeiro necessita de 212 kgN.ha⁻¹.

A consolidação da cotonicultura, como consequência das transformações econômica-sociais do Brasil, provoca uma transformação no sistema tradicional de cultivo do algodoeiro, demandando novas tecnologias e processos e ajustes na cadeia produtiva (Cia et al., 1999). Sendo assim, a nova realidade da cotonicultura brasileira

requer a adequação de diferentes sistemas de produção para as distintas regiões produtoras, ou seja, as tradicionais e emergentes. Daí o interesse de se dispor de um resíduo orgânico, rico em nitrogênio e demais nutrientes, barato e que, ao invés de estar contaminando o ambiente, poderá ser reciclado na agricultura, transformando um problema em solução.

2. 15 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA FIBRA DO ALGODÃO

A pluma produzida pelo algodoeiro representa, de acordo com Santana (2002), 46% das fibras naturais utilizadas pela indústria têxtil a nível mundial (no Brasil, 74%), vindo a seguir a lã, com 20% e depois, o linho com 6%. A fibra do algodão é, portanto, entre as fibras naturais, a mais consumida pela indústria têxtil nacional e mundial, em razão dos méritos indiscutíveis de suas principais características físicas: comprimento e uniformidade de comprimento, finura, maturidade, resistência, alongamento, cor, brilho, sedosidade, as quais se transfere para o fio, tecido e confecção, dando-lhes diversidade de aplicação, beleza e sensação de bem-estar a quem as usa. Tais características são o resultado de um complexo processo biológico desencadeado desde o florescimento até a abertura dos capulhos, durante um período variável de 50 a 70 dias, depois dos quais se obtém a fibra de algodão (Santana & Wanderley, 1995).

As características tecnológicas da fibra de algodão, apesar de serem condicionadas por fatores hereditários, sofrem decisiva influência dos fatores ambientais, conforme as situações de cultivo, alguns incontroláveis, como as condições climáticas e outros passíveis de controle, como fertilidade do solo, a incidência de pragas e o aparecimento de doenças (Santana, 2002, citando Santana et al., 1998).

A classificação da fibra foi, por muito tempo, feita manualmente por classificadores treinados e experientes, que classificavam o algodão pelo tipo, levando em consideração, entre outros aspectos, comprimento da fibra, limpeza, aparência e cor. Nas últimas décadas, os tecnólogos passaram a compreender a importância de outras características de interesse na determinação do valor final da fibra do algodão. Desta forma, passaram-se a estudar métodos e utilizar equipamentos modernos que permitem avaliar, com precisão e rapidez, as características físicas da fibra do algodão (Santana & Wanderley, 1995).

As análises da qualidade tecnológica de fibras de algodão são efetuadas pelo instrumento de alto volume (HVI – High Volume Instruments). De acordo com, Santana & Wanderley (1995), a safra norte-americana de 1993 (16.145.000 fardos de algodão) teve classificação oficial efetuada, na sua totalidade, através de equipamentos HVI. Esses pesquisadores destacam que, em 1995, existiam no Brasil 50 conjuntos HVI.

Segundo Luna (1994), o sistema HVI é uma combinação de aparelhos de medição usados para acessar quantitativamente as características físicas das fibras de algodão, que podem fornecer informações mais rapidamente e em maior quantidade e com tanta precisão quanto às classificações laboratoriais.

Para melhor interpretação dos resultados fornecidos pelo HVI, Santana & Wanderley (1995) e Santana (2002), definem tais propriedades da seguinte maneira:

O micronaire (**finura** em $\mu\text{g/pol}$) se destina a medir o diâmetro externo da fibra ou a área da secção transversal da fibra ou, ainda, a massa por unidade de comprimento (título da fibra) e representa atualmente um conjunto de todos esses fatores, aliado a sua maturidade. Essa característica tem influência direta na formação de neps no processo da abertura e de cardagem. Fibras finas tendem a formar mais neps que as grossas. Fibras finas em geral produzem fios mais resistentes, devido ao maior número de fibras da seção do fio, mas produzem fios com maiores problemas de afinidade tintorial e com maior quantidade de neps. Fios produzidos com fibras finas são menos volumosos que os de fibra grossa e os tecidos ficam com toque mais macio; as fibras finas produzem fios mais uniformes com relação à ruptura na fiação.

A classificação para o micronaire é a seguinte: muito fina (abaixo de 3,0), fina (3,0 a 3,9), média (4,0 a 4,9), grossa (5,0 a 5,9) e muito grossa (acima de 6,0).

A **resistência** das fibras é definida pela parede secundária, ou seja, pela quantidade de celulose depositada no interior da fibra e tem, na sua classificação, relação direta com a resistência do fio e o andamento do fio na fiação.

A resistência é obtida pela medição da força requerida para romper um amostra de fibra (gf/tex) e o **alongamento** é o comprimento médio da distância à qual as fibras se distendem antes da ruptura.

A classificação para resistência no HVI é a seguinte: Muito fraca (abaixo de 22 gf/tex), Fraca (23 a 26 gf/tex), Média (27 a 30 gf/tex), Forte (31 a 33 gf/tex), Muito forte (acima de 34 gf/tex). Para o alongamento: Muito baixa (abaixo de 5%), Baixa (5,0 a 5,8%), Média (5,9 a 6,7%), Alta (6,8 a 7,6%), Muito alta (acima de 7,6%).

Comprimento a 2,5% SL (Span Length) e a 50% SL é o comprimento médio que atinge, respectivamente, 2,5% e 50% das fibras distribuídas ao acaso, em um pente ou pinça especial. A classificação do comprimento a 2,5% SL é a seguinte: curta (abaixo de 23,8 mm), curta (24,6 a 26,5 mm), média (27,0 a 28,0 mm), longa (28,6 a 30,2 mm), longa (30,9 a 31,7 mm) e muito longa (acima de 32,5 mm).

A **uniformidade de comprimento** ou **Relação de Uniformidade (UR)** é a relação existente entre os 50% SL para os 2,5% SL, representando uma medida de irregularidade do comprimento das fibras dentro de uma população. Uma fibra de boa qualidade para a fiação e que assegure um bom rendimento para as máquinas, deve apresentar $UR = 45\%$, ou seja, uma uniformidade média.

Índice de fibras curtas e/ou conteúdo de fibras curtas pelo peso, é a proporção em percentagem de fibras curtas (pelo peso) com comprimento inferior a 12,7mm contida em uma amostra de fibra. A classificação para o índice de fibras curtas é a seguinte: abaixo de 6% (Muito baixa), entre 6 e 9% (Baixa), entre 10 e 13% (Regular), entre 14 e 17% (Alta) e acima de 17% (Muito alta).

A classificação do índice de fiabilidade no HVI é a seguinte: muito baixo (abaixo de 1750), baixo (1750 a 2000), médio (2000 a 2250), alto (2250 a 2500) e muito alto (acima de 2500).

A **reflectância (Rd)** é a quantidade de luz refletida de um objeto. É medida sobre uma escala preta e branca, que varia de 0 a 100 unidades de Rd. A fibra do algodão varia de 40 a 85 Rd. Altos valores de Rd indicam fibras mais claras.

O **grau de amarelo** (+b) indica o amarelecimento da fibra. A faixa para a fibra do algodão varia de 4 a 18.

Na classificação do algodão quanto ao tipo a sua qualidade é julgada com base em algumas propriedades físicas ou atributos, que afetam a sua utilidade, em que uma delas é a cor, obtida pelo grau de reflexão (Rd) e de amarelamento (+b).

2.16 ORIGEM E CARACTERÍSTICAS DA CULTIVAR BRS 187 8H

As características descritas a seguir foram obtidas junto ao CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DO ALGODÃO (2000).

A cultivar BRS 187 8H é originária do cruzamento entre a linhagem resistente à broca da raiz e de alta produtividade CNPA 77/107 que, por sua vez, descende da cultivar SU 0450/8909, com a linhagem D₃-79, de origem americana. Após os cruzamentos, nas gerações segregantes, várias seleções foram efetuadas, surgindo a linhagem CNPA 86-1190-5 que deu origem a BRS 187 8H.

A cultivar BRS 187 8H é um material de ciclo normal (de 140 dias) e porte intermediários, com plantas apresentando de 0,90 a 1,00m de altura, com pilosidade no caule, pouca pilosidade na folha, cor do caule arroxeadada, número de lóbulo nas folhas 5, recorte normal com presença de 1 nectário na nervura principal da folha, brácteas com números de dentes de 12 a 13, inserção do primeiro ramo frutífero na altura do 5º ao 6º nó, número médio de ramos frutíferos 10 a 15, com 4 a 5 lojas por capulho, fibra branca-clara e com boa retenção de cápsula e comprimento médio em torno de 30 A 34 mm. Os capulhos possuem tamanhos intermediários, com peso de 6,5g e se abrem, em geral, aos 110 dias. O início do florescimento (flor de cor amarela) dá-se com 40 a 45 dias e o ciclo até a colheita é de 120 a 130 dias, em condições de sequeiro.

Em 57 ensaios regionais de algodoeiro herbáceo conduzidos nas safras de 1994, 1995, 1996, 1988 e 1999, nos principais municípios produtores do Brasil, a BRS 187 8H em média demonstrou uma produtividade de 2.120 kg/ha de algodão em caroço, que

corresponde a 24%, 16% e 12% de incremento, levando-se em consideração a produtividade média das cultivares IAC 22 (1.714 kg/ha), IAC 20 (1.834 kg/ha) e CNPA 7H (1.888 kg/ha), respectivamente. Estas produtividades, em média, são consideradas baixas em função da grande maioria dos ensaios terem sido conduzidos na região semi-árida do Nordeste e em anos secos. Em anos de precipitação normal ou sob irrigação sua produtividade ultrapassa os 4.550 kg.ha⁻¹.

A cultivar BRS 187 8H apresenta resistência a Virose (doença azul) e Alternária. Possui tolerância a Ramulária e Bacteriose. É susceptível a Ramulose nas condições do Centro-Oeste.

Na Tabela 3 encontram-se as principais características físicas de fibra e de produção dessa cultivar, cujos resultados são médias, de acordo com o CNPA (2000), de 17 ensaios na região Nordeste.

Tabela 3 – Principais características físicas e de produção da variedade BRS 187 8H frente às demais linhagens. Biossólidos em algodoeiro herbáceo: modificações no crescimento, desenvolvimento e ambiente edáfico. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

Característica	BRS 187 8H	Demais linhagens (média)
Peso médio de capulho (g)	6,5	6,0
Peso médio de 100 sementes (g)	11,9	11,0
Porcentagem média de fibra (%)	38,6	38,9
Comprimento S. L. 2,5% (mm)	28,0	28,5
Uniformidade de comprimento (%)	50,5	49,5
Resistência (HVI) (gf/tex)	20,8	20,5
Finura (micronaire)	4,5	4,1
Alongamento (%)	7,0	7,0
Reflectância	61,0	61,8
Grau de amarelo	9,9	9,7

Fonte: CNPA (2000).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCAIS DOS EXPERIMENTOS

As etapas de obtenção, caracterização e desinfecção do lodo de esgoto (biossólido) foram realizadas nas instalações do Programa de Saneamento Básico (PROSAB) do Centro de Ciências e Tecnologia (CCT) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), enquanto que o cultivo do algodoeiro foi realizado em dois experimentos, ambos em condições de casa de vegetação do Centro Nacional de Pesquisa do Algodão (CNPQ/EMBRAPA), C. Grande (PB).

3.2 MATERIAL USADO NOS EXPERIMENTOS

3.2.1) O Substrato

Usou-se como substrato para a condução dos experimentos um solo típico da região de Campina Grande (Neossolo Regolítico), cujas análises químicas e físicas estão apresentadas, respectivamente, nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 - Principais características químicas do solo usado nos experimentos. Biossólidos em algodoeiro herbáceo: modificações no crescimento, desenvolvimento e ambiente edáfico. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

Exper. /Composição	P	M.O.	pH	Ca	Mg	Na	K	Al
	(mg/dm ³)	(g/kg)	(H ₂ O 1:2,5)	(m mol _c /dm ³)				
Experimento I	3,19	13,86	5,5	13,0	8,0	0,7	0,7	1,5
Experimento II	2,88	3,93	5,8	9,0	11,0	0,6	1,1	1,5

Análises realizadas no Laboratório de Solo da EMBRAPA ALGODÃO. C. Grande, PB. 2002.

Tabela 5 - Principais características físicas do solo usado nos experimentos: areia grossa (g.kg^{-1}), areia fina (g.kg^{-1}), silte (g.kg^{-1}), argila (g.kg^{-1}), capacidade de campo (%), ponto de murcha permanente (%), densidade aparente, densidade real (%) e porosidade (%). Biossólidos em algodoeiro herbáceo: modificações no crescimento, desenvolvimento e ambiente edáfico. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

Exper/Composição	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	CC	PMP	DA	DR	P
Experimento I	619	257	56	68	4,3	2,2	1,6	2,5	36,6
Experimento II	540	349	64	47	4,2	2,8	1,5	2,4	40,1

Análises realizadas no Laboratório de Solo da EMBRAPA ALGODÃO. C. Grande, PB. 2002.

3.2.2) O LODO DE ESGOTO

O lodo de esgoto, proveniente de Digestores Anaeróbio de Fluxo Ascendente (DAFA) e de Digestores Aeróbios, foi obtido no PROSAB - Campina Grande/PB. Antes de sua caracterização, o material foi colocado em tonéis dotados de drenos (camada de brita e de areia e tela) por onde foi percolado o excesso de água, até adquirir uma consistência pastosa.

Para a realização das análises físicas e químicas no lodo digerido (não desinfetado), o material foi seco ao ar e os resultados obtidos (Tabela 6), média de 3 repetições, estão expressos em relação à porcentagem de matéria seca a 105°C . Tais análises foram realizadas segundo metodologia proposta pela Standard Methods for Examination of Water and Wastewater para lodos (AWWA, 1997).

Tabela 6 - Composição física e química parciais do lodo de esgoto digerido. Biossólidos em algodoeiro herbáceo: modificações no crescimento, desenvolvimento e ambiente edáfico. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

Exper/Composição	Sol.Total (%)	Umidade (%)	pH H_2O	M. O. (%)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
Experimento I	16,48	83,52	6,6	52,42	3,85	1,78	0,38	3,42	0,97
Experimento II	12,26	87,54	6,7	49,66	4,13	2,28	0,46	1,44	2,03

Análises realizadas no Laboratório de Análises químicas, físicas e microbiológicas do PROSAB-C. Grande, PB. 2002.

3.2.3) VARIEDADE DO ALGODOEIRO

Por ser adequada para uso sequeiro no semi-árido nordestino, foi empregada a variedade BRS 187 8H.

3.2.4) A ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

Á água de irrigação utilizada nas unidade experimentais foi a água de abastecimento da cidade de Campina Grande (PB) cujas características físicas e químicas encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7 – Composição físico-química da água de abastecimento usada nos experimentos. Biossólidos em algodoeiro herbáceo: modificações no crescimento, desenvolvimento e ambiente edáfico. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

pH	CE ($\mu\text{mho.cm}^{-1}$)	Ca (mg.L^{-1})	Mg (mg.L^{-1})	Na (mg.L^{-1})	K (mg.L^{-1})	Bicarbonato (mg.L^{-1})	Carbonato (mg.L^{-1})
6,4	635	28,5	51,4	76,2	11,8	109,8	Ausente

Análises realizadas no Laboratório de Saneamento de DEC/CCT/UFCG.

De acordo com o U. S. Salinity Laboratory Staff (1969) essa água é classificada como C₂ (água de salinidade média), podendo, portanto, ser usada sempre que haja um grau moderado de lixiviação; sem necessidade de práticas especiais de controle de salinidade, pode-se, em quase todos os casos, produzir plantas moderadamente tolerantes aos sais.

3.3 MÉTODOS

3.3.1) DESINFECÇÃO DO LODO

Para a eliminação dos patógenos e maus odores foi feita a calagem do lodo digerido com a cal virgem (óxido de cálcio - CaO), obtida no PROSAB, C. Grande, PB, à 50% da matéria seca (sólidos totais), uma vez que Gaspard (1996) e Ilhenfeld et al. (1999) encontraram o maior potencial de redução de ovos de helmintos usando esta concentração de cal. Tomou-se por referência ovos de helmintos por serem, dentre todos

os organismos patogênicos presentes em lodo de esgoto, reconhecidamente os mais disseminados e resistentes.

A calagem foi realizada em vasos plásticos de polietileno, com capacidade para 8 dm³, contendo 2 dm³ de lodo de esgoto. A aplicação das doses da cal foi feita na superfície do lodo e, com auxílio de uma espátula, produziu-se uma mistura homogênea. Os vasos foram cobertos com filme plástico de polietileno e fechados hermeticamente com barbantes para evitar as perdas de umidade e amônia, respectivamente, por evaporação e volatilização, assim como evitar contaminação de coliformes fecais.

3.3.2) CARACTERIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO CALADO (BIOSSÓLIDO)

Para garantir o manuseio e uso agrônômico seguro, foram coletadas amostras simples (nos intervalos de 02 horas, 15 dias e 40 dias, após a calagem) em todos os vasos de aproximadamente 250g para novas análises químicas e físicas, além de uma análise microbiológica (bacterológica) e uma parasitológica (ovos de helmintos), do lodo de esgoto desinfectado (biossólido).

As análises físicas e químicas no biossólido foram feitas pela mesma metodologia usada na caracterização do lodo de esgoto digerido descrita anteriormente. As análises bacterológicas, realizadas através da contagem de Coliforme Fecais (CF), *Streptococos fecais* (EF), *Salmonella* (S) e *Clostridium perfringens* (CP), foram feitas pela técnica de Tubos Múltiplos, recomendada na, Standard Methods for Examination of Water and Wastewater para lodos (AWWA, 1997), e as análises parasitológicas realizadas através da quantificação de ovos de helmintos e da viabilidade destes, foram feitas segundo a metodologia de Yanko (1987), reconhecida pela USEPA (1992) como técnica oficial para os Estados Unidos.

Na Tabela 8 encontram-se as principais características físicas e químicas do biossólido, 40 dias após a calagem.

Tabela 8 – Composição física e química parciais do bio sólido após 40 dias da calagem à 50% ST. Bio sólidos em algodoeiro herbáceo: modificações no crescimento, desenvolvimento e ambiente edáfico. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

Exper/Composição	Sol.Total (%)	Umidade (%)	pH H ₂ O	M. O. (%)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
Experimento I	22,7	77,3	12,5	33,4	2,4	1,0	0,3	16,6	1,3
Experimento II	14,4	85,6	11,9	30,7	2,6	1,5	0,3	20,3	3,1

Análises realizadas no Laboratório de Análises químicas, físicas e microbiológicas do PROSAB-C. Grande, PB. 2002.

Foram quantificadas no solo, no lodo digerido e no bio sólido, por espectrofotometria de absorção atômica, as concentrações de metais pesados, conforme metodologia proposta pela AWWA (1992). Os valores encontrados estão expressos na Tabela 9.

Tabela 9 – Teores de metais pesados (mg/kg) no solo, no lodo digerido e no bio sólido usados nos experimentos. Bio sólidos em algodoeiro herbáceo: modificações no crescimento, desenvolvimento e ambiente edáfico. CETREL, Camaçari, BA. 2002.

Material/Metal	B	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mg	Pb
Solo	<200	<0,48	<2,5	1,5	0,6	<0,1	108	<8,4
Lodo digerido	<200	1,2	<12	112	162	0,6	3606	84
Bio sólido	<200	0,71	<18	26	0,4	0,9	46	37

Resultados fornecidos pelo Laboratório de Análises Mineraiis da Empresa de Proteção Ambiental (Cetrel) de Camaçari/BA.

Os valores dos teores de metais pesados nos três materiais analisados estão muito aquém da concentração máxima permissível para uso agrícola (Tabelas 1 e 2). Os valores encontrados no lodo de esgoto do PROSAB – Campina Grande, foram os esperados, uma vez que a referida cidade não possui grande porte industrial e, por conseguinte, o esgoto gerado é, predominantemente, doméstico.

3.3.3) TRATAMENTOS

A quantidade de biossólido em cada tratamento foi estimada em função do teor de nitrogênio presente em 100g de ST e a quantidade a ser mineralizada no ciclo da cultura. Os tratamentos empregados foram:

Experimento I

T₁. Testemunha (Solo nas condições naturais)

T₂. Solo + 60 KgN.ha⁻¹ (Biossólido)

T₃. Solo + 100 KgN.ha⁻¹ (Biossólido)

T₄. Solo + 200 KgN.ha⁻¹ (Biossólido)

T₅. Solo + 250 KgN.ha⁻¹ (Biossólido)

T₆. Solo + 300 KgN.ha⁻¹ (Biossólido)

Experimento II

T₁. Testemunha (Solo nas condições naturais)

T₂. Solo + 150 KgN.ha⁻¹ (Biossólido)

T₃. Solo + 250 KgN.ha⁻¹ (Biossólido)

T₄. Solo + 350 KgN.ha⁻¹ (Biossólido)

T₅. Solo + 450 KgN.ha⁻¹ (Biossólido)

T₆. Solo + 550 KgN.ha⁻¹ (Biossólido)

3.3.4) INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Em condições de casa de vegetação do CNPA/EMBRAPA os experimentos foram conduzidos utilizando o biossólido (adubação orgânica) como fonte de nitrogênio para o algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum L. r. latifolium hutch L.*) de sequeiro, representado pela cultivar BRS 187 8H. O primeiro experimento foi instalado no dia 25 de agosto do ano 2000 e o segundo no dia 22 de agosto de 2001. No primeiro experimento as unidades experimentais (vasos plásticos de 90 dm³) foram da cor amarela, todavia, visando diminuir o efeito da luminosidade emitida por esta cor, todas

as unidades experimentais, no segundo experimento, foram pintadas externamente na cor prata fosca.

No fundo de cada unidade experimental, que recebeu aproximadamente 70 dm^3 de solo (coletado da camada superficial: 0-30 cm), foram feitos dois furos, em extremidades opostas, que foram preenchidos com mangueiras (diâmetro = 0,5 cm) por onde foi drenado o excesso de água. A água adicionada (água de abastecimento) em cada unidade experimental durante a condução dos experimentos, foi, aproximadamente, correspondente à capacidade de campo do solo utilizado.

Antes da semeadura as sementes foram previamente tratadas com fungicida sistêmico do grupo químico Benzimidazol (nome comercial Benomyl 500) para combater fungos fitopatogênicos do solo. Cada unidade experimental recebeu 8 sementes e, quinze dias após a semeadura, foi feito o desbaste, deixando-se duas plantas por vaso, que foram conduzidas até o final do ciclo fenológico da cultura (135 dias para ambos experimentos).

A cada 30 dias foram feitas aplicações de inseticida e acaricida sistêmico e de contato organofosforado do grupo químico Monocrotophos (nome comercial Agrophos 400) na dosagem de $6 \text{ ml.L}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$, para prevenir o ataque de mosca-branca e do pulgão do algodoeiro.

As Figuras 1 e 2 apresentam a distribuição dos blocos e dos tratamentos na casa de vegetação durante os experimentos I e II, respectivamente.

Durante a condução dos experimentos foram feitas análises parasitológicas (ovos de helmintos) da água drenada no fundo de cada unidade experimental a cada 30 dias, segundo metodologias da USEPA (1992) e Bailenger (1979).

B1	B1T2	B1T3	B1T1	B1T4	B1T5	B1T6
B5	B5T2	B5T6	B5T5	B5T4	B5T3	B5T1
B2	B2T2	B2T4	B2T6	B2T5	B2T1	B2T3
B4	B4T3	B4T2	B4T5	B4T1	B4T6	B4T4
B3	B3T4	B3T3	B3T6	B3T1	B3T2	B3T5

→

CORREDOR

Figura 1 – Croqui da distribuição dos blocos e tratamentos na casa de vegetação-experimento I. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

B2	B2T3	B2T6	B2T5	B2T4	B2T1	B2T2
B3	B3T4	B3T1	B3T5	B3T6	B3T2	B3T3
B1	B1T1	B1T5	B1T4	B1T3	B1T6	B1T2
B5	B5T6	B5T3	B5T5	B5T4	B5T1	B5T2
B4	B4T3	B4T1	B4T6	B4T5	B4T2	B4T4

→

CORREDOR

Figura 2 – Croqui da distribuição dos blocos e tratamentos na casa de vegetação - experimento II. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

3.4 VARIÁVEIS ANALISADAS

A extensão dos efeitos causados pela aplicação de doses crescentes de biossólido ao solo foi avaliada através de atributos das plantas (variáveis de crescimento, de produção e componentes do algodoeiro e qualidade física da fibra do algodão) e do próprio solo (propriedades químicas e físicas).

3.4.1) VARIÁVEIS RELACIONAS AO CRESCIMENTO DO ALGODOEIRO

Os efeitos da aplicação de doses de biossólido sobre o crescimento do algodoeiro foram avaliados através de duas variáveis: a altura de plantas e o diâmetro caulinar.

Os instrumentos usados para as mensurações (feitas a cada 15 dias após a emergência das plantas) da altura das plantas, e do diâmetro caulinar foram, respectivamente, trena e paquímetro.

3.4.2) VARIÁVEIS RELACIONADAS AO DESENVOLVIMENTO DO ALGODOEIRO

Foram avaliadas as seguintes fases fenológicas da planta: surgimento do primeiro botão, da primeira flor e abertura do primeiro capulho.

3.4.3) VARIÁVEIS RELACIONADAS À PRODUÇÃO E COMPONENTES DO ALGODOEIRO

A produção e componentes do algodoeiro foram avaliados através das seguintes variáveis: produção do algodão em caroço, peso de 01 capulho, número de capulhos, porcentagem de fibra, peso de pluma, peso de 100 sementes (apenas no experimento II), fitomassa de raiz, fitomassa da parte aérea, fitomassa total e relação peso da parte aérea/peso raiz. Para a determinação da fitomassa, o material foi seco numa estufa de ventilação a ar, à 75°C.

3.4.4) VARIÁVEIS RELACIONADAS À QUALIDADE FÍSICA DA FIBRA DO ALGODÃO

As análises da qualidade física da fibra do algodão foram efetuadas pelo Instrumento de Alto Volume (HVI-High Volume Instruments), modelo 900, de Spinlab/Zellweger Uster (Figura 3), instalado no Laboratório de Fibras e Fios da EMBRAPA/CNPA, Campina Grande (PB). Através deste instrumento determinou-se os seguintes caracteres tecnológicos da pluma: finura (micronaire), resistência (Str), comprimento (Len), uniformidade de comprimento (Unf), índice de fibra curta (SFI), alongação (Elg), fiabilidade (CSP), reflectância (Rd) e grau de amarelo (+b).

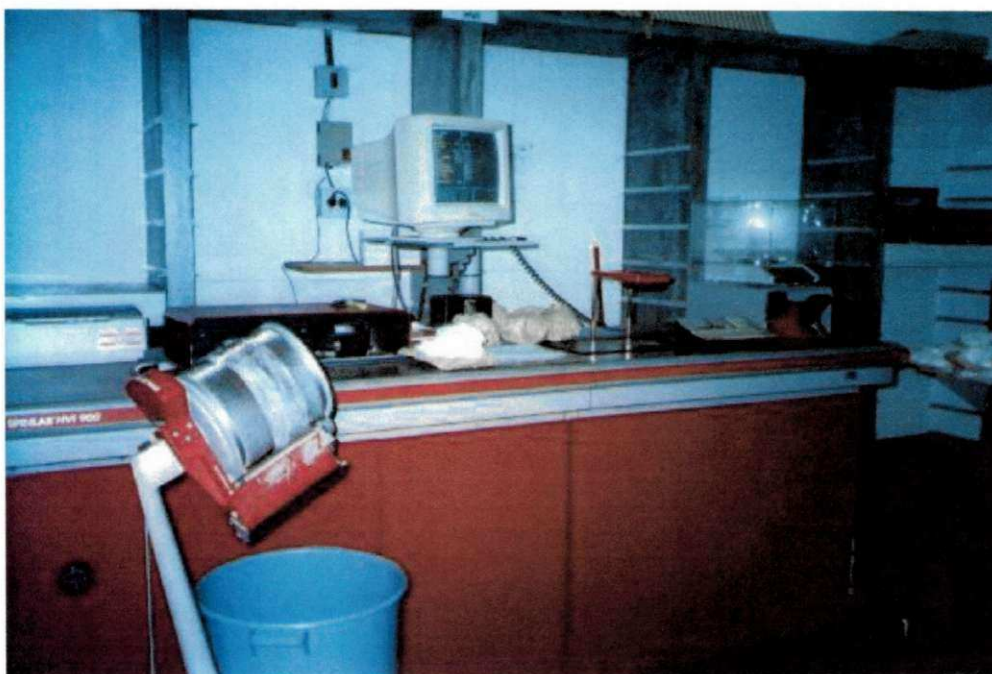


Figura 3 – Instrumento de alto volume (HVI) utilizado nas análises de qualidade física de fibra do algodão. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

Obedecendo a norma internacional ISO 139/ASTM D 1776/ NBR 8428-84 para análise de fibras, as amostras permaneceram 24 horas no Laboratório a uma temperatura de $20 \pm 1^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $65 \pm 2\%$, para atingir o equilíbrio higrométrico (aclimatização).

3.4.5) VARIÁVEIS RELACIONADAS ÀS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E FÍSICAS DO SOLO

Os efeitos do bio sólido sobre as características químicas do solo foram avaliados através dos macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg), do teor de matéria orgânica, e do índice pH (potencial hidrogeniônico do solo); e sobre as características físicas, através dos seguintes componentes: densidade aparente (DA), densidade real (DR), porosidade total (P), capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e capacidade de armazenamento de água (CAD). A metodologia usada em tais análises está descrita no Manual de Métodos de Análise de Solo da EMBRAPA (1979).

3.5) ANÁLISE ESTATÍSTICA

O delineamento experimental adotado para os experimentos foi o de blocos ao acaso, com 6 tratamentos e 5 repetições, totalizando 30 unidades experimentais e o programa estatístico utilizado foi o SAS.

Os modelos adotados para análise estatística (Gomes, 1996) foram:

Análise de Variância dos experimentos.

FONTE DE VARIAÇÃO	G. L.
Blocos	4
Doses de bio sólido	5
Resíduos	20
Total	29

Análise de Variância das regressões.

FONTE DE VARIAÇÃO	G. L.
Blocos	4
Doses de bio sólido	5
- Linear	1
- Quadrático	1
- Cúbico	1
- Quártico	1
- Quíntico	1

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 EFEITOS DA CALAGEM SOBRE O LODO DE ESGOTO

Na Tabela 10 encontram-se os resultados das análises bacteriológicas, realizadas no Laboratório de Análises Químicas, Físicas e Microbiológicas do PROSAB, C. Grande (PB), feitas no lodo digerido e no biossólido, 40 dias após a calagem.

Tabela 10 – Análise bacteriológica do lodo digerido e do biossólido decorridos 40 dias da calagem. Biossólidos em algodoeiro herbáceo: modificações no crescimento, desenvolvimento e ambiente edáfico. PROSAB, C. Grande, PB. 2002.

Exper./Bactéria	LODO DIGERIDO (NMP/100gST)				LODO CALADO (BIOSSÓLIDO) (NMP/100gST)			
	CF	EF	S	CP	CF	EF	S	CP
Experimento I	$1,7 \times 10^3$	9×10^2	2×10^2	4×10^2	<2	<2	<2	<2
Experimento II	$1,2 \times 10^3$	7×10^2	3×10^2	3×10^2	<2	<2	<2	<2

CF = Coliformes fecais;

EF = *Streptococos fecais*

S = *Salmonella*

CP = *Clostridium perfringens*.

Apesar de freqüentes em todas as amostras do lodo digerido, as bactérias indicadoras de contaminação fecal, foram eliminadas pelo processo de calagem (à 50% ST). Esses resultados são corroborados por Andraus et al. (1999) que, avaliando a eficiência da calagem à 30, 40 e 50% ST em 23 amostras de lodo digerido, verificaram que a bactéria patogênica *Salmonella*, apesar de presente em 100% das amostras de lodo, foi totalmente eliminada pelo processo de calagem (à 50%ST) e que as populações de estreptococos fecais, que no lodo digerido eram de 10^7 a 10^8 NMP/100gST, foram eliminadas ou apresentaram remanescentes de 10^4 NMP/100gST. Se considerada os níveis máximos deste indicador (*Streptococos*) para lodo higienizado Classe A, a USEPA estabelece limite $< 10^3$ NMP/100gST.

Os resultados da calagem sobre a quantidade e a viabilidade dos ovos de helmintos no dia zero e nos intervalos de 2 horas, 15 e 40 dias após a calagem encontram-se na Tabela 11.

Tabela 11 – Número e viabilidade de ovos de helmintos no bioossólido, 2 horas, 15 e 40 dias após a calagem. Bioossólidos em algodoeiro herbáceo: modificações no crescimento, desenvolvimento e ambiente edáfico. PROSAB, C. Grande, PB. 2002.

Exper./Redução	Nº de ovos/g ST				Viabilidade (%)			
	Dia zero	2 h	15 dias	40 dias	Dia zero	2 h	15 dias	40 dias
Experimento I	31	20	10	01	92 (29)	66 (13)	10 (1)	0 (0)
Experimento II	26	09	03	03	87 (23)	34 (13)	18 (0,5)	0 (0)

Análises realizadas no Laboratório de Análises químicas, físicas e microbiológicas do PROSAB, C. Grande, PB. 2002.

O fato dos valores alcançados pelo pH com a calagem (12,48 e 11,9 nos experimentos I e II, respectivamente) terem se mantido neste patamar até os 40 dias, contribuíram efetivamente, para o sucesso da desinfecção do lodo, evidenciando a eficiência dessa prática à 50% ST enquanto método de higienização do lodo de esgoto. Ilhenfeld et al. (1999) conseguiram, em três experimentos, uma taxa de inativação de ovos de helmintos em lodo que variou de 86 a 100%.

Não foram encontrados ovos de helmintos na água drenada de cada unidade experimental.

4.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO DO EXPERIMENTO I

4.2.1) EFEITOS DA APLICAÇÃO DE BIOSSÓLIDO SOBRE O CRESCIMENTO DO ALGODOEIRO

Os valores médios da altura de planta e do diâmetro caulinar em função das doses de biossólido e do tempo encontram-se, respectivamente, nas Tabelas 12 e 13. e nas Tabelas 14 e 15 encontram-se as equações exponenciais, obtidas por regressão não linear, que determinam a altura de plantas e o diâmetro caulinar, respectivamente, em função do tempo para cada um dos tratamentos testados.

Analisando-se as Tabelas 14 e 15 observa-se que tanto a variável altura de planta como diâmetro caulinar, ajustaram-se, de forma significativa pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade, para todos os tratamentos testados, a um modelo exponencial com elevados coeficientes de determinação, evidenciando que as curvas estimadas pelos modelos ajustaram-se bem aos dados experimentais. O valor de Y, nesses modelos, representa a altura de plantas e/ou o diâmetro caulinar, e o valor de X corresponde ao tempo.

Com o modelo exponencial aplicado obteve-se as Figuras 4 e 5 que representam, respectivamente, a altura de plantas e o diâmetro caulinar em função dos tratamentos e do tempo. Analisando-se tais Figuras observa-se que a resposta do algodoeiro à aplicação de biossólido em termos de altura de plantas e de diâmetro caulinar, quando da comparação com a testemunha, foi bastante semelhante, uma vez que apenas nos primeiros 30 dias após a emergência das plantas, a diferença entre a altura e o diâmetro caulinar das plantas nos tratamentos que receberam biossólido e na testemunha foi discreta, e que, embora o valor para essas variáveis, proporcionado pela testemunha, foi bastante inferior a todas as doses de biossólido durante todo o ciclo fenológico, indicando que o algodoeiro responde positivamente a esse resíduo em termo de crescimento em altura de plantas e em diâmetro caulinar. A partir do 45^o dia, essa diferença tornou-se mais evidente tanto para a altura de plantas como para o diâmetro caulinar.

Entre os tratamentos que receberam biossólido, observou-se, principalmente a partir do 75º dia, que tanto a altura de plantas como o diâmetro caulinar aumentou de acordo com a elevação das doses de biossólido. O tratamento que proporcionou plantas de maiores altura e diâmetro de caule foi o correspondente a 300kgN.ha⁻¹ (T₆). A estagnação da altura de plantas e do diâmetro caulinar verificada no final do ciclo fenológico foi devido a senescência das plantas.

Tabela 12- Valores médios da variável altura de planta (cm) em função das doses de biossólido (kgN.ha⁻¹) e do tempo (dias após a emergência). Biossólidos em algodoeiro herbáceo: modificações no crescimento, no desenvolvimento e no ambiente edáfico. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

TEMPO	DOSES DE BIOSSOLIDO					
	T ₁ (0)	T ₂ (60)	T ₃ (100)	T ₄ (200)	T ₅ (250)	T ₆ (300)
15	7,6	14,0	12,8	13,15	12,5	10,9
30	11,2	20,5	19,2	18,1	16,6	15,0
45	17,9	37,9	37,0	33,3	30,5	26,2
60	25,1	56,9	61,4	61,7	58,7	53,9
75	30,5	65,8	72,3	77,6	78,7	81,4
90	33,5	68,0	74,3	81,8	84,0	94,2
105	34,3	68,3	74,5	81,9	84,1	95,1
120	36,4	68,7	74,5	81,9	84,3	95,2

Com esses resultados pode-se afirmar que o fornecimento de biossólido favoreceu o crescimento do algodoeiro, isso, possivelmente, devido os nutrientes presentes nesse resíduo estimularem a atividade fotossintética, aumentarem o teor de proteína e, por conseguinte, o crescimento das plantas.

Tabela 13 - Valores médios da variável diâmetro caulinar (mm) em função das doses de biossólido (kgN.ha⁻¹) e do tempo (dias após a emergência). Biossólidos em algodoeiro herbáceo: modificações no crescimento, no desenvolvimento e no ambiente edáfico. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

TEMPO	DOSES DE BIOSSÓLIDO					
	T ₁ (0)	T ₂ (60)	T ₃ (100)	T ₄ (200)	T ₅ (250)	T ₆ (300)
15	2,2	2,8	2,9	2,8	2,8	2,7
30	2,5	3,5	3,3	3,2	3,2	3,1
45	3,4	5,9	5,9	5,4	5,1	4,2
60	4,2	7,7	8,5	8,1	8,3	7,8
75	5,1	8,6	9,7	9,8	9,9	9,9
90	5,3	8,7	9,6	9,6	9,7	10,6
105	5,3	8,8	9,6	9,7	9,9	10,5
120	5,4	8,9	9,7	9,8	10,0	10,6

Tabela 14 - Equações exponenciais da altura de planta (cm) em função do tempo (dias após a emergência) para cada tratamento. Biossólidos em algodoeiro herbáceo: modificações no crescimento, desenvolvimento e ambiente edáfico. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

TRATAMENTO	MODELO	R ²
T ₁ (0)	$y = \frac{36,9779}{1 + e^{(2,2405 - 0,049 \cdot X)}}$	0,99**
T ₂ (60)	$y = \frac{70,1206}{1 + e^{(2,8119 - 0,0687 \cdot X)}}$	0,99**
T ₃ (100)	$y = \frac{76,3156}{1 + e^{(3,2876 - 0,0756 \cdot X)}}$	0,99**
T ₄ (200)	$y = \frac{84,3698}{1 + e^{(3,5286 - 0,074 \cdot X)}}$	0,98**
T ₅ (250)	$y = \frac{86,924}{1 + e^{(3,743 - 0,0744 \cdot X)}}$	0,99**
T ₆ (300)	$y = \frac{98,7676}{1 + e^{(4,1635 - 0,0737 \cdot X)}}$	0,98**

** Valores estatisticamente significativos pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 15 - Equações exponenciais do diâmetro caulinar (mm) em função do tempo (dias após a emergência) para cada tratamento. Biossólidos em algodoeiro herbáceo: modificações no crescimento, desenvolvimento e ambiente edáfico. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

TRATAMENTO	MODELO	R ²
T ₁ (0)	$y = \frac{5,6682}{1 + e^{(1,2604 - 0,0399 \cdot X)}}$	0,97**
T ₂ (60)	$y = \frac{9,0558}{1 + e^{(1,9528 - 0,0588 \cdot X)}}$	0,98**
T ₃ (100)	$y = \frac{9,9798}{1 + e^{(2,2943 - 0,0626 \cdot X)}}$	0,96**
T ₄ (200)	$y = \frac{10,1882}{1 + e^{(2,3061 - 0,059 \cdot X)}}$	0,96**
T ₅ (250)	$y = \frac{10,4098}{1 + e^{(2,3957 - 0,059 \cdot X)}}$	0,96**
T ₆ (300)	$y = \frac{11,2439}{1 + e^{(2,6161 - 0,0559 \cdot X)}}$	0,96**

** Valores estatisticamente significativos pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

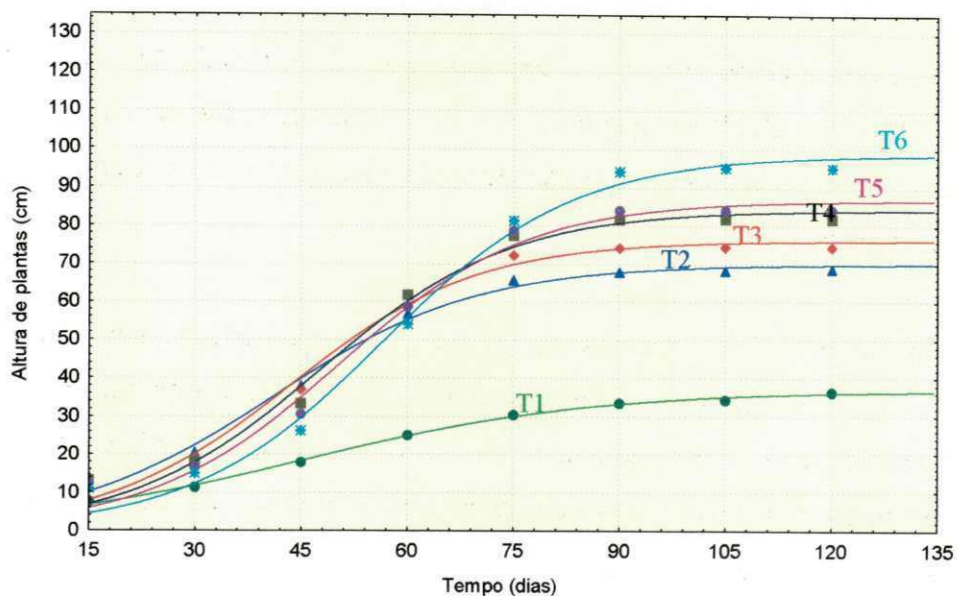


Figura 4 – Altura de plantas do algodoeiro herbáceo em função do tempo de acordo com as doses de biofósforo. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

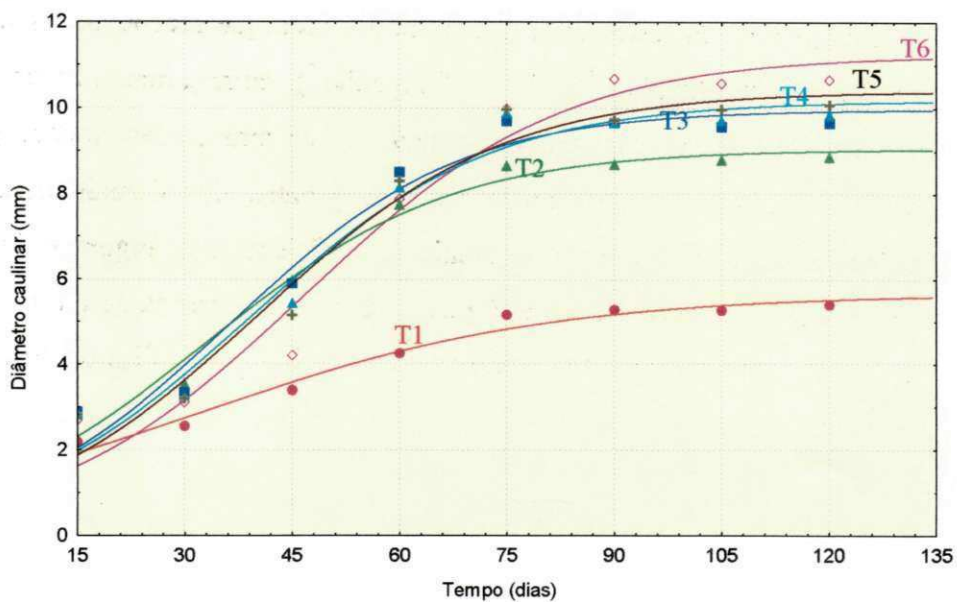


Figura 5 – Diâmetro caulinar do algodoeiro herbáceo em função do tempo de acordo com as doses de biofósforo. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

Os resultados obtidos para a variável altura de plantas estão de acordo com os obtidos por Favaretto et al. (1997) que constataram aumento gradativo da altura de plantas de milho com aplicação de doses crescentes de biossólido, sendo a menor altura obtida no tratamento testemunha.

Trabalhando com diferentes doses de biossólido e três variedades de *Pinus*, Berry (1982), verificou um crescimento de plantas significativamente maior nas parcelas que receberam biossólido em comparação com as parcelas que receberam fertilizantes minerais. Houve diferenciação das mesmas no que se refere ao crescimento em comprimento e diâmetro ou volume do colo radicular.

Durante a condução do experimento percebeu-se que até a fase vegetativa, não havia muitas diferenças entre as plantas da testemunha e dos tratamentos que receberam biossólido, todavia com o início da fase de formação de botões florais e de abertura das flores (floração), as plantas da testemunha e dos tratamentos que receberam as menores doses de biossólido ($T_2 = 60\text{kgN.ha}^{-1}$ e $T_3 = 100\text{kgN.ha}^{-1}$), começaram a apresentar os primeiros sinais de deficiência nutricional, ou seja, folhas amareladas, menor porte e posterior queda do botão floral. Por outro lado, as plantas dos demais tratamentos ostentavam melhor aspecto e ausências de sinais de deficiência. A Figura 6 ilustra as plantas na fase de abertura de capulhos e a Figura 7 ostenta a diferença de altura entre as plantas dos tratamentos que receberam as maiores doses de biossólido (T_6) e a testemunha (T_1), do experimento I.



Figura 6 – Abertura de capulhos - experimento I. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.



Figura 7 – Diferença de altura de plantas entre os tratamentos T_6 (300kgN.ha^{-1}) e a testemunha (T_1) - experimento I. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

4.2.2) EFEITOS DA APLICAÇÃO DE BIOSSÓLIDO SOBRE A PRODUÇÃO E COMPONENTES DO ALGODOEIRO

Na Tabela 16 encontram-se as médias dos tratamentos das variáveis relacionadas com a produção e os componentes do algodoeiro e na Tabela 17 tem-se o resumo das análises de variância e de regressão dessas variáveis.

De uma maneira geral, observa-se que, entre os tratamentos que receberam biossólido, todas as variáveis relacionadas com a produção e os componentes do algodoeiro avaliados aumentaram com a elevação das doses de biossólido, exceto o peso de 01 capulho e a porcentagem de fibras cujos valores médios oscilaram entre si. Os valores de todas as variáveis de produção proporcionados pela testemunha (T_1) foram inferiores a todas as doses de biossólido, com exceção das variáveis, peso de 01 capulho, onde ocorreu uma oscilação e porcentagem de fibra do algodão onde todas as variáveis de produção dos tratamentos que receberam biossólido foram inferiores à testemunha. Saliente-se que, embora essa variável tenha diminuído com o aumento das doses de biossólido, houve um aumento do número de sementes por fruto, ou seja, devido o seu crescimento alométrico, o algodoeiro, provavelmente, investiu mais na semente do que na porcentagem de fibra.

Através da Tabela 17 observa-se que houve efeitos significativos pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade dos tratamentos sobre as variáveis estudadas. As variáveis, peso de 01 capulho e porcentagem de fibra, embora tenham atingido valores inferiores aos normalmente atingidos para a cultivar BRS 187 8H (Tabela 3), não sofreram efeitos significativos, indicando que as doses de biossólido não exerceram influência sobre essas variáveis.

Tabela 16 – Valores médios das variáveis de produção e componentes do algodoeiro: número de capulho/planta, peso de 01 capulho (g), peso do algodão em caroço/planta (g), peso de pluma (g), porcentagem de fibra (%) fitomassa parte aérea (g), fitomassa raiz (g), fitomassa total (g) e fitomassa parte aérea/fitomassa raiz. Biossólidos em algodoeiro herbáceo: modificações no crescimento, no desenvolvimento e no ambiente edáfico. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

Tratamento (kgN/ha)	V A R I Á V E I S								
	Nº de Capulho	Peso de 1 capulho	Peso alg. c/caroço	Peso de pluma	% de fibra	Fitom . Parte aérea	Fitom . da raiz	Fitomassa total	Rel. fit. aérea/fit.raiz
T ₁ (0)	2,00	3,28	6,08	2,84	40,24	8,85	1,85	10,70	5,56
T ₂ (60)	6,00	4,02	23,84	9,12	38,10	28,29	4,39	32,69	6,48
T ₃ (100)	11,00	3,22	34,50	12,78	36,96	48,34	4,85	53,20	10,09
T ₄ (200)	13,60	4,12	55,14	20,56	37,24	56,42	5,07	61,48	11,23
T ₅ (250)	15,00	3,90	58,74	22,38	38,24	60,28	5,26	65,54	11,49
T ₆ (300)	16,60	4,52	74,74	28,18	36,48	78,77	5,96	84,73	13,23
Média	10,70	3,83	42,16	15,98	37,88	46,82	4,55	51,39	9,68

Tabela 17 - Resumo das análises de variância e de regressão das variáveis de produção e componentes do algodoeiro. Biossólidos em algodoeiro herbáceo: modificações no crescimento, no desenvolvimento e no ambiente edáfico. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

Q U A D R A D O M É D I O										
F.V.	G.L.	N° de Capulho	Peso de 1 capulho	Peso alg. c/caroço	Peso de pluma	% de fibra	Fitom. Parte aérea	Fitom. da raiz	Fitomassa total	Fit.aérea/ Fit.raiz
Blocos	4	5,03ns	0,54ns	37,50ns	10,33ns	12,97ns	84,13ns	0,17ns	88,90ns	1,98ns
Tratamentos	5	159,58**	1,27ns	3 200,90**	440,73**	8,95ns	3 080,84**	10,20**	3 422,53**	45,76**
Linear	1	739,37**	3,24ns	15 687,39**	2 169,04**	23,40ns	14 696,64**	39,12**	16 252,21**	221,69**
Quadrática	1	39,49**	0,18ns	81,65ns	5,67ns	6,50ns	287,65ns	6,33**	379,33ns	5,24ns
<i>Polin. 3° Grau</i>	1	3,72ns	0,33ns	7,50ns	0,20ns	12,13ns	242,00ns	5,18**	318,04ns	0,56ns
<i>Polin. 4° Grau</i>	1	-----	0,28ns	27,28ns	1,83ns	2,72ns	176,20ns	0,30ns	162,02ns	10,11ns
<i>Polin. 5° Grau</i>	1	-----	2,33ns	200,64ns	26,93ns	0,55ns	1,70ns	0,79ns	1,05ns	0,68ns
Resíduo	20	2,70	0,75	52,42	8,20	6,04	111,43	0,37	114,72	6,85
Total	29									
CV		15,39	22,75	17,17	17,93	6,48	22,54	11,38	20,84	27,04

ns - Valores estatisticamente não significativos.

* -Valores estatisticamente significativos pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

** -Valores estatisticamente significativos pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade.

O desdobramento da análise de regressão permite afirmar que houve um aumento linear e significativo de todas as variáveis com a elevação das doses de biofóssido. Saliente-se que a variável, número de capulho, além do modelo linear, se ajustou ao modelo quadrático e a variável fitomassa da raiz aos modelos quadrático e cúbico, além do modelo linear. Embora tenha ocorrido efeito linear para o número de capulho, optou-se pela regressão quadrática para expressar os resultados em virtude do valor mais elevado do coeficiente de determinação ($R^2=0,98^{**}$) e por este modelo representar melhor os fenômenos biológicos ocorridos. Com relação a fitomassa de raiz, embora o modelo cúbico tenha apresentado maior coeficiente de determinação, optou-se, novamente, pelo modelo quadrático para expressar os resultados, uma vez que o mesmo expressa melhor os fenômenos biológicos ocorridos.

A análise de correlação polinomial possibilitou a elaboração das curvas apresentadas nas Figuras 8 e 9 que representam os efeitos da aplicação das doses de biofóssido sobre as variáveis de produção do algodoeiro investigadas.

Esses resultados são corroborados pelos resultados obtidos por diversos pesquisadores, entre esses pode-se citar: Bettiol et al. (1982c) verificaram aumentos na produção de arroz em solos cultivados com biofóssido; Berton (1989) constatou aumento na produção de fitomassa do milho nos tratamentos adubados com biofóssido; Martins (1993) e Vanzolini (1994) verificaram aumentos nas quantidades de fitomassa da parte aérea e da raiz do sorgo granífero proporcionais as doses de lodo empregadas; Silva (1995) verificou aumentos lineares da produtividade de biomassa em cana-de-açúcar cultivada em solo que recebeu biofóssido; Favaretto et al. (1997) obtiveram maior produtividade da cultura do milho adubada organicamente com lodo de esgoto, além de observarem um aumento da produção de grãos em função do aumento das dosagens de biofóssido; Lourenço et al. (1995), citados por Favaretto (1997), verificaram aumento da produtividade do milho e feijão adubados com biofóssido; Bottega & Nascimento (1999) verificaram aumentos de 32 a 54% na produtividade da cultura do milho com uso de lodo de esgoto digerido aeróbio calado.

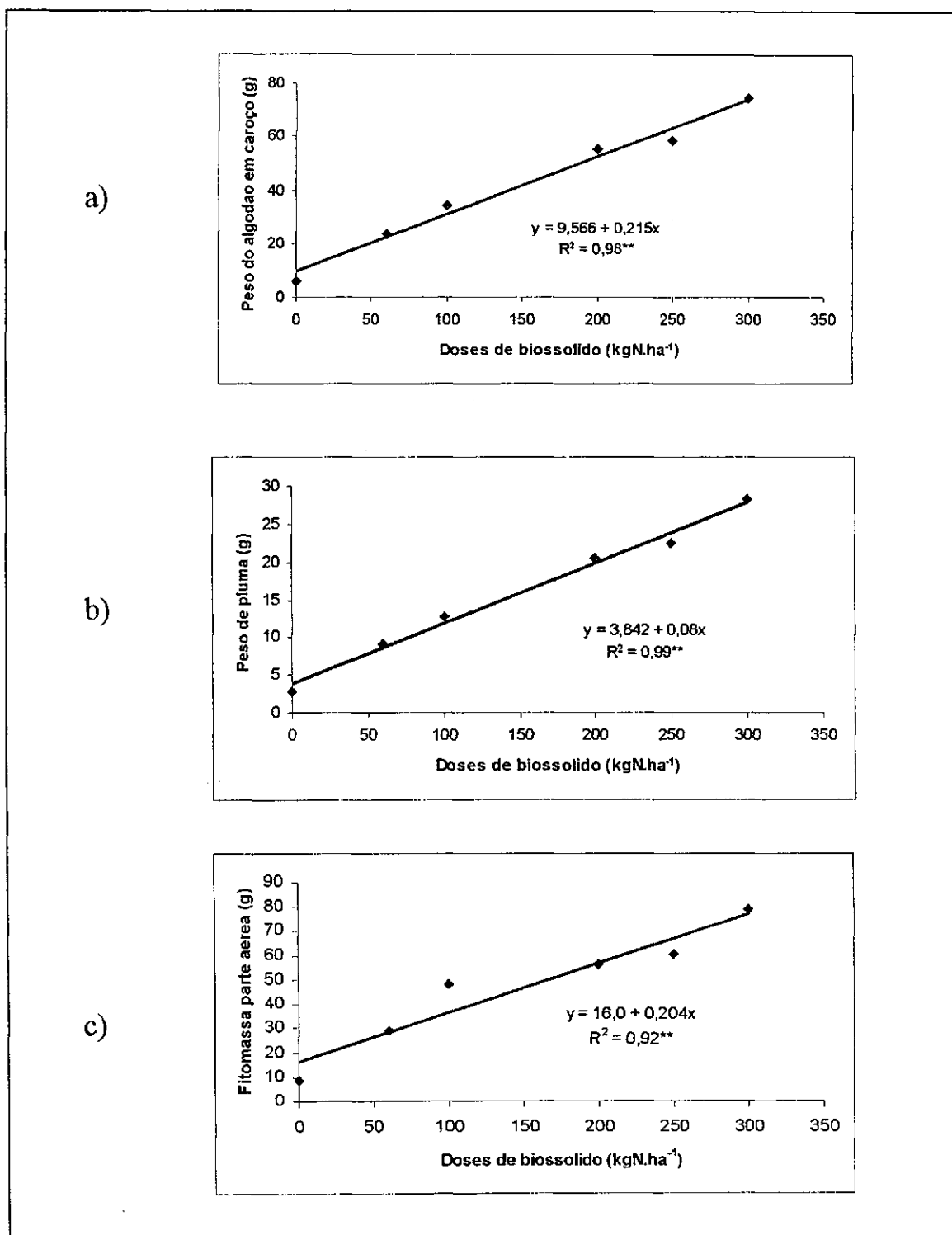


Figura 8 - Peso do algodão em caroço (a), peso de pluma (b) e fitomassa da parte aérea (c) em função das doses de bio sólido. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002

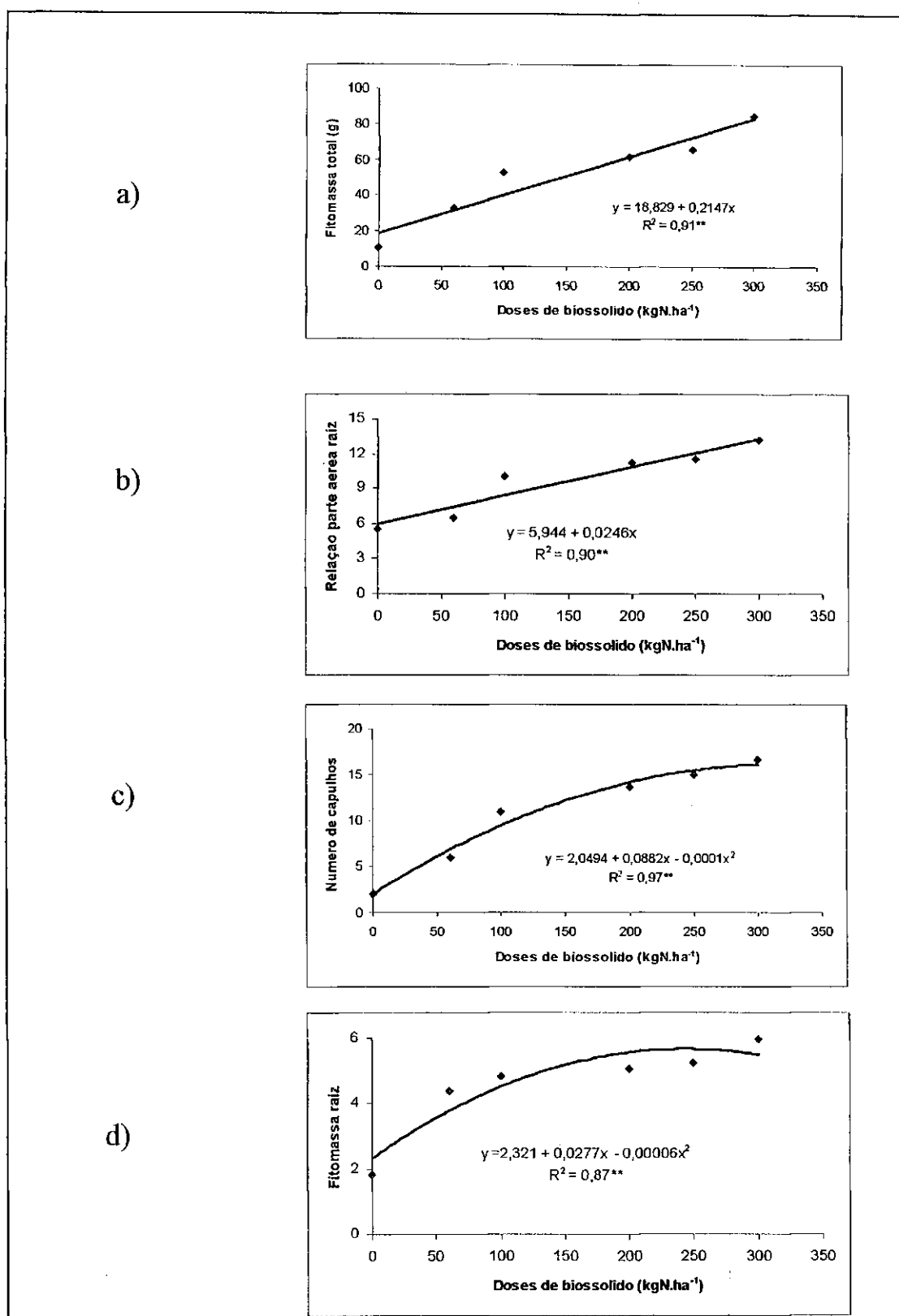


Figura 9 - Fitomassa total (a), relação peso seco da parte aérea/raiz (b), número de capulhos (c) e fitomassa da raiz (d) em função das doses de biossólido. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002..

Os aumentos verificados nas variáveis de produção e componentes do algodoeiro com a elevação das doses de bio sólido são devidos a presença de matéria orgânica, macro e micronutrientes presentes nesse resíduo que, segundo Rajj (1991), são essenciais para o estabelecimento e o desenvolvimento das culturas de um modo geral.

A relação entre as doses de bio sólido e as variáveis, número de capulho/planta e fitomassa da raiz, mostrou-se ser do segundo grau (Figura 9 c e d), o que evidencia que as doses de 322 e 243kgN.ha⁻¹ seriam o limite para a produção máxima, sem proporcionar decréscimo do número de capulho e da fitomassa da raiz, respectivamente, conforme pode ser verificado derivando-se as respectivas equações de regressão contida na citada Figura e igualando-as a zero. Esses pontos de inflexão ocorridos nestas doses, calculados pela derivação das equações de regressão, foram decisivos no tocante a implantação do segundo experimento com doses maiores que permitissem a determinação de tais pontos para as demais variáveis estudadas, conforme o caso.

4.2.3) EFEITOS DA APLICAÇÃO DE BIOSSÓLIDO SOBRE A QUALIDADE FÍSICA DE FIBRA DO ALGODÃO

Na Tabela 18 encontram-se os valores médios das variáveis relacionadas com a qualidade física de fibra do algodão para os diferentes tratamentos testados e na Tabela 19 tem-se o resumo das análises de variância e de regressão dessas variáveis.

As variáveis da qualidade física de fibra do algodão para a testemunha (T₁) não foram avaliadas uma vez que a quantidade de pluma produzida nesse tratamento foi insuficiente para leitura no instrumento de alto volume (HVI).

Quando da comparação com as características da qualidade física de fibra da cultivar BRS 187 8H (Tabela 3) verifica-se que os valores apresentados na Tabela 18 são superiores, com exceção das variáveis, finura e grau de amarelo. O valor médio da finura foi de 3,70 µg, valor este que classifica a fibra do algodão na categoria fina que, em geral, produzem fios mais resistentes (devido o maior número de fibras na seção do fio), mas, segundo Wanderley & Santana (1995) e Santana (2002), produzem fios com maiores problemas de afinidade tintorial e com maior quantidade de neps. As fibras finas produzem fios mais uniformes com relação à ruptura na fiação. O ideal é que as fibras não sejam, nem muito finas, nem muito grossas. Observa-se, ainda na mesma Tabela, que o valor médio para a resistência foi de 28,77 gf/tex, classificando a fibra na categoria média. O comprimento de 29,74 mm 2,5% SL classifica a fibra na categoria longa e a uniformidade de comprimento de 84,90% classifica a fibra na categoria uniforme. O índice de fibra curta de 5,2% por ser inferior a 6,0%, é classificado na categoria muito baixo, o que é salutar, pois, quanto menor for esse índice, melhor é a qualidade tecnológica da fibra. A alongação de 10,23% é classificada como muito alta, tendo em vista que o seu valor é superior a 7,6%. A fiabilidade de 2218 é classificada na categoria média; a reflectância de 71,10 é considerada alta e, por fim, o grau de amarelo de 9,14 está dentro da faixa normalmente encontrada, ou seja, entre 4 e 18. (Wanderley & Santana, 1995 e Santana 2002).

Com o resumo das análises de variância (Tabela 19) percebe-se que houve efeito significativo dos tratamentos pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade para todas as variáveis avaliadas. O desdobramento da regressão permite afirmar que todas as variáveis ajustaram-se aos modelos linear e quadrático pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade, não havendo, portanto, efeitos significativos dos tratamentos para os demais modelos testados, com exceção da fiabilidade e reflectância da fibra, que, ajustaram-se, também, ao modelo quártico pelo mesmo teste, mas ao nível de 5% de probabilidade. Embora ocorrendo efeitos linear e quadrático significativos dos tratamentos para todas as variáveis, optou-se pela regressão quadrática para expressar os resultados em virtude dos valores mais elevados dos coeficientes de determinação (R^2) observados.

As características físicas da fibra do algodão em função das doses de biofósforo estão representadas nas Figuras 10, 11 e 12. Analisando-se tais Figuras, verifica-se que as variáveis da qualidade física de fibra do algodão foram afetadas pelas doses de biofósforo, uma vez que estas, de uma maneira geral, aumentaram de acordo com a elevação das doses de biofósforo. Todavia, saliente-se que houve um decréscimo dessas variáveis para as maiores doses empregadas, indicando que esse nutriente deve ser aplicado em doses adequadas para uma melhor resposta do algodão. Nesse sentido, estimou-se, através da derivada das equações de regressão, para as variáveis onde é de interesse a obtenção do valor máximo, tais como resistência, comprimento, uniformidade de comprimento, alongação, fiabilidade e reflectância, a dose de biofósforo responsável pela obtenção desse valor (ponto de inflexão da curva), sendo de, 292, 335, 237, 220, 225 e 231 kgN.ha⁻¹, respectivamente. Esses resultados permitem afirmar que a região factível para essas variáveis está compreendida entre as doses de biofósforo equivalentes a 220 e 335 kgN.ha⁻¹. Nesta estimativa excetuou-se as variáveis índice de fibra curta e grau de amarelo tendo em vista que quanto menor for o valor dessas variáveis, melhor será em termos de qualidade tecnológica da fibra do algodão.

Tabela 18 - Médias dos tratamentos das variáveis da qualidade física da fibra do algodão: finura (μg), resistência (gb.tex^{-1}), comprimento (mm 2,5% S. L.), uniformidade de comprimento (%), índice de fibra curta (%), alongação (%), fiabilidade, reflectância (%) e grau de amarelo. Biossólidos em algodoeiro herbáceo: modificações no crescimento, desenvolvimento e ambiente edáfico. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

Tratamento (kgN/ha)	V A R I Á V E I S								
	Finura	Resistência	Comprim.	U. Compr.	IFC	Elongação	Fiabilidade	Reflectância	G. amarelo
T ₁ (0)	----	----	----	----	----	----	----	----	----
T ₂ (60)	4,15	25,35	28,70	82,80	8,10	10,90	1861,00	57,05	9,40
T ₃ (100)	3,56	29,30	29,88	85,28	4,90	9,74	2267,40	72,62	9,10
T ₄ (200)	3,48	29,26	29,88	85,18	5,00	10,48	2300,20	74,52	9,20
T ₅ (250)	3,64	29,96	29,96	85,46	3,96	9,96	2346,20	75,98	8,87
T ₆ (300)	3,68	30,04	30,34	85,76	4,05	10,14	2319,40	75,36	9,20
Média	3,70	28,77	29,74	84,90	5,20	10,23	2218,84	71,10	9,14
BRS1878H	4,5	20,8	28,0	50,5		7,0		61,0	9,9

Tabela 19 - Resumo das análises de variância e de regressão das variáveis da qualidade física de fibra do algodão. Biossólidos em algodoeiro herbáceo: modificações no crescimento, desenvolvimento e ambiente edáfico. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

F.V.	G.L.	Q U A D R A D O M É D I O								
		Finura	Resist.	Comp.	U. Compr.	IFC	Elong.	Fiabilid.	Reflect.	G. amar.
Blocos	4	0,77 ns	22,14ns	48,20ns	322,30ns	4,41ns	6,79ns	191 071,5ns	183,50ns	5,42ns
Tratamentos	5	11,56**	855,28**	859,65**	6 870,00**	13,41**	93,00**	5 278,34**	5 594,12**	76,12**
Linear	1	42,04**	3 141,61**	3 107,54**	24 499,83**	35,90**	332,62**	19 293,99**	20 688,41**	267,17**
Quadrática	1	13,50**	911,40**	994,52**	8 219,44**	28,81**	117,86**	5 674,74**	5 740,92**	94,00**
<i>Polin. 3º Grau</i>	1	0,66ns	3,50ns	10,00ns	110,11ns	2,31ns	2,03ns	1 780,84ns	0,24ns	3,04ns
<i>Polin. 4º Grau</i>	1	0,62ns	126,92ns	103,71ns	900,18ns	0,02ns	10,37ns	850 824,30*	957,87*	11,95ns
<i>Polin. 5º Grau</i>	1	0,98ns	92,99ns	82,44ns	620,48ns	0,03ns	2,17ns	570 372,10ns	583,16ns	4,40ns
Resíduo	20	0,927	39,00	43,35	348	2,66	6,24	188 085,20	186,45	4,62
Total	29									
CV		36,04	29,14	29,93	29,80	51,72	33,55	26,08	25,50	32,19

ns - Valores estatisticamente não significativos.

* -Valores estatisticamente significativos pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

** -Valores estatisticamente significativos pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade.

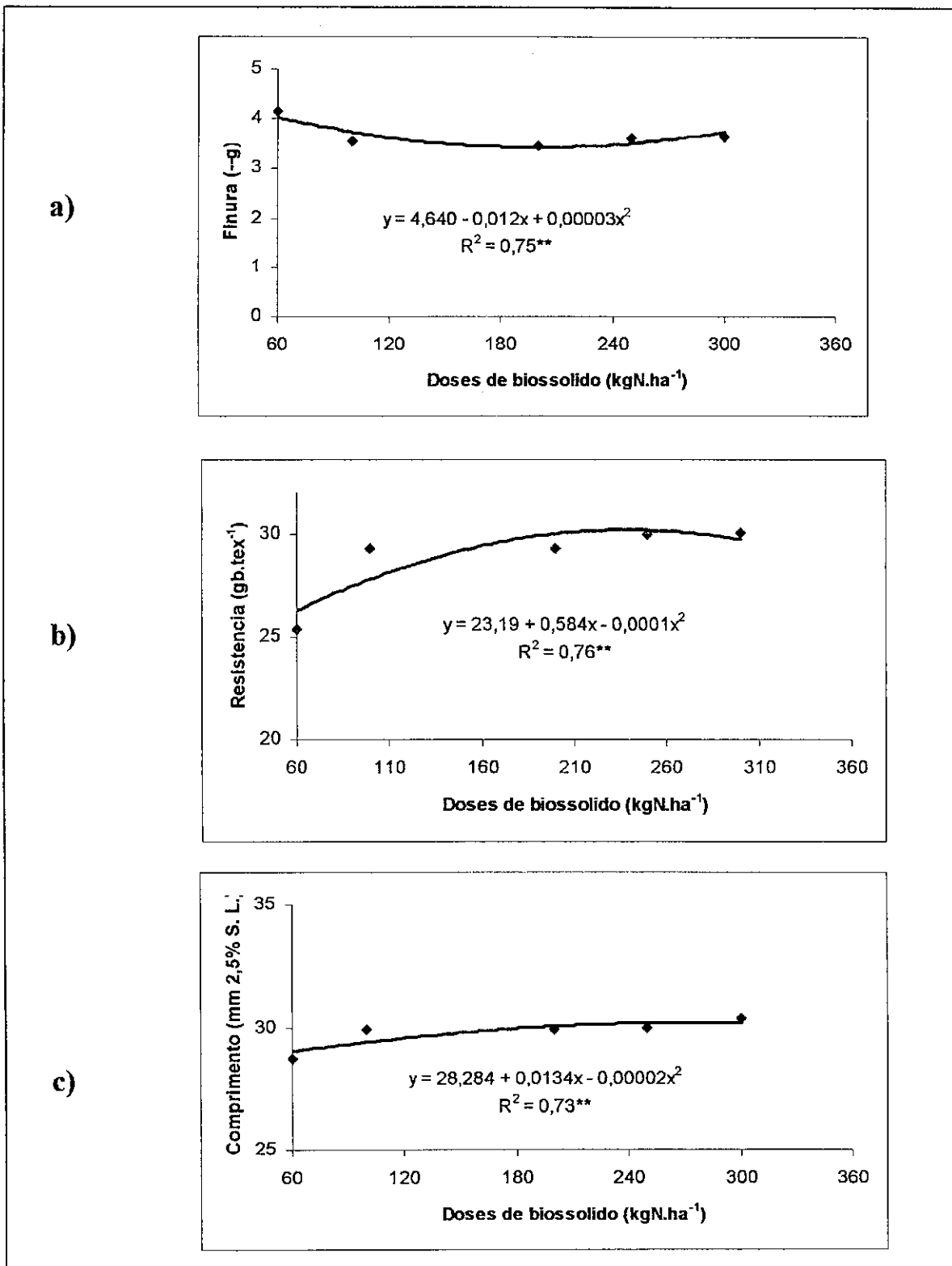


Figura 10 Finura (a), resistência (b), e comprimento (c) de fibra do algodão em função das doses de biossólido. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

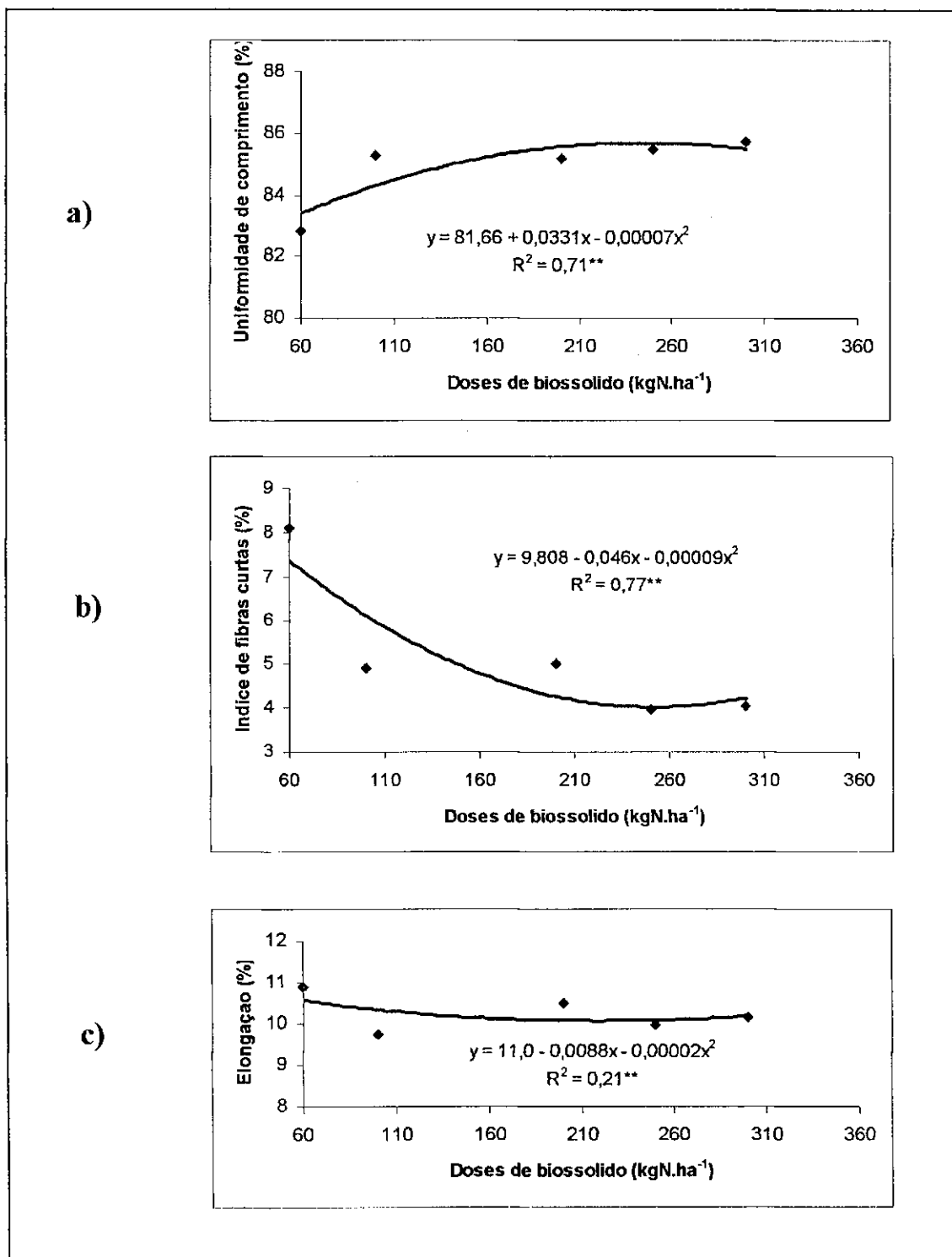


Figura 11 - Uniformidade de comprimento (a), índice de fibra curta (b), e alongação(c) de fibra do algodão em função das doses de bio-sólido. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002

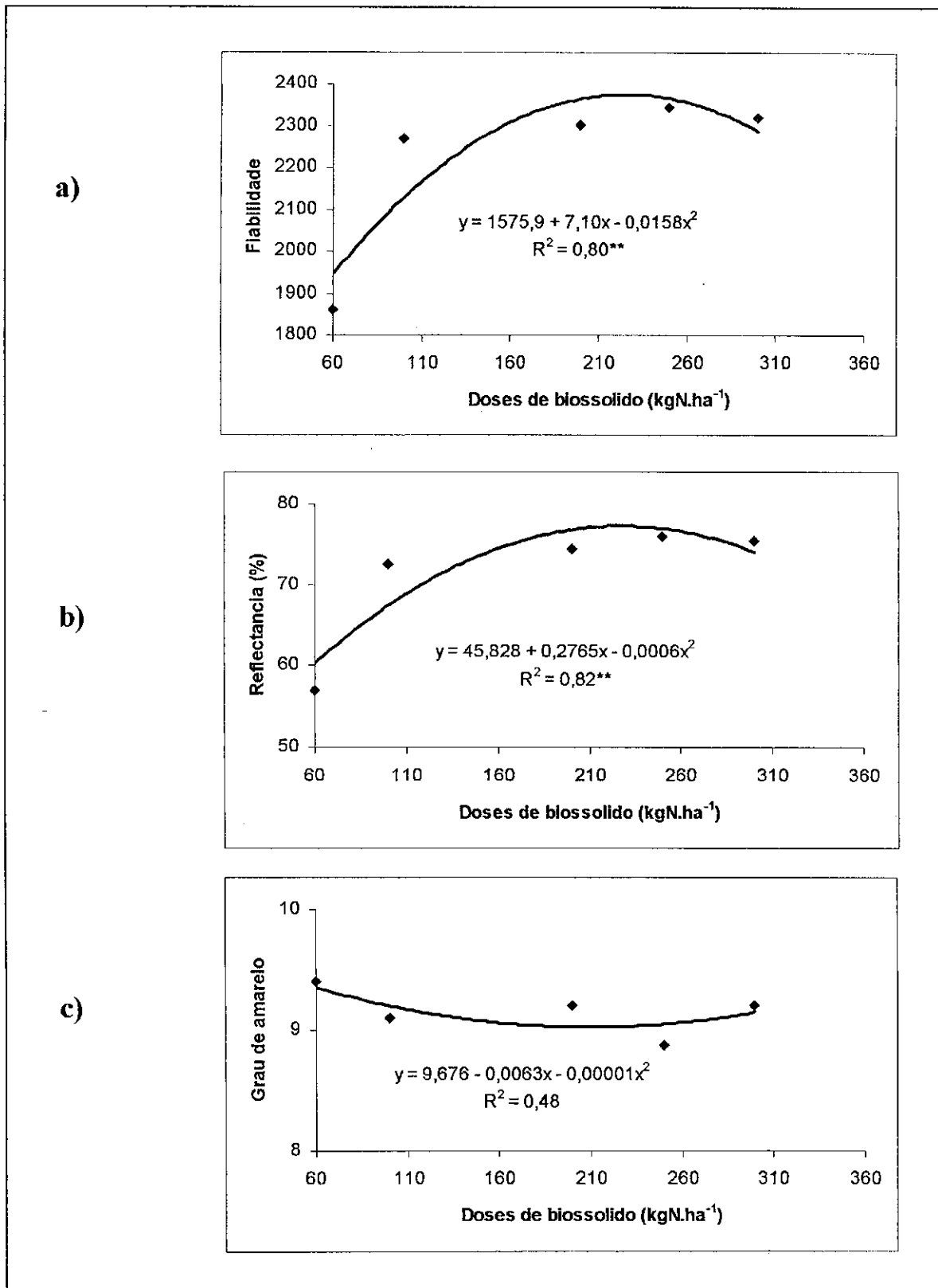


Figura 12 - Fiabilidade (a), reflectância (b), e grau de amarelo (c) de fibra do algodão em função das doses de biossólido. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

Embora as doses de biossólido tenham exercido efeitos significativos sobre as variáveis, alongação (Figura 11c) e grau de amarelo (Figura 12c), verifica-se que, em virtude dos baixos valores dos coeficientes de determinação (0,21 e 0,48, respectivamente), as equações de regressão constantes nas referidas figuras exprimem, segundo Rodrigues (1993), a ausência de relação entre X e Y, isto é, entre as doses de biossólido e estas variáveis: um $R^2 = 0,21$ significa que 21% da variância da alongação (Y) são atribuídos as doses de biossólido (X). Isso, de acordo com esse autor, eleva o que ele denominou de coeficiente de alienação (K), e este coeficiente, que é função do coeficiente de correlação $\{K = (1 - r^2)^{1/2}\}$, exprime a ausência de relação entre X e Y. Portanto, podemos afirmar que há mais ausência de relação do que intensidade de relação entre as doses de biossólido, testadas nesse experimento, e a alongação e o grau de amarelo das fibras.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO DO EXPERIMENTO II

4.3.1) EFEITOS DA APLICAÇÃO DE BIOSSÓLIDO SOBRE O CRESCIMENTO DO ALGODOEIRO

As médias das variáveis, altura de plantas e diâmetro caulinar em função das doses de biossólido e do tempo encontram-se nas Tabelas 20 e 21, respectivamente.

Tabela 20- Valores médios da variável altura de planta (cm) em função das doses de biossólido (kgN.ha^{-1}) e do tempo (dias após a emergência). Biossólidos em algodoeiro herbáceo: modificações no crescimento, no desenvolvimento e no ambiente edáfico. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

DOSES DE BIOSSÓLIDO						
PERÍODO	T ₁ (0)	T ₂ (150)	T ₃ (250)	T ₄ (350)	T ₅ (450)	T ₆ (550)
15	13,7	14,2	11,9	10,8	10,9	9,2
30	28,9	34,6	20,6	17,7	15,3	15,5
45	42,0	63,5	46,2	32,1	27,9	24,7
60	45,3	95,2	90,8	71,4	52,6	44,3
75	45,3	98,4	114,1	99,2	79,9	68,3
90	45,3	98,5	116,6	104,6	87,5	83,6
105	45,1	101,1	117,0	103,9	88,1	84,2
120	50,4	101,3	117,8	105,5	89,5	90,4

Tabela 21- Valores médios da variável diâmetro caulinar (mm) em função das doses de biossólido (kgN.ha^{-1}) e do tempo (dias após a emergência). Biossólidos em algodoeiro herbáceo: modificações no crescimento, no desenvolvimento e no ambiente edáfico. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

DOSES DE BIOSSÓLIDO						
PERÍODO	T ₁ (0)	T ₂ (150)	T ₃ (250)	T ₄ (350)	T ₅ (450)	T ₆ (550)
15	2,59	2,85	2,69	2,41	2,48	2,49
30	4,87	5,89	4,09	3,37	3,43	3,39
45	6,15	9,09	6,93	4,98	4,49	3,92
60	6,56	10,75	11,56	8,80	6,95	5,80
75	6,56	10,58	12,34	10,81	9,20	8,21
90	6,56	10,79	12,51	11,08	9,65	10,31
105	6,38	10,29	12,36	10,97	9,63	10,05
120	6,34	10,52	11,21	10,3	8,93	9,73

As equações, obtidas através de regressão não linear, que permitem o cálculo da altura de plantas e/ou do diâmetro caulinar (Y) em função do tempo (X), para cada um dos tratamentos testados, encontram-se, respectivamente, nas Tabelas 22 e 23.

Tabela 22– Equações exponenciais da altura de planta em função do tempo para cada tratamento. Biossólidos em algodoeiro herbáceo: modificações no crescimento, no desenvolvimento e no ambiente edáfico. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

TRATAMENTO	MODELO	R ²
T ₁ (0)	$y = \frac{46,759}{1 + e^{(2,3585 - 0,0967 * X)}}$	0,98**
T ₂ (150)	$y = \frac{101,67}{1 + e^{(3,3555 - 0,895 * X)}}$	0,99**
T ₃ (250)	$y = \frac{119,42}{1 + e^{(4,4533 - 0,0923 * X)}}$	0,99**
T ₄ (350)	$y = \frac{107,37}{1 + e^{(4,5621 - 0,0875 * X)}}$	0,98**
T ₅ (450)	$y = \frac{92,102}{1 + e^{(3,953 - 0,0727 * X)}}$	0,98**
T ₆ (550)	$y = \frac{92,928}{1 + e^{(3,6064 - 0,0604 * X)}}$	0,99**

** Valores estatisticamente significativos pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 23– Equações exponenciais do diâmetro caulinar em função do tempo para cada tratamento. Biossólidos em algodoeiro herbáceo: modificações no crescimento, no desenvolvimento e no ambiente edáfico. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

TRATAMENTO	MODELO	R ²
T ₁ (0)	$y = \frac{6,5027}{1 + e^{(2,0109 - 0,1053 * X)}}$	0,99**
T ₂ (150)	$y = \frac{10,6787}{1 + e^{(2,5482 - 0,095 * X)}}$	0,99**
T ₃ (250)	$y = \frac{12,3925}{1 + e^{(3,0203 - 0,0796 * X)}}$	0,96**
T ₄ (350)	$y = \frac{11,1895}{1 + e^{(2,8642 - 0,0668 * X)}}$	0,95**
T ₅ (450)	$y = \frac{9,8754}{1 + e^{(2,2763 - 0,0538 * X)}}$	0,96**
T ₆ (550)	$y = \frac{11,0365}{1 + e^{(2,2452 - 0,0428 * X)}}$	0,95**

** Valores estatisticamente significativos pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade.

O modelo adotado foi o mesmo do primeiro experimento. Através das análises pode-se afirmar que as variáveis estudadas se ajustaram, para todos os tratamentos, ao modelo aplicado de forma significativa pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade e, de maneira análoga ao experimento I, com elevados coeficientes de determinação. Através do modelo exponencial obteve-se as curvas que representam a altura de plantas e o diâmetro caulinar em função do tempo para cada um dos tratamentos (Figuras 13 e 14). Ao contrário do que ocorreu até a segunda avaliação do experimento I (30 dias), as plantas da testemunha tiveram maior altura e maior diâmetro de caule do que as plantas cultivadas nos tratamentos adubados com biossólido, todavia esse quadro foi totalmente revertido, de

uma maneira geral, a partir do 60^o dia, isto é, as plantas cultivadas na testemunha passaram a ter menor altura e diâmetro caulinar do que as dos tratamentos que receberam biossólido. Isso deve-se provavelmente a um retardamento da disponibilidade dos nutrientes, uma vez que nesse experimento, as doses de biossólido foram maiores do que as dos primeiro experimento, demandando maior tempo para a mineralização da matéria orgânica e para as transformações do nitrogênio no solo antes de se disponibilizarem às plantas (Buckman & Brady, 1976 e Raij, 1991).

Entre os tratamentos que receberam biossólido verifica-se um aumento tanto da altura de plantas como do diâmetro caulinar em função das doses de biossólido, sendo que, efetivamente, a resposta da cultura para os tratamentos que receberam as maiores dosagens do resíduo ($T_5 = 450 \text{ kgN.ha}^{-1}$ e $T_6 = 550 \text{ kgN.ha}^{-1}$) ficou muito aquém dos demais, indicando que o fornecimento do biossólido em excesso prejudica o algodoeiro. O tratamento T_3 (250 kgN.ha^{-1}) foi o que proporcionou plantas de maior altura (117,8cm) e diâmetro caulinar (12,5mm aproximadamente). Esses valores são superiores aos normalmente atingidos pela cultivar BRS 187 8H que, segundo o CNPA (2000), é considerada de porte intermediário, atingindo, portanto, altura de plantas na faixa de 90 a 100 cm.

No primeiro experimento, a altura de plantas e o diâmetro caulinar atingiram valores máximos de aproximadamente 100cm e 11mm, respectivamente no tratamento que recebeu 300 kgN.ha^{-1} (T_6). Isso permite afirmar que a dose de biossólido que ofertou plantas de maiores altura e diâmetro caulinar foi a correspondente a 250 kgN.ha^{-1} , nesse experimento.

Quando da comparação entre os valores constantes nas Tabelas 12 e 13 (Experimento I) e nas Tabelas 20 e 21 (Experimento II), observa-se que, para a mesma dose de biossólido (250 kgN.ha^{-1}), as plantas do segundo experimento atingiram maior altura e diâmetro caulinar do que as primeiro experimento. Isso deve-se, provavelmente, as condições climáticas mais favoráveis ocorridas durante a condução do segundo experimento, pois no mesmo período do ano anterior, quando da condução do primeiro

experimento, o inverno foi mais vigoroso, afetando a radiação eletromagnética (REM) e a temperatura no interior da casa de vegetação e, conseqüentemente, a altura e o diâmetro caulinar das plantas atingiram valores menores.

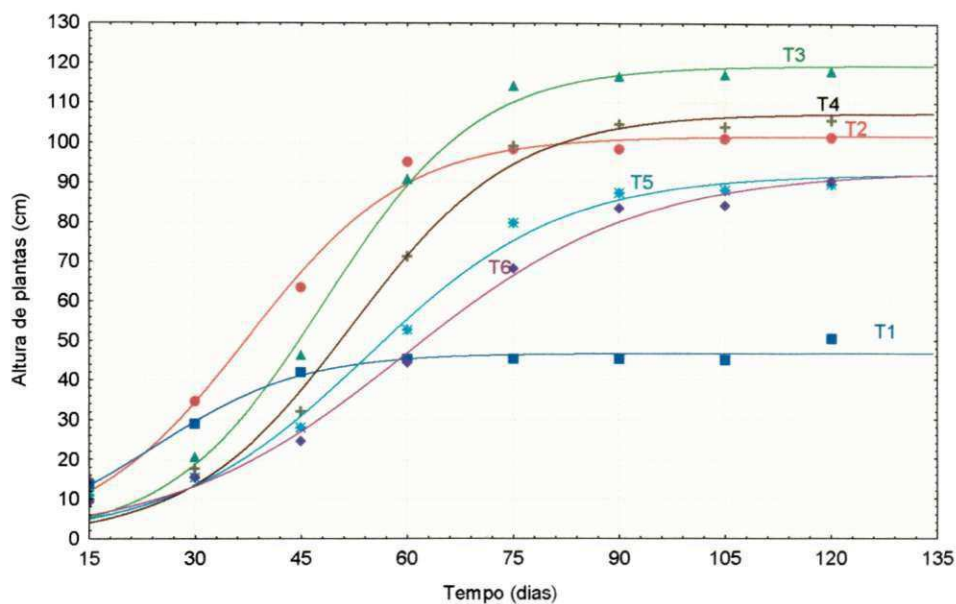


Figura 13 – Altura de plantas em função do tempo de acordo com as doses de biossólido. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

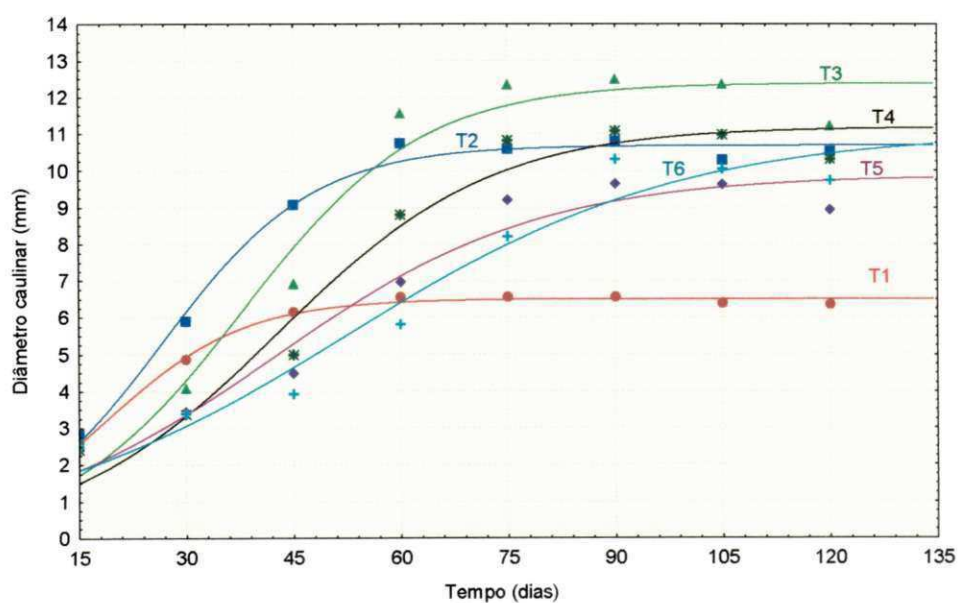


Figura 14 – Diâmetro caulinar em função do tempo de acordo com as doses de biossólido. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

Na Tabela 24 encontra-se o resumo das análises de variância e de regressão da altura de plantas e do diâmetro caulinar em função das doses de biossólido decorridos 120 dias da emergência das plantas.

Tabela 24 – Resumo das análises de variância e de regressão da altura de plantas e do diâmetro caulinar em função das doses de biossólido 120 dias após a emergência. Biossólidos em algodoeiro herbáceo: modificações no crescimento, desenvolvimento e ambiente edáfico. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

F. V.	GL	QUADRADO	MÉDIO
		Altura	Diâmetro
Blocos	4	61,50 ^{ns}	0,29 ^{ns}
Tratamentos	5	2 672,35**	14,95**
Linear	1	2 337,21**	12,77**
Quadrático	1	9 070,02**	42,26**
Cúbico	1	1 580,98**	18,11**
Resíduo	20	173,19	1,30
Total	29		
CV		14,23	12,00

ns - Valores estatisticamente não significativos.

* -Valores estatisticamente significativos pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

** -Valores estatisticamente significativos pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade.

Analisando-se a Tabela 24 verifica-se o efeito significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade das doses de biossólido sobre a altura de plantas e sobre o diâmetro caulinar. Verifica-se, também, que não houve efeito significativo das repetições sobre tais variáveis.

Através do desdobramento da regressão verifica-se que tanto a altura de plantas como o diâmetro caulinar ajustou-se, ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F, aos modelos testados. Embora o coeficiente de determinação do polinômio de 3^o grau tenha apresentado o maior valor, optou-se pelo polinômio do 2^o grau para expressar os resultados, uma vez que esse modelo explica melhor os fenômenos biológicos ocorridos (senescência das plantas).

As Figuras 15 e 16 ilustram, respectivamente, a resposta do algodoeiro em termos de altura de plantas e de diâmetro de caule em função das doses de biofósforo decorridos 120 dias da emergência das plantas. Analisando-se a Figura 22 verifica-se que a dose de biofósforo equivalente a 319 kgN.ha^{-1} seria o limite para a altura máxima de plantas, sem proporcionar decréscimo no rendimento, conforme pode ser verificado, derivando-se a equação de regressão e igualando-a a zero. Analogamente, verificou-se que a dose de biofósforo de 322 kgN.ha^{-1} foi a responsável pelo maior valor do diâmetro caulinar, isto é, foi a responsável pelo ponto de inflexão da curva da Figura 16.

A Figura 17 ilustra a emergência das plantas e a Figura 18 tem-se uma comparação entre as raízes das plantas da testemunha e dos tratamentos que receberam biofósforo.

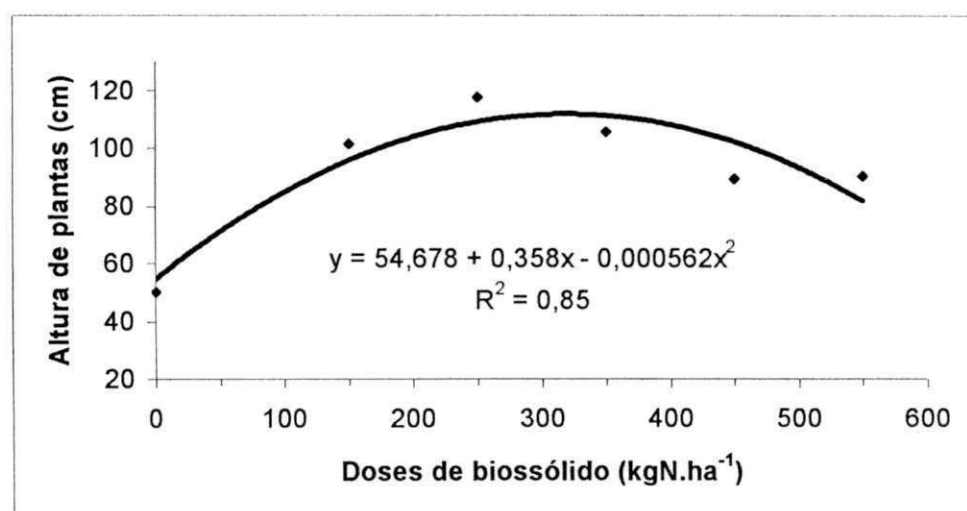


Figura 15 – Altura de plantas 120 dias após a emergência em função das doses de biofósforo. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

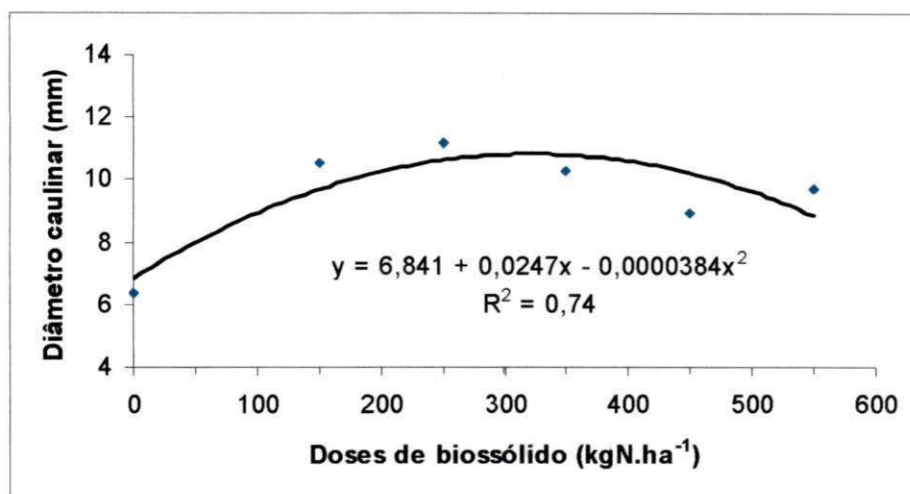


Figura 16 – Diâmetro caulinar 120 dias após a emergência em função das doses de biossólido. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.



Figura 17 – Emergência das plantas no experimento II. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

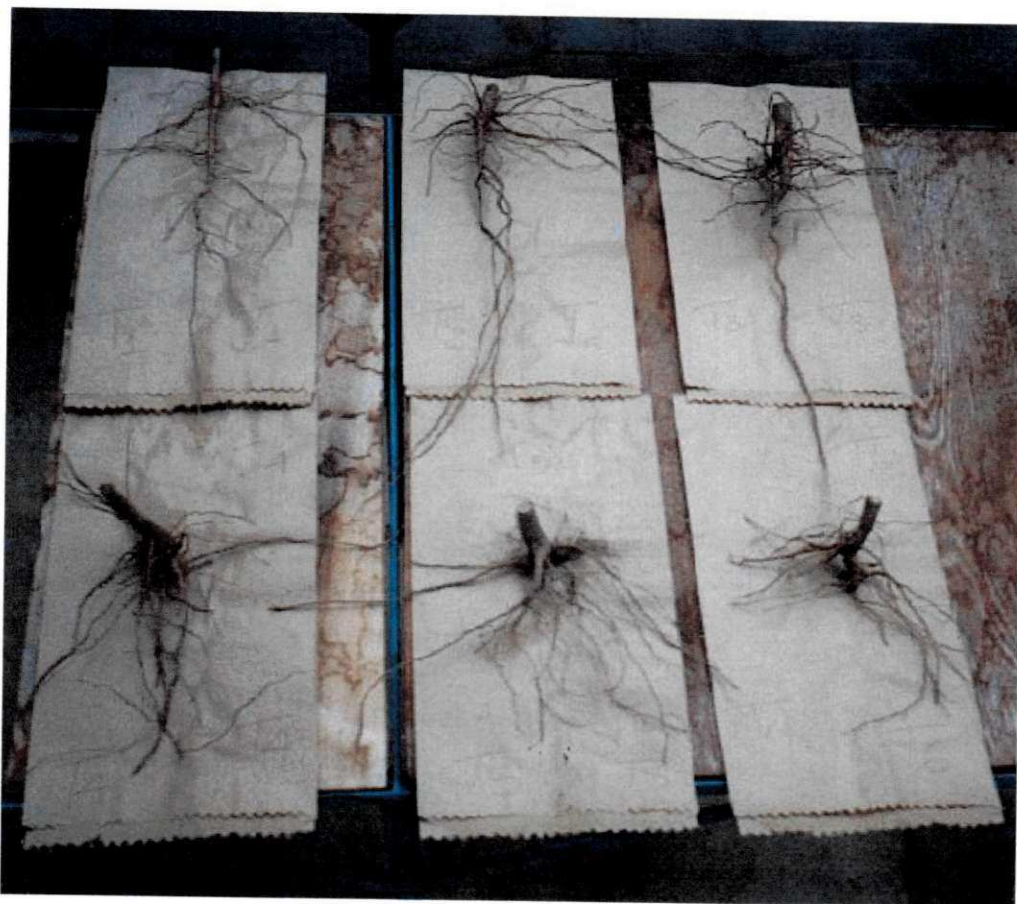


Figura 18 – Comparação entre as raízes das plantas da testemunha e dos tratamentos que receberam biofertilizante. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

Da parte superior e da esquerda para a direita da Figura 18, observa-se, respectivamente, as raízes das plantas cultivadas nos tratamentos T₁ (0 kgN.ha⁻¹), T₂ (150 kgN.ha⁻¹), T₃ (250 kgN.ha⁻¹), T₄ (350 kgN.ha⁻¹), T₅ (450 kgN.ha⁻¹) e T₆ (550 kgN.ha⁻¹). Evidencia-se que as raízes das plantas adubadas com biossólido se desenvolveram mais do que as raízes das plantas da testemunha, porém, quando da comparação entre os tratamentos que receberam o resíduo, verifica-se que, as plantas dos tratamentos T₁, T₂ e T₃ tiveram sua raiz principal bem definida, enquanto que as raízes das plantas dos tratamentos que receberam as maiores doses (T₅ = 450 kgN.ha⁻¹ e T₆ = 550 kgN.ha⁻¹), não se desenvolveram como as demais, ou seja, o excesso de biossólido afetou a geometria das raízes, chegando ao ponto de as atrofiarem.

De acordo com Street & Öpik (1974) existe uma relação diretamente proporcional entre a fitomassa da parte aérea e a fitomassa da raiz das plantas, de forma que, plantas com raízes reduzidas sofrem, na mesma proporção, redução da fitomassa da parte aérea, afetando negativamente o seu crescimento vegetativo. Esse fato explica os baixos índices de crescimento e de produção ofertados pelas plantas cultivadas nos tratamentos que receberam as maiores doses de biossólido.

4.3.2) EFEITOS DA APLICAÇÃO DE BIOSSÓLIDO SOBRE O DESENVOLVIMENTO DO ALGODOEIRO

Na Tabela 25 encontram-se as médias dos tratamentos das variáveis relacionadas ao desenvolvimento do algodoeiro, considerando-se as seguintes fases fenológicas das plantas: surgimento do primeiro botão, da primeira flor e a abertura do primeiro capulho, todas contadas em dias após a emergência das plantas. Na Tabela 26 tem-se o resumo das análises de variância e de regressão dessas variáveis.

Tabela 25 – Valores médios das variáveis de desenvolvimento do algodoeiro: surgimento do primeiro botão (dias), surgimento da primeira flor (dias) e abertura do primeiro capulho (dias). Biossólidos em algodoeiro herbáceo: modificações no crescimento, no desenvolvimento e no ambiente edáfico. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

Tratamento (kgN/ha)	VARIÁVEIS		
	1º Botão	1ª Flor	1º Capulho
T ₁ (0)	33,2	52,2	113,6
T ₂ (150)	28,4	49,2	109,2
T ₃ (250)	36,8	54,2	113,0
T ₄ (350)	39,4	57,4	116,8
T ₅ (450)	38,4	57,4	118,0
T ₆ (550)	40,4	59,0	122,2
Média	36,1	54,9	115,5

Comparando-se com as características da cultivar BRS 187 8H apresentadas na Seção 2.16, verifica-se que, de uma maneira geral, o aumento das doses de biossólido retardou o surgimento do primeiro botão e da primeira flor (essa geralmente surge entre 40-45 dias), bem como a abertura do primeiro capulho nas plantas (ocorre geralmente aos 110 dias), embora isso, aparentemente, não tenha afetado as demais variáveis avaliadas na planta e na pluma e nem atrasou a colheita do algodão que foi realizada, como no primeiro experimento, aos 135 dias.

Esse atraso deve-se, provavelmente, ao fato do algodoeiro herbáceo ser um dos fitossistemas de maior complexidade que a natureza criou. Trata-se de uma planta de crescimento alométrico, ou seja, possui hábito de crescimento indeterminado, o que leva ao surgimento de frutos junto às folhas velhas, com órgãos vegetativos competindo com reprodutivos ao longo da estação. Essa competição, de acordo com Street & Öpik (1974) e Beltrão et al. (1994), faz com que essa malvácea, no caso de excesso de assimilados, invista mais no seu crescimento vegetativo do que nos órgãos reprodutivos, retardando, portanto, o seu desenvolvimento. Esse fato, inclusive, explica o fenômeno denominado “shedding” (queda das estruturas de reprodução da planta do algodoeiro) que é provocado pela crise na transferência de assimilados para os frutos em crescimento e para os botões florais.

O surgimento dos botões florais e a formação das flores são função do crescimento vegetativo, devido ao aparecimento sucessivo de ramos frutíferos e de pontos florais nos ramos existentes. É fator fundamental para o bom rendimento do algodoeiro, o balanço entre o crescimento vegetativo e frutífero, que é afetado, de acordo com Beltrão & Souza (2001), pelas condições de ambiente, umidade e fertilidade do solo.

Observa-se na Tabela 26 que houve efeito significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade dos tratamentos sobre as três fases fenológicas da planta e que o desdobramento da análise de regressão permite afirmar que houve, para as duas primeiras variáveis, um ajuste aos modelos linear e cúbico, enquanto que o surgimento do primeiro capulho ajustou-se ao modelo linear e quártico, porém optou-se, para as três variáveis avaliadas, pela regressão linear por expressar melhor os resultados obtidos (Figura 19).

Tabela 26 - Resumo das análises de variância e de regressão das variáveis de desenvolvimento do algodoeiro. Biossólidos em algodoeiro herbáceo: modificações no crescimento, no desenvolvimento e no ambiente edáfico. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

F. VARIAÇÃO	G. L.	QUADRADO MÉDIO		
		1º Botão	1ª Flor	1º Capulho
Blocos	4	3,800 ^{ns}	2,217 ^{ns}	11,032 ^{ns}
Tratamentos	5	101,972**	62,532**	111,040**
Linear	1	330,286**	253,726**	403,931**
Quadrático	1	0,688 ^{ns}	0,038 ^{ns}	36,022 ^{ns}
Cúbico	1	51,361**	25,671*	48,533 ^{ns}
Quártico	1	122,579**	33,027*	56,579*
Quíntico	1	4,952 ^{ns}	0,202 ^{ns}	10,134 ^{ns}
Resíduo	20	4,840	5,617	11,372
Total	29			
CV (%)		6,10	4,30	3,10

ns – Valores estatisticamente não significativos.

* - Significativos pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

* - Significativos pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade.

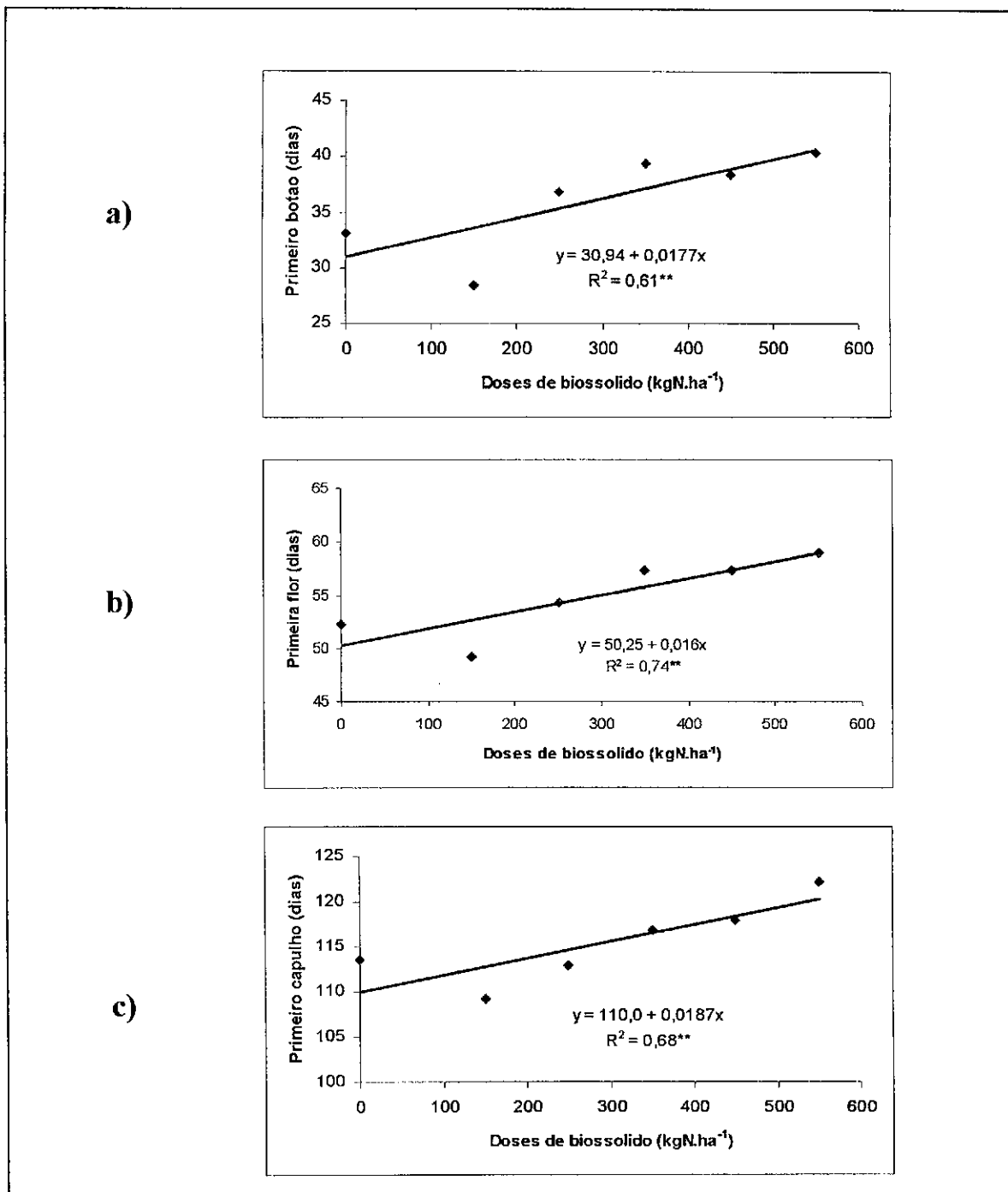


Figura 19 - Surgimento do primeiro botão (a), da primeira flor (b), e abertura do primeiro capulho (c) no algodoeiro em função das doses de bio-sólido. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

4.3.3) EFEITOS DA APLICAÇÃO DO BIOSSÓLIDO SOBRE A PRODUÇÃO DO ALGODOEIRO

As médias dos tratamentos das variáveis relacionadas à produção do algodoeiro herbáceo em função das doses de biossólido aplicadas encontram-se na Tabela 27, e na Tabela 28 tem-se o resumo das análises de variância e de regressão das referidas variáveis.

De uma maneira geral, observa-se (Tabela 27) que as variáveis de produção do algodoeiro entre os tratamentos que foram adubados com biossólido aumentaram até o tratamento T₃ (250 kg N.ha⁻¹), a partir daí houve uma diminuição de tais variáveis com a elevação das doses de biossólido, especialmente nas doses maiores, ou seja, os tratamentos T₅ (450 kg N.ha⁻¹) e T₆ (550 kg N.ha⁻¹), devido, provavelmente, ao excesso de cálcio e magnésio no solo, ocasionado por essas doses, que aumentou o seu pH que, por sua vez, diminui a disponibilidade de micronutrientes (Fe, B, Cu, Zn, Mn), culminando com a queda de produção. O excesso desses nutrientes também pode ter afetado, em termos de fertilidade do solo, as relações satisfatórias com os demais nutrientes, como, por exemplo, o potássio, prejudicando o rendimento da plantas (Raij, 1991). As exceções foram as variáveis peso de 01 capulho e porcentagem de fibra que, à semelhança do que ocorreu no primeiro experimento, oscilaram com a elevação das doses de biossólido. Quando da comparação com a testemunha (T₁) todos os tratamentos que receberam biossólido tiveram suas variáveis de produção maiores, com exceção, análogo ao ocorrido no experimento I, da porcentagem de fibra que diminui de acordo com a elevação das doses.

Com os resultados apresentados na Tabela 28 evidencia-se que as doses de biossólido empregadas afetaram significativamente pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade as variáveis de produção avaliadas, com exceção do peso de 100 sementes cujo efeito foi significativo pelo mesmo teste, mas ao nível de 5% de probabilidade, da porcentagem de fibra e da relação peso seco da parte aérea/peso seco raiz cujos tratamentos não foram significativos, indicando que as doses de biossólido não afetaram estas variáveis.

Tabela 27 - Médias dos tratamentos das variáveis de produção do algodoeiro: número de capulho/planta, peso de 01 capulho (g), peso do algodão em caroço/planta (g), peso de pluma/planta (g), porcentagem de fibra (%), peso de 100 sementes (g), fitomassa parte aérea (g), fitomassa raiz (g), fitomassa total (g) e relação peso seco da parte aérea/peso seco raiz. Biossólidos em algodoeiro herbáceo: modificações no crescimento, no desenvolvimento e no ambiente edáfico. EMBRAPA ALGODÃO, Campina Grande, PB. 2002.

Tratamento (kgN/ha)	V A R I Á V E I S									
	Nº de Cap.	Peso de 1 cap.	Peso alg. c/caroço	Peso de pluma	% fibra	Peso 100 sem.	Fit. Parte aérea	Fitom. da raiz	Fitomassa total	Rel. fit. aérea/fit.raiz
T ₁ (0)	2,10	3,62	7,62	3,12	40,30	10,48	15,40	2,92	17,29	8,21
T ₂ (150)	8,20	5,08	41,44	16,46	39,64	11,54	68,57	6,07	74,64	11,31
T ₃ (250)	15,30	3,96	60,24	23,44	38,78	12,10	76,18	5,83	82,02	13,69
T ₄ (350)	13,00	4,30	55,38	21,92	39,42	10,54	59,39	4,97	64,36	11,73
T ₅ (450)	10,70	3,58	37,42	14,64	37,74	11,44	29,84	3,45	33,30	9,07
T ₆ (550)	10,70	3,14	33,40	12,56	37,60	11,18	36,17	3,65	39,83	11,73
Média	10,00	3,95	39,25	15,36	38,91	11,20	47,58	4,47	51,90	10,96

Tabela 28 - Resumo das análises de variância e de regressão das variáveis de produção do algodoeiro. Biossólidos em algodoeiro herbáceo: modificações no crescimento, no desenvolvimento e no ambiente edáfico. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

F.V.	G.L.	Q U A D R A D O M É D I O									
		Nº de Cap.	Peso de 1 cap.	Peso alg. c/caroço	Peso de pluma	% de fibra	Peso de 100 sem.	Fit. parte aérea	Fitom. da raiz	Fitomassa total	Fit.aérea/ Fit.raiz
Blocos	4	2,04ns	0,66ns	33,98ns	12,92ns	3,56ns	0,87ns	184,41ns	0,94ns	201,65ns	3,45ns
Tratamentos	5	103,72**	2,30**	1743,58**	267,70**	5,83ns	1,94*	2877,98**	13,02**	3270,87**	19,92ns
Linear	1	165,95**	3,07*	895,68**	115,54**	24,60**	0,19ns	60,36ns	0,00ns	60,07ns	576ns
Quadrática	1	276,05**	3,72**	6729,60**	1071,04**	0,03ns	1,63ns	8722,74**	37,76**	9908,37**	29,52ns
<i>Polin. 3º Grau</i>	1	33,45**	1,26ns	865,14**	121,07**	0,21ns	3,03**	5429,23**	26,18**	6209,44**	47,19ns
<i>Polin. 4º Grau</i>	1	28,80**	1,30ns	227,33ns	30,64ns	0,83ns	0,71ns	134,93ns	0,36ns	121,38ns	16,68ns
<i>Polin. 5º Grau</i>	1	14,36**	2,15*	0,14ns	0,22ns	3,43ns	4,11**	42,56ns	0,80ns	55,08ns	0,48ns
Resíduo	20	2,80	0,38	55,55	10,20	2,85	0,63	272,80	1,04	280,53	20,52
Total	29										
CV		16,99	15,73	18,99	20,79	4,35	7,08	34,65	23,61	32,26	41,34

ns - Valores estatisticamente não significativos.

* -Valores estatisticamente significativos pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

** -Valores estatisticamente significativos pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade.

O desdobramento da análise de regressão revelou que cada variável de produção avaliada se ajustou de forma bastante diferenciada aos modelos testados. O número de capulho/planta, por exemplo, se ajustou de forma significativa ao nível de 1% de probabilidade a todos os modelos testados, enquanto as demais variáveis se ajustaram, em sua maioria, aos modelos, linear, quadrático e cúbico. Embora ocorrendo efeitos significativos das doses de biofóssido de forma diversificada, optou-se, para todas as variáveis, pela regressão quadrática, devido o baixo valor dos coeficientes de determinação apresentado pelos modelos lineares. A variável peso de 100 sementes, excepcionalmente, se ajustou aos modelos cúbico e quártico, porém, pelo mesmo motivo exposto acima, optou-se pelo modelo cúbico para expressar o resultado.

Através da derivação das equações de regressão, calculou-se as doses de biofóssidos equivalentes a 302, 298, 365, 276, 280, 295 e 290 kgN.ha⁻¹, como aquela responsável pelo: número máximo do peso de algodão em caroço, peso de pluma, número de capulhos/planta, fitomassa da parte aérea, fitomassa da raiz, fitomassa total e peso de 01 capulho, respectivamente, o que permite afirmar que a região factível de produção dessas variáveis situa-se entre as doses 276 e 365 kgN.ha⁻¹.

As Figuras 20, 21 e 22 mostram os efeitos da aplicação das doses de biofóssido sobre tais variáveis. Com a análise dessas Figuras pode-se afirmar que o fornecimento de biofóssido em quantidades adequadas favorece as variáveis de produção do algodoeiro e que seu fornecimento em excesso prejudica a produção das plantas. Os decréscimos verificados nessas variáveis, principalmente a partir da dosagem equivalente a 350kg N.ha⁻¹ (T₄), eram esperados uma vez que, qualquer nutriente, só é considerado essencial às plantas quando se encontra na solução do solo em forma assimilável e numa concentração ótima que possa assegurar o seu melhor aproveitamento. As concentrações elevadas de biofóssido, principalmente nos tratamentos T₅ (450 kgN.ha⁻¹) e T₆ (550 kgN.ha⁻¹) afetaram o aproveitamento do biofóssido pela plantas, culminando com os decréscimos verificados nos valores de todas as variáveis de produção avaliadas. Uma das leis básicas da fertilidade do solo, a lei do máximo, estabelece que, qualquer fator de produção, quando em excesso, tende a aumentá-la ou até diminuí-la.

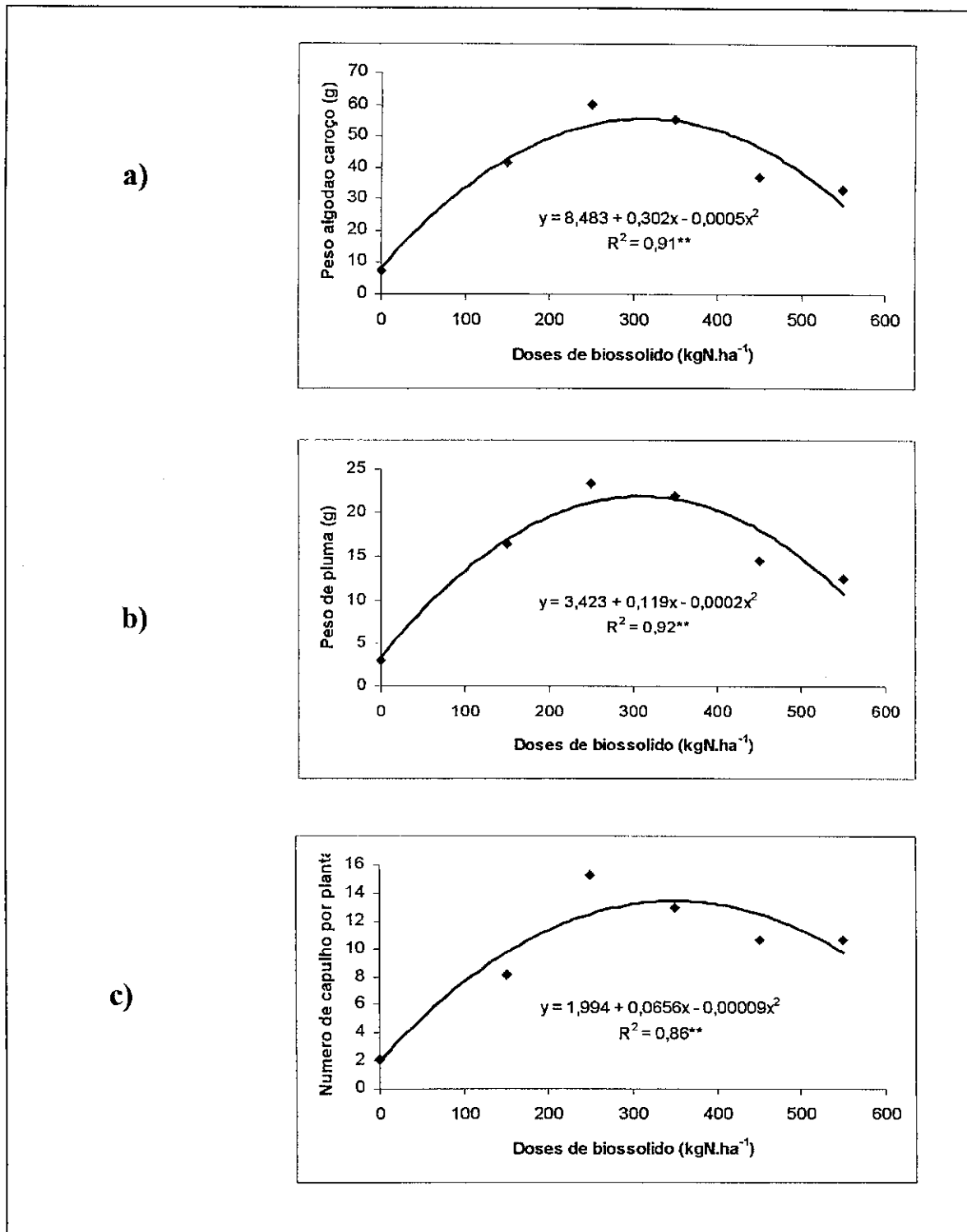


Figura 20 - Peso do algodão em caroço (a), peso de pluma (b) e número de capulho(c) em função das doses de bio-sólido. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

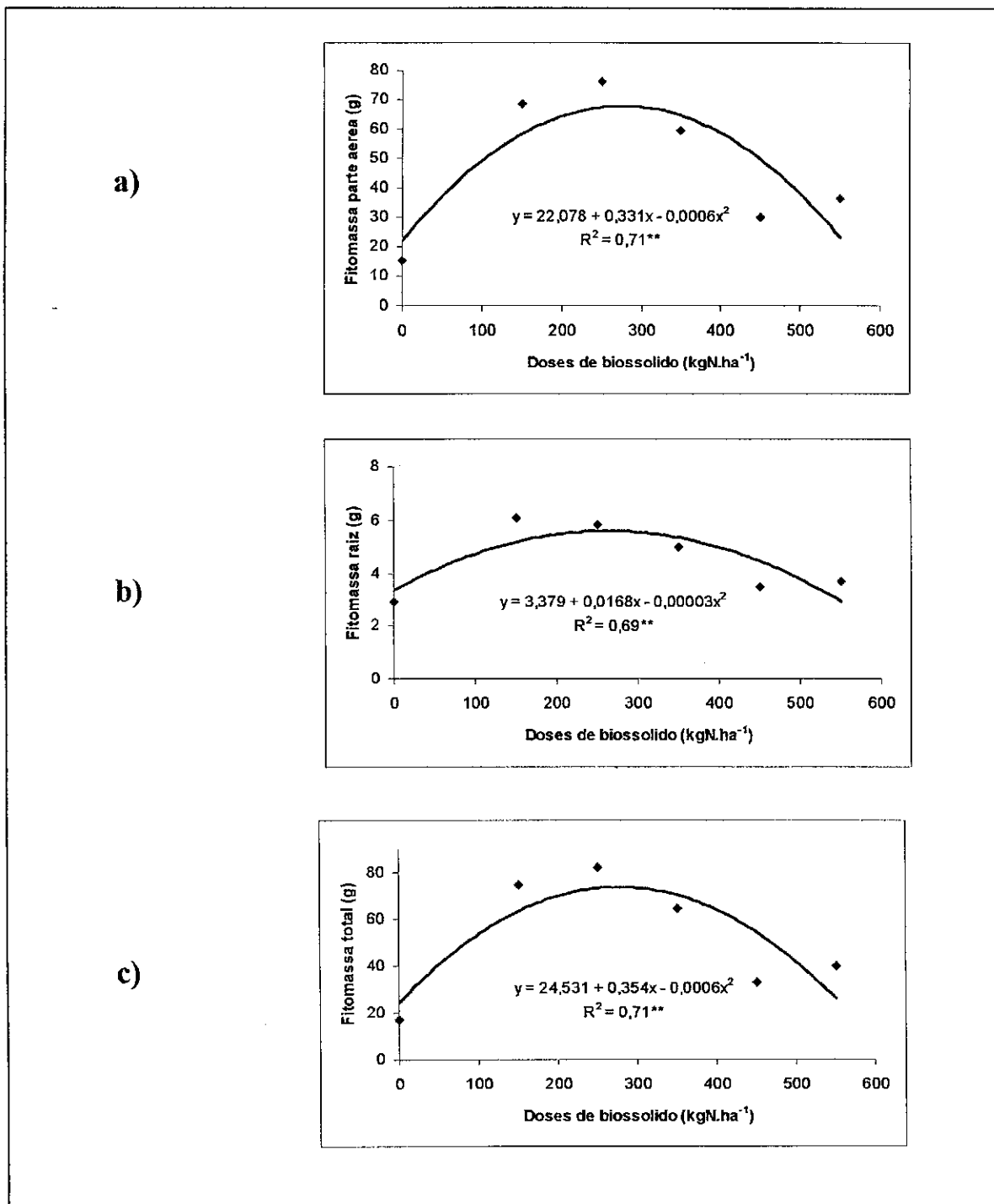


Figura 21 - Fitomassa da parte aérea (a), fitomassa da raiz (b) e fitomassa total (c) em função das doses de biofósforo. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

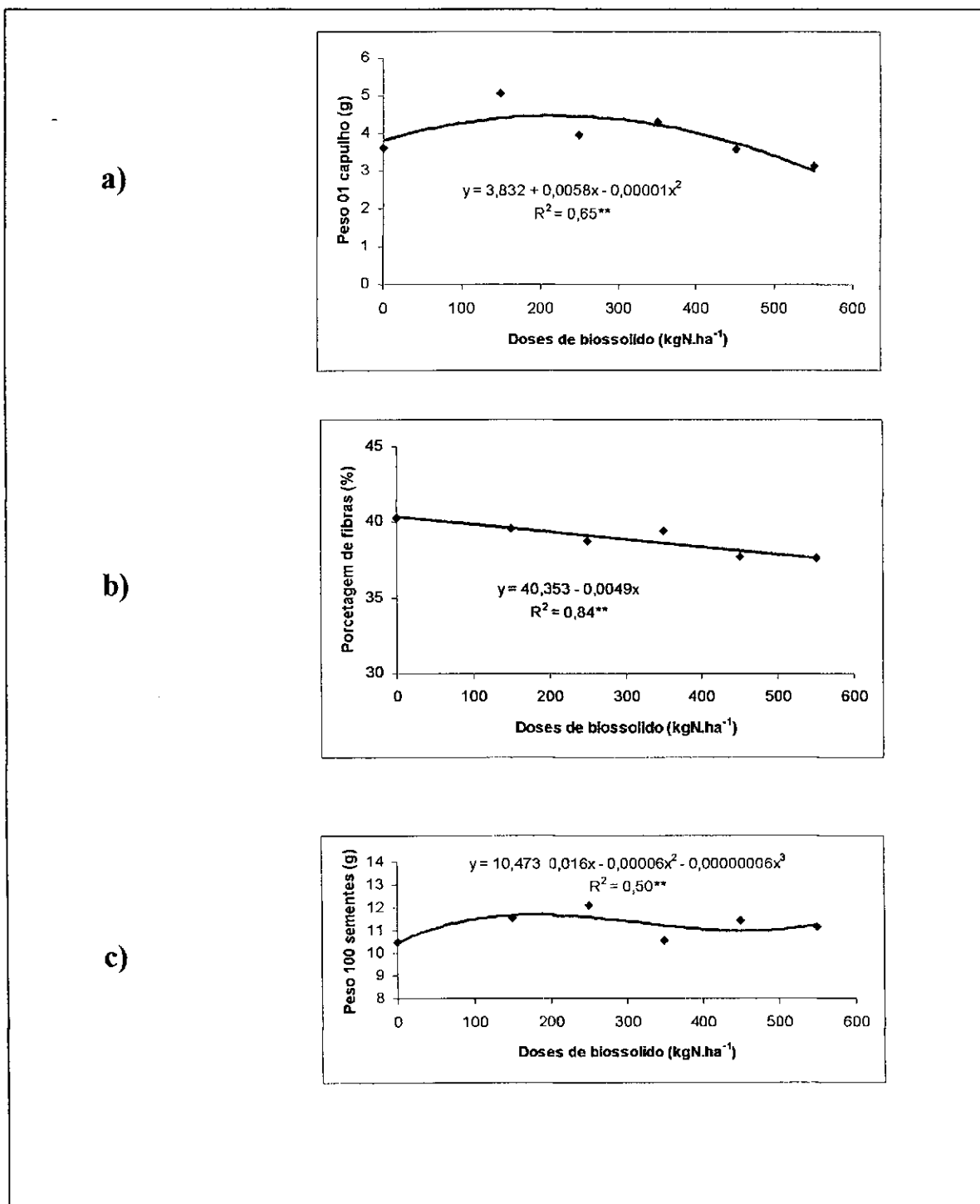


Figura 22 – Peso de um capulho (a), percentagem de fibra (b) e peso de 100 sementes (c) em função das doses de biosólido. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

4.3.4) EFEITOS DA APLICAÇÃO DE BIOSSÓLIDO SOBRE A QUALIDADE FÍSICA DE FIBRA DO ALGODÃO

Na Tabela 29 encontram-se as médias dos tratamentos das variáveis relacionadas à qualidade física de fibra do algodão e na Tabela 30 tem-se o resumo das análises de variância e de regressão dessas variáveis.

Mais uma vez a quantidade de pluma produzida pela testemunha (T_1) não foi suficiente para análise da qualidade física de fibra no HVI. Saliente-se que a variável índice de fibras curtas foi sempre inferior a 3,5 (Tabela 29) para todos os tratamentos que receberam biossólido, o que é benéfico em termos de qualidade tecnológica da pluma, uma vez que isso significa que todas as fibras avaliadas tiveram comprimento superior a 12,7 mm. No primeiro experimento esse índice tendeu a diminuir com a elevação das doses de biossólido (observa-se na Tabela 18 que o mesmo oscilou entre 8,10 e 3,6). Esses resultados são devidos aos nutrientes presentes no biossólido que, provavelmente, proporcionaram aumento no comprimento das fibras de algodão e, por conseguinte, diminuição do índice de fibras curtas. Beltrão et al. (2002) destaca que o algodoeiro em condições nutricionais favoráveis produz plumas com maior maturidade e conseqüentemente com maiores comprimentos de fibras, uma vez que, segundo esses pesquisadores, o índice de fibras curtas está relacionado com o balanceamento dos assimilados.

À semelhança do que ocorreu no primeiro experimento, verifica-se (Tabela 29) que, em média, os valores apresentados pelas variáveis relacionadas com a qualidade física de fibra foram superiores aos comumente encontrados para a cultivar utilizada nos testes, com exceção, da finura e do grau de amarelo que, mais uma vez, apresentaram valores inferiores aos constantes na Tabela 6, o que, sob o ponto de vista tecnológico da fibra, é satisfatório.

As doses de biossólido empregadas nesse experimento proporcionaram fibras com a mesma classificação do primeiro experimento, com exceção da finura que foi classificada como fibra média.

Tabela 29 – Valores médios das variáveis da qualidade física de fibra do algodão: finura (μg), resistência (gb/tex), comprimento (mm 2,5% S. L.), uniformidade de comprimento (%), índice de fibra curta (%), alongação (%), fiabilidade, reflectância (%) e grau de amarelo. Biossólidos em algodoeiro herbáceo: modificações no crescimento, desenvolvimento e ambiente edáfico. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

Tratamento (kgN/ha)	V A R I Á V E I S								
	Finura	Resistência	Comprim.	U. Compr.	IFC	Elongação	Fiabilidade	Reflectância	G. amarelo
T ₁ (0)	----	----	----	----	----	----	----	----	----
T ₂ (150)	4,08	29,18	30,52	86,88	<3,5	10,10	2339,40	79,60	9,36
T ₃ (250)	4,66	28,68	30,42	86,74	<3,5	10,36	2273,40	79,38	9,30
T ₄ (350)	4,06	28,96	30,66	87,04	<3,5	10,48	2332,40	79,74	9,72
T ₅ (450)	3,88	30,22	31,82	87,32	<3,5	9,92	2398,80	78,76	9,56
T ₆ (550)	3,88	29,72	32,06	86,64	<3,5	9,42	2385,40	78,38	9,62
Média	4,10	29,34	31,10	86,91	<3,5	10,06	2345,88	79,12	9,50
BRS1878H	4,5	20,8	28,0	50,5		7,0		61,0	9,9

Tabela 30 - Resumo das análises de variância e de regressão das variáveis da qualidade física de fibra do algodão. Biossólidos em algodoeiro herbáceo: modificações no crescimento, desenvolvimento e ambiente edáfico. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

F.V.	G.L.	Q U A D R A D O M É D I O								
		Finura	Resist.	Comp.	U. Compr.	IFC	Elong.	Fiabilid.	Reflect.	G. amar.
Blocos	4	0,21ns	6,73ns	1,16ns	0,39ns	----	0,50ns	16689,30ns	1,45ns	0,60ns
Tratamentos	5	14,50**	722,78**	808,78**	6 296,76**	----	84,96**	4 571 654,00**	5219,38**	75,51**
Linear	1	23,66**	1 628,20**	1930,06**	13 504,89**	----	155,63**	10 638 750,00**	10838,67**	172,33**
Quadrática	1	32,70**	1 195,16**	1 279,26**	11 321,47**	----	188,54**	7 300 189,00**	9625,99**	130,91**
Polin. 3º Grau	1	14,95**	564,70**	629,00**	5 110,33**	----	63,68**	3 431 880,00**	4381,12**	**56,30
Polin. 4º Grau	1	1,17**	209,11**	190,71**	1 395,46**	----	14,34**	1 299 472,00**	1110,52**	14,79**
Polin. 5º Grau	1	0,02ns	16,71*	14,84**	151,70**	----	2,62**	188 026,70**	140,60**	3,26**
Resíduo	20	0,09	3,74	1,27	0,59	----	0,32	131 136,40	1,02	0,25
Total	29									
CV		8,94	7,89	4,35	1,06	0,00	6,80	4,16	1,53	6,3

ns - Valores estatisticamente não significativos.

* - Valores estatisticamente significativos pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

** - Valores estatisticamente significativos pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade.

Com o resumo da análise de variância (Tabela 30) verifica-se que houve efeito significativo de todos os tratamentos pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade para todas as variáveis avaliadas. O desdobramento da regressão permite afirmar que, ao contrário do ocorrido no experimento I, onde tais variáveis se ajustaram aos modelos linear e quadrático, houve um ajuste a todos os modelos testados na correlação polinomial (do linear ao quártico), isto é, houve efeito significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade dos tratamentos sobre as variáveis da qualidade física de fibra do algodão, com exceção apenas da finura, onde o efeito foi até a ordem quártica, e a resistência da fibra, onde o efeito foi significativo até a quinta ordem, porém ao nível de 5% de probabilidade. Embora tenham ocorrido efeitos significativos das doses de bissólido sobre tais variáveis, para todos os modelos testados, optou-se pelo polinômio de 3º grau para expressar os resultados, em virtude dos valores mais elevados dos coeficientes de determinação (R^2) observados (Figuras 23, 24 e 25).

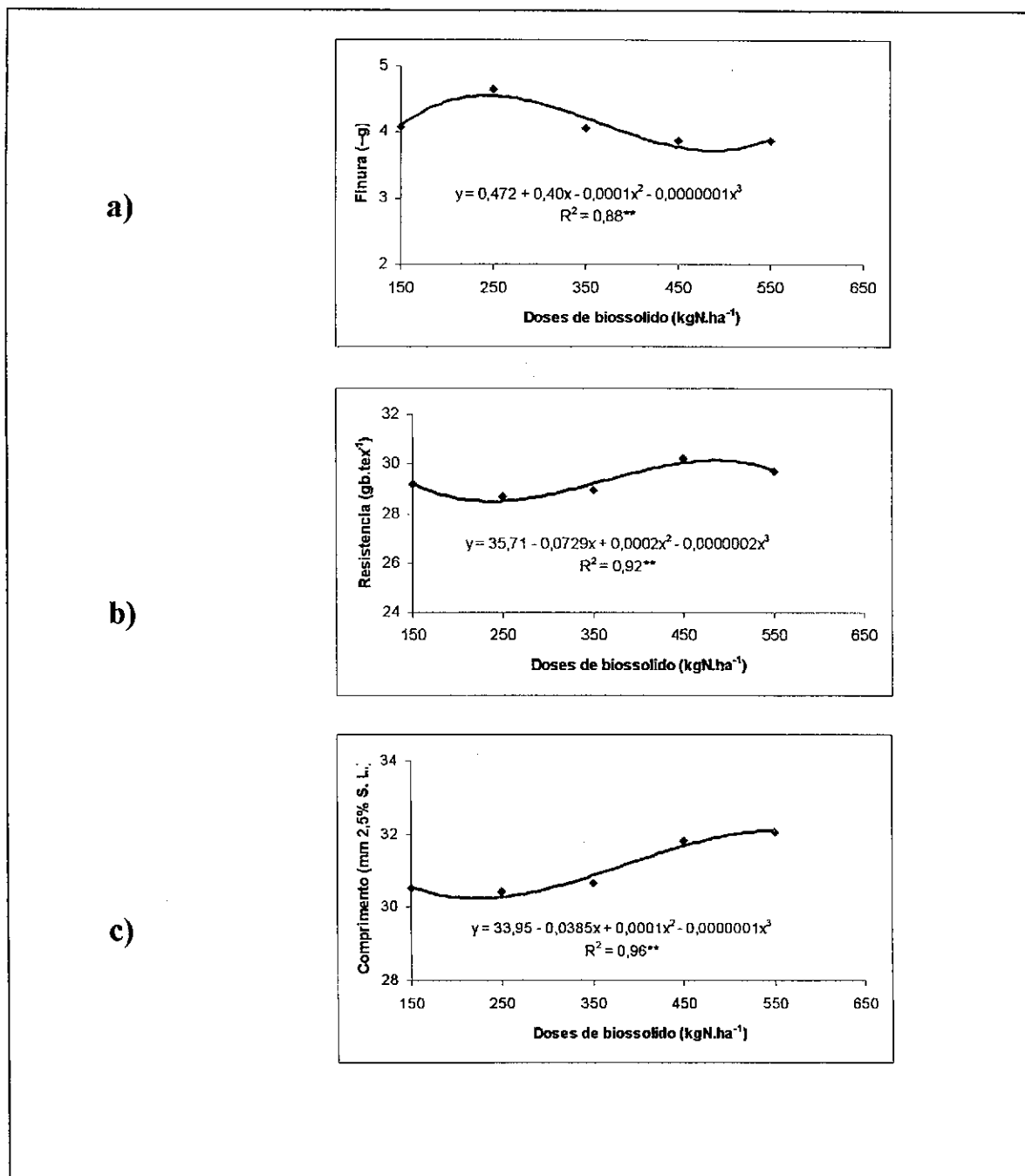


Figura 23 - Finura (a), resistência (b), e comprimento (c) da fibra de algodão em função das doses de biossólido. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

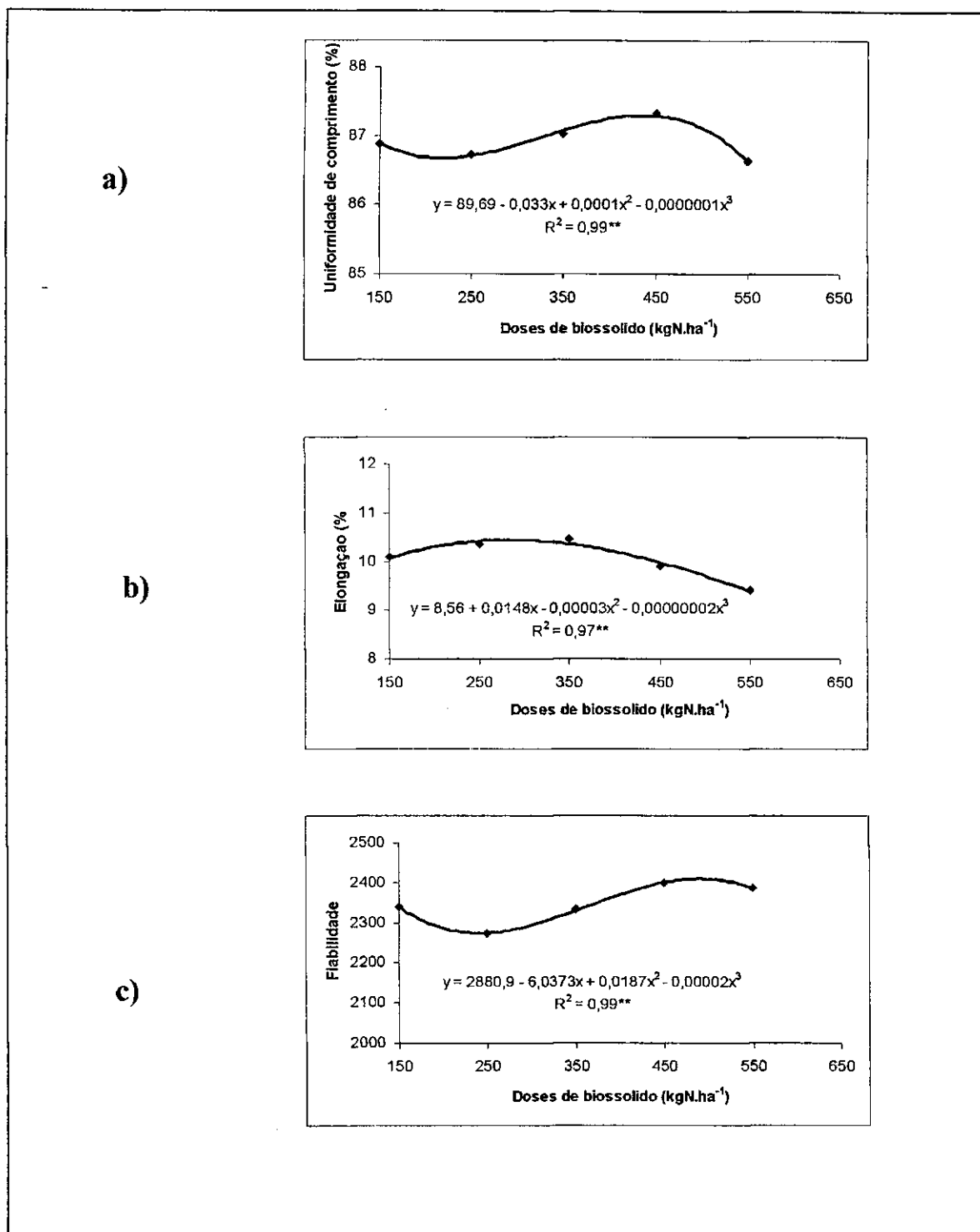


Figura 24- Uniformidade de comprimento (a), alongação (b) e fiabilidade (c) de fibra do algodão em função das doses de biossólido. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

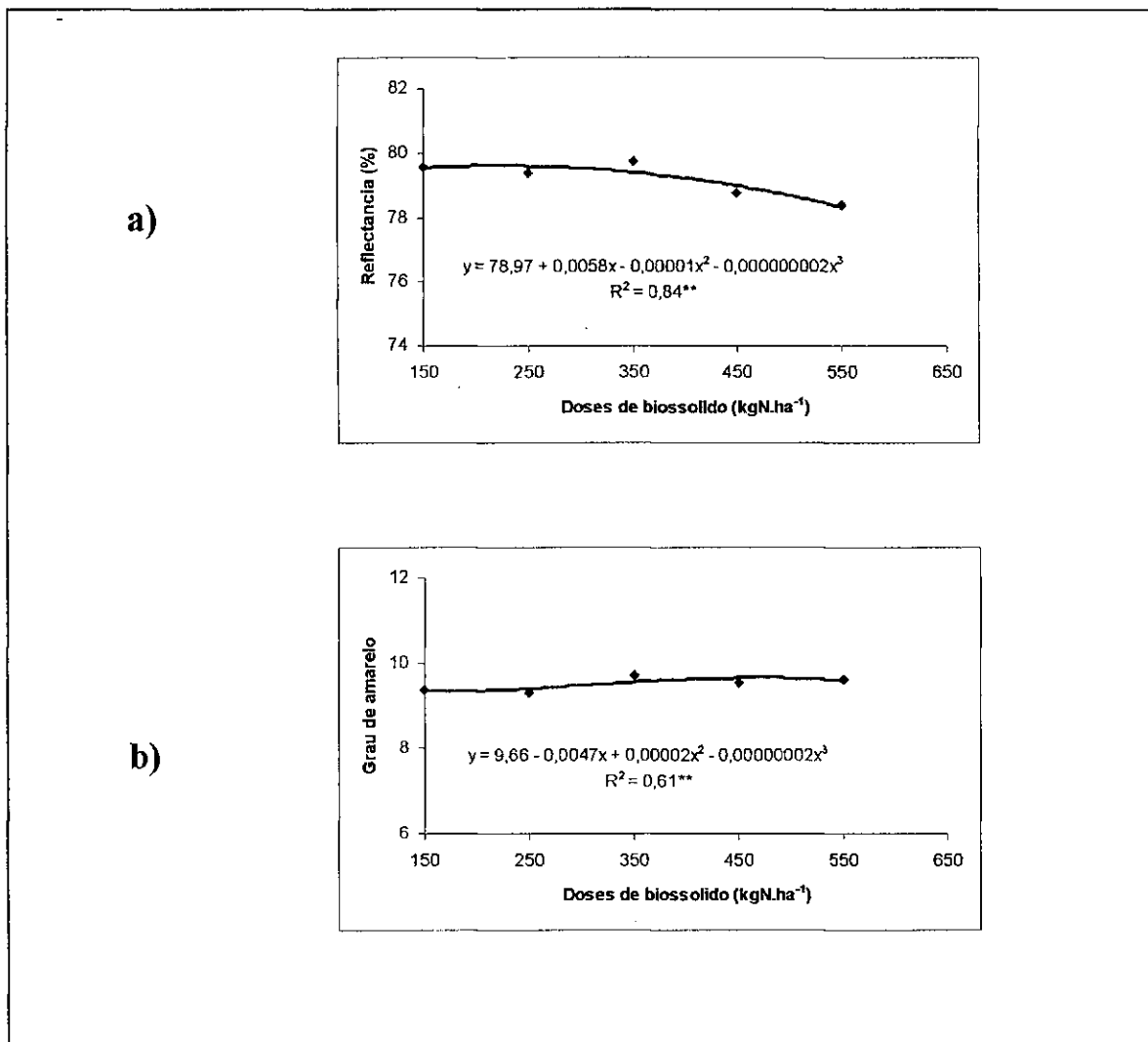


Figura 25- Reflectância (a), e grau de amarelo (b) de fibra do algodão em função das doses de biossólido. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

4.3.5) EFEITOS DA APLICAÇÃO DE BIODOSSÍLIDO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO

As médias dos tratamentos das variáveis relacionadas com as características químicas do solo, após a coleta do experimento, encontram-se na Tabela 31 e o resumo das análises de variância e de regressão dessas variáveis encontra-se na Tabela 32

Tabela 31 – Valores médios das variáveis químicas do solo: nitrogênio total (%), fósforo ($\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$), potássio ($\text{mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$), cálcio ($\text{mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$), magnésio ($\text{mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$) e matéria orgânica ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$). Biossólidos em algodoeiro herbáceo: modificações no crescimento, desenvolvimento e ambiente edáfico. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

Tratamentos	V A R I Á V E I S					
	N	P	K	Ca	Mg	M. O.
T ₁ (0)	0,04	3,81	0,66	16,80	7,20	7,00
T ₂ (150)	0,04	18,26	0,60	30,60	8,20	7,54
T ₃ (250)	0,04	21,54	0,54	32,20	9,40	7,70
T ₄ (350)	0,05	50,38	0,58	34,18	9,60	8,00
T ₅ (450)	0,05	56,00	0,48	36,20	9,60	8,70
T ₆ (550)	0,06	80,50	0,68	36,40	11,00	10,58
Média	0,047	38,415	0,590	31,062	9,167	8,252

Tabela 32 - Resumo das análises de variância e de regressão das variáveis químicas do solo. Biossólidos em algodoeiro herbáceo: modificações no crescimento, desenvolvimento e ambiente edáfico. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

F.V.	GL	QUADRADO					MÉDIO	
		N	P	K	Ca	Mg	MO.	
Blocos	4	0,0001ns	76,26ns	0,043ns	11,71*	2,167ns	2,49ns	
Tratamentos	5	0,0003**	4 112,33**	0,028*	269,53**	8,592**	8,065**	
Linear	1	0,0011**	19 407,34**	0,005ns	1062,20**	39,801**	32,52**	
Quadrático	1	0,0002ns	542,08ns	0,068*	236,10**	0,124ns	5,54ns	
Cúbico	1	0,0001ns	3,01ns	0,244ns	---	0,858ns	2,198ns	
Resíduo	20	0,0001	141,78	0,011	3,620	1,627	1,895	
Total	29							
CV		16,62	30,99	17,61	8,58	13,90	16,68	

ns - Valores estatisticamente não significativos.

* Valores estatisticamente significativos pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

** - Valores estatisticamente significativos pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade.

Com o resumo da análise de variância (Tabela 32) evidencia-se o efeito significativo dos tratamentos sobre as características químicas do solo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade, com exceção dos teores de potássio onde o efeito significativo foi ao nível de 5% pelo mesmo teste. Através do desdobramento da análise de regressão verifica-se aumento linear e significativo para as variáveis estudadas de acordo com o aumento das doses de biossólido, com exceção dos teores de potássio, onde o efeito foi apenas quadrático, e de cálcio, que além do efeito linear, ajustou-se também ao modelo quadrático (Figuras 26 e 27). Como era de se esperar, a testemunha (T₁) apresentou menores teores de nutrientes quando da comparação com os tratamentos adubados com biossólido.

As Figuras Ilustram o aumento proporcionado pelas doses de biossólido nos macronutrientes do solo (N, P, K, Ca e Mg) e no teor de matéria orgânica. Todos esses elementos são essenciais para o estabelecimento e desenvolvimento das culturas, uma vez que aumentam a base trocável do solo, garantindo a retenção e a disponibilidade de macro e micronutrientes para as plantas, justificando os aumentos verificados nas variáveis relacionadas ao crescimento e à produção do algodoeiro.

Os aumentos verificados nos teores de Ca e Mg do solo foram devido o tratamento químico com calagem para eliminar os patógenos do lodo de esgoto, uma vez que o CaO possui 55% de Ca e 10,8% de Mg. A adsorção desses elementos eleva a porcentagem de saturação de base do complexo coloidal e aumenta de forma correspondente o pH da solução do solo.

De acordo com Raij (1991) o principal efeito da calagem decorre da neutralização de alumínio e manganês. O fornecimento de cálcio e magnésio como nutriente é também relevante. Segundo o autor a calagem aumenta a disponibilidade de fósforo, favorece a nitrificação da matéria orgânica e tem efeito positivo na fixação simbiótica do nitrogênio. Ela aumenta a disponibilidade de molibdênio, mas diminui a dos outros micronutrientes.

Os efeitos da calagem sobre as culturas são, de acordo com Buckman & Brady (1976), os seguintes: ação direta nutritiva ou reguladora de cálcio e magnésio; remoção ou neutralização dos compostos tóxicos, orgânicos ou inorgânicos; retardamento das doenças vegetais; aumento da assimilação química dos nutrientes vegetais e incremento das atividades microrgânicas favoráveis sob o aspecto da nutrição. Como não há dúvida de que vários destes fatores funcionam simultaneamente, a influência da calagem sobre o desenvolvimento vegetal é fenômeno complicado e apenas conclusões gerais podem ser delas tiradas.

Os resultados obtidos são concordantes com os encontrados por Berton et al. (1989) que observaram aumento nos teores de N, P, Ca, e Mg do solo com a adição de bio sólido; por Berry & Marx (1977), citados por Marques (1990), que encontraram nos solos das parcelas que receberam bio sólido quantidades significativamente maiores de matéria orgânica e elementos essenciais ao crescimento da plantas; por Martins (1993) que observou aumentos significativos nos teores de P, Ca e Mg no solo adubado com bio sólido; por Dias (1994) que verificou aumentos na disponibilidade de N, P e Ca às plantas com a incorporação de bio sólido; por Marques (1996) que observou elevação dos teores de P e que os teores de matéria orgânica no solo correlacionou-se de forma linear com as doses de bio sólido; por Hernandez et al. (1992), Da Ros et al. (1993) e Fole et al.

(1995), citados por Favaretto et al, (1997), que encontraram maiores teores de P extraível em solos adubados com biossólido; por Hue et al. (1988), citados por Favaretto et al. (1977), que verificou aumento na matéria orgânica do solo com a aplicação de biossólido.

Por outro lado, os aumentos verificados nos teores de matéria orgânica dos solos adubados com biossólido, vão de encontro com os resultados obtidos por Dias (1994), o qual salienta que mesmo as maiores doses de biossólido não foram suficientes para promoverem, no final do experimento, aumentos nos teores de matéria orgânica do solo e por Marques (1996) que verificou que os teores de matéria orgânica encontrada em solos adubados com biossólido e na testemunha ocorreram nos mesmos níveis.

Na Tabela 33 encontram-se os valores obtidos para o pH do solo nos diversos tratamentos empregados. Observa-se, nessa Tabela, que os valores do pH da testemunha (T_1) foram inferiores aos obtidos com os tratamentos que receberam biossólido. Os valores de pH apresentaram um considerável aumento com as doses de biossólido, variando de 6,1 a 7,3 para a testemunha e de 6,9 a 8,6 para os tratamentos que receberam biossólido, evidenciando o poder de interferência desse resíduo no pH do solo. Os aumentos verificados devem-se, principalmente, a adição de cal virgem durante o processo de desinfecção do lodo de esgoto (calagem à 50% ST).

O aumento do pH, de acordo com Giordano et al. (1975), citado por Martins (1983), é um forte indício que este resíduo orgânico deve liberar hidroxilas e possivelmente íons bicarbonato, interagindo com os íons H^+ retidos nos colóides do solo. (quando Al^{3+} e OH^- dos colóides do solo são substituídos por elementos alcalinos como o cálcio e o magnésio, a concentração de H^+ na solução do solo diminui e aumenta a concentração de OH^- na solução do solo e, por conseguinte, aumenta o pH). Para Oliveira (1995), a elevação do pH do solo quando acrescido de biossólido, é decorrência da decomposição da matéria orgânica constituinte do mesmo.

A reação do solo é uma característica química representada pelo pH. Sua importância não pode ser subestimada, pois afeta os microorganismos e vegetais superiores, além de interferir em quase todos os nutrientes e em diversos outros elementos que participam da nutrição vegetal.

Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Martins (1993), Marques (1996), por Hue et al (1988), Sloam & Basta (1995), citados por Favaretto et al. (1997), e por Oliveira (2000) que verificaram aumentos expressivos do pH em função da elevação das doses de bio sólido. Berton et al. (1989) verificaram que, além da elevação do pH em cinco solos testados, o bio sólido reduziu ou eliminou os teores de alumínio trocável. Por outro lado, contradizem os obtidos por Logan et al. (1997), citados por Oliveira (2000), que observaram um decréscimo no valor do pH do solo imediatamente após a aplicação de bio sólido. Os autores associaram o decréscimo às reações de nitrificação.

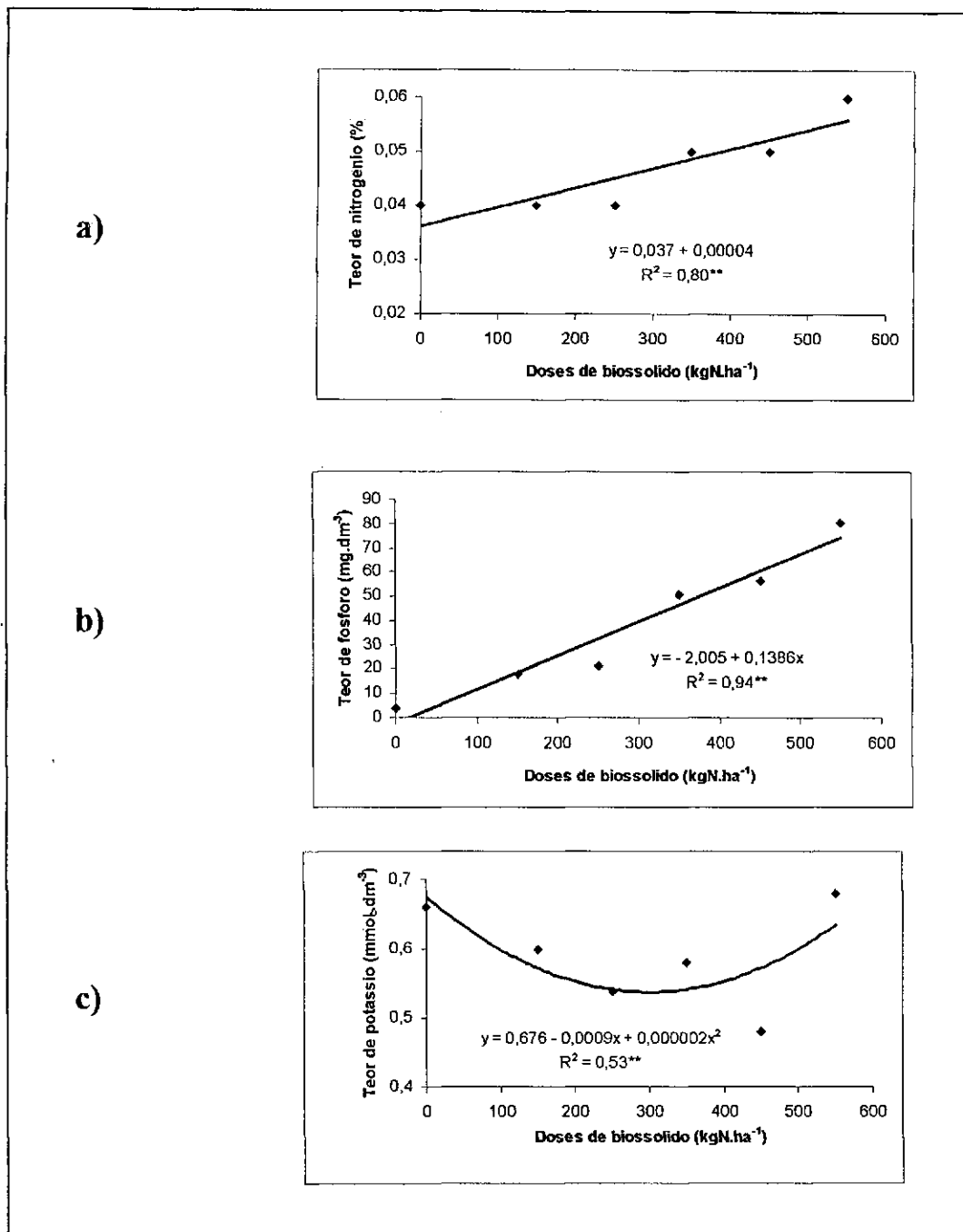


Figura 26 - Teores de nitrogênio (a), fósforo (b) e potássio (c) do solo acrescido de bio sólido e cultivado com algodoeiro herbáceo. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

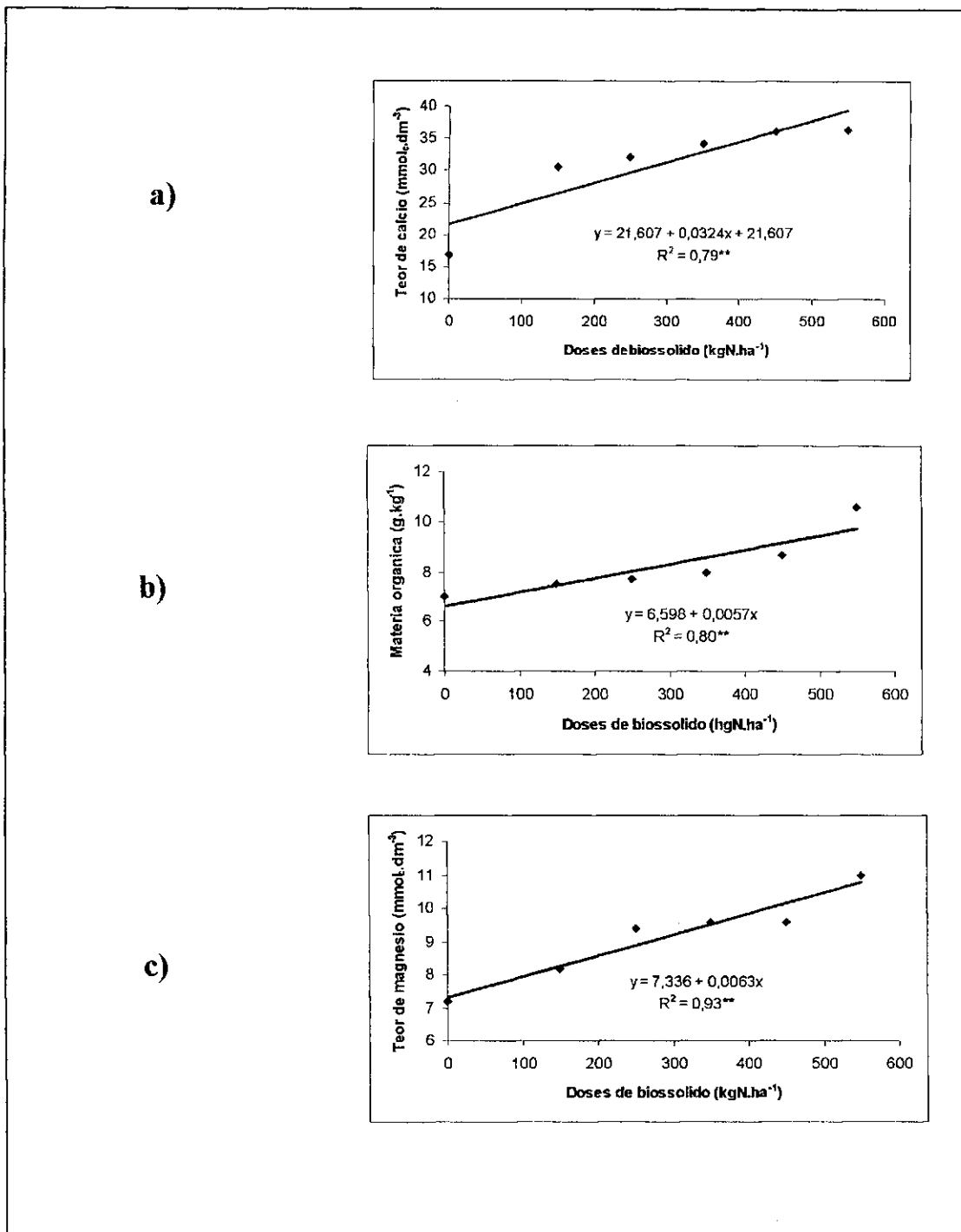


Figura 27 - Teores de cálcio (a), matéria orgânica (b) e magnésio (c) do solo acrescido de biossólido e cultivado com algodoeiro herbáceo. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

Tabela 33 – Potencial hidrogeniônico (em água) do solo de acordo com os tratamentos empregados. Biossólidos em algodoeiro herbáceo: modificações no crescimento, desenvolvimento e ambiente edáfico. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

Tratamentos	B L O C O S				
	I	II	III	IV	V
T ₁ (0)	6,1	6,6	6,9	7,3	6,6
T ₂ (150)	8,3	8,4	6,9	7,9	8,2
T ₃ (250)	8,3	8,1	8,4	8,3	8,0
T ₄ (350)	8,6	8,5	8,3	8,3	8,6
T ₅ (450)	8,1	8,2	8,4	8,5	8,4
T ₆ (550)	8,5	8,5	8,2	8,0	8,6

Oliveira (2000) relata que, de acordo com King & Morris (1972), Simeoni et al. (1984), Piets et al. (1989) e Dowdy et al. (1991), alguns biossólidos podem acidificar o solo devido às reações de nitrificação do nitrogênio amoniacal, a provável oxidação de sulfitos e a produção de ácidos orgânicos durante a degradação do resíduo. O autor cita, ainda, o trabalho de Epstein et al. (1976) que verificaram efeitos de biossólido sobre o pH do solo somente para doses elevadas e, ainda assim, os efeitos foram temporários.

Favaretto et al (1997) não verificaram efeitos significativos do biossólido sobre o pH do solo e Stark & Clapp (1980), citados por Oliveira (2000), verificaram que, após um ano da última de sucessivas aplicações de biossólido, o pH de um solo arenoso atingiu 6,0 independentemente da dose aplicada, contra um valor 5,6 da testemunha. Os autores atribuíram esse fato a um possível poder de tamponamento ocasionado pela contínua degradação da matéria orgânica do resíduo.

Warman (1986), citado por Marques (1996), verificou, após um ano da aplicação de lodo de esgoto digerido e úmido, tanto em solo arenoso quanto em argiloso, cultivados com grama forrageira, a inexistência de efeitos consistentes sobre o pH.

A diversidade desses resultados deve-se, provavelmente, ao fato de que a extensão dos efeitos do lodo de esgoto sobre o pH de solos é, segundo Clapp et al. (1996), citados por Oliveira (2000), dependente de vários fatores tais como da matéria orgânica presente no resíduo, das propriedades do solo como textura e capacidade de tamponamento e do tempo e taxa de aplicação do bio sólido.

4.3.6) EFEITOS DA APLICAÇÃO DE BIOSSÓLIDO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO

Nas Tabelas 34 e 35 encontram-se as médias dos tratamentos das variáveis relacionadas com as características físicas do solo e o resumo das análises de variância e de regressão dessas variáveis, respectivamente.

Observa-se (Tabela 34) que, de uma maneira geral, ocorre uma oscilação dos valores médios das variáveis da qualidade física do solo em função da aplicação de bio sólidos, com exceção da densidade global que nitidamente diminui com a elevação das doses. Quando da comparação com a testemunha (T_1), observa-se que apenas as variáveis capacidade de campo, ponto de murcha e capacidade de armazenamento de água dos tratamentos que receberam bio sólido, apresentaram valores superiores.

Por meio do resumo da análise de variância (Tabela 35), verifica-se os efeitos significativos pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade para as variáveis, densidade global, porosidade e ponto de murcha permanente, enquanto que capacidade de campo apresenta significância pelo mesmo teste, mas ao nível de 5% de probabilidade; a densidade real e capacidade de armazenamento de água não sofreram efeitos significativos, indicando que as doses de bio sólido não exerceram influências sobre as mesmas.

Tabela 34 – Valores médios das variáveis físicas do solo: densidade real, densidade global (g.cm^{-3}), porosidade total (%), capacidade de campo (%), ponto de murcha permanente (%) e capacidade de armazenamento de água (%). Biossólidos em algodoeiro herbáceo: modificações no crescimento, desenvolvimento e ambiente edáfico. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

Tratamentos	V A R I Á V E I S					
	DR	DG	POROS	CC	PMP	CAD
T ₁ (0)	2,73	1,56	42,66	5,47	1,75	3,71
T ₂ (150)	2,69	1,56	41,20	6,26	2,02	4,24
T ₃ (250)	2,72	1,54	43,47	6,28	1,95	4,33
T ₄ (350)	2,70	1,51	44,08	6,06	2,24	3,82
T ₅ (450)	2,69	1,51	43,90	6,85	2,34	4,55
T ₆ (550)	2,70	1,48	44,15	6,57	2,53	4,04
Média	2,70	1,53	43,22	6,25	2,14	4,12

Com o desdobramento da análise de regressão (Tabela 35) observa-se que a densidade global, a porosidade total, a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente ajustaram-se ao modelo linear ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F, sendo que a porosidade total ajustou-se, também, ao modelo cúbico pelo mesmo teste, mas ao nível de 5% de probabilidade. Optou-se pelo modelo linear para expressar os resultados por representar melhor o comportamento desses variáveis em função da aplicação das doses de biossólido (Figuras 28 e 29).

Tabela 35– Resumo das análises de variância e de regressão das variáveis físicas do solo. Biossólidos em algodoeiro herbáceo: modificações no crescimento, desenvolvimento e ambiente edáfico. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

F.V.	GL	Q U A D R A D O M É D I O					
		DR	DG	POROS.	CC	PMP	CAD
Blocos	4	0,0006ns	0,0016*	0,670ns	0,142ns	0,625ns	0,209ns
Tratamentos	5	0,0010ns	0,0054**	6,478**	1,108*	0,391**	0,512ns
Linear	1	0,0020ns	0,2470**	17,316**	3,782**	1,837**	0,386ns
Quadrático	1	0,0003ns	0,0005ns	0,225ns	0,280ns	0,022ns	0,465ns
Cúbico	1	0,0002ns	0,0003ns	7,797*	0,112ns	0,0054ns	0,047ns
Resíduo	20		0,0005	1,200	0,286	0,503	0,279
Total	29						
CV		1,88	1,46	2,52	8,58	10,48	12,83

ns - Valores estatisticamente não significativos.

* - Valores estatisticamente significativos pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

** - Valores estatisticamente significativos pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade.

Analisando-se tais Figuras verifica-se um aumento linear ocorrido na porosidade total, na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente do solo, com a elevação das doses de biossólido, evidenciando o efeito benéfico desse resíduo sobre estas variáveis. Verifica-se, também, um decréscimo linear da densidade global ou aparente do solo em função das doses aplicadas.

O aumento proporcionado pelas doses de biossólido no valor da porosidade total, capacidade de campo e ponto de murcha permanente, deve-se à adição dos cátions flocculantes aos colóides do solo, cálcio e magnésio, através da calagem (os cátions flocculantes, como o próprio nome indica, diminuem a espessura da dupla camada difusa do solo, aumentando a agregação das partículas e, por conseguinte, diminuindo a densidade do solo e aumentando a sua porosidade). Por estimular sistemas radiculares mais extensos, a calagem favorece um melhor aproveitamento de água e nutrientes existentes no solo (Raij, 1991). O aumento da porosidade melhora a permeabilidade do solo e, conseqüentemente, a sua aeração.

Bettioli et al. (1983) relatam que o lodo de esgoto incorporado ao solo aumenta a estabilidade dos agregados e muda sua estrutura, exercendo efeitos diretos sobre as características hídricas, bem como sobre a distribuição das raízes das plantas. O lodo de esgoto ocasiona, segundo Bernardes (1982), citado por Marques (1990), diminuição da densidade dos solos, aumentando a agregação das partículas, o que melhora sobremaneira a aeração do sistema e possibilita uma constante renovação do oxigênio.

Em condições de drenagem livre, existe um máximo de água que o solo pode reter, e que corresponde ao teor existente no solo saturado, após remoção do excesso de água, quando o movimento de drenagem praticamente cessa. É a chamada capacidade de campo. Nessa situação, a água saiu de poros maiores ficando retida nos microporos ou poros capilares. Um limite inferior importante corresponde ao teor de água no solo em que às plantas murcham de forma permanente, por não conseguirem absorver a água ainda existente. É o chamado ponto de murcha permanente. Considera-se a água disponível do solo a água que pode ser contida entre o mínimo, correspondente ao ponto de murcha permanente, e o máximo, correspondente à capacidade de campo.

O fato das doses de bio-sólido não ter afetado de forma significativa a densidade real e de terem exercido influência na densidade global do solo (apesar do efeito linear e significativo, os valores da densidade global variaram apenas de 1,48 a 1,56 entre todos os tratamentos), está de acordo com os resultados obtidos por Jorge et al. (1991) que verificaram que a adição de bio-sólido não alterou a densidade do solo. No entanto, o aumento linear e significativo verificado sobre a porosidade total do solo, diverge com os resultados encontrados por esses mesmos pesquisadores que concluíram que as doses de bio-sólido também não exerceram influência sobre essa variável.

Embora o aumento verificado na capacidade de armazenamento de água em função das doses de bio-sólido não seja significativo, os resultados estão de acordo com os obtidos por Unger & Stewart (1974), Weber (1978) e Weil & Kroontje (1979), citados pelos mesmos pesquisadores, que verificaram um aumento na capacidade de retenção de água de solos adubados com bio-sólido.

A diminuição ocorrida na densidade real do solo com a elevação das doses de biossólido, embora não significativa, é corroborada por Bernardes (1982), citado por Marques (1990), que concluiu que o biossólido ocasiona diminuição da densidade dos solos, aumentando a agregação das partículas, o que melhora sobremaneira a aeração do sistema e possibilita uma constante renovação do oxigênio.

A melhora nas condições hídricas, provocada pelo aumento da capacidade de campo e do ponto de murcha permanente, e físicas do solo, provocada pelo aumento da porosidade, é de suma importância para o algodoeiro, principalmente no que se refere à melhora na aeração do solo provocada pelo aumento da porosidade total, uma vez que o algodoeiro responde, via raízes, às variações na composição do ar do solo, sendo pouco sensível às variações no teor de CO₂, diferente de outras culturas (Kramar, 1969, citado por Beltrão & Souza, 2001). De acordo com Huck (1970), a elongação da raiz principal do algodoeiro é bastante reduzida quando exposta a taxas de oxigênio abaixo de 10%, e morre quando colocada em “atmosfera” sem oxigênio por um período de três horas, sendo que, a partir dos 30 minutos sem oxigênio, já é iniciado o processo de deterioração das raízes, especialmente das mais novas (Browning et al., 1975, citados por Beltrão & Souza, 2001). Solos com problemas físicos, naturais ou induzidos (mau uso) com zonas compactadas, em geral apresentam impasses sérios para o algodoeiro, pois a limitação no teor de oxigênio do solo acarreta, “por si”, sérios problemas no metabolismo da plantas.

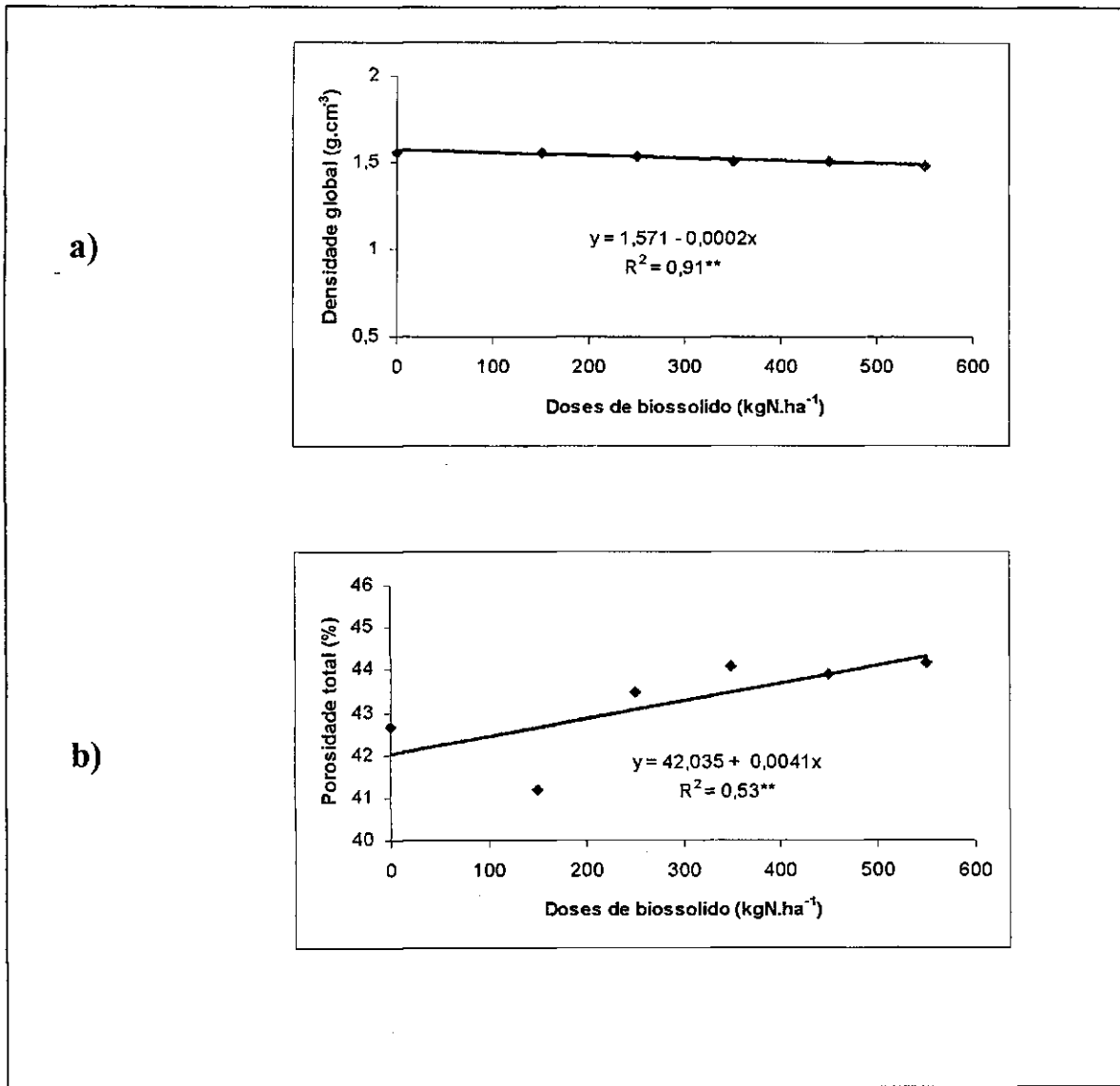


Figura 28 - Densidade global (a) e porosidade (b) do solo acrescido com biofóssido e cultivado com algodoeiro herbáceo. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

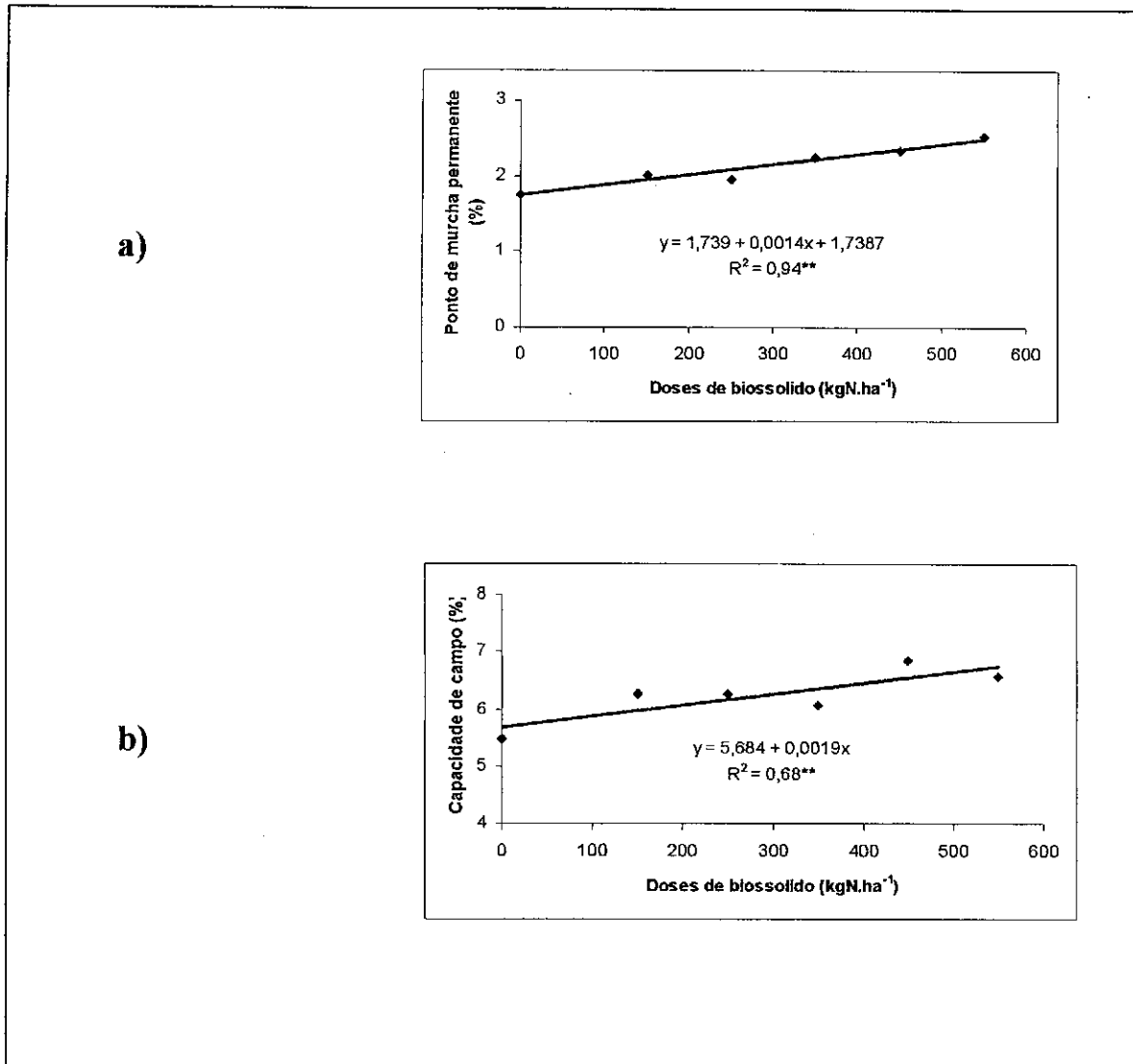


Figura 29 - Ponto de murcha permanente (a) e capacidade de campo (b) do solo acrescido com biossólido e cultivado com algodoeiro herbáceo. EMBRAPA ALGODÃO, C. Grande, PB. 2002.

5. APRECIÇÃO GERAL DOS RESULTADOS

Com os resultados obtidos nos dois experimentos, pode-se afirmar que:

- O valor de todas as variáveis estudadas nos dois experimentos proporcionados pela testemunha foi inferior aos proporcionados pelos tratamentos que receberam biossólidos, com exceção da variável de produção porcentagem de fibras;
- A altura de plantas e diâmetro caulinar do algodoeiro, se ajustaram, em ambos experimentos, a um modelo de regressão não linear exponencial revelando que essas variáveis de crescimento aumentaram com a elevação das doses de biossólido e com o tempo, porém para as maiores doses do segundo experimento (tratamentos $T_5 = 450 \text{ kgN.ha}^{-1}$ e $T_6 = 550 \text{ kgN.ha}^{-1}$) houve um decréscimo dessas variáveis. As doses de biossólido equivalentes a 319 e 322 kgN.ha^{-1} , do segundo experimento, foram as que proporcionaram, aos 120 dias após a emergência das plantas, o valor máximo para a altura de plantas e diâmetro caulinar, respectivamente;
- As doses de biossólido equivalentes a 450 e 550 kgN.ha^{-1} (tratamentos T_5 e T_6 do segundo experimento) afetaram a geometria das raízes das plantas, inibindo a altura de plantas, o diâmetro caulinar e a produção do algodoeiro;
- Houve efeito significativo, pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade das doses de biossólido do primeiro experimento sobre as variáveis relacionadas à produção e componentes do algodoeiro, com exceção das variáveis, peso de 01 capulho e porcentagem de fibra. Com o desdobramento da análise de regressão, verificou-se um aumento linear das variáveis, peso do algodão em caroço, peso de pluma, fitomassa da parte aérea, fitomassa total e da relação fitomassa parte aérea/fitomassa raiz, e um aumento quadrático das variáveis, número de capulhos/planta e fitomassa da raiz, cuja derivação das equações de regressão

estimou que as doses de biofósforo equivalentes a 322 e 243 kgN.ha⁻¹, proporcionaram, respectivamente, o valor máximo para tais variáveis;

- Houve efeito significativo, pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade das doses de biofósforo do segundo experimento sobre as variáveis relacionadas à produção e componentes do algodoeiro, com exceção da porcentagem de fibra, onde não se verificou efeito significativo. Sobre o peso de 100 sementes, o efeito foi significativo, mas ao nível de 5% de probabilidade. Com o desdobramento da análise de regressão verificou-se que as variáveis de produção e componentes do algodoeiro se ajustaram ao modelo quadrático, com exceção da porcentagem de fibra que se ajustou ao modelo linear e peso de 100 sementes que se correlacionou com um polinômio de 3º grau. A região factível dessas variáveis situou-se entre as doses de biofósforo equivalentes a 276 e 365 kgN.ha⁻¹, segundo cálculos estimados pela derivada das equações de regressão;
- As doses de biofósforo exerceram efeitos significativos, pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade sobre as variáveis relacionadas à qualidade física de fibra do algodão, avaliadas nos dois experimentos. Com o desdobramento das análises de regressão verificou-se um ajuste quadrático dessas variáveis em função das doses de biofósforo, no primeiro experimento e um ajuste cúbico, no segundo experimento;
- A variável finura foi classificada na categoria de fibra fina, no primeiro experimento e fibra média, no segundo experimento. A variável índice de fibras curtas, foi classificada como baixa, no primeiro experimento, e, no segundo experimento, esse índice foi inferior a 3,5 em todos os tratamentos testados, o que significa afirmar que todas as fibras tiveram comprimento superior a 12,7 mm e isso é salutar sob a ótica da qualidade tecnológica da pluma. No tocante ao grau de amarelo, os valores médios encontrados de 9,14 e 9,50 no primeiro e segundo experimento, respectivamente, estão dentro da faixa comumente encontrada para a fibra do algodão (14 a 18). A resistência, o comprimento, a

uniformidade de comprimento, a alongação, a fiabilidade e a reflectância foram classificadas, em ambos experimentos, como: média, longa, uniforme, muito alta e fibras claras, respectivamente;

- A região factível para as variáveis da qualidade física de fibra do algodão situou-se entre as doses de bio sólido equivalentes a 220 e 335 kgN/ha⁻¹. A dose de bio sólido equivalente a 292 kgN/ha⁻¹ foi a que proporcionou o valor máximo para a variável resistência de fibra, que é tomada como base de compra do algodão;
- Embora as doses de bio sólido do segundo experimento (0, 150, 250, 350, 450 e 550 kgN/ha⁻¹) tenham exercido um efeito linear negativo sobre as três fases fenológicas das plantas (atraso no desenvolvimento), não houve aparentemente reflexos sobre o crescimento e a produção das plantas, nem sobre a qualidade tecnológica da fibra do algodão;
- Houve efeito significativo, pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade sobre as variáveis relacionadas às características químicas do solo em função das doses de bio sólido, com exceção do teor de potássio onde o efeito foi significativo pelo mesmo teste ao nível de 5% de probabilidade. Através do desdobramento da regressão verificou-se um aumento linear dos macronutrientes do solo e do teor de matéria orgânica em função das doses, enquanto que o teor de potássio se ajustou ao modelo quadrático;
- Houve aumentos nos valores do índice pH do solo em função da disposição das doses de bio sólido, principalmente na doses equivalentes a 450 e 550 kgN/ha⁻¹. Entre os tratamentos que receberam bio sólido o pH variou de 6,9 a 8,6, e na testemunha essa variação foi de 6,1 a 7,3;

- Com exceção da densidade real e da capacidade de armazenamento de água, as demais características físicas do solo sofreram efeitos significativos, pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade, sendo que a variável capacidade de campo, sofreu efeito significativo pelo mesmo teste ao nível de 5% de probabilidade. Com o desdobramento da regressão verificou-se uma diminuição linear da densidade global, enquanto que a porosidade total, o ponto de murcha permanente e a capacidade de campo aumentaram linearmente com a elevação das doses de biossólido;
- As doses de biossólido correspondentes a 322 e 365 kgN.ha⁻¹ foram as que proporcionaram o valor máximo para a variável número de capulhos/planta, no primeiro e segundo experimento, respectivamente e a dose correspondente a 292 kgN.ha⁻¹, foi a que proporcionou o máximo valor da variável resistência de fibra. Isso nos permite afirmar que, tomando-se por base tais variáveis, especialmente a resistência de fibra que serve de base para compra do algodão pela indústria têxtil, a dose de biossólido correspondente a 300 kgN.ha⁻¹ foi proporcionou os melhores resultados;
- Não foram encontrados ovos de helmintos na água drenada de cada unidade experimental.

6. CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos nos dois experimentos pode-se tirar as seguintes conclusões:

- A calagem à 50%ST eliminou os microrganismos patogênicos do lodo de esgoto;
- A planta do algodão herbáceo, representada pela cultivar BRS 187 8H, respondeu favoravelmente à aplicação de biossólido, desde que esse resíduo seja incorporado ao solo em doses adequadas, uma vez que, a partir da dose equivalente a 450 kgN.ha^{-1} , houve decréscimo das variáveis relacionadas ao crescimento e à produção do algodoeiro;
- As demais doses de biossólido empregadas proporcionaram, de forma significativa:
 - a) aumento da altura de plantas e do diâmetro caulinar;
 - b) atraso no surgimento do primeiro botão floral, da primeira flor e da abertura do primeiro capulho;
 - c) aumento das variáveis relacionadas à produção e componentes do algodoeiro, com exceção da porcentagem de fibras;
 - d) aumento das variáveis relacionadas à qualidade física de fibra do algodão.
- As variáveis relacionadas às características químicas do solo aumentaram proporcionalmente com a elevação das doses de biossólidos empregadas, com exceção do potássio, cujos teores oscilaram antes de aumentarem;
- As variáveis relacionadas às características físicas do solo também aumentaram proporcionalmente com a elevação das doses de biossólidos empregadas, com exceção das densidades aparente e global que diminuíram com a elevação das doses;

- Considerando-se a variável de produção, número de capulhos/planta e a variável relacionada com a qualidade física de fibra, resistência, que serve de base para compra do algodão, pode-se afirmar que a dose de biofósforo equivalente a 300 kgN.ha⁻¹ foi a que proporcionou os melhores resultados;
- Não foram encontrados ovos de helmintos na água drenada de cada unidade experimental.

7. RECOMENDAÇÕES

- Comparar tratamentos adubados com biofósforo com tratamentos adubados com fertilizantes minerais recomendados pela análise química do solo;
- Avaliar possíveis efeitos residuais da aplicação de biofósforo sobre outras culturas ou sobre o próprio algodoeiro;
- Acrescentar tratamentos adubados apenas com óxido de cálcio (calagem) comparando-os com os tratamentos adubados com biofósforo e com fertilizantes minerais;
- Incorporar o biofósforo ao solo de forma parcelada comparando-se com a incorporação única no momento da semeadura;
- Repetir o experimento em condições de campo (sequeiro e irrigado) levando-se em consideração os aspectos agrônômicos, econômicos e ecológicos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A. NETO, C. O. A.; CAMPOS, J. R. Características de esgotos sanitários. In: **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. ABES, Rio de Janeiro, RJ. Cap. 1, p. 4-8, 1999.

ADMS, J. F.; KISSEL, D. E. Zinc, copper and nickel availabilities as determined by soil solution and DTPA extraction of sludge amended soil. **Soil. Sci. Plant. Anal.**, v.20, p.139-158, 1989.

AGENDA 21. **Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente de Desenvolvimento**. Brasília, DF, Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 1997, 598p.

AMERICAN WATER AND WASTEWATER ASSOCIATION-AWWA. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18. 6h. Denver, CO. : AWWA, 1992.

ANDRAUS, S.; MEDEIROS, M.L.B. de; BORGES, J.C.; SILVA, S.M.C.P. da; TOLEDO, E.B. Agentes patogênicos – bactérias entéricas. In: **Reciclagem de biossólidos – transformando problemas em solução**. SANEPAR, Curitiba, PR, 1999. Cap. 3, p.126-155.

ANDRÉ, E. M. **Atividade biológica do solo e disponibilidade de nutrientes e metais pesados para a cultura do sorgo granífero em solo acrescido de lodo de esgoto**. Jaboticabal, UNESP, 1994. 123p. Monografia de Graduação.

ANDREOLI, C. V.; SOUZA, M. L. de P.; COMIM, J. J.; GIOPPO, P. J.; CASTILHO, D. S. B. Bases para uso agrícola do lodo de esgoto da ETE-Belém. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 6, Florianópolis, SC, 1994. **Anais**. Rio de Janeiro, RJ. ABES, 1994. p.389-419.

ANDREOLI, C. V.; DOMASZAK, S. C; FERNANDES, F.; LARA, A. I. Proposta preliminar de regulamentação para a reciclagem agrícola do lodo de esgoto no Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19, 1997. Foz do Iguaçu, PR. **Anais**. Foz do Iguaçu. p.1025-1036.

ANDREOLI, C. V.; FERNANDES, F. O problema ambiental brasileiro é a questão do lodo de esgoto. In: **Reciclagem de biossólidos – transformando problemas em soluções**. SANEPAR, Curitiba, PR, 1999. Cap.1, p.32-35.

ANUÁRIO BRASILEIRO DO ALGODÃO. Gazeta Grupo de Comunicações. Santa Cruz do Sul, RS, 2002. 136p.

BAILENGER, J. Mechanism of parasital concentration in coprology and their practical consequences. **J. Amer. Med. Technol**, n. 41, p. 65-71, 1979.

BARCELÓ, J., POSCHERNRIEDER, C. H. Respuestas de las plantas a la contaminación por metales pesados. *Suelo y Planta*, Madrid, v.2, p.345-361, 1992.

BARRETO, M. C. V. **Degradação da fração orgânica de diferentes resíduos e efeitos em algumas propriedades químicas e físicas de dois solos**. Piracicaba: ESALQ,USP, 1995. 106p. Tese Doutorado.

BEKEY, C. R. Dried sewage sludge improves growth of pines in the Tennessee copper basin. *Reclamation and Revegetation Research*, Amsterdam, p.195-201, 1982.

BELTRÃO, N. E. de M.; SOUZA, J. G. de; AZEVEDO, D. M. P. de; NÓBREGA, L. B. Plasticidade morfofisiológica do algodoeiro herbáceo em função da queda induzida das estruturas de reprodução. *Embrapa/Algodão, Boletim n° 40*, 1994. 40p.

BELTRÃO, N. E. de M.; SOUZA, J. G. de. Fisiologia e ecofisiologia do algodoeiro. In: **Algodão – tecnologia de produção**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Campina Grande: Embrapa Algodão, 2001. cap.3, p.54-95.

BELTRÃO, N. E. de M.; SANTANA, J. C. F. de; QUEIROZ, U. V.; COSTA, J.N. da; SANTOS, J. W. dos; JERÔNIMO, J. F. Índice de fibras flutuantes e conteúdo de fibras curtas, em função de genótipos de algodoeiro herbáceo irrigado, associados a maturidade. *Revista Brasileira de Oleaginosas*, v.6, n.1, p.503-508, 2002.

BERRY, C. R. Dried sewage sludge improves growth of pines in the Tennessee copper basin. *Reclamation and Revegetation Research*, Amsterdam, v.1, n.1, p.195-201, 1982.

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

BETTIOL, W.; CARVALHO, P. C. T. Utilização do lodo de esgoto primário e fertilizantes organomineral IPT na cultura do milho. *Fertilizantes*, São Paulo, v.4, n.1, p.14-15, 1982a.

BETTIOL, W.; CARVALHO, P. C. T. Lodo de esgoto como fertilizante para a cultura do milho. *Fertilizantes*, São Paulo, v.4, n.3, p.9-11, 1982b.

BETTIOL, W.; FRANCO, B. J. C. D.; CARVALHO, P. C. T.; Utilização do lodo de esgoto como fertilizante para a cultura de arroz (*Oryza sativa*, L. cv. IAC-165). In: Congresso Brasileiro em Iniciação Científica em Ciências Agrárias, 2, 1982, Piracicaba. *Anais*. Piracicaba, USP, 1982c. p.218-219.

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

BISCAIA, R. C. M.; MIRANDA, G. M. Uso do lodo de esgoto calado na produção de milho. *SANARE*, Curitiba, PR, v.5, n.5, p.86-89. 1996.

BOTTEGA, J. C.; NASCIMENTO, E. B. Utilização do lodo de esgoto em pequenas propriedades agrícolas. In: **Reciclagem de bio-sólidos – transformando problemas em soluções**. SANEPAR, Curitiba, PR, 1999. Cap.4, p.225-229.

BUCKMAN, H. O.; BRADY, C. N. Natureza e propriedades do solo. 4 ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos Editora, 1976. 594p.

CABRERA, D.; YOUNG, D. E.; ROWELL, D. L. The toxicity of cadmium to barley plants as affected by complex formation with humic acid. **Plant and Soil**, v.105, p.195-204, 1988.

CARVALHO, P. C. T.; BARRAL, M. F. Aplicação do lodo de esgoto como fertilizante. **Fertilizantes**, São Paulo, v.3, n.2, p.1-4, 1981.

CARVALHO, F. J. P. C. **Efeitos do lodo de esgoto na cultura do milho**. Jaboticabal: UNESP, 1983. 37p. Monografia de Graduação.

CEBALLOS, B.S.O. Microbiologia Sanitária. In: **Lagoas de estabilização e aeradas mecanicamente: novos conceitos**. João Pessoa, PB, 1990. Cap. 3, p.89-150.

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DO ALGODÃO-CNPA/EMBRAPA. BRS 187 8H: nova cultivar de algodoeiro herbáceo para as condições do Nordeste. Campina Grande, PB, 2000. Folder.

CHU, L. M.; WONG, M. H. Heavy metals contents of vegetable crops treated with refuse compost and sewage sludge. **Plant and Soil**, v.103, p.191-197, 1987.

CIA, E.; FREIRE, E. C.; SANTOS, J. Cultura do algodoeiro. Potafos, Piracicaba, 286p. il. 1999.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ. **Manual técnico para utilização agrícola de lodo de esgoto no Paraná**. Curitiba: SANEPAR, 1997. 96p.

CORRÊA, J. R. V. **Algodoeiro: informações básicas para seu cultivo**. Belém: EMBRAPA-UEPAE Belém, 1989. Doc. 11. 29p.

CUNNINGHAM, J. D.; RYAN, J. A.; KEENEY, D. R. Phytotoxicity in and metal uptake from soil treated with metal-amended sewage sludge. **J. Environ. Qual.**, Madison, v.4, p.455-460, 1975.

DAY, A. D.; THOMPSON, R. K.; SWINGLE, R. S. Sludge aids grain production in Southwest. **Biocycle**, Emmaus, v.27, n.1, p.30-32, 1986.

DAY, A. D.; THOMPSON, R. K.; SWINGLE, R. S. Wheat hay grown with sludge. **Biocycle**, Emmaus, v.28, n.7, p.40-41, 1987.

DEAN, R. B.; SMITH, J. F. The properties of sludges. In: The Joint Conference on Recycling Municipal Sludges and Effluents on Lands. Illinois, EUA, p.10-14, 1973.

DESCHAMPS, C.; FAVARETTO, N. Efeito da aplicação do lodo de esgotos completado com fertilizante mineral na produtividade e desenvolvimento do feijoeiro e do girassol. SANARE, Curitiba, PR, v.8, n.8. 1998.

DESCHAMPS, C.; FAVARETTO, N. Efeito do lodo de esgoto na produtividade e desenvolvimentos das culturas. In: **Reciclagem de biossólidos – transformando problemas em soluções**. Sanepar, Curitiba, PR. 1999. Cap.4, p.181-189.

DIAS, F. L. F. **Efeito da aplicação de calcário, lodo de esgoto e vinhaça em solo cultivado com sorgo granífero**. Jaboticabal, UNESP, 1994. 74p. Monografia de Graduação.

ELISSALDE, N.; GANIERE, J.P.; L'HOSTIS, M.; LEGEAS, M.; DEMILLAC, R.; CARRE, J. Les germes pathogènes dans le bones résiduaires des stations d'épuration urbaines. Collection: **Valorization agricole dès bonés d' epuration**. Guides et Cahiers Techniques, 1994.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, SNLCS, 1979. Não paginado.

FAVARETTO, N.; DESCHAMPS, C.; DAROS, E.; PISSAIA, A. Efeito do lodo de esgoto na fertilidade do solo e no crescimento e produtividade do milho (*Zea mays*, L.). Arquivo de Biologia e Tecnologia, v.40, n.4, p.836-847. 1997.

FERNANDES, F.; COELHO, L.O.; NUNES, C.W.; SILVA, S.N.C.P. Aperfeiçoamento da tecnologia de compostagem e controle de patógenos. SANARE, Curitiba, PR, v.5, n.5, p.36-45, Jan/Abr., 1996.

FERNANDES, F.; ANDREOLI, C. V. Principais fatores limitante (metais pesados e patógenos) para uso agrícola do lodo no Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19, 1997. Foz do Iguaçu, PR. **Anais**. Foz do Iguaçu. p.69-76.

GALLOWAY, H. M.; JACOBS, L. W. Sewage sludge I. Characteristics and management in utilizacion of municipal sewage sludges on land for agricultural production. In: North Central Regional Extetion Publication, Washington, p.3-17, 1977.

GASI, T.M.T. **Remoção de microorganismos em reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manto de lodo operando com esgotos domésticos**. São Paulo: USP, SP, 1991. Dissertação Mestrado.

GASPARD, P.G.; WIART, J. SCHWARTZBROD, J. A method for assessing the viability of nematode eggs in sludge. **Environmental Technology**, v.17, p.415-420, 1996.

GIORDONO, P. M.; MAYS, D. A. Plant nutrient from municipal sewage sludge. **Industrial Engineering Chemistry Research Development**, Washington, D. C., v.20, n.2, p.212-216, 1981.

GOMES, P. **Estatística aplicada à agricultura**. Piracicaba, Potafos, 1996.128p.

GIORDONO, P. M.; MAYS, D. A. Plant nutrient from municipal sewage sludge. **Industrial Engineering Chemistry Research Development**, Washington, D. C., v.20, n.2, p.212-216, 1981.

GOMES, P. **Estatística aplicada à agricultura**. Piracicaba, Potafos, 1996.128p.

HAANDEL, A. C. van; LETINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente**. Campina Grande: UFPB, 1994. 217p.

HEMKES, O. J.; KEMP, A.; BROEKHOWEN, L. W. van Effects of application of sewage sludge and fertilizer nitrogen on cadmium and lead contents of grass. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v.1, p.227-232, 1983.

HERNANDES, T.; MORENO, J. I.; COSTA, F. Influence of sewage sludge application on crop yields and heavy metal availability. **Soil Sci. Plant Nutr.**, Bunkejo-Kun, v.37, n.2, p.201-210, 1991,

HINESLY, T. D.; REDBORG, K. E., PIETZ, R. I.; ZIEGLER, E. L. Cadmium and zinc uptake by corn with repeated applications of sewage sludge. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, Washington, v.32, p.155-163, 1984.

HUCK, M. G. Variation in taproot elongation rate as influenced by composition of the soil air. **Agronomy Journal**, Madison, v. 62, n.6, p.818-828, 1970.

ILHENFELD, R. G. K.; ANDREOLI, C.V.; LARA, A I. Higienização do lodo de esgoto. In: **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Prosab, Rio de Janeiro, RJ, 1999. Cap.4, p.744-752.

JORGE, J. A.; CAMARGO, O. A.; VALADARES, J. M. A. S. Condições físicas de um latossolo vermelho-escuro quatro anos após aplicação de lodo de esgoto e calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, SP, v. 15, p.237-240, 1991.

LUNA, L. C. Características e peculiaridades do sistema de interpretação de resultados. In: CONGRESSO NACIONAL DE TÉCNICOS TÊXTEIS, 16, 1994. Salvador, BA. **Anais**. p.27-55.

MARQUES. M. O. **Efeitos da aplicação de lodo de esgoto na produtividade e qualidade da cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ, 1990. 164p. Tese Doutorado.

MARQUES. M. O. **Incorporação de lodo de esgoto em solo cultivado com cana-de-açúcar**. Jaboticabal: UNESP, 1996. 111p. Tese Livre-Docência.

MARTINS, C. H. **Acúmulo de nutrientes e metais pesados por sorgo granífero cultivado em solo que recebeu lodo de esgoto e vinhaça**. Jaboticabal: UNESP, 1993. 70p. Monografia de Graduação.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; SANTIAGO, G. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações de matéria orgânica e CTC de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.18, p.449-455, 1994.

MOREL, J. L. Phosphate fertilizer value of waste sludges. **Phosphorus Agric.**, Paris, v.73, p.13-19, 1978.

MIYAZAWA, M.; GIMENEZ, S. M. N.; FERNANDES, F.; OLIVEIRA, E. L. de; SILVA, S. M. C. da. Efeito do lodo de esgoto nos teores de metais pesados no solo e na planta. In: **Reciclagem de biossólidos – transformando problemas em soluções**. SANEPAR, Curitiba, PR, 1999. Cap.4, p.204-225.

NEIVA, M. R. Reciclagem agrícola de biossólidos da ETE Cetrel – uma experiência ambientalmente correta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, 1999. Rio de Janeiro, RJ. **Anais**. Rio de Janeiro. p.469-477.

OLIVEIRA, F. C. **Efeito da aplicação de lodo de esgoto em latossolo vermelho escuro-textura média em em sorgo granífero**. Jaboticabal: UNESP, 1992. 99p. Monografia Graduação.

OLIVEIRA, F. C. **Metais pesados e formas nitrogenadas em solos tratados com lodo de esgoto**. Piracicaba: ESALQ, USP, 1995. 90p. Dissertação Mestrado.

OLIVEIRA, F. C. **Disposição de lodo de esgoto e composto de lixo urbano num latossolo vermelho-amarelo cultivado com cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ, 2000.237p. Tese Doutorado.

PAZ, M. C. de F. **Avaliação das propriedades microbiológicas, biológicas e agronômicas de quatro compostos orgânicos no estado da Paraíba**. Areia: UFPB, 1998. 104p. Dissertação Mestrado.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Editora Agronômica Ceres Ltda. Piracicaba, SP, 1991. 343p.

RICHETTI, A.; MELO FILHO, G. A. Aspectos sócio-econômicos do algodoeiro. In: Embrapa. **Algodão: tecnologia da produção**. Dourados: Agropecuária Oeste; Campina Grande: Embrapa Algodão, 2001. cap1. p. 13-34.

RODRIGUES, P. C. **Bioestatística**. 2. ed. Niterói, RJ, EDUFF, 1993. 268p.

SANTANA, J. C. F. de; WANDERLEY, M. J. R. Interpretação de resultados de fibra, efetuadas pelo instrumento de alto volume (HVI) e pelo finurímetro-maturímetro (FMT₂). **EMBRAPA/CNPA. Comunicado Técnico**, n. 41, p.1-9, 1995.

SANTANA, J. C. da S. **Características tecnológicas da fibra de duas cultivares de algodão armazenada em dois municípios paraibanos**. Campina Grande: UFCG, 2002. p. 48. Dissertação Mestrado.

SANTOS, H. F. Aplicação do lodo de estações de tratamento de esgoto em solos agrícolas. **Revista D.A.E.**, São Paulo, v.39, n.122, p.31-48, 1979.

SILVA S. M. C. P. **Desenvolvimento de uma nova concepção de tratamento de água residuária pela associação de processos anaeróbios e aeróbios**. São Paulo: USP, 1993. 152p. Tese Doutorado.

SILVA, F. C. **Uso agrônômico de lodo de esgoto: efeitos em fertilidade do solo e na qualidade da cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ, 1995.

SOCCOL, V. T.; PAULINO, R. C.; CASTRO, E. A. Heminth eggs viability in sewage and biosolids sludge in Curitiba, PR, Brazil. **Brasilian Arch. of Biol. And Technol.** v. 40, n.4, p.829-836, 1997a.

SOCCOL, V. T.; PAULINO, R. C.; CASTRO, E. A.; TRACZ, J. Eficácia dos diferentes processos do tratamento de lodo na redução da viabilidade de ovos de helmintos. **SANARE**, Curitiba, PR, v. 8, n.8, p.24-32, 1997b.

SOCCOL, V. T.; PAULINO, R. C.; CASTRO, E. A. Agentes patogênicos: helmintos e protozoários. In: **Reciclagem de biossólidos – transformando problemas em soluções**. SANEPAR, Curitiba, PR, 1999. Cap. 3, p.156-159.

SOPPER, W. E. Municipal sludge use in land reclamation. **Boca Rator: CRC**. 163p., 1993.

STAUT, L. A.; KURIHARA, C. H. Calagem e adubação. In: **Algodão: tecnologia de produção**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Campina Grande: Embrapa Algodão, 2001. cap.5, p.103-123.

STEFANI, M. C. G.; BORGHI, I. N.; MOREIRA, J. S.; NETO, M. S. V.; GIUSTI, P. E. de A. Utilização de biossólidos em plantações florestais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, 1999. Rio de Janeiro, RJ. **Anais**. Rio de Janeiro. p.771-779.

STREET, H. E.; ÖPIK, H. **Fisiologia das angiospermas: crescimento e desenvolvimento**. 1ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1974. 315p.

TSUTIYA, M. T. Uso agrícola de biossólidos de estações de tratamento de esgotos sanitários do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, 1999a. Rio de Janeiro, RJ. **Anais**. Rio de Janeiro. p. 744-752.

TSUTIYA, M. T. Metais pesados: o principal fator limitante para o uso agrícola de biossólidos das estações de tratamento de esgotos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, 1999b. Rio de Janeiro, RJ. **Anais**. Rio de Janeiro. p. 753-761.

TSUTIYA, M. T. Tecnologias emergentes para a disposição final de biossólidos das estações de tratamentos de esgotos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, 1999c. Rio de Janeiro, RJ. **Anais**. Rio de Janeiro. p.762-770.

USEPA – Unite State Environmental Protection Agency. **Health effects of land applications of municipal sludge**. EPA/1-85/015, 1985.

USEPA – Unite State Environmental Protection Agency. **Preliminary risk assessment for bacteria in municipal sewage sludge applied to land**. EPA/600/6-91/006, 1991.

USEPA – Unite State Environmental Protection Agency. Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge under 40 CFR part 503. **Office of Water, Office of Science and Technology Sludge**. Risk Assessment Branch. Washington, DC 20460, 147, 1992.

USEPA – Unite State Environmental Protection Agency. Title 40 CFR part 503. Final rules: Standarts for the use or disposal of sewage sludge. **Federal Register**, v.58, n.32, p.9387-9415, 1993.

U. S. Salinity Laboratory Staff. Recomendações sobre o grau de salinidade da água de irrigação. p 79-82, 1969.

VANZOLINI, S. **Incorporação de calcário, lodo de esgoto e vinhaça na cultura do sorgo granífero em areia quartzosa, em condições de casa de vegetação**. Jaboticabal: UNESP, 1994. 114p. Monografia Graduação.