



UNIVERSIDADE FEDERAL DE
CAMPINA GRANDE

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

TESE DE DOUTORADO

FERTIRRIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA NA CULTURA DO
ALGODÃO DE FIBRA MARROM

WAGNER WALKER DE ALBUQUERQUE ALVES

- Engenheiro Agrônomo -

CAMPINA GRANDE – PARAÍBA

JULHO – 2006

WAGNER WALKER DE ALBUQUERQUE ALVES

- Engenheiro Agrônomo -

**FERTIRRIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA NA CULTURA DO
ALGODÃO DE FIBRA MARROM**

TESE DE DOUTORADO

Orientadores:

Prof. Dr. José Dantas Neto (UFCG, CTRN)

Prof. Ph.D. Carlos Alberto Vieira de Azevedo (UFCG, CTRN)

Tese de Doutorado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Recursos Naturais do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do Título de “*Doctor Scientiae*” em Recursos Naturais.

Área de Concentração: Sistema Água-Solo-Planta-Atmosfera

Linha de Pesquisa: Recursos Hídricos

CAMPINA GRANDE – PARAÍBA

JULHO – 2006

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

A474f Alves, Wagner Walker de Albuquerque
2006 Fertirrigação com água residuária na cultura do algodão de fibra marrom/
Wagner Walker de Albuquerque Alves. — Campina Grande, 2006.
211f.: il.

Referências.

Tese (Doutorado em Recursos Naturais) Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Orientadores: José Dantas Neto e Carlos Alberto Vieira de Azevedo.

1-Água - Reúso 2-Algodão 3-Adubação I-Título

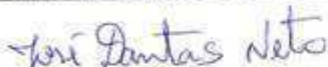
CDU 628.381

WAGNER WALKER DE ALBUQUERQUE ALVES

FERTIRRIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA NA CULTURA DO ALGODÃO DE FIBRA
MARROM

APROVADA EM: 14/07/2006

BANCA EXAMINADORA:



Dr. JOSÉ DANTAS NETO

Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola – UAEAg
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG



Dr. CARLOS ALBERTO VIEIRA DE AZEVEDO

Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola – UAEAg
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG



Dr. LOURIVAL FERREIRA CAVALCANTE

Centro de Ciências Agrárias – CCA
Universidade Federal da Paraíba - UFPB



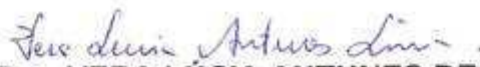
Dr. NAPOLEÃO ESBERARD DE MACÊDO BELTRÃO

Centro Nacional de Pesquisa do Algodão – CNPA
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA



Dr. JOSÉ TAVARES DE SOUSA

Centro de Tecnologia – CT
Universidade Estadual da Paraíba - UEPB



Dra. VERA LÚCIA ANTUNES DE LIMA

Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola – UAEAg
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

Mais uma vez a DEUS que me concedeu mais um sonho alcançado, dando-me coragem, saúde e força de vontade para realizar mais uma etapa de minha formação.

Dedico

Aos meus pais Antônio Alves da Silva e Joelma Teresinha de Albuquerque Alves pelo amor, tolerância, dedicação a cada dia, a minha gratidão eterna.

Aos meus irmãos José Alessandro, Sâmia Kiara, Emerson Charles, Katharinne de Albuquerque Alves pelo amor e carinho.

A minha vó Maria de Lourdes de Albuquerque pela pessoa generosa e amável meu muito obrigado.

Aos meus tios Joselma Albuquerque, José Maria de Albuquerque, Maria de Lourdes, Antônio Monteiro, Josélia Albuquerque, Maria José, Rita, Severina Augusta de Albuquerque, pela satisfação de tê-los em minha vida.

Aos meus sobrinhos Pedro, Davi e Larissa.

Aos meus primos Antônio Carlos, Érica, Silvia, Queninho, Emerson, Emília, Élvia, Leandro, Sara e Ana Cecília pela amizade e carinho. A José Anchieta Júnior, Daniela, Juliana, Highor, Edna, Terceiro, Rachel Barreto, Juliana Sayane, Alexsandra, Cláudia Cunha, Cibele, Izabel, pela força e motivação.

Ofereço

"Nunca diga às pessoas como fazer as coisas. Diga-lhes o que deve ser feito e elas surpreenderão você com sua engenhosidade."

(George Patton, 1885-1945)

AGRADECIMENTOS

Aos orientadores prof. Dr. José Dantas Neto e prof. Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo pela atenção e confiança.

Ao prof. Dr. Napoleão Esberad de Macêdo Beltrão pela orientação, contribuição e atenção em todas as fases da pesquisa.

Aos examinadores prof. Dr. Lourival Ferreira Cavalcante, prof. Dr. José Tavares de Sousa e prof^ª. Dr^ª. Vera Lúcia Antunes de Lima pelas contribuições e correções na revisão final do trabalho.

A Renê Medeiros de Sousa, José Sebastião Costa de Sousa, Rogarciano Cirilo Batista, Marcus Damiano de Lacerda pela companhia e ajuda na condução da pesquisa.

Aos professores, Francisco Assis de Oliveira, José Wellington dos Santos, Antônio Ricardo, Miranda, Max Prestes, Hans Gheyi, Pedro Dantas, Josivanda, Hugo Guerra, Juarez Pedrosa, Pedro Vieira, Annemarie könig, Lúcia Helena, Adailson Pereira de Sousa, Sandra Barreto, Fábio Henrique, Márcia Azevedo.

Aos funcionários Dr. Adilson Barros, Neide e Geraldo, Doutor, Wilson, Chico, José Maria, Seu José, Audanisa, Rivanilda e Aparecida.

Aos colegas de curso de doutorado, Marcelo Gurgel, Alexandre Eduardo, Waldenísia Gadelha, José Renato, José Lins, e os demais doutorandos: Reginaldo, Paulo Torres, Cláudia Germana, Ivana, Frederico Soares, Gustavo Henrique, Vanda, Euller, Salí, Betânia Nascimento, Mário, Genival, Sérvulo, Eliezer, Severino Pereira, karina Guedes, Soad, Ridelson, Betânia, Karina, Nery e Carlos Henrique.

E aos demais colegas Augusto, Rodrigo Borba, Joãozinho, Robson, Marcelo Albuquerque, Ana Paula, Sparchson, Rogério, Luciano Mendes, Edvaldo Eloy, Lúcio Madeiros, Madalena, Valneide, Cassandra, Rafael, Jardel, Mônica, Cláudio, Valfísio, Alessandro, Wendel.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelos dois projetos aprovados intitulados “Uso Eficiente e Integrado de Águas Residuárias na Irrigação do Algodão Colorido”, da bolsa de estudo CT-Hidro 2002 e do financiamento da pesquisa Edital Universal 2003.

"Nunca perca a fé na humanidade, pois ela é como um oceano. Só porque existem algumas gotas de água suja nele, não quer dizer que ele esteja sujo por completo."
(Ghandi)

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xvi
RESUMO	xx
ABSTRACT	xxi
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. <i>Objetivos específicos</i>	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1. <i>Reúso de água na agricultura</i>	4
3.2. <i>O uso de esgotos tratados em irrigação</i>	6
3.3. <i>Vantagens e desvantagens do reúso de águas</i>	8
3.4. <i>Qualidade da água e características dos efluentes tratados</i>	12
3.5. <i>Aspecto sanitário do reúso de águas na agricultura</i>	16
3.6. <i>Disposição de efluente sobre as características físicas e químicas do solo</i>	18
3.7. <i>Elementos tóxicos</i>	22
3.7.1. <i>Salinidade e sodicidade</i>	24
3.8. <i>Salinidade na cultura do algodão</i>	26
3.9. <i>Reúso em grandes culturas</i>	27
3.9.1. <i>Reúso na cultura do algodão</i>	30
3.10. <i>Nitrogênio</i>	32
3.10.1. <i>Adubação nitrogenada</i>	32
3.10.2. <i>Influência do nitrogênio no algodoeiro</i>	33
3.11. <i>Adubação fosfatada</i>	37
3.11.1. <i>Efeitos do fósforo na planta</i>	40
3.12. <i>Aspectos regionais da cultura do algodão</i>	44
3.13. <i>Aspectos hídricos da cultura do algodão</i>	45
3.13.1. <i>Manejo de água no cultivo do algodoeiro</i>	47
3.14. <i>Cultivar BRS 200 Marrom</i>	50
4. MATERIAL E MÉTODOS	51
4.1. <i>Localização do experimento e clima</i>	51
4.2. <i>Estação de tratamento de esgoto</i>	51
4.3. <i>Área experimental</i>	52

4.4. Sistema de irrigação	53
4.5. Delineamento experimental	55
4.6. Adubações	56
4.7. Solo utilizado	56
4.8. Análises físico-hídrica	56
4.9. Análises químicas	57
4.10. Água e efluente para irrigação	57
4.11. Determinação das lâminas e controle das irrigações	58
4.12. Determinação da altura das plantas	59
4.13. Determinação do diâmetro de caule	59
4.14. Determinação da área foliar	59
4.15. Determinação da biomassa parte aérea	60
4.16. Número de botões florais e de frutos	60
4.17. Taxas de crescimento absoluto (TCA)	60
4.17.1. Taxa de crescimento absoluto do caule	60
4.17.2. Taxa de crescimento absoluto do limbo foliar	61
4.17.3. Taxa de crescimento absoluto da biomassa das folhas	61
4.17.4. Taxa de crescimento absoluto da biomassa total da parte aérea	61
4.18. Razão de área foliar (RAF)	62
4.19. Taxa de assimilação líquida (TAL)	62
4.20. Taxas de crescimento relativo (TCR)	62
4.20.1. Taxa de crescimento relativo da biomassa total da parte aérea	63
4.20.2. Taxa de crescimento relativo da fitomassa fresca	63
4.20.3. Taxa de crescimento relativo do limbo foliar	63
4.20.4. Taxa de crescimento relativo do caule	64
4.20.5. Taxa de crescimento relativo da biomassa das folhas	64
4.21. Índice de área foliar (IAF)	64
4.22. Taxa de produção de matéria seca (TPMS)	64
4.23. Índice de colheita (IC)	65
4.24. Eficiência do uso da água (EF)	65
4.25. Peso de um capulho, peso de cem sementes, percentual de fibra e de sementes	65
4.26. Características têxteis da fibra	65
4.27. Produção de algodão em caroço, peso da pluma e peso de sementes	66

4.28. <i>Análise dos dados</i>	66
4.29. <i>Fase experimental</i>	66
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
5.1. <i>Características do solo e da água antes do plantio</i>	68
5.1.1. <i>Características do efluente e da água de abastecimento</i>	69
5.2. <i>Aporte de nutrientes via água residuária</i>	72
5.3. <i>Crescimento</i>	72
5.3.1. <i>Altura da planta</i>	72
5.3.2. <i>Diâmetro do caule</i>	76
5.3.3. <i>Área foliar</i>	80
5.4. <i>Biomassa em diferentes partes da planta</i>	84
5.4.1. <i>Biomassa total</i>	84
5.4.2. <i>Biomassa das folhas</i>	87
5.4.3. <i>Biomassa do caule e ramos</i>	90
5.4.4. <i>Biomassa do fruto</i>	93
5.4.5. <i>Número de botões florais e de frutos</i>	97
5.4.6. <i>Número de frutos</i>	101
5.5. <i>Relação biomassa de frutos, caule, ramos e folhas</i>	103
5.6. <i>Características do crescimento</i>	105
5.6.1. <i>Taxa de crescimento absoluto do caule</i>	105
5.6.2. <i>Taxa de crescimento absoluto da área do limbo foliar</i>	106
5.6.3. <i>Taxa crescimento absoluto da biomassa da folha</i>	108
5.6.4. <i>Taxa de crescimento absoluto da biomassa total</i>	109
5.6.5. <i>Razão de área foliar</i>	110
5.6.6. <i>Taxa de assimilação líquida</i>	112
5.6.7. <i>Taxa de crescimento relativo da fitomassa fresca</i>	113
5.6.8. <i>Taxa de crescimento relativo da área do limbo</i>	115
5.6.9. <i>Taxa de crescimento relativo caulinar</i>	116
5.6.10. <i>Taxa de crescimento relativo da biomassa da folha</i>	118
5.6.11. <i>Taxa de crescimento relativo da biomassa total</i>	119
5.7. <i>Índice de área foliar</i>	121
5.8. <i>Taxa de produção de matéria seca</i>	122
5.9. <i>Teores de nutrientes na folha do algodoeiro aos 85 DAE</i>	123
5.10. <i>Microelementos na folha do algodoeiro</i>	129

5.11. Teores de chumbo e cádmio na folha do algodoeiro	133
5.12. Componentes da produção	135
5.12.1. Peso de 1 capulho	137
5.12.2. Peso de 100 sementes	138
5.12.3. Produção de algodão em caroço	139
5.12.4. Índice de colheita	140
5.12.5. Peso de pluma	141
5.12.6. Percentual de fibra	142
5.12.7. Peso de sementes	143
5.12.8. Percentual de sementes	144
5.12.9. Teor de óleo na semente	146
5.13. Eficiência no uso da água	147
5.14. Características têxteis da fibra	148
5.15. Análise da fertilidade do solo	158
5.16. Salinidade do solo depois do cultivo	162
5.17. Análise econômica	165
6. CONCLUSÕES	168
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	170
8. APÊNDICES	191

LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura 1.	Emissário e lagoas de estabilização da estação de tratamento de esgotos (ETE) de Campina Grande-PB	51
Figura 2.	Captação do efluente final das lagoas de estabilização usado no experimento, ETE de Campina Grande	52
Figura 3.	Sistema de armazenamento, filtragem e distribuição de água	54
Figura 4.	Cabeçal de controle composto por filtro de areia, motobomba, filtro de disco, filtros de tela e manômetros analógicos	54
Figura 5.	Croqui da área experimental com a disposição das parcelas e respectivos tratamentos e tipos de água de irrigação	55
Figura 6.	Detalhe da área superficial do bulbo molhado pelo gotejador	69
Figura 7.	Detalhe na diferença de cor da folha das plantas entre os tratamentos irrigados com água e com efluente	73
Figura 8.	Altura de planta do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha ⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento	76
Figura 9.	Diâmetro de caule algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha ⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento	79
Figura 10.	Parcelas com linha de gotejadores e plantas com 12 e 27 dias após a emergência	80
Figura 11.	Área foliar do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha ⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento	83
Figura 12.	Biomassa total da planta do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha ⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento	87
Figura 13.	Biomassa das folhas do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha ⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento	90

Figura 14.	Biomassa do caule e ramos do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha ⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento	93
Figura 15.	Biomassa dos frutos do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha ⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento	97
Figura 16.	Número de botões florais da planta de algodoeiro de fibra marrom, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha ⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento	101
Figura 17.	Número de frutos da planta de algodoeiro de fibra marrom, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha ⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento	102
Figura 18.	Relação entre a biomassa das folhas, frutos, caule e ramos do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha ⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento	104
Figura 19.	Taxa de crescimento em altura do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha ⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento	106
Figura 20.	Taxa de crescimento da área foliar do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha ⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento	107
Figura 21.	Taxa de crescimento da biomassa da folha do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha ⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento	109
Figura 22.	Taxa de crescimento da biomassa total do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha ⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento	110
Figura 23.	Razão de área foliar do algodoeiro, cultivar BRS 200, irrigado com água em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha ⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento	111

Figura 24.	Taxa de assimilação líquida (TAL) da folha do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha ⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento	113
Figura 25.	Taxa de crescimento relativo da fitomassa fresca do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha ⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento	114
Figura 26.	Taxa de crescimento relativo da área do limbo do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha ⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento	116
Figura 27.	Taxa de crescimento relativo caulinar do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha ⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento	117
Figura 28.	Taxa de crescimento relativo da biomassa da folha do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha ⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento	119
Figura 29.	Taxa de crescimento relativo da biomassa total do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha ⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento	120
Figura 30.	Índice de área foliar do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha ⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento	122
Figura 31.	Taxa de produção de matéria seca do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha ⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento	123
Figura 32.	Teores de macronutrientes e do sódio nas folhas do algodoeiro cultivar BRS 200 aos 85 DAE	127
Figura 33.	Teores de macronutrientes e do sódio nas folhas do algodoeiro cultivas BRS 200 aos 85 DAE, irrigado com água potável e efluente de esgoto doméstico	129

Figura 34.	Teores de micronutrientes nas folhas do algodoeiro cultivar BRS 200 aos 85 DAE	131
Figura 35.	Teores de micronutrientes nas folhas do algodoeiro cultivar BRS 200 aos 85 DAE, irrigado com 643 mm de água de abastecimento e efluente de esgoto	133
Figura 36.	Teores de chumbo e cádmio nas folhas do algodoeiro cultivar BRS 200 aos 85 DAE	135
Figura 37.	Peso de um capulho do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha ⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento	138
Figura 38.	Peso de 100 sementes do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha ⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento	139
Figura 39.	Produção em algodão em caroço, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha ⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento	140
Figura 40.	Índice de colheita do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha ⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento	141
Figura 41.	Peso do algodão em pluma do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha ⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento	142
Figura 42.	Porcentagem de sementes do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha ⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento	143
Figura 43.	Peso de sementes do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha ⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento	144
Figura 44.	Porcentagem de sementes do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha ⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento	145

Figura 45.	Relação entre a percentagem de fibra e de sementes do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária	146
Figura 46.	Teor de óleo na semente do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha ⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento	147
Figura 47.	Eficiência do uso da água do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha ⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento	148
Figura 48.	Características têxteis da fibra do algodão, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária	152
Figura 49.	Alongamento a ruptura, comprimento e índice de fibras curtas da fibra do algodão, cultivar BRS 200 em função das lâminas de água ..	153
Figura 50.	Características têxteis da fibra do algodão, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo	155
Figura 51.	Características têxteis da fibra do algodão, cultivar BRS 200, irrigado com água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha ⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento	157
Figura 52.	Fertilidade do solo antes do plantio e após o cultivo irrigado com efluente mais uma precipitação pluvial (PP) de 89 mm na área cultivada com algodão	161
Figura 53.	Salinidade do solo antes do plantio, depois de uma precipitação pluvial (PP) de 89 mm no final do cultivo e após cinco meses com uma precipitação de 646 mm na área irrigada com efluente e cultivada com algodão	164

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Concentração de nutrientes de alguns fertilizantes orgânicos	10
Tabela 2. Características típicas do efluente secundário de esgoto tratado no mundo	15
Tabela 3. Fontes de água e produtividades por culturas	28
Tabela 4. Dados meteorológicos da estação climatológica CNPA/EMBRAPA, referente ao período da pesquisa	52
Tabela 5. Quantidade de água aplicada durante o experimento em milímetro e em litros	59
Tabela 6. Resultado das análises física, química e de fertilidade do solo antes do cultivo	68
Tabela 7. Resultado da análise do extrato de saturação do solo antes do cultivo	69
Tabela 8. Resultados da qualidade das águas usadas no experimento	71
Tabela 9. Aporte de nutrientes aplicados ao solo com base nas lâminas de água residuária aplicadas durante a irrigação	72
Tabela 10. Resumo da análise de variância da altura da planta aos 25, 45, 65, 85 e 105 Dias Após a Emergência das plântulas de algodoeiro irrigado sob diferentes lâminas de água residuária, com e sem nitrogênio e fósforo	73
Tabela 11. Valores médios da altura de planta aos 25, 45, 65, 85 e 105 (DAE) das plântulas em função de lâminas de água residuária, nitrogênio e fósforo na cultura do algodoeiro	75
Tabela 12. Resumo da análise de variância do diâmetro aos 25, 45, 65, 85 e 105 Dias Após a Emergência (DAE) das plântulas do algodoeiro irrigado sob diferentes lâminas de água residuária, com e sem nitrogênio e fósforo	77
Tabela 13. Valores médios do diâmetro das plantas aos 25, 45, 65, 85 e 105 DAE em função de lâminas de água residuária, nitrogênio e fósforo na cultura do algodoeiro	78
Tabela 14. Resumo da análise de variância da área foliar aos 25, 45, 65, 85 e 105 DAE das plântulas do algodoeiro irrigado sob diferentes lâminas de água residuária, com e sem nitrogênio e fósforo	81

Tabela 15.	Valores médios da área foliar aos 25, 45, 65, 85 e 105 DAE em função de lâminas de água residuária, nitrogênio e fósforo na cultura do algodoeiro	82
Tabela 16.	Resumo da análise de variância da biomassa total da planta aos 25, 45 65, 85 e 105 DAE das plântulas do algodoeiro irrigado sob diferentes lâminas de água residuária, com e sem nitrogênio e fósforo	84
Tabela 17.	Valores médios da biomassa total da planta aos 25, 45 65, 85 e 105 DAE em função de lâminas de água residuária, nitrogênio e fósforo na cultura do algodoeiro	85
Tabela 18.	Resumo da análise de variância da biomassa das folhas aos 45, 65, 85 e 105 DAE das plântulas do algodoeiro irrigado com diferentes lâminas de água residuária, com e sem nitrogênio e fósforo	88
Tabela 19.	Valores médios da biomassa da folhas aos 45, 65, 85 e 105 DAE em função de lâminas de água residuária, nitrogênio e fósforo na cultura do algodoeiro	89
Tabela 20.	Resumo da análise de variância da biomassa dos ramos aos 45, 65, 85 e 105 DAE das plântulas do algodoeiro irrigado com diferentes lâminas de água residuária, com e sem nitrogênio e fósforo	91
Tabela 21.	Valores médios da biomassa dos ramos aos 45, 65, 85 e 105 DAE em função de lâminas de água residuária, nitrogênio e fósforo na cultura do algodoeiro	92
Tabela 22.	Resumo da análise de variância da biomassa dos frutos aos 65, 85 e 105 dias após a emergência das plântulas do algodoeiro irrigado com diferentes lâminas de água residuária, com e sem nitrogênio e fósforo	94
Tabela 23.	Valores médios da biomassa dos frutos aos 65, 85 e 105 DAE em função de lâminas de água residuária, nitrogênio e fósforo na cultura do algodoeiro	95
Tabela 24.	Resumo da análise de variância dos números de botões florais e números de frutos por planta, a cada 20 dias após a emergência das plântulas do algodoeiro, irrigado água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo	98
Tabela 25.	Valores médios dos números de botões florais e números de frutos por planta, a cada 20 dias após a emergência das plântulas do algodoeiro cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, nitrogênio e fósforo	99
Tabela 26.	Teores adequados de nutrientes nas folhas do algodoeiro no período de florescimento	124

Tabela 27.	Resumo da análise de variância do peso de um capulho e de cem sementes, percentagem de fibra, algodão em caroço, em pluma e sementes do algodoeiro irrigado sob diferentes lâminas de água residuária, com e sem nitrogênio e fósforo	136
Tabela 28.	Valores médios do peso de um capulho e de cem sementes, percentagem de fibra, algodão em caroço, algodão em pluma e sementes em função de lâminas de água residuária, nitrogênio e fósforo na cultura do algodoeiro	137
Tabela 29.	Resumo da análise de variância das características têxteis da fibra, resistência (STR), alongamento a ruptura (ELG), índice de micronaire (MIC), maturidade (MAT), índice de consistência a fiação (SCI), do algodoeiro irrigado com diferentes lâminas de água residuária, com e sem fósforo e nitrogênio	149
Tabela 30.	Resumo da análise de variância para as características da fibra, comprimento médio da fibra (UHM), uniformidade (UNF), índice de fibras curtas (SFI), reflectância (Rd), grau de amarelecimento (+b), do algodoeiro irrigado com diferentes lâminas de água residuária, com e sem fósforo e nitrogênio	150
Tabela 31.	Valores médios da resistência (STR), alongamento a ruptura (ELG), índice de micronaire (MIC), maturidade (MAT), índice de consistência a fiação (SCI), comprimento da fibra (UHM), uniformidade (UNF), índice de fibras curtas (SFI), reflectância (Rd), grau de amarelecimento (+b), em função de lâminas de água residuária, nitrogênio e fósforo na cultura do algodoeiro	151
Tabela 32.	Valores médios da fertilidade do solo antes do cultivo algodoeiro irrigado com efluente de esgoto e água dos tratamentos do fatorial e dos tratamentos adicionais	161
Tabela 33.	Valores médios da fertilidade do solo depois do cultivo algodoeiro irrigado com efluente de esgoto e água mais 89 mm de precipitação pluvial, dos tratamentos do fatorial e dos tratamentos adicionais	161
Tabela 34.	Valores médios salinidade do solo antes do plantio do fatorial e dos tratamentos adicionais no algodoeiro irrigado com efluente e água ...	164
Tabela 35.	Valores médios salinidade do solo depois do cultivo do fatorial e dos tratamentos adicionais no algodoeiro irrigado com efluente e água e com 89 mm de precipitação pluvial	165
Tabela 36.	Valores médios salinidade do solo depois do cultivo do fatorial e dos tratamentos adicionais no algodoeiro irrigado com efluente e água e com 646 mm de precipitação pluvial	165
Tabela 37.	Análise econômica do algodoeiro BRS 200, irrigado por gotejamento com efluente tratado e água de abastecimento, adubado com nitrogênio e fósforo	166

Tabela 38. Análise econômica do cultivo do algodoeiro irrigado por gotejamento com efluente tratado e água de abastecimento, adubado com nitrogênio e fósforo	167
---	-----

WAGNER WALKER DE ALBUQUERQUE ALVES

FERTIRRIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA NA CULTURA DO
ALGODÃO DE FIBRA MARROM

RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos da fertirrigação com água residuária doméstica tratada sobre o crescimento, desenvolvimento e produção do algodoeiro de fibra marrom, e sobre as propriedades químicas do solo, com lâminas crescentes de água, na presença e ausência de adubação nitrogenada e fosfatada. A pesquisa foi conduzida em campo nas dependências da Estação de Tratamento de Esgotos da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba, localizada no bairro da Catingueira, distante 10 km do Centro de Campina Grande, PB. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, num arranjo fatorial misto $[(4 \times 2 \times 2) + 2] \times 3$, cujos fatores foram quatro lâminas de irrigação (781, 643, 505 e 367 mm), ausência e presença de nitrogênio e fósforo (0 e 90 kg ha⁻¹ de N; 0 e 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅), e dois tratamentos adicionais referente a adubação de 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio, ambos irrigados com água de abastecimento público com a lâmina de 643 mm; vezes três repetições. O crescimento e desenvolvimento do algodoeiro foram superiores quando se usou efluente doméstico tratado, com melhores resultados para a lâmina de 781 mm. Não houve necessidade de adubação complementar de nitrogênio e fósforo no solo contendo 0,38 g kg⁻¹ de nitrogênio e 13,4 mg dm⁻³ de fósforo e com o efluente doméstico contendo 60,5 mg L⁻¹ de nitrogênio total e 4,6 mg L⁻¹ de fósforo total. O peso do algodão em caroço, da pluma e da semente também foram superiores para a maior lâmina (781 mm) com efluente doméstico tratado na ausência de adubo químico. Não houve detrimento das características têxteis da fibra, quando se usou efluente de esgoto doméstico tratado na irrigação do algodoeiro de fibra marrom. As adubações com nitrogênio e fósforo nas quantidades de 90 e 60 kg ha⁻¹ respectivamente, foram supridas com o uso da água residuária na irrigação do algodoeiro. Foram encontrados teores de chumbo e cádmio na folha do algodoeiro aos 85 dias após a emergência das plântulas. Os teores de P, K⁺, Ca²⁺, N, H, matéria orgânica, e a capacidade de troca catiônica do solo aumentaram após o cultivo, já o pH, Mg²⁺, Na⁺, C, percentagem de sódio trocável, soma de bases trocáveis, e a percentagem de saturação por bases (V%) diminuíram. Os valores da condutividade elétrica, pH, teores de Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, Cl⁻, e a relação de adsorção de sódio do extrato de saturação do solo diminuíram após a irrigação com efluente tratado, após 646 mm de precipitação pluvial. Obtiveram-se ótimos rendimentos econômicos com o cultivo do algodoeiro de fibra marrom irrigado com efluente de esgoto doméstico tratado, que foram maiores quando não se usou adubo nitrogenado e fosfatado.

Palavras-chave: Água residuária, algodão, adubação

WAGNER WALKER DE ALBUQUERQUE ALVES**FERTIRRIGATION WITH WASTEWATER IN THE CROP OF BROWN FIBER COTTON****ABSTRACT**

The objective of the work was evaluate the effects of fertirrigation with treated domestic wastewater on cotton plant of brown fiber, involving aspects related to its growth, development and production, and on soil chemical properties, with increasing irrigation water depths and in presence and absence of nitrogen and phosphorus fertilization. The field research was conducted in the dependences of the Station of Treatment of Sewers of the Company of Water and Sewers of Paraíba, located in the neighborhood of Catingueira, distant 10 km of Campina Grande downtown, Paraíba state, Brazil. The experimental design was in randomized blocks in a mixed factorial scheme (4 x 2 x 2) + 2, whose factors were four irrigation water depths with effluent (781, 643, 505 and 367 mm), absence and presence of nitrogen and phosphorus in the doses of 0 and 90 kg ha⁻¹ of N and 0 and 60 kg ha⁻¹ of P₂O₅, and two additional treatments fertilized with nitrogen in the doses of 90 and 180 kg ha⁻¹, both irrigated with water of public provisioning with irrigation water depth of 643 mm. The growth and development of the cotton plant were superior when the treated domestic effluent was used, with better results for the irrigation water depth of 781 mm. There was not need for complemented fertilization with nitrogen and phosphorus in the soil containing 0.38 g kg⁻¹ of nitrogen and 13.4 mg dm⁻³ of phosphorus with domestic effluent containing 60.5 mg L⁻¹ of total nitrogen and 4.6 mg L⁻¹ of total phosphorus. The weight of the cotton in pit, of the fiber and of the seed were also superior for the largest irrigation water depth (781 mm) with treated domestic effluent in the absence of chemical fertilizer. There was not detriment in the textile characteristics of the fiber, when effluent from treated domestic sewer was used in the irrigation of the cotton plant of brown fiber. The fertilization with nitrogen and phosphorus, respectively, in the amounts of 90 and 60 kg ha⁻¹ were supplied with the use of the wastewater in the irrigation of the cotton plant. Contents of lead and cadmium were found in the cotton plant leaf at the 85 days after the emergency of the seedlings. The contents of P, K⁺, Ca²⁺, N, H, organic matter, and the cationic exchangeable capacity of the soil increased after the cultivation, already the pH, Mg²⁺, Na⁺, C, exchangeable sodium percentage, sum of exchangeable bases, and the saturation percentage by bases decreased. The values of the electrical conductivity, pH, contents of Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, Cl⁻, and the sodium adsorption relationship of the soil stratum saturation decreased after the irrigation with treated effluent and after 646 mm of pluvial precipitation. The cotton plant of brown fiber irrigated with effluent from treated domestic sewer obtained great economical incomes, which were more pronounced when it was not used nitrogen and phosphorus fertilizers.

Key words: Wastewater, cotton, fertilization

1. INTRODUÇÃO

Em 1958, o Conselho Econômico e Social das Nações Unidas estabeleceu uma política de gestão para áreas carentes de recursos hídricos, com base no seguinte conceito: “a não ser que exista grande disponibilidade, nenhuma água de boa qualidade deve ser utilizada para usos que toleram águas de qualidade inferior” (HESPANHOL, 2001).

Dentre as atividades a agricultura é a que utiliza maior quantidade de água e pode tolerar águas de qualidade mais baixa do que a indústria e o uso doméstico. É, portanto, inevitável que exista crescente tendência para se encontrar na agricultura a solução dos problemas relacionados com a eliminação de efluentes (AYRES & WESTCOT, 1999).

A utilização de efluentes de esgotos sanitários tratados na irrigação de culturas está em rápida expansão (BALKS et al., 1998) particularmente aqueles onde os recursos hídricos são escassos. Além disso, constituem fonte suplementar d'água, e de nutrientes como o nitrogênio e o fósforo, para a agricultura irrigada (Al-JALOUD et al., 1995).

O reúso da água na irrigação é uma alternativa que vem se mostrando viável por várias razões: em áreas onde as culturas mais necessitam de irrigação a água é, via de regra, escassa; a agricultura irrigada requer grandes volumes de água, que representam a maior demanda de água nas regiões áridas; as plantas podem ser beneficiadas não somente pela água, mas também, dentro de certos limites pelos materiais dissolvidos nos efluentes, tais como substâncias húmicas, nitrogênio, fósforo, potássio e micronutrientes (PESCOD, 1992). Para se reduzir problemas de contaminação por microorganismos de águas de esgoto tratado, o uso de culturas que não sejam diretamente comestíveis pode ser uma alternativa para o incremento da produção, como é o caso do algodão.

O algodão é um dos principais produtos agrícolas brasileiros que vêm registrando acentuado crescimento nas exportações. A melhoria na qualidade da fibra, a contínua expansão da cultura no cerrado, os ganhos crescentes de produtividade e a redução nos custos de produção são fatores que estão impulsionando o algodão nacional no mercado externo. Da participação de 6% no mercado internacional, registrada na safra 2003/04, os embarques da fibra nacional devem saltar para uma parcela de 10% na safra 2013/14, a perspectiva é de que as exportações de algodão devam chegar ao patamar de 800 mil toneladas em dez anos (GAZETA MERCANTIL, 2005).

Depois de um longo período sem utilização pela humanidade, cerca de 2.000 anos, começou a haver novamente interesse pelo algodão colorido devido à presença de pigmentos naturais em suas fibras eliminando a necessidade de tintura com corantes sintéticos e diminuindo os impactos ambientais. A partir de 1979, a Dr^a Sally Fox selecionou no Texas, USA, algodões de fibra marrom e iniciou um processo de melhoramento genético (ICAC RECORDER, 1992). Nessa mesma época, melhoristas da Embrapa Algodão iniciaram, no Nordeste brasileiro, trabalho semelhante, utilizando-se do algodoeiro arbóreo mocó.

Na agricultura moderna, em especial nas áreas irrigadas, onde os insumos e fatores de produção são otimizados, especialmente os fertilizantes, as plantas tendem a crescer, às vezes, mais do que o necessário, e caso ela seja de crescimento indeterminado como é o caso do algodoeiro, poderá haver efeitos antagônicos entre desenvolvimento e a produção econômica (fibra + semente) dependendo do equilíbrio entre o crescimento e o desenvolvimento (BELTRÃO et al., 2001).

O nitrogênio está relacionado ao crescimento e ao desenvolvimento reprodutivo dos vegetais e quando em excesso pode estimular um crescimento da planta além do adequado, alongando o ciclo, diminuindo a eficácia dos tratamentos fitossanitários e dificultando a colheita mecânica. Elevadas taxas de aplicação de efluente pode também resultar em maior período vegetativo, excesso de crescimento e diminuição na produção de linter, devido ao excesso de nitrogênio oriundo do efluente de esgoto (BIELORAI et al., 1984).

O fósforo é o nutriente formador da produção, sendo exigido para maiores formações de flores e tamanho médio de capulhos e de sementes, menor crescimento vegetativo pós-floração e maturação uniforme, para regularizar o ciclo e aumentar a produção total. Por outro lado o fósforo não influi decisivamente nas características têxteis da fibra, mas contribui para o comprimento (GRESPLAN & ZANCANARO, 1999).

Um dos grandes problemas mundiais na atualidade é a perda de fontes potencias de água doce, seja pela degradação da qualidade, seja pela poluição dos corpos de água superficiais e subsuperficiais.

A pesquisa tem como objetivo estudar os efeitos de lâminas crescentes de água residuária doméstica tratada, adubação nitrogenada e fosfatada no crescimento, desenvolvimento e produção do algodoeiro de fibra marrom e nas alterações químicas do solo.

2. OBJETIVOS

Estudar a viabilidade da água residuária doméstica tratada, na fertirrigação da cultura do algodoeiro de fibra marrom, e seus efeitos nas propriedades químicas do solo.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Selecionar a lâmina de água residuária mais eficiente para o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo do algodoeiro.

b) Verificar o efeito da ausência e presença da adubação mineral nitrogenada e fosfatada sobre o crescimento, desenvolvimento e produção da cultura do algodão marrom.

c) Verificar se o nitrogênio e o fósforo oriundos da água residuária supre em parte ou completamente as quantidades exigidas pela cultura para um bom estado nutricional.

d) Estudar os efeitos da interação entre o suprimento mineral nitrogenado e fosfatado e lâmina de água residuária doméstica tratada sobre a cultura do algodoeiro.

e) Estudar a influência das lâminas de água residuária sobre a partição de assimilados das estruturas reprodutivas para as vegetativas do algodoeiro.

f) Quantificar os efeitos relacionados a lâminas de água residuária, quanto às características químicas, de fertilidade e de salinidade do solo.

g) Avaliar a viabilidade econômica de adubação com fertilizantes nitrogenados e fosfatados, via a irrigação com águas residuárias urbanas de lagoa de estabilização, na cultura do algodoeiro de fibra marrom.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Reúso de água na agricultura

A utilização de dejetos humanos na agricultura (fertilização de culturas, para reposição de nutrientes em solos pobres) e na piscicultura é uma prática antiga em muitos países do sudeste asiático, principalmente na China. As primeiras cidades européias a adotarem esta prática foram Bunzlau na Alemanha em 1531 e Edimburgo na Escócia em 1650. Na França, sistemas de disposição de esgotos em meados de 1868 e após 4 anos de implantação já eram irrigados cerca de 900 ha com parte dos esgotos da cidade de Paris; os restantes eram descarregados no Rio Sena. Em 1904 cessou a descarga de esgotos neste e toda a vazão era destinada às fazendas de esgoto, com uma área total de 5.300 ha, (KONIG & CEBALLOS, 1997).

Em 1897, a cidade de Melbourne na Austrália, implantou a Fazenda Werribee para descartar e tratar seus esgotos através do plantio de forrageiras, destinadas à pastagem de ovinos e bovinos. Este empreendimento bem sucedido ainda está em funcionamento e atualmente irriga 10.000 ha com o efluente do maior sistema de lagoas de estabilização do mundo.

Nos Estados Unidos da América os primeiros projetos de reúso em meados de 1880, eram sistemas naturais de tratamento com aplicação no solo. No início do século XX muitos dos projetos de fazendas de esgotos foram gradualmente abandonados nos Estados Unidos da América e na Europa devido entre outros fatores à urbanização crescente das cidades que chegavam até as proximidades destas fazendas.

Contudo, a crescente utilização de esgotos na irrigação não se deu somente por necessidades de pós-guerra, mas também devido ao avanço tecnológico que permitiu melhor conhecimento do assunto. Evoluíram as técnicas agrícolas de manejo do solo e de irrigação e, por outro lado, o conhecimento físico-químico e microbiológico, aplicado aos esgotos.

Conforme Lotti (1981) no passado, o problema de gestão de águas residuárias e reúso de efluentes foi guarnecido por países com economia altamente desenvolvida, resultando numa demanda crescente por uma boa qualidade de água para uso doméstico e industrial. Muitos países em desenvolvimento estão revestidos de uma situação similar, especialmente em regiões áridas e semi-áridas, onde a disponibilidade de água é severamente limitada.

A partir da década de 70, principalmente após o encontro de especialistas da Organização Mundial de Saúde (OMS), sobre o assunto, em 1971, várias organizações internacionais, universidades e outras instituições, intensificaram os estudos e experimentações sobre o uso dos esgotos na irrigação em todo o mundo.

Nos anos 80, a principal investigação neste domínio foi no sentido de determinar padrões microbiológicos adequados para uso das águas de esgotos tratados ou efluentes a serem usados na irrigação.

Padrões mais exigentes foram caindo, até que em 1987, no encontro científico sobre aspectos de saúde associados ao reúso de águas, realizado na OMS em Genebra, foram reunidas conclusões, baseadas em evidências epidemiológicas, demonstrando que o temor de riscos à saúde era no mínimo exagerado.

Nas duas últimas décadas a intensificação do uso de esgotos na irrigação aumentou significativamente. Bastos (1996) apresenta vários exemplos. Em Israel, cerca de 70% do volume de águas residuárias são utilizados para irrigação após tratamento, principalmente no cultivo de algodão. Na Austrália, a “Werrabee Farm”, em funcionamento desde 1897, um século após opera um sistema de tratamento por escoamento superficial no solo, recebendo cerca de $250.000 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ de efluentes em 5.000 ha e permitindo posteriormente pastagem de um rebanho de 13.000 bovinos e 3.000 ovinos. Na Cidade do México, cerca de $45 \text{ m}^3 \text{ seg}^{-1}$ de águas residuárias, combinadas a outros $10 \text{ m}^3 \text{ seg}^{-1}$ de águas pluviais, são utilizados para irrigar 80.000 ha à 60 km da região metropolitana através de um complexo sistema de canais e reservatórios. A Arábia Saudita e a Tunísia apresentam como meta o reúso da totalidade de efluentes domésticos produzidos. No Peru, o programa nacional de reúso das águas residuárias para irrigação, prevê a implantação por etapas de 18.000 ha de área irrigadas.

No Brasil, há falta de tradição na reciclagem dos resíduos gerados, particularmente do efluente de origem doméstica. Todavia, nos anos recentes, a aplicação de resíduos orgânicos na agricultura tem recebido atenção considerável pelo aumento crescente do requerimento de energia para produção de fertilizantes minerais e por causa dos custos e problemas ambientais associados com métodos alternativos de disposição de resíduos (CHAE & TABATABAI, 1986). Isso tem levado a um aumento expressivo do número de publicações relacionadas à utilização de resíduos orgânicos no solo. No entanto, geralmente não têm sido abordados os benefícios econômicos, energéticos e ambientais dos mesmos (SIMS, 1996).

Embora a aplicação de resíduos ao solo esteja se tornando mais difundida como regulamento das autoridades para proteger a qualidade de água, ainda não está bem claro se o solo é de fato, o local mais apropriado para receber todos os resíduos gerados pela ação antrópica (CAMERON et al., 1997).

3.2. O uso da água de esgotos tratados em irrigação

A agricultura irrigada é a atividade humana que demanda maior quantidade total de água. Em termos mundiais estima-se que esse uso responda por cerca de 80% das derivações de água; no Brasil, esse valor supera os 60%. Muito embora a irrigação venha sendo praticada há vários milênios, a qualidade da água só começou a ter importância a partir do início do século XX (WERNECK et al., 1999).

Na atualidade, uma das grandes preocupações da humanidade se refere ao uso racional dos resíduos de esgotos domésticos; a água residuária, que é rica em vários nutrientes e pode ser, com alguns cuidados, como a monitoração do solo, utilizada como fonte de água de irrigação tendo, assim, um destino de elevada utilidade para a sociedade, confirmando que o uso de águas residuárias domésticas tratadas em irrigação é uma fonte alternativa de água para as culturas irrigadas no Nordeste, como ressaltam Sousa & Leite (2002).

O uso de esgotos na irrigação, quando possível, é sempre uma boa medida, como destino final, ou antes, que atinjam às águas. No mínimo porque, dispostos no solo, os esgotos sofrem depuração natural e, qualquer que seja o grau de tratamento, são menos maléficos às águas do corpo receptor. Ademais, constituem fator recondicionante (água, matéria orgânica e nutrientes minerais). Já o lançamento de esgotos em corpos d'água é quase sempre indesejável e insuportável, a não ser que recebam tratamento exigente.

Os resíduos líquidos mais comuns aplicados ao solo incluem esgoto convencionalmente tratado, lodo de esgoto líquido (com mais de 95% de água), dejetos líquidos de animais, efluentes do processamento de frutas, vegetais, produtos de origem animal, leiteiras e indústrias de produtos fibrosos (BOUWER & CHANEY, 1974).

A aplicação de resíduos orgânicos e água residuária no solo tem sido comum desde muitos anos como um processo de tratamento e meio de disposição (FEIGIN et al., 1991). Nos tratamentos convencionais, a energia contida nos esgotos é dissipada mediante a mineralização da matéria orgânica e lançando-se os nutrientes nos corpos

receptores. Porém, através da disposição de esgoto no solo, a energia é canalizada e utilizada para produção de alimentos, recarga de aquíferos, irrigação e outros fins (PAGANINI, 1997).

Quando se utilizam os esgotos para irrigação, o sistema solo-microrganismos-plantas pode estabilizar o esgoto, complementando a depuração e, além de "proteger" os corpos d'água à jusante, fornecer nutrientes para as plantas que os utilizam no seu processo de crescimento.

A disposição no solo é considerada o método mais favorável para o controle do aumento de volume de águas residuárias das atividades de vida urbana e industrial (FEIGIN et al., 1978). Ao mesmo tempo, a aplicação ao solo e a reutilização de águas residuárias tratadas tem sido uma solução efetiva do custo potencial para o problema de disposição dos efluentes no ambiente (DARWISH et al., 1999). Na verdade, a aplicação dos efluentes tratados no solo completa uma seqüência de tratamentos para reduzir a concentração de microorganismos e de vários compostos orgânicos e inorgânicos a teores aceitáveis para a renovação da água (FEIGIN et al., 1991).

A eficiência da disposição de efluentes e sua reutilização dependem de fatores combinados das propriedades do solo e tecnologia de irrigação (ORON et al., 1999). A capacidade de filtração do solo depende do tamanho e distribuição das partículas, teor de umidade, matéria orgânica e características de adsorção. A efetividade do processo de filtração depende também das características do sistema radicular das plantas e do regime de irrigação.

As possibilidades de uso da água estão diminuindo em várias regiões do mundo, ao passo que a demanda por água limpa e sadia está aumentando devido ao crescimento populacional e ao desenvolvimento econômico. Um primeiro passo seria diminuir a poluição na tentativa de restabelecer a qualidade da água e com isto tornar o recurso reutilizável (KEMPER, 1997).

O reúso é muito atraente para as regiões áridas e semi-áridas, onde a falta de água ou a distribuição irregular das chuvas limita a produção agrícola. Dentre as diversas vantagens que apresenta, destacam-se (STRAUSS & BLUMENTHAL, 1989):

a) ser uma fonte de água para diversas atividades, como agricultura, aquíicultura e recarga de aquíferos, permitindo poupar os mananciais de melhor qualidade para usos mais nobres - como o consumo humano;

b) ser uma fonte natural de nutrientes (N, P, K contidos na matéria orgânica em decomposição), permitindo a economia de fertilizantes inorgânicos; simultaneamente, os esgotos agem como melhoradores das propriedades físicas do solo;

c) constituir um mecanismo de proteção ambiental ao evitar a descarga de poluentes (eutrofizantes e patogênicos) nos corpos aquáticos receptores.

Geralmente não há restrições químicas quanto à qualidade dos esgotos sanitários para irrigação. Efluentes de lagoas de estabilização também são geralmente benéficos. Contudo, é necessário que a disposição dos esgotos se faça sem provocar a "indigestão" do solo, por excesso de nutrientes.

O uso de esgotos e efluentes tratados na irrigação deve ser planejado para controlar, em longo prazo, os efeitos da salinidade, sodicidade, nutrientes e oligoelementos, sobre os solos e as culturas (AYRES & WESTCOT, 1991).

3.3. Vantagens e desvantagens do reúso de águas

Dentre os principais sistemas de disposição de águas residuárias no solo (irrigação, infiltração/percolação e escoamento à superfície), a irrigação de culturas tem sido o método mais acessível (FEIGIN et al., 1991) e mais eficiente (DARWISH et al., 1999), particularmente, nos países em desenvolvimento onde não há uma política para o custo de tratamento das águas residuárias (FRIEDEL et al., 2000).

Em determinadas regiões do México e da costa desértica do Peru, o desequilíbrio dos recursos hídricos e o crescimento explosivo das grandes cidades obrigaram a priorização do uso das águas superficiais para o abastecimento público e a geração de energia elétrica. Conseqüentemente, as atividades agrícolas desenvolvidas na periferia das cidades foram seriamente afetadas e assim o uso das águas residuárias tornaram-se a única alternativa para a sobrevivência. Isto reflete a existência de mais de 400.000 ha irrigados com esgoto, de forma direta, sendo na sua maioria sem tratamento prévio (LEON SUEMATSU & MOSCOSO CAVALLINI, 1999).

A reutilização de efluentes tratados e/ou parcialmente tratados na irrigação de culturas agrícolas e/ou florestas, ao invés de descarregá-los nos cursos d'água, tem sido uma alternativa popular e atrativa (BOND, 1998) e tem apresentado uma rápida expansão (BALKS et al., 1998), por várias razões: (i) nos locais onde culturas necessitam serem irrigadas e os recursos hídricos são escassos, como é o caso de regiões semi-áridas, os efluentes têm sido uma fonte suplementar d'água para sustentabilidade

da agricultura irrigada (BOUWER & IDELOVITCH, 1987; AL-JALOUD et al., 1995); (ii) a agricultura irrigada requer grandes quantidades de água que são utilizadas somente uma vez, visto que a irrigação basicamente é um uso consumível e conseqüentemente, o requerimento d'água para irrigação apresenta a maior parte do total de água demandada, principalmente nas regiões secas (BOUWER & IDELOVITCH, 1987); (iii) o uso de efluente de esgoto tratado na agricultura pode ser proveitoso não somente como fonte d'água, mas também, dentro de certas limitações, de outros recursos adicionais encontrados nas águas residuárias (BOUWER & IDELOVITCH, 1987); (iv) as águas residuárias não somente mantém as águas de superfície, mas também, a sua disposição no solo implica em reciclagem, onde "poluentes" passam a ser nutrientes para o crescimento das plantas (BOUWER & CHANEY, 1974; VAZQUEZ-MONTIEL et al., 1996); (V) A irrigação é relativamente flexível com despeito ao requerimento da qualidade da água". Algumas culturas podem ser irrigadas com água de baixa qualidade sem maiores riscos e alguns problemas de qualidade de água podem ser superados por práticas agrônômicas sustentáveis (BOUWER & IDELOVITCH, 1987).

Dentre as vantagens da reutilização de águas residuárias citam-se:

1 - economia de água uma vez que o consumo per capita é de 150 - 200 L hab⁻¹ dia⁻¹;

2 - redução nos gastos com fertilizantes minerais, diminuindo assim os custos de produção;

3 - aumento da fertilidade dos solos devido à presença, nos esgotos brutos, de nutrientes essenciais às plantas como nitrogênio (10-100 mg L⁻¹), fósforo (5-25 mg L⁻¹) e potássio (10-40 mg L⁻¹), além dos microelementos;

4 - aumento da produção agrícola;

5 - a formação de húmus em conseqüência da mineralização lenta da matéria orgânica dos esgotos, exercendo influência nas propriedades físicas do solo, como retenção de água;

6 - proteção ambiental com a redução da eutrofização dos recursos hídricos e assim destiná-los somente para fins potáveis;

Observa-se na Tabela 1, a seguir a concentração de nutrientes de alguns resíduos orgânicos.

Tabelas 1: Concentração de nutrientes de alguns fertilizantes orgânicos
 Conteúdo de Nutrientes (% de matéria seca)

	Nitrogênio Total	P ₂ O ₅	K ₂ O
Fezes Humanas Frescas	10,4 - 13,1	2,7 - 5,1	2,1 - 3,5
Estrume Bovino Fresco	0,3 - 1,9	0,1 - 0,7	2,1 - 3,5
Estrume de Suínos	4 - 6	3 - 4	2,5 - 3
Estrume de Aves	6	5	2,7
Biomassa	1 - 11	0,5 - 2,8	1,1 - 11

Fonte: Strauss & Blumenthal (1989).

Dentre as desvantagens são citadas:

1 – concentração excessiva de nitrogênio que pode comprometer as culturas pouco tolerantes;

2 - elevados teores de sais que dissolvidos podem provocar a salinização do solo;

3 - presença de íons específicos (sódio, boro e cloreto) que podem induzir toxidez as culturas menos tolerantes;

4 - riscos à saúde do trabalhador e usuário dos produtos irrigados, devido à possível contaminação com microrganismos patogênicos presentes nos esgotos.

Os critérios para o manejo do solo com a utilização de águas residuárias, são basicamente os mesmos aplicados à irrigação convencional: a qualidade do efluente a ser utilizado, as taxas de aplicação, o método de irrigação, tipo de solo e a cultura a ser utilizada. A investigação científica do reúso visa maximizar as vantagens e minimizar os potenciais riscos inconvenientes do uso de águas residuárias domésticas na agricultura. Os estudos experimentais devem ser direcionados para os aspectos sanitários, especialmente aqueles relacionados com a contaminação do solo, das águas subterrâneas, das culturas irrigadas e também sobre a avaliação da qualidade e produção das culturas, (KONIG & CEBALLOS, 1997).

É evidente a potencialidade do uso de efluentes como fonte de água. Porém o seu valor como fertilizante deveria ser mais detalhado. Assim, visando demonstrar a valorização econômica do efluente como adubo (FONSECA, 2001).

Sousa et al. (2005) estudando a cultura do pimentão (*Capsicum annum* L.), submetida a 1) irrigação com água de poço e solo sem adubação; 2) irrigação com água de poço e solo com adubação mineral completa; 3) irrigação com água de poço e solo com adubação orgânica (vermicomposto); 4) irrigação com efluente de lagoa de polimento, e 5) irrigação com efluentes de reator UASB, observou que a cultura do pimentão com adubação orgânica apresentou a maior produtividade (38,3 t ha⁻¹); outrossim, não houve diferença significativa em relação ao peso médio dos frutos e à

área foliar, entre os tratamentos 2, 3 e 5. a menor produtividade ocorreu com o tratamento 4, irrigado com efluente de lagoa de polimento.

Pescod (1992) apresentou um exemplo hipotético:

a) Uma cidade ou uma região, cuja população é de 500,000 habitantes e cujo consumo de água por pessoa de 200 L dia^{-1} , a produção diária total de efluente seria 85.000 m^3 (considerando que 85% dos esgotos fossem canalizados para a estação de tratamento de esgotos municipal). Assim, a produção anual de efluentes seria da ordem de 30 Mm^3 .

b) Aplicando-se uma lâmina de 500 mm ano^{-1} de efluente, via irrigação, o montante de efluente gerado seria suficiente para irrigar 6.000 ha de lavoura.

c) Admitindo-se que o efluente tenha 50, 10 e 30 mg L^{-1} de N, P e K, respectivamente a irrigação numa taxa de 500 mm ano^{-1} adicionaria ao solo o equivalente a uma adubação com 0,55; 0,64 e $0,30 \text{ t ha}^{-1}$ de uréia (45% de N), superfosfato simples (18% de P_2O_5) e cloreto de potássio (60% de K_2O), respectivamente.

Sem dúvida alguma, há vantagem na utilização dos efluentes das lagoas de estabilização na irrigação de culturas, apesar de não ser uma prática isenta de riscos. Medidas de proteção da saúde, que podem ser aplicadas na agricultura mediante o uso de efluente de esgoto tratado, incluem não apenas um segmento isolado, mas a integração das medidas de controle, tais como: restrição de cultivo, tratamento de efluentes, controle da aplicação de efluentes, exposição humana e higiene (PESCOD, 1992).

O manejo adequado de solos irrigados com efluente de esgoto tratado pode resultar em melhores produtividades, utilizando-se menos fertilizantes, com menor probabilidade de efeitos maléficos na qualidade da produção das plantas e na poluição de águas subterrâneas. Porém o uso correto de efluente requer estudos individuais de várias culturas, levando-se em consideração as condições específicas de clima e solo (BOND, 1998), inclusive estudos de longa duração (FEIGIN et al., 1978).

Muitos países já têm incluído a reutilização da água no planejamento de recursos hídricos, visto que os efluentes devem ser integrados nos recursos de água global (TANJI, 1997; BOUWER, 2000). Em alguns casos, como Jordânia e Arábia Saudita, tem havido uma política nacional para a reutilização de todos os efluentes (PESCOD, 1992).

Certos fatores, como por exemplo, o crescimento populacional e padrões de vida mais elevados, têm levado ao aumento na demanda de água potável doméstica e industrial e conseqüentemente, incremento no fluxo de água de esgoto. Para atender o aumento da produção, mais e mais água para irrigação de plantas tornar-se-á necessária. Os tratamentos requeridos para a disposição sustentável de efluentes nos corpos de água de superfície tem grandemente dificultado, caros e inviáveis economicamente. Desse modo, todos esses fatores associados têm contribuído para a importância da reutilização da água (BOUWER, 2000).

3.4. Qualidade da água e características dos efluentes tratados

A agricultura irrigada depende tanto da quantidade como da qualidade da água; no entanto, o aspecto da qualidade tem sido desprezado devido ao fato de que, no passado, em geral as fontes de água, eram abundantes, de boa qualidade e de fácil utilização; esta situação, todavia, está se alterando em muitos lugares. O uso intensivo de praticamente todas as águas de boa qualidade implica que, tanto nos projetos recentes como nos anteriores que requerem águas adicionais, deve-se recorrer às águas de qualidade inferior. Para evitar problemas conseqüentes, deve existir planejamento efetivo que assegure melhor uso possível das águas, de acordo com sua qualidade. A qualidade da água reflete a sua adaptabilidade para determinado uso, isto é, se suas características físicas, químicas e biológicas são adequadas à necessidade do usuário (LIMA, 1998).

Há poucas regiões do mundo ainda livres dos problemas da perda de fontes potenciais de água doce, da degradação da qualidade da água e poluição das fontes de superfície e subterrâneas. Os problemas mais graves que afetam a qualidade da água de rios e lagos decorrem, em ordem variável de importância, segundo as diferentes situações, de esgotos domésticos tratados de forma inadequada, controles inadequados dos efluentes industriais, perda e destruição das bacias de captação, localização errônea de unidades industriais, desmatamento, agricultura migratória sem controle e práticas agrícolas deficientes (PEIXINHO & LEAL, 1996).

Quase todos os usos que o homem faz da água resultam na produção de resíduos, os quais são novamente incorporados aos recursos hídricos, causando a sua poluição. A poluição orgânica das águas superficiais aumenta a concentração de carboidratos, lipídeos e açúcares nos corpos receptores. Esses compostos orgânicos, ao serem degradados pelos organismos decompositores, principalmente bactérias e fungos,

liberam ácidos fracos e sais minerais, entre os quais há compostos de nitrogênio e fósforo. No meio rural, as águas do escoamento podem carrear para os recursos hídricos matéria orgânica (folhas, dejetos de animais), sólidos inorgânicos, pesticidas, fertilizantes e compostos químicos (MOTA, 1995).

As águas residuárias podem ser classificadas como doméstica industrial e agrícola, em função da sua origem. A quantidade de efluente doméstico produzido é dependente do padrão de vida das pessoas, das condições climáticas e da estação do ano e suas características químicas são influenciados pela fonte de água, sistemas de esgoto, tipo de estação de tratamento (concepção do tratamento) e natureza de descarga industrial dentro do sistema municipal de esgoto (FEIGIN et al., 1991).

Embora o conteúdo de nutrientes presentes nos resíduos (inclusive águas residuárias) os deixe atrativos para serem utilizados como fertilizantes, aplicações ao solo de certos resíduos industriais e de esgoto têm sido constrangidas pela presença de metais pesados, certos compostos químicos orgânicos de alto risco, sais e valores extremos de pH (CAMERON et al., 1997). Assim é de fundamental importância separar esgoto doméstico de esgoto industrial, uma vez que os metais pesados e orgânicos não são, em geral, problemas nos efluentes domésticos (FEIGIN et al., 1991).

O uso do efluente de esgoto tratado como fonte de água para irrigação pode, resumidamente, diferir da água convencional, segundo Bouwer & Chaney (1974) e Feigin et al. (1991), em cinco aspectos básicos:

- Apresentam uma variedade de compostos orgânicos naturais e sintéticos, geralmente não identificados individualmente. Normalmente são materiais orgânicos biodegradáveis, expressos em índices DBO e DQO. Os compostos orgânicos mais comuns existentes nos efluentes são: éter extraível, proteínas, carboidratos, taninos, ligninas, diferentes ácidos orgânicos (fúlvicos, húmicos e hematomelânicos), aminoácidos e surfactantes. O efluente também pode conter traços de substâncias tóxicas como pesticidas. No entanto, as informações disponíveis não indicam ocorrência de problemas de saúde, relatadas pela presença de certos compostos orgânicos na água municipal reciclada.

- O uso municipal causa invariavelmente aumento na concentração de sais inorgânicos solúveis no efluente. A princípio, os íons Na^+ , Cl^- e HCO_3^- , um aumento no conteúdo total de sais (salinidade) e na sodicidade do efluente. Os HCO_3^- e CO_3^{2-} podem aumentar o risco de sodicidade do efluente por ocasionar precipitação do carbonato de cálcio. Em pH menor que 8,4 predomina HCO_3^- e em pH maior que 8,4

predomina CO_3^{2-} . A concentração de HCO_3^- no efluente de esgoto tratado tem sido muito maior que no suprimento de água original (em Israel, por exemplo, é duas vezes maior). Diferentemente de compostos orgânicos, os sais inorgânicos não são facilmente removidos durante os processos convencionais de tratamento e reciclagem, exceto para alguns carbonatos precipitados.

- Os efluentes contêm diferentes teores de macronutrientes, especialmente N e P. O nitrogênio ocorre sob as formas: N - orgânico, N-NH_4^+ , N-NO_3^- e N-NO_2^- . O nitrito raramente apresenta concentrações superiores a $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ devido a fácil oxidação para N-NO_3^- na presença de O_2 . O nitrato varia de 0 - 10 mg L^{-1} , no entanto, a maior parte do N nos efluentes municipais encontra-se na forma reduzida, principalmente N-NH_4^+ .

Os efluentes contem várias formas de P: P-orgânico, fosfatos condensados (piro, meta e polifosfatos e ortofosfatos). O P - orgânico é resultante de processos biológicos e os fosfatos condensados são adicionados pela disposição de produtos químicos de lavanderias (detergentes) na água de esgoto.

- Elementos essenciais ou não às plantas podem estar presentes nos efluentes principalmente nas águas residuárias industriais. Os teores de As, B, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, F, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, V e Zn nos efluentes de esgoto (inclusive efluentes secundários) são determinados pelas propriedades químicas do esgoto bruto, da origem dos efluentes e do método de tratamento utilizado. Esses elementos são universalmente encontrados na água, mas em concentrações desprezíveis. No tratamento secundário do esgoto, mediante a decantação dos sólidos suspensos, esses elementos, principalmente os metais, podem ter suas concentrações reduzidas em até 70-90%, pelo fato de serem fortemente adsorvidos e precipitados juntamente com sólidos orgânicos e inorgânicos. Como resultados, estabilizam-se durante o tratamento nas lagoas, sedimentando-se junto ao lodo de esgoto. No entanto, certos metais pesados podem ocorrer nas águas residuárias com quelatos solúveis de baixo peso molecular.

- Microrganismos patogênicos (bactérias e vírus) estão presentes nas águas residuárias, apesar de suas concentrações nos efluentes serem grandemente reduzidas durante o processo normal de tratamento. Protozoários, como *Endamoeba histolytica*, parasitos e helmintos também podem estar presentes nos efluentes de esgoto. As bactérias patogênicas comumente encontradas nas águas residuárias são *Salmonella*, *Shigella*, *Mycobacterium* e *Vibrio comma*. Quanto às viroses geralmente, incluem enterovírus e adenovírus. Desde que os teores de sólidos suspensos não sejam muito altos, a cloração tem sido eficiente no controle de patógenos, esta técnica tem sido

amplamente utilizada na agricultura irrigada com efluentes de esgoto tratado (AYERS & WESTCOT, 1999; BOUWER & IDELOVITCH, 1987; PESCOD, 1992).

Então, é de fundamental importância conhecer as características químicas do efluente pelo fato dos processos que controlam a dinâmica dos resíduos no solo, como taxa de liberação e lixiviação, serem pobremente compreendidos (CAMERON et al., 1997). Assim, mediante as extensas revisões de literatura realizadas por Bouwer & Chaney (1974) e Feigin et al. (1991), foi possível obter os valores médios mundiais dos principais constituintes do efluente secundário de esgoto tratado. (Tabela 2).

Todavia, a qualidade microbiológica (BOUWER & CHANEY, 1974; FEIGIN et al., 1991) associada à tecnologia adequada de aplicação (ORON et al., 1999), à salinidade (MUJERIEGO et al., 1996) aos teores de $N-NO_3^-$, metais pesados e matéria orgânica (TANJI, 1997), são os parâmetros essenciais de qualidade dos efluentes a serem considerados nos projetos de irrigação para que os mesmos se tornem economicamente e ambientalmente sustentáveis.

Utilizando-se o processo apropriado para tratar os esgotos podem-se obter efluentes de qualidade microbiológica adequada para irrigar todo tipo de cultura (WHO, 1989). A Tabela 2 a seguir exhibe valores de alguns constituintes de efluente de esgoto tratado no mundo.

Tabela 2. Características típicas do efluente secundário de esgoto tratado no mundo.

Constituintes	Variação mg L ⁻¹
Sólidos totais	400-1200
Sólidos suspensos	10-100
Sólidos dissolvidos	400-1100
DBO (demanda bioquímica de oxigênio)	10-80
DQO (demanda química de oxigênio)	30-160
Carbono orgânico total	10-30
N- total	10-50
N- NO_3^-	0-10
N- NH_4^+	1-40
P-total	6-17
Cl	40-200
Alcalinidade (como $CaCO_3$)	200-700
Na	50-250
K	10-40
Ca	20-120
Mg	10-50
B	0-1
Concentração total de sais	100-800
pH	7,8-8,1
RAS (Razão de adsorção de sódio), em mml _c L ⁻¹	4,5-7,9

Fonte: Bouwer & Chaney (1974); Feigin et al. (1991)

De acordo com Miranda (1995) a principal vantagem da utilização de águas residuárias na irrigação reside na recuperação de um recurso da maior importância na agricultura – a água. Além disso, os constituintes das águas residuárias, ou pelo menos sua maioria, são produtos que podem aumentar a fertilidade dos solos por conter nutrientes essenciais à vida das plantas. Por outro lado, melhoram também a aptidão agrícola dos solos, devido à matéria orgânica que lhes adicionam com a conseqüente formação de húmus. A reutilização de águas residuárias oferece ainda vantagens do ponto de vista da proteção do ambiente na medida em que proporciona a redução ou mesmo a eliminação da poluição dos meios hídricos habitualmente receptores dos efluentes. Paralelamente dá-se a recarga dos aquíferos, beneficiados com a melhoria de qualidade da água derivada da depuração proporcionada aos efluentes através da percolação no solo.

Usos específicos podem ter diferentes requisitos de qualidade; assim, uma água pode ser considerada de melhor qualidade, se produzir melhores resultados, ou causar menos problemas; por exemplo: uma água de rio que pode ser considerada de boa qualidade para determinado sistema de irrigação, mas pode, por sua carga de sedimentos, serem inaceitável para uso urbano, sem antes ser tratada para extrair tais sedimentos (AYERS & WESTCOT, 1999).

3.5. Aspecto sanitário do reúso de águas na agricultura

O problema remanescente do reúso, ou pelo menos o mais polêmico, ainda se refere aos aspectos sanitários e de saúde pública pela contaminação com microrganismos patogênicos. O ponto chave da questão sanitária é a definição do “risco aceitável”, ou seja, quais devem ser os padrões de qualidade de um esgoto para ser aceito para o reúso; por sua vez, essa qualidade para “reúso” leva implícito o grau de tratamento dos esgotos brutos, de forma que o efluente a ser reusado tenha garantia de qualidade sanitária apropriada para tal fim.

Na discussão internacional prevalecem hoje duas abordagens distintas: uma que se fundamenta no conceito de “risco potencial” e uma outra que se fundamenta no conceito de “risco real”. Faz parte da “sabedoria popular” e da educação formal o conceito de que o contato com os esgotos implica riscos à saúde. Esta associação tem como base a idéia de “risco potencial”, ou seja, que a mera presença de microrganismos patogênicos nos esgotos está associada com sua transmissão e, portanto põe em perigo a saúde da

população (causa - efeito). Este “risco potencial” se fundamenta, principalmente, nos dados do tempo de sobrevivência dos patógenos nas fezes, na água, nos solos e nas culturas (BLUM & FEACHEM, 1985).

No uso de águas residuárias para irrigação, os contaminantes de importância para a saúde pública são biológicos (vermes, protozoários, bactérias e vírus, patogênicos). Contaminantes químicos não são relevantes, exceto em despejos de certas indústrias.

Para que uma pessoa, ou várias, efetivamente sofra uma doença por causa do uso de esgotos ou efluentes tratados em irrigação, é necessário que:

- a) Uma certa concentração de uma espécie de patogênicos chegue ao campo irrigado;
- b) Dependendo da latência, persistência e capacidade de multiplicação, esta concentração atinja, e/ou se mantenha em níveis de dose infectiva;
- c) Esta dose infectiva alcance e penetre uma pessoa sã;
- d) Esta infecção provoque, efetivamente, um agravo à saúde desta pessoa.

Esta última condição, que depende de vários fatores sócio-econômicos, traduzidos pela suscetibilidade da(s) pessoa(s) à doença, diferencia os conceitos de risco potencial e risco real.

Na medida em que estas condições vão-se somando o risco é maior. Até a segunda condição o risco é apenas potencial. A partir da terceira condição o risco passa a se configurar como real. Porém, somente ocorre risco real efetivamente quando evidências epidemiológicas demonstram a quarta condição. Em termos de epidemiologia, somente há risco efetivo quando ocorre excesso de incidência ou prevalência da doença ou de intensidade da infecção (risco epidemiológico) associado à rota de transmissão (no nosso caso, irrigação com águas residuárias) em uma determinada população. Dependendo do tipo de planta irrigada, de sua utilização e da técnica de irrigação empregada, haverá maior ou menor possibilidade de contato entre pessoas e patogênicos e, conseqüentemente, de ocorrerem infecções. Portanto, mediante restrições às culturas a serem irrigadas, associadas à seleção do método de irrigação, e cuidados de proteção individual, a possibilidade de contato entre patogênicos e pessoas pode ser reduzida ou anulada. Estas medidas seriam mais, ou menos, rigorosas, dependendo do grau de tratamento dos esgotos, e dos fatores locais condicionantes da suscetibilidade das pessoas expostas, (KONIG & CEBALLOS, 1997).

3.6 Disposição de efluente sobre as características físicas e químicas do solo

Durante as duas últimas décadas, o uso de água residuária doméstica para irrigação das culturas, aumentou significativamente, em razão dos seguintes fatores: dificuldade crescente de se identificar fontes alternativas de águas para irrigação; custo elevado de fertilizantes; a segurança de que os riscos de saúde pública e impactos sobre o solo serão mínimos, se as precauções adequadas forem efetivamente tomadas; os custos elevados dos sistemas de tratamento, necessários para descarga de efluentes em corpos receptores; a aceitação sociocultural da prática do reúso agrícola e reconhecimento, pelos órgãos gestores de recursos hídricos, do valor intrínseco da prática (HESPANHOL, 2002).

O objetivo da disposição de resíduos no solo é a sua destinação final em quantidades que não venham comprometer os componentes ambientais (solo, água, ar, microrganismos, etc.). No processo de tratamento por disposição no solo, utiliza-se do sistema solo-planta para a degradação, assimilação e imobilização dos constituintes da água residuária, e dos produtos de sua transformação no meio. O solo exerce normalmente, papel significativo na disposição de águas residuárias, atuando como depósito e meio de tratamento para os diferentes constituintes químicos da água residuária (REZENDE, 2003). Em certos países, razões culturais favorecem a aplicação de resíduos ao solo, ao invés de descarregá-los nos corpos de água (CAMERON et al., 1997).

Os efeitos da aplicação de água residuária nas propriedades físicas do solo, só são pronunciados após períodos de aplicação, pelos parâmetros que definem sua composição física e química, pelas condições de clima e pelo tipo de solo. Ayers & Westcot (1999) relatam que a limitação principal do uso de águas residuárias na agricultura é a sua composição química (totais de sais dissolvidos presença de íon tóxico e concentração relativa de sódio) e a tolerância das culturas a este tipo de efluente. Segundo Pizarro (1990), os sais solúveis contidos nas águas de irrigação podem, em certas condições climáticas, salinizar o solo e modificar a composição iônica no complexo sortivo, alterando as características físicas e químicas do solo, como o regime de umidade, aeração, nutrientes, desenvolvimento, vegetativo e produtividade.

De acordo com Campo (1999) a percolação de águas residuárias de esgoto sobre o perfil de solos, especialmente na zona ativa da raiz, é um processo muito efetivo de

remoção, pois os processos químicos e bioquímicos inativam ou removem a maioria dos poluentes e, como consequência, os nutrientes são absorvidos pelas plantas.

Normalmente, o pH da água de irrigação não tem afetado significativamente o pH do solo, por causa de seu poder tampão. Assim, não é de se esperar efeito direto do efluente no pH do solo, mesmo com a ocorrência generalizada de HCO_3^- (uma das formas presentes de alcalinidade) nas água residuárias. No entanto, existe a possibilidade dessa alcalinidade associada às altas concentrações de Na^+ e CO_3^{2-} , em água alcalinas, ocasionar aumento do valor de pH do solo (BOUWER & IDELOVITCH, 1987).

Solos tratados com resíduos biodegradáveis (como o efluente de esgoto), mediante a degradação destes materiais pelos microrganismos, pode haver diminuição no valor de pH do solo devido à produção de CO_2 e ácidos orgânicos (BOUWER & CHANEY, 1974).

Tem sido observado em sistemas agrícolas (JOHNS & McCONCHIE, 1994a; AL-NAKSHABANDI et al., 1997), pastagens (QUIN & WOODS, 1978) e florestas (CROMER et al., 1984; STEWART et al., 1990; SCHIPPER et al., 1996; SPEIR et al., 1999), incremento no valor de pH do solo mediante a irrigação com água residuária. Este aumento de pH tem sido atribuído ao pH alto do efluente (STEWART et al., 1990; à adição de cátions trocáveis e de ânions oriundos do efluente (FALKINER & SMITH, 1997); à alteração na ciclagem de nutrientes mediante a adição de efluente, levando à redução do NO_3^- para NH_4^+ e a desnitrificação do NO_3^- , cujos processos produzem íons OH^- e podem consumir prótons (SCHIPPER et al., 1996).

Falkiner & Smith (1997) não somente observaram aumento no valor de pH de solos irrigados com água residuária, mas também, verificaram diminuição do teor de Al trocável, devido ao aumento dos cátions trocáveis no solo (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) e da alcalinidade de troca catiônica efetiva (CTCe) aumentou, e tal efeito foi atribuído à substituição de íons H^+ na superfície das argilas, devido à adição de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ e HCO_3^- pela água de irrigação (efluente). Johns & McConchie (1994a), mediante uma regressão múltipla do pH e cátions trocáveis, demonstraram que o pH foi altamente afetado pelo Na, havendo um incremento de 0,048 unidades de pH para cada $\text{mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de sódio presente na água residuária.

Quando os efluentes são aplicados de forma controlada, na superfície do solo, os mesmos podem adquirir maior grau de tratamento através dos processos físicos, químicos e biológicos no sistema solo-água-plantas. O solo, como um sistema vivo e

dinâmico, caracterizado por apresentar grande superfície ativa e resultante de processos físicos, químicos e biológicos, reage fortemente com os constituintes do efluente aplicado. Os compostos orgânicos se decompõem em CO₂, H₂O e outros compostos inorgânicos. Os constituintes inorgânicos podem ser trocáveis, adsorvidos ou precipitados, seguindo reações químicas que os transformem em compostos de baixa solubilidade ou podem ser adsorvidos pelas plantas e, conseqüentemente, serem parcialmente removidos da solução do solo: assim o solo e as plantas atuam como verdadeiros “filtros vivos”, absorvendo e retendo poluentes e organismos patogênicos nos resíduos e efluentes (FEIGIN et al., 1991).

As características das águas residuárias que limitarão a sua aplicação no solo, são determinadas por meio de balanços de água, de nutrientes como nitrogênio e fósforo, de matéria orgânica e de outros constituintes presentes em concentrações significativas. Em geral, o sistema de aplicação é controlado pela taxa de aplicação hidráulica ou lâmina de aplicação, ou seja, pelo volume de água aplicada por unidade de área em determinado período de tempo REZENDE (2003). A irrigação consiste do processo mais utilizado, sobretudo em regiões de clima árido e semi-árido nas quais devido à escassez da água, utiliza-se a água residuária para suprir as necessidades hídricas das culturas. Os parâmetros utilizados para definir a taxa de aplicação se baseiam nas necessidades hídricas das culturas, características do solo e da água, tipo de cultura, riscos de salinização e contaminação do solo ou, ainda, pela capacidade do solo e das culturas em assimilarem o resíduo aplicado. Quando alguma cultura é cultivada na área de disposição, ela deve ser tolerante ao excesso de água e aos constituintes do efluente (FEIGIN et al., 1991).

As maiores vantagens do aproveitamento da água residuária, são: conservação da água disponível, sua grande disponibilidade, possibilitar o aporte e a reciclagem de nutrientes (reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos) e concorrer para a preservação do meio ambiente (van der HOEK et al., 2002).

Fonseca (2001), avaliando o potencial de uso e o impacto da utilização do efluente secundário de esgoto tratado (EET), como fonte de nitrogênio e água em um Latossolo Vermelho distrófico cultivado com milho, concluiu que: o efluente foi efetivo em reduzir a capacidade de acidificação do solo pelo uso de fertilizante mineral nitrogenado e ainda aumentou a CE e a capacidade de troca catiônica efetiva do solo (CTCe); o EET não conseguiu substituir completamente a adubação mineral nitrogenada, apesar de ter ocasionado maior acúmulo de N e de matéria seca na omissão do fertilizante

nitrogenado mineral, quando comparado em mesma situação de fertilização, mas irrigado com água. As concentrações de metais pesados no sistema solo-planta não foram influenciadas pelo uso de EET, uma vez que o efluente era pobre nesses elementos, todavia, o Na^+ foi o constituinte do EET mais problemático, visto que sua concentração nas amostras de solo e nas plantas, aumentaram mais de 15 e 100 vezes, respectivamente. O EET não foi capaz de nutrir adequadamente as plantas com P, na ausência de fertilização mineral. Para as plantas que receberam adubação completa, o efluente mostrou-se eficaz em substituir a água de irrigação, sem qualquer efeito negativo na produção de matéria seca e proporcionou, ainda, maior acúmulo de K^+ , P e Na^+ nas folhas.

Garcia (2003), estudando as alterações químicas e físicas e a mobilidade de íons no solo decorrentes da aplicação de água residuária da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro conilon, em três tipos de solo (Aluvial Eutrófico, Argissolo Vermelho Amarelo e Latossolo Vermelho Amarelo) verificou que o aumento da concentração da água residuária aplicada aos solos, resultou em aumentos lineares nos valores do pH, Na^+ , SB (soma de bases), CTCe, V (saturação por bases) e decréscimos de natureza quadrática nos valores da acidez trocável (H^+ , Al), as concentrações de B, Ca^{2+} e CO (carbono orgânico) permaneceram constantes.

As principais alterações nas características físicas do solo decorrentes da aplicação de água residuária de origem doméstica, tratada via sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial, em áreas cultivadas com grama, foi o incremento na capacidade de retenção de água no solo, atribuído ao decréscimo de macroporos e ao acréscimo de microporos influenciando, assim, a condutividade hidráulica do solo saturado. A redução no tamanho de poros foi atribuída à acumulação de sólidos em suspensão, matéria orgânica e decréscimo da concentração de Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo, em relação à de Na^+ , que causou a dispersão (JNAD et al., 2001b).

A matéria orgânica contida na água residuária de origem doméstica apresenta concentrações relativamente baixas, mas, devido a aplicações freqüentes associadas a altas taxas, pode incorporar quantidades apreciáveis de matéria orgânica no solo. O mesmo autor relata que o aumento da matéria orgânica apresenta influência sobre as propriedades físicas do solo, dentre as quais: massa específica, estrutura e estabilidade dos agregados, aeração, drenagem, retenção de água e consistência (MATOS et al., 2003).

3.7. Elementos tóxicos

Tem sido relatado na literatura o aumento no teor de Cl^- no solo mediante a irrigação com efluente de esgoto (FALKINER & SMITH, 1997) e mais pronunciadamente, se a irrigação for feita com efluentes secundários de esgoto tratado clorado. Pelo fato do Cl^- ser um ânion de baixíssima retenção no solo, tem sido observado aumento no teor de Cl^- lixiviado na solução do solo nos locais que receberam água residuárias (JOHNS & McCONCHIE, 1994b).

Os metais pesados encontram-se no efluente de esgoto tanto nos sólidos suspensos como na fração líquida. Os que se associam aos sólidos suspensos acumulam-se na superfície do solo, ao passo que os metais pesados associados à fração líquida penetram no solo (FEIGIN et al., 1991).

Muitos estudos têm demonstrado a alta capacidade dos solos em reter metais pesados e, em síntese, devido à baixa solubilidade e alta adsorção específica desses metais, normalmente são encontrados baixos teores desses elementos em solução. O mesmo autor considerou que, além das condições ácido-base do meio, os processos determinantes da solubilidade dos metais pesados no solo são: troca iônica nos argilominerais e óxidos; quimisorção na superfície do mineral; redução, precipitação e solução sódica; processo redox, levando-se em consideração a oxidação de metais pela matéria orgânica. A presença da matéria orgânica do solo tem afetado grandemente a solubilidade dos metais pesados (McBRIDE, 1989). Os ácidos orgânicos, aminoácidos e ácidos fúlvicos, bem como sistemas biológicos e resíduos biológicos, influenciam a solubilidade dos metais pesados no solo (FEIGIN et al., 1991).

Mediante a disposição de efluentes de esgoto tratado no solo, ora tem havido aumento, ora tem ocorrido diminuição, ou mesmo, nenhuma influência da aplicação de água residuária (predominantemente doméstica) nos teores de metais pesados disponíveis no solo. Inglés et al. (1992) verificaram que a irrigação com efluentes não afetou as concentrações de Cd, Ni e Pb no solo, extraíveis em DTPA. Resultados semelhantes foram observados por Johns & McConchie (1994a e 1994b), Al-Jaloud et al. (1995) e Smith et al. (1996b). Nos trabalhos de Johns & McConchie (1994a e 1994b), foi evidenciado que os teores de As, Cd, Cr e Pb, em solos cultivados com bananeira e irrigados com efluentes, não foram afetados. Al-Jaloud et al. (1995) verificaram, em solos cultivados com milho e irrigados com efluentes de esgoto tratado, que o teor de Ni não foi alterado. Também, Smith et al. (1996b) observaram, em solos

florestais irrigados com água residuária por mais de quatro anos, que os teores de Cr, Ni, Pb e Zn extraíveis em EDTA não foram alterados pela irrigação com efluentes de esgoto tratado.

A disposição de efluentes de esgoto tratado no solo mediante irrigação de plantas, pode até ocasionar diminuição nos teores de metais pesados disponíveis no solo. Johns & McConchie (1994b) verificaram que os teores de Fe diminuíram na superfície do solo, mas aumentaram em profundidade, mediante irrigação com efluente. Em outra situação, Al-Jaloud et al. (1995) verificaram que, em solos cultivados com milho e irrigados com efluentes, os teores de Cu, Fe, Mn e Zn diminuíram. Em situações semelhantes, porém em outros experimentos (com a cultura do sorgo), os mesmos autores verificaram que os teores de Cu, Fe, Mn e Ni no solo diminuíram, mediante aplicação de água residuária. Em solos florestais, Falkiner & Smith (1997) verificaram que o incremento nos teores de Ca, Mg, K e Na e da alcalinidade, aplicados pelo efluente, promoveram aumento no valor de pH do solo e diminuição da disponibilidade de Mn.

Por outro lado, Quin & Syers (1978) verificaram que, pastagens irrigadas por 16 anos com efluentes de esgoto tratado, apresentaram ligeiro aumento nos teores de Co, Cu Mn e Zn (extraídos em HCl 0,1 mol L⁻¹). No entanto, segundo os autores, esse leve incremento na concentração de metais pesados no solo não influenciou a concentração desses metais na parte aérea das plantas. Inglês et al. (1992) observaram que o teor de Zn-DTPA aumentou e as plantas foram nutridas adequadamente com esse micronutriente, mediante irrigação com efluente secundário de esgoto tratado. Johns & McConchie (1994b) também observaram aumento nos teores de Zn mediante disposição de águas residuárias no solo, assim como o incremento nos teores de Fe, Mn e Ni na solução do solo. Al-Nakshabandi et al. (1997) verificaram aumento nos teores de Cu, Fe, Mn, Cd e Pb em solos irrigados com efluentes de esgoto tratado. Tais efeitos foram atribuídos à presença desses elementos no efluente utilizado para irrigação. Na maior parte dos trabalhos que evidenciaram aumento nos teores de metais pesados no solo mediante irrigação com efluente, as observações referem-se a experimentos de longos períodos de aplicação de efluentes de esgoto tratados. Porém, o aumento desses metais no solo pela disposição de efluentes secundários de esgoto tratado não é fato tão preocupante assim.

3.7.1. Salinidade e sodicidade

As águas transpiradas pelas plantas e transferidas à atmosfera por evaporação do solo e das superfícies de água estão livres de sais. A água infiltrada no perfil do solo contém a maioria dos sais deixados pelo consumo de água e contém uma concentração de sais maior do que da água inicialmente aplicada. Isto é devido ao efeito da concentração, que também pode resultar da derivação de água das bacias altas, onde a água movendo-se através do perfil do solo pode dissolver sais adicionados oriundos da intemperização dos minerais do solo. Alguns sais reagem com outras substâncias químicas no solo e são precipitados, ocorrendo, simultaneamente, trocas entre alguns íons na água e no solo. Sais adicionais podem ser captados por infiltração profunda à medida que a água for atravessando os estratos salinos a caminho do sistema de drenagem (LAW & BERNARD, 1970).

O aumento da condutividade elétrica (CE) do solo mediante a irrigação com efluente tem sido comum em sistemas agrícolas (LATTERELL et al., 1982; JOHNS & McCONCHIE, 1994b; Al-NAKSHABANDI et al., 1997), pastagens (HORTENSTINE, 1976) e florestas (SMITH et al., 1996a; FALKINER & SMITH, 1997; SPEIR et al., 1999), mais pronunciadamente na camada superficial do solo (LATTERELL et al., 1982; Al-NAKSHABANDI et al., 1997). Esse aumento de salinidade mais evidente na camada superficial do solo pode ser, segundo Al-Nakshabandi et al. (1997), devido a dois fatores: evaporação da superfície do solo, levando ao acúmulo de sais; exposição do subsolo à contínua lixiviação e substituição dos sais na periferia da zona úmida, a qual, normalmente tem apresentado aumento na concentração de sais.

Aumentos no teor de Na trocável e no PST (percentual de sódio trocável) tem sido comum em solos irrigados com efluentes de esgoto tratados, independentemente se o uso for agrícola ou florestal (FEIGIN et al., 1991; PESCOD, 1992; BOND, 1998), normalmente em experimentos de longa duração (QUIN & WOODS, 1978; BALKS et al., 1998). LATTERELL et al. (1982) verificaram que os teores de Na^+ aumentaram de 3,5 até 25 vezes, em função da taxa de aplicação de efluente. Os aumentos no PST tem sido de 3,2 a 9,8% (STEWART et al., 1990) até 22% (FALKINER & SMITH, 1997). Semelhantemente à salinidade, os principais efeitos do aumento do Na trocável, bem como do PST, tem sido mais evidente na camada superficial do solo (CROMER et al., 1984).

Johns & McConchie (1994b) verificaram que a irrigação com efluentes não somente proporcionou aumento no teor de Na trocável, mas também, levou ao incremento no teor de Na lixiviado na solução do solo. No entanto, segundo os autores, essa entrada de Na (pela aplicação de efluente) não foi suficiente para substituir o Ca^{2+} e o Mg^{2+} na superfície dos colóides, tendo em vista que a lixiviação de Ca^{2+} foi semelhante em todos os tratamentos irrigados, independentemente do tipo de água de irrigação. No trabalho realizado por Stewart et al. (1990), a irrigação com efluente contendo 66,6-113,0 mg L^{-1} de Na, apesar de ter levado ao aumento no teor de Na^+ trocável, não alterou a distribuição de sais solúveis e dos cátions trocáveis no solo, mesmo havendo dominância de Na no efluente.

Balks et al. (1998) verificaram, em solos florestais irrigados com efluente rico em Na, por cinco anos, que houve incremento do PST de 2 para 25%. Os autores verificaram que o PST aumentou mais do que o previsto pela RAS (razão de adsorção de sódio) da irrigação com efluente, utilizando-se relações convencionais na literatura (AYERS & WESTCOT, 1999). Esse aumento na sodicidade do solo contribuiu para que ocorresse dispersão de argila. Apesar disso, a diminuição na CH (Condutividade Hidráulica) do solo foi pequena, não afetando o fluxo de água. Segundo os autores, esse aumento no PST associado à pequena redução na CH do solo, não apresentou nenhuma ameaça para a continuidade da irrigação com efluente, uma vez que o solo não foi revolvido. Porém a hipótese de ocorrência deste tipo de problema não pode ser descartada para experimentos de longa duração.

Speir et al. (1999), verificaram que tanto na camada superficial como no subsolo, a macro e microporosidade total foram afetadas pela disposição de efluentes no solo. Todavia, os efeitos do Na em solo ácido de baixa CTC parece ser mais acentuado. Segundo Martin et al. (1964), a influência do Na em diferente pH e o PST com base na CTC do solo, uma mesma quantidade de Na pode ocasionar maior efeito na redução da CH em um solo ácido do que neutro ou alcalino. Os mesmos autores observaram que o aumento nos teores de Na^+ no solo influenciou o pH e a CTC do solo, principalmente no solo ácido e ainda, a CH diminuiu à medida que foi aumentado o PST na CTC, na CTC efetiva e na relação com o somatório dos cátions trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+). Não somente o Na do efluente pode afetar a CH do solo. O impedimento hidráulico e a diminuição da taxa de difusão de O_2 nos solos irrigados com água residuária, também são dependentes da qualidade do efluente (qualidade de sólidos suspensos e sólidos dissolvidos) e da taxa de aplicação (ORON et al., 1999). Apesar dos sólidos suspensos

de origem orgânica presente no efluente (flocos de bactérias, materiais fibrosos, algas, etc.) terem tamanhos reduzidos, quando associados à ação de bactérias e mediante a produção de polissacarídeos e outros compostos orgânicos, podem ocasionar entupimento biológico da superfície do solo (BOUWER & CHANEY, 1974). Evidentemente, a qualidade do efluente tem influenciado diretamente a sustentabilidade de sua disposição no solo.

3.8. Salinidade na cultura do algodão

Embora o algodão seja considerado uma cultura tolerante a quantidades altas de sais, ocorre uma redução significativa no tamanho das plantas e no rendimento quando cresce em solos altamente salinos (FRANÇOIS, 1982).

Maas (1980) estabeleceu limites de concentração de Na^+ e Cl^- , para diferentes cultivares, dependendo de sua tolerância, sendo que o algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.) pode suportar um conteúdo de Na^+ ou Cl^- de até $20 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, na água de irrigação por aspersão, sem causar dano foliar, portanto, o algodoeiro pode ser considerado tolerante a estes íons.

Para Mello (1959), no Nordeste Brasileiro, as águas de irrigação podem conter até 4 kg de sais por m^3 , o efeito cumulativo tende a marginalizar o solo e as plantas em médio prazo.

Thomas (1980) afirma que concentração total de cátions nas folhas de algodão geralmente diminui com a maturação da planta e também quando diminui a disponibilidade de água no solo, mas aumenta com o aumento da salinidade.

Ribeiro (1982), estudando o efeito do NaCl e do Na_2SO_4 com níveis de sódio de 0,4, 40, 400, 400 ppm na cultura do algodoeiro arbóreo, constataram que houve um aumento na produção de matéria seca quando foi usado 4ppm de sódio. No entanto, os níveis mais altos de sódio (400 e 4000 ppm) promoveram redução significativa na produção de matéria seca. E relata que a salinidade dos solos pode reduzir o crescimento do algodoeiro e a taxa fotossintética, como consequência, ocorre ausência de sementes e deiscência irregular principalmente, quando se relaciona a salinidade com a umidade relativa do ar.

Mesmo sendo relativamente tolerante ao déficit hídrico e classificado como tolerante aos sais, o algodoeiro tem seu rendimento sensivelmente reduzido quando

ocorrem concentrações elevadas de sais no solo na fase de germinação das sementes, e/ou déficit hídrico no início da floração (MILLAR, 1976).

Shalvet & Hsiao (1984), afirmam que a perda de turgescência nas folhas do algodoeiro, submetido em diferentes níveis de estresse hídrico e salino, foi devido não somente ao menor ajuste osmótico, mas também devido a maior redução do potencial de água na folha, sob condições de estresse hídrico do que de estresse salino.

3.9. Reúso em grandes culturas

Al-Jaloud et al. (1996) observaram maior produtividade da canola quando esta cultura foi irrigada com efluentes de esgoto tratado. Segundo os autores, esse efeito não somente foi devido ao N, mas também, aos demais nutrientes contidos na água residuária. E ainda, para uma produtividade de $3,78 \text{ t ha}^{-1}$, economizou-se $150 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}$ de N mediante das plantas com efluentes de esgoto.

Os cereais de inverno têm tido bons resultados à aplicação de efluentes de esgoto tratado. As culturas de aveia, cevada e trigo, quando irrigada somente com efluente, não tiveram seus teores de proteína e produtividades diferentes das plantas fertilizadas e irrigadas com água convencional (DAY et al., 1962). Em outro experimento, a cevada teve sua produtividade aumentada, mas a qualidade do malte foi reduzida, certamente, devido ao excesso de N ocasionado pelo efluente (DAY et al., 1963). Os autores sugerem que, nessa situação, seria interessante a mistura de água convencional à água residuária. Mas no estudo realizado por Hussain & Al-Jaloud (1998), também com cevada, a irrigação com efluentes de esgoto tratado levou a uma economia da ordem de 50-75% de fertilizante nitrogenado, mantendo-se no mesmo patamar de produtividade daquelas plantas fertilizadas com adubo nitrogenado mineral (uréia) e irrigadas com água convencional.

Hespanhol (1988) apresenta dados colhidos em campos experimentais em Nagpur, Índia, pelo Nacional Environmental Engineering Research Laboratory, mostrando os efeitos benéficos da irrigação com esgotos em diversas culturas. A produtividade média foi calculada com dados de culturas de trigo em 8 anos, de arroz em 7 anos, de batata em 4 anos e de algodão em 3 anos, irrigadas com esgoto bruto, esgoto decantado, efluente de lagoas de estabilização e água mais NPK, e foi verificado o seguinte resultado de produtividade em $\text{t ha}^{-1} \text{ ano}$ ver Tabela 3:

Tabela 3. Fontes de água e produtividades por culturas.

Fonte de Água	Trigo	Arroz	Batata	Algodão
	8 anos	5 anos	7 anos	3 anos
	t ha ⁻¹			
Esgoto bruto	3,34	2,97	23,11	2,56
Esgoto decantado	3,45	2,94	20,78	2,30
Efluente de Lagoa	3,45	2,98	22,31	2,41
Estabilização				
Água + NPK	2,70	2,03	17,16	1,70

Fonte: Shende, 1985

Day et al. (1974) observaram que plantas de trigo irrigadas com efluente tiveram maiores diâmetros de colmos, teor de fibra, produtividade e teor de proteína e ainda, a aplicação de água residuária não teve efeito adverso no perfilhamento. Em outros dois experimentos, Day et al. (1975) verificaram que a altura das plantas, o número de sementes por espigas, o peso das sementes e o teor de fibra total, proteína e de nucleotídeos ácidos-solúveis não foram influenciados pela aplicação de efluente. No entanto, o número de espigas por área e, conseqüentemente, a produção de grãos de trigo foi aumentada.

Em um outro estudo realizado por Day et al. (1979), foi observada maior produção de espigas por área, sementes mais pesadas, maior produtividade de grãos e de matéria seca pela cultura do trigo irrigado com a mistura água convencional mais efluente de esgoto tratado (1:1). Porém, Hussain et al. (1996) verificaram que, em duas safras com trigo irrigado somente com efluente de esgoto tratado (teor médio de 20 mg L⁻¹ de N-total), houve maior produtividade das plantas e que esse incremento de produção não foi somente devido ao N, mas também, aos demais nutrientes contidos no efluente. Os mesmos autores observaram que o uso de água residuária na irrigação do trigo levou a uma economia de 1/3 da fertilização mineral. Desse modo, o efluente de esgoto tratado tem se mostrado efetivo como fonte parcial de nutrientes e água para lavoura de trigo, com o intuito de obtenção de alta produtividade (DAY et al., 1974, 1975 e 1979; HUSSAIN et al., 1996).

Day & Tucker (1977), estudando a cultura do sorgo irrigado com efluente de esgoto tratado e água convencional, verificaram que as plantas apresentaram semelhança na altura de planta, número de perfilhos, peso de 1000 sementes, teor de proteína, largura e comprimento das folhas. No entanto, as plantas produziram mais com uso de efluentes de esgoto tratado. Al-Jaloud et al. (1995) verificaram que apesar da concentração de Na ter sido mais elevada nas plantas de sorgo, mediante a irrigação

com água residuária, a produção de matéria seca aumentou com o aumento da concentração de Na e salinidade da água (efluente). O aumento na produtividade de sorgo mediante a aplicação de água residuária tem sido atribuído à presença de outros nutrientes existentes no efluente (DAY & TUCKER, 1977), os quais também podem neutralizar o efeito adverso da alta concentração de sódio na água de irrigação (AL-JALOUD et al., 1995).

Vários trabalhos têm relatado bons resultados da aplicação de efluentes de esgoto tratado na cultura do milho, ocasionando aumentos na produção de grãos (KARLEN et al., 1976; VAZQUEZ-MONTIEL et al., 1996; ORON et al., 1999) e de matéria seca ou silagem (KARLEN et al., 1976; OVERMAN, 1981; AL-JALOUD et al., 1995). AL-JALOUD et al. (1995) verificaram que apesar da concentração de Na ter sido elevada nas plantas de milho, mediante a irrigação com efluente, a produção de matéria seca aumentou com o incremento da concentração de Na e da salinidade da água (efluente). O aumento na produção de milho mediante a irrigação com efluentes de esgoto tratado tem sido devido ao incremento na taxa de aplicação de efluente, promovendo maior aporte de nutrientes (OVERMAN, 1981); à maior absorção de nutrientes e, sobretudo, de N e P (VAZQUEZ-MONTIEL et al., 1996); e a presença de outros nutrientes no efluente, os quais podem neutralizar o efeito indesejável da alta concentração de Na na água residuária (AL-JALOUD et al., 1995).

Azevedo (2005), estudando a cultura do milho irrigado com efluente de lagoa de estabilização e água de abastecimento, verificou que o diâmetro caulinar, altura da planta, área foliar, diâmetro, comprimento de espiga e produtividade foram maiores nos tratamentos irrigados com efluente.

Matos et al. (2005) estudando os efeitos da aplicação de água residuária da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro (ACR) sobre alguns atributos químicos de um solo cultivado com três espécies forrageiras (azevém, aveia preta e milheto), verificou que os nutrientes aplicados no solo por meio da (ACR), à exceção do potássio, não foram suficientes para proporcionar acúmulo na camada superficial do solo que, ao contrário, apresentou redução nas concentrações de P disponível, Ca e Mg trocáveis. Nas parcelas que receberam ARC, as maiores concentrações de nitrato foram observadas na camada superficial do solo, de 0 a 0,10 m, independentemente da espécie vegetal cultivada.

Silva et al. (2005) estudando o tratamento anaeróbio de esgotos domésticos utilizando reator UASB seguido de filtro biológico, visando à obtenção de efluente para

fertirrigação. Verificou que o efluente do filtro continha macro e micronutrientes suficientes para o crescimento da maioria das culturas cultivadas na região semi-árida; no entanto, apresentou concentração de coliformes termotolerantes acima das recomendações da OMS, embora isento de ovos de helmintos; e que o efluente do filtro anaeróbio só deverá ser utilizado para fertirrigação de culturas restritas.

3.9.1. Reúso na cultura do algodão

Vários trabalhos têm demonstrado o potencial de utilização de efluentes de esgoto tratado na cultura do algodão (DAY et al., 1981; BIELORAI et al., 1984; ORON et al., 1999).

A irrigação por gotejamento, com efluente de esgoto, pode ser utilizada com sucesso no algodão, mas deve-se ter o cuidado de adequar o período de irrigação para evitar o excesso de crescimento das plantas. Os mesmos autores verificaram que a combinação de uma taxa relativamente alta de água e de N, ambos do efluente de esgoto tratado, foi responsável pelo aumento da produção de algodão (FEIGIN et al., 1984)

No entanto, nas maiores taxas de aplicação de efluente pode haver maior período vegetativo, excesso de crescimento e diminuição na produção de línter, devido ao excesso de N e à aplicação de água (BIELORAI et al., 1984).

Day et al. (1981) verificaram que os melhores resultados de produtividade do algodão foram obtidos com a mistura (1:1) de água convencional com água residuária, pelo fato de a mistura ter reduzido os teores de sais solúveis e assim ocasionou aumento na qualidade das fibras.

A água residuária incrementou a produtividade do algodoeiro em mais de 73 %, considerando o solo sem adubação nitrogenada e irrigação com água de abastecimento. Na análise da variável produtividade do algodão em rama (caroço), a água residuária chegou a substituir a adubação nitrogenada mineral em até 180 kg de N ha⁻¹, atingindo produtividades elevadas e superiores a 3300 kg ha⁻¹ de algodão em caroço, que corresponde a mais de 1 200 kg de fibra ha⁻¹, valor bem acima da média mundial da mais recente safra computada de 2001/2002 e entre as cinco maiores do mundo, Ferreira et al., 2003.

Figueiredo et al. (2002) trabalhando com 4 níveis de biossólidos 0, 40, 80 e 120% da demanda de nitrogênio requerida pela planta e uma testemunha com adubação química N-P-K recomendada, na cultura do algodão herbáceo de fibra colorida - Buck

verde – CNPA 7H, verificaram que os biossólidos podem ser utilizados como fonte de adubação orgânica superando à adubação mineral no que se refere a produção da cultivar do algodão colorido estudado e que a produção do algodão utilizando biossólidos com dosagem equivalente a 216 kg N ha^{-1} superou a alcançada com a adubação química recomendada.

Alves et al. (2004a) estudando, em ambiente protegido, os efeitos de quatro níveis de água disponível (AD) no solo (25, 50, 75 e 100% da AD) e quatro níveis de adubação nitrogenada (0, 150, 300 e 450 kg ha^{-1} de N em forma de uréia), sob o acúmulo de biomassa seca da parte aérea aos 100 dias (BSPA) com o algodão colorido BRS 200, irrigado com água residuária, cultivado em solo franco-argilo-arenoso, evidenciaram efeito quadrático do nitrogênio em todos os níveis de AD. No nível de 75 % da AD houve a melhor resposta de N, sendo obtido o maior acúmulo de biomassa nas plantas; segundo o modelo para este nível de AD, o ponto de máximo acúmulo de BSPA ocorre na dose de 267 kg.ha^{-1} de N, com 35 g planta^{-1} . No tratamento de 75% da AD, também houve a maior evapotranspiração (ALVES et al., 2004b) com ponto de máxima na dose de 225 kg ha^{-1} de N (797 mm), conforme o modelo quadrático obtido pelos autores.

Fideles Filho et al. (2005) comparando os efeitos das irrigações com água residuária e água de poço sobre diâmetro caulinar, altura de plantas, área foliar e produtividade do algodão colorido, verificou que a água residuária, dada a sua riqueza em nutrientes, aumentou o diâmetro caulinar e a altura das plantas, quando comparada com plantas irrigadas com água de poço. As plantas que foram irrigadas com esgoto decantado apresentaram maior área foliar e produziram mais, quando comparadas com as irrigadas com água de poço.

Azevedo (2005), estudando a cultura do algodão irrigado com efluente de lagoa de estabilização e água de abastecimento, verificou que o peso de um capulho, peso da pluma de algodão e produção em caroço aumentaram de 10,9, 21,4 e 121,75% respectivamente quando irrigados com água residuária.

3.10. Nitrogênio

O nitrogênio tem sido o elemento mais importante para a produção do algodão, seja em quantidades altas ou baixas a maioria dos solos necessitam da adição de nitrogênio, para a obtenção de rendimentos satisfatórios. A combinação de uma taxa

relativamente alta de água e de nitrogênio, ambos do efluente de esgoto tratado, foi responsável pelo aumento da produção de algodão. O nitrogênio influencia tanto a taxa de expansão quanto a divisão celular determinando, desta forma, o tamanho final das folhas, o que faz com que o nitrogênio seja um dos fatores determinantes da taxa de acúmulo de biomassa. Um acréscimo no suprimento de nitrogênio estimula o crescimento, atrasa a senescência e muda a morfologia das plantas e, além disso, o aumento nos níveis de adubação nitrogenada causa um aumento significativo no conteúdo de clorofila das folhas (FERNÁNDEZ et al., 1994).

O nitrogênio está relacionado com o crescimento e o desenvolvimento reprodutivo da planta e, quando em excesso, pode estimular um crescimento exagerado, alongando o ciclo, diminuindo a eficácia dos tratamentos fitossanitários e dificultando a colheita mecânica. Como também de acordo com Bielorai et al. (1984), nas maiores taxas de aplicação de efluente pode haver maior período vegetativo, excesso de crescimento e diminuição na produção de linter, devido ao excesso de nitrogênio e à aplicação de água.

As exigências de nitrogênio pelas plantas variam dependendo do estágio de desenvolvimento, e em algumas culturas o excesso desse nutriente pode causar desenvolvimento vegetativo exuberante em detrimento da produção de tubérculos, frutos e sementes. Em outras espécies pode proporcionar folhas mais suculentas e susceptíveis a doenças, ou reduzir a produção. O fornecimento de doses adequadas favorece o crescimento vegetativo, expande a área foliar e leva o potencial produtivo da cultura. O nitrogênio atua na síntese de aminoácidos e proteínas e participa também da constituição da clorofila, ácidos nucléicos e enzimas; compostos vitais para a planta (RAIJ, 1991; FILGUEIRA, 2000; SAN JUAN, 2000).

3.10.1 Adubação nitrogenada

A adubação mineral é reconhecidamente fator de grande importância na produção agrícola, e dos nutrientes minerais fornecidos através da adubação química, o nitrogênio é o que recebe maior atenção. Dada à importância no crescimento e desenvolvimento dos vegetais, é o elemento que mais limita a produção das culturas (MALAVOLTA, 1981). Um dos fatores que influencia a eficiência de utilização do nitrogênio pela planta é a disponibilidade hídrica do solo após sua aplicação (FLECK et al., 1989). Também a temperatura, o pH, o complexo de troca de cátions e o teor de matéria orgânica

influenciam o comportamento do nitrogênio no solo, e podem elevar as perdas deste elemento para a atmosfera (MALAVOLTA, 1981).

Alguns estudos revelam que apenas 50% dos adubos nitrogenados aplicados são aproveitados pelas plantas, pois o restante se perde por lixiviação, volatilização ou é imobilizado no solo por ação microbiológica (AMBROSANO et al., 1997). As maiores perdas quando se utiliza uréia ocorrem quando ela é aplicada na superfície do solo sem incorporação (RODRIGUES & KIEHL, 1986; CRUCIANI et al., 1998; TRIVELIN et al., 2002). Em solos arenosos o aproveitamento do nitrogênio pode ser de apenas 5 ou 10% devido a perdas por lixiviação ou desnitrificação (OSINAME et al., 1983; DUQUE et al., 1985).

O parcelamento das aplicações dos fertilizantes químicos lixiviáveis, especialmente os nitrogenados é largamente recomendado para diversas culturas, como recurso para reduzir as perdas dos nutrientes, assegurando maior disponibilidade às plantas durante o ciclo de desenvolvimento quando atingem estádios máximos de absorção e transformação metabólica (CERVELLINI et al., 1986).

3.10.2. Influência do nitrogênio no algodoeiro

O nitrogênio é um dos nutrientes mais importantes para o algodoeiro, podendo ser fixado pelas leguminosas, com interferência significativa sobre os aspectos qualitativos e quantitativos da produção (SABINO et al., 1994; ZANIN et al., 2001). A resposta do algodoeiro a adubação nitrogenada está condicionada diretamente a disponibilidade de outros nutrientes, (SILVA et al., 1997; ZANIN et al., 2001).

Os pesquisadores e produtores de algodão vêm procurando utilizar uma adubação que promova o maior benefício com o menor custo. Embora não haja uma receita de adubação correta para todos os solos, é preciso considerar as análises de solo e de folhas, histórico do manejo dos campos e acompanhamento de lavouras de algodão (ANUÁRIO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 2001).

A marcha de absorção de nutrientes na cultura do algodoeiro é bastante similar à formação de matéria seca, coincidindo a intensificação da demanda de nutrientes a partir da época do aparecimento dos primeiros botões florais até a formação das primeiras cápsulas, reduzindo-se proporcionalmente durante o período de maturação Carvalho et al., (1999). A quantidade de nitrogênio a ser utilizada na adubação depende das condições climáticas (intensidade e distribuição das chuvas, luminosidade e

temperatura, etc.), da textura e do teor de matéria orgânica do solo, além do sistema de rotação de culturas adotado. Muitos trabalhos de pesquisa mostram que a resposta de produtividade do algodoeiro a adubação nitrogenada é linear, até a aplicação da dose de 120 kg ha⁻¹ (GRESPLAN & ZANCANARO, 1999).

Foram constatados prejuízos à germinação e ao desenvolvimento inicial do algodoeiro quando aplicado altas doses de nitrogênio. Porém, resultados mais consistentes foram obtidos com a aplicação efetuada em cobertura entre 30 e 40 dias de idade das plantas, fase de maior absorção do nutriente. Foi definido mediante estudos, que uma pequena dose de nitrogênio deve ser usada no sulco de semeadura e o restante em cobertura, única ou parcelada, dependendo da textura do solo e do histórico da gleba, na fase entre o abotoamento e o florescimento. Essa forma de adubação na cultura do algodoeiro tem sido sugerida como alternativa para corrigir eventuais carências tardias que pudessem ocorrer na fase de frutificação mesmo, sabendo que as plantas absorvem nitrogênio fornecido via foliar (SILVA, 1999),

O nitrogênio é o nutriente que o algodoeiro retira do solo em maior quantidade. É fundamental no desenvolvimento da planta, sobretudo dos órgãos vegetativos (STAUT & KURIHARA, 2001).

Frye & Kairuz, citado por Carvalho (1999), o nitrogênio tem sido o elemento mais importante para a produção do algodão, já que, em quantidades baixas ou altas, a maioria dos solos necessita da adição de fertilizantes nitrogenados para a obtenção de rendimentos satisfatórios.

Como elemento básico para o desenvolvimento, o nitrogênio influi na produção do algodoeiro, embora seus efeitos estejam relacionados à disponibilidade de fósforo e de potássio no solo (SABINO et al., 1976); os mesmo autores estudando um grupo de solos ricos em potássio observaram que a adubação nitrogenada melhorou características físicas da fibra como comprimento, resistência e uniformidade.

Malavolta et al. (1974), afirmam que o suprimento de nitrogênio condiciona o número e o comprimento dos ramos vegetativos e produtivos e a quantidade de folhas e frutos. Tucker & Tucker (1968), comentam que condições de deficiência de nitrogênio causam redução na velocidade de floração e na duração do florescimento mais intenso, nos períodos iniciais de crescimento reduz o tamanho da planta e o número de possíveis sítios florais. Por outro lado, em quantidade excessiva estimula o crescimento vegetativo com prolongamento do ciclo do algodoeiro (SILVA, 1995a). De acordo com Frye & Kairuz (1990), citado por Carvalho et al. (1999), o excesso de nitrogênio produz

plantas vigorosas, porém com pouca frutificação e abertura tardia e irregular dos capulhos.

O algodoeiro apresenta grande limitação interna no metabolismo do nitrogênio, em função da competição que se estabelece entre a redução do CO₂ e a do nitrato. Assim para que ocorra o máximo de fotossíntese, o algodoeiro planta com metabolismo C₃, necessita cerca de duas vezes mais N na folha quando comparado a espécies com metabolismo C₄, Beltrão & Azevedo (1993).

A adubação nitrogenada adequada regulariza o ciclo das plantas evitando a antecipação da maturação dos frutos, aumenta o peso de sementes e de capulhos e a produção final. O comprimento de fibra é a característica mais beneficiada; em algumas oportunidades demonstrou também melhorar a maturidade e o índice micronaire (SILVA, 1999).

Para (STAUT, 1996, citado por MONDINO & GALIZZI, 2001), as exigências nutricionais de qualquer vegetal está determinada pela quantidade de nutrientes que extrai durante seu ciclo. O cultivo extrai uns 150 kg ha⁻¹ de N, 20 kg ha⁻¹ de P e 35 kg ha⁻¹ de K para produzir uns 2500 kg ha⁻¹ de algodão.

As condições de fertilidade do solo, entre outros fatores, tem influenciado sobre a qualidade da fibra. Poucos solos são capazes de abastecer naturalmente os requerimentos nutricionais do vegetal a fim de obter altos rendimentos de fibra de boa qualidade, por que naqueles terrenos com alguma deficiência, recorrer a uma fertilização adequada pode melhorar os parâmetros tecnológicos que definem suas qualidades (MONDINO & GALIZZI, 2001).

Para Oliveira et al., (1998) citado por Furlani et al., (2001) a aplicação de doses crescentes de nitrogênio na cultura do algodoeiro (0; 60; 120; 180 kg ha⁻¹ de N), a dose de 120 kg ha⁻¹ contribuiu para uma maior produtividade.

A produtividade e a altura de planta que reflete o crescimento foram alteradas pela adição de nitrogênio ao solo, correspondendo os maiores rendimentos às plantas que receberam até 150 kg ha⁻¹ de N em cobertura, tal rendimento não diferiu estatisticamente daquele obtido nas plantas que receberam 100 kg N ha⁻¹ o qual foi semelhante a 200 kg ha⁻¹ de N que por sua vez superou àquela com 50 kg ha⁻¹ de N que também apresentou rendimento maior do que a testemunha sem nitrogênio (MEDEIROS et al., 2001).

Quanto à altura de plantas, o menor valor que é o desejável, foi apresentado pela dose de 100 kg ha⁻¹ de N, enquanto que para peso de um capulho e finura, os maiores valores foram obtidos pelas doses de 50 a 150 kg ha⁻¹ de N (MEDEIROS et al., 2001).

Em estudos realizados por Furlani et al. (2001), analisaram valores superiores de maturidade da fibra quando se efetuou a aplicação do nitrogênio aos 50 dias da emergência das plantas, quando comparado com os tratamentos com aplicação aos 20 e aos 30 dias. Sendo quatro momentos de aplicação (20, 30, 40 e 50 dias) e três doses de N (30; 40; e 70 kg de N ha⁻¹).

Silva et al. (1988) citado por Furlani et al. (2001) verificaram que na medida em que se aumentam as doses de N de (0, 20, 40 e 60 kg ha⁻¹) houve um efeito significativo do aumento de doses, especialmente quando foi aplicado regulador de crescimento, indicando uma interação entre estes dois insumos. Da mesma forma Campos et al. (1995) citado por Furlani et al. (2001) relataram que à medida que se aumentou a dose de N de 0 para 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹, houve um efeito significativo e diretamente proporcional em termos de produtividade do algodão.

Para Mondino et al. (2001) as aplicações de N tanto a 50 quanto a 100 kg ha⁻¹ melhoraram a resistência da fibra. A influência da fibra para o comprimento foi inconsistente e variou de um ano para outro.

Oliveira et al. (1988) citado por Furlani et al. (2001) relataram que a aplicação de doses crescentes de N à cultura do algodoeiro (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹) promoveram um aumento da produtividade para a dose de 120 kg ha⁻¹.

Foram analisados por Beltrão et al. (1988) a redução do crescimento vegetativo do algodoeiro mediante capação, conjuntamente com adubação nitrogenada, observando que a capação realizada aos 20 dias da emergência das plantas reduziu a produtividade do algodão no caso da ausência de adubação nitrogenada.

Furlani et al. (2001) afirmam que quando se efetuou a aplicação de nitrogênio aos 30 dias após a emergência das plantas, pode-se constatar que as doses de 40 e 70 kg ha⁻¹ de N propiciaram os maiores valores de altura de plantas quando comparados àquele verificado para a dose de 30 kg ha⁻¹ de N.

Melo et al. (1999), estudando em casa de vegetação, os efeitos de quatro doses de nitrogênio (0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio) e três níveis de água (40%, 25% e 10%) da água doses disponíveis no solo sobre a produção de matéria seca do algodoeiro herbáceo, constataram que a produção de matéria seca e o consumo de água pela cultura sofreram efeitos lineares positivo com o aumento nos níveis de água disponível no solo,

cada acréscimo unitário da água disponível, sugere aumento de 0,23g de matéria seca, cuja equação obtida sugere que o máximo (18,1g) seria atingido com 103,3 kg ha⁻¹ de N aplicado ao solo e que o consumo de água pela cultura cresceu com dose de N aplicadas ao solo, numa taxa de 0,27 mm para cada kg de nitrogênio.

Petinare et al. (2001), com o objetivo de avaliar a o custo operacional da aplicação de doses de nitrogênio (30, 40, 70 kg ha⁻¹) e épocas de aplicação (20, 30, 40 e 50 dias após a emergência na cultura do algodoeiro *Gossypium hirsutum* L. cultivar IAC 22, constatou que se considerarmos somente o custo operacional efetivo que considerar apenas as despesas com operação e insumos os resultados econômicos são positivos para todos os tratamentos. Quando se analisa os indicadores de lucratividade considerando o custo total de produção a receita líquida, só foi positiva para os tratamentos que alcançaram os maiores produções. O melhor resultado foi obtido pelo tratamento que recebeu 70 kg ha⁻¹ de nitrogênio aos vinte dias, representando o maior índice de lucratividade e maior receita líquida.

3.11. Adubação fosfatada

Para produzir 2.500 kg ha⁻¹ de algodão em caroço o algodoeiro precisa extrair do solo e acumular na parte aérea 34 kg ha⁻¹ de P₂O₅ dos quais 22 kg ha⁻¹ são exportados com a colheita (GRESPLAN & ZANCANARO, 1999).

O P é o nutriente formador da produção, sendo exigido para maiores formações de flores e tamanho médio de capulhos e de sementes, menor crescimento vegetativo pós-floração e maturação uniforme, para regularizar o ciclo e aumentar a produção total; ele influi pouco nas características têxteis da fibra, porém melhora o seu comprimento (GRESPLAN & ZANCANARO, 1999).

O P é, dos três macronutrientes, aquele exigido em menores quantidades pelas plantas. Não obstante trata-se do nutriente mais usado em adubação no Brasil. Explica-se esta situação pela carência generalizada de P nos solos brasileiros e, também, porque o elemento tem forte interação com o solo.

O P encontra-se na fase sólida do solo e combina, como ortofosfatos, principalmente com metais como ferro, alumínio e cálcio, ocorrendo também na matéria orgânica. Porém, existe mais de 170 formas minerais de P no solo (HOLFORD, 1997), que constituem suas frações inorgânicas. Mesmo em combinações orgânicas, predomina o H₂PO₄⁻ como agrupamento central dos fosfatos (RAIJ, 1991). O hexafluorato de

inositol ou ácido fítico é o principal componente orgânico do solo que contém P, porém diversas moléculas orgânicas, livres ou de frações de tecido em decomposição, contribuem na formação da sua reserva orgânica.

Barber (1995) divide o P total presente no solo nas seguintes categorias gerais: i) P como íons e compostos na solução do solo; ii) P adsorvido sobre a superfície de constituintes inorgânicos; iii) minerais de P no solo, sejam cristalinos ou amorfos; e iv) P como um componente da matéria orgânica do solo. Segundo este autor, na média os solos agrícolas têm uma quantidade total de 1.000 kg ha^{-1} de P e as plantas cultivadas podem retirar anualmente de 10 a 40 kg ha^{-1} . A reserva de P no solo é, portanto, muito pequena comparada com a retirada anual e pode se esgotar muito rapidamente, especialmente porque a maior parte do P presente no solo não se encontra na forma imediatamente disponível para a planta.

A concentração de P na solução do solo é extremamente baixa, variando de 0,1 a $10 \mu\text{mol}_c\text{L}^{-1}$, raramente excedendo esses valores. As espécies químicas predominantes em solução são o H_2PO_4^- (principalmente) e o HPO_4^{2-} (em pH alcalino). Seu movimento no solo se dá por difusão em taxa extremamente lenta ($10\text{-}12$ a $10\text{-}15 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) seguindo a direção do gradiente de concentração criado na zona de depleção (0,2 a 1,0 mm) ao redor das raízes da planta à medida que ocorre a absorção do nutriente pelas células radiculares (SCHACHTMAN et al., 1998; VANCE et al., 2003). Seu movimento ou fluxo difusivo no solo sobre fortemente à influência das características químicas e físicas como umidade, teor de argila, mineralogia e densidade aparente do solo. A redução da umidade e os aumentos dos teores de argila, de óxidos de ferro e de densidade aparente reduzem dramaticamente o fornecimento desse nutriente para as plantas (BARBER, 1995; NOVAIS & SMITH, 1999).

O P do fertilizante remanescente no solo é lentamente transformado para formas menos disponíveis, por meio de reações de compostos insolúveis precipitados ou pela difusão para o interior dos óxidos (ENGELSTAD & TERMAN, 1980; BARROW, 1985; RAIJ, 1991). Na ausência de adições anuais de fertilizantes fosfatados a produtividade dependerá da quantidade e disponibilidade desse P residual acumulado no solo (BARROW, 1980). Segundo Sousa & Lobato (2003), pode-se recuperar, em ensaios de longa duração, todo ou algo muito próximo disso do P aplicado ao solo, em um horizonte de 7 a 10 anos de cultivo.

O principal fator que reduz a disponibilidade do P aplicado no solo para as plantas é a sua fixação no solo pelo fenômeno da adsorção. Segundo Lopes & Cox (1979), o

processo de adsorção do P pelos óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio é o principal fator envolvido na fixação do P. O fenômeno de retenção de P no solo é conhecido há mais de um século pelo que descreve o trabalho de Tomas Way (1850), citado por Sample et al. (1980). Embora a adsorção inicial de P ao solo traga aspecto altamente positivo, o “envelhecimento” dessa adsorção, com a formação de P não-lábil, torna-se problema. Querer manter a alta concentração de P na solução do solo, necessária para uma alta e rápida absorção pela planta, é incompatível com o que se observa na prática: imobilidade desse elemento pela sua intensa e rápida adsorção no solo.

Os teores de P na solução do solo são, em geral, baixos, da ordem de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ de P, sendo quase sempre inferiores a esse valor, o que é decorrência da baixa solubilidade dos compostos de P existentes no solo e da alta capacidade de adsorção do elemento pelas suas partículas (NOVAIS & SMITH, 1999).

Segundo Nóbrega et al. (1997), a capacidade de adsorção máxima foi de $0,014 \text{ mg P g solo}^{-1}$ (14 ppm) com energia de retenção de $0,0003435 \text{ ppm}^{-1}$ nos solos cultivados com algodão herbáceo nos cariris velho paraibano. Segundo o mesmo autor, que estudou a isoterma de adição de P em solo com algodoeiro herbáceo no agreste pernambucano, o rendimento de algodão em caroço na 2ª colheita foi incrementada, obtendo-se, no tratamento com a adição de P na taxa de 160% da adsorção máxima, um percentual em torno de 2.500% quando comparado com valor proveniente do tratamento sem adição de P (testemunha).

A quantidade de P inorgânico em solução varia em função do pH do solo. O nível máximo ocorre entre pH 6 e 7. Abaixo desses valores o equilíbrio do P resulta de suas reações com compostos de ferro e de alumínio, acima com compostos de cálcio. (LINDSAY & MORENO, 1960)

Segundo Swenson et al. (1949), para que uma quantidade significativa de P seja liberada dos compostos de Fe e Al, o pH do solo deve ser elevado para valores acima de 7,0.

O pH do meio exerce importante influência sobre a disponibilidade de P no solo. O aumento do pH diminui ou elimina o Al trocável. Vários estudos com solos ácidos de regiões tropicais têm mostrado que a fixação de fósforo é diminuída após a neutralização do Al trocável (LEAL & VELLOSO, 1973; MENDEZ & KAMPRATH, 1978), o que aumenta a sua disponibilidade para a planta.

A aplicação da calagem antes da adubação fosfatada aumenta a resposta da planta ao fósforo e a eficiência da adubação com esse nutriente. Devido à menor adsorção

promovida pela elevação do pH do solo, os teores de P em geral elevam-se e os níveis críticos de P são menores (FONSECA et al., 1997).

A movimentação do P da solução do solo em direção à superfície das raízes se dá predominantemente por difusão (aproximadamente 94% do P adsorvido pelas plantas); o fluxo de massa, devido aos baixos teores de P na solução dos solos, contribui muito pouco para esse movimento (BARBER, 1962). Assim, devido a essa baixa movimentação do P no solo, sua aplicação deve ser feita toda em pré-plantio incorporado ou por ocasião do plantio 5 cm abaixo e 5 cm ao lado da semente (MALAVOLTA, 1987; SILVA, 1999; ROSOLEM, 2001).

3.11.1. Efeitos do fósforo na planta

Uma vez absorvido pelas células radiculares o P é transportado radialmente no simplasto em direção ao xilema. Bielecki (1972), citado por Vance et al. (2003), calcula que a velocidade deste deslocamento chega a 2 mm h^{-1} . No cilindro central o H_2PO_4^- (ou mesmo o HPO_4^{2-}) é exudado no xilema e deste transportado para parte aérea como H_2PO_4^- , por meio do fluxo transpiratório de água, e depositado no apoplasto das folhas e demais órgãos da planta, de onde novamente é absorvido ativamente seguindo o mesmo princípio observado nas células das raízes (MARSCHNER, 1995). Entrando novamente no simplasto, o P será incluído no “pool” metabólico do citoplasma, participará da constituição de inúmeras estruturas e moléculas essenciais das plantas ou será armazenado no “pool” de reserva do vacúolo das células. Parte deste P pode recircular da planta, podendo ser redistribuído entre os diferentes órgãos e frutos por meio do floema (MARSCHNER, 1995).

O uso do P na adubação, freqüentemente beneficia o tamanho do fruto do algodoeiro, uma vez que a concentração do nutriente na semente é quase três vezes superior àquela encontrada nas folhas, em termos de peso de fósforo por 100g de matéria seca. A maioria das transformações energéticas dos processos vitais das plantas é realizada à custa da interferência do P. Este nutriente é rapidamente mobilizado nas plantas e, quando há deficiência, o mesmo se transloca dos tecidos mais velhos para as regiões meristemáticas ativas (GERLOFF & GABELMAN, 1983).

O fósforo (P) age na respiração, produção e processos de transformação de energia pela planta; bem como na divisão celular: compondo algumas substâncias de reserva, como os albuminóides e o amido; melhorando o florescimento, frutificação, e

contribuindo para o desenvolvimento radicular; agindo na colheita como fator de qualidade e quantidade e incrementando a precocidade da produção (GOMES, 1978 & RAIJ, 1991).

Para manter a produtividade em níveis economicamente competitivos, associados à boa qualidade do produto, o algodoeiro deve ser cultivado em solos férteis, ou corrigidos e adubados de forma adequada. Por outro lado, como exporta relativamente poucos nutrientes através da colheita (sementes e fibra), não costuma ser relacionado entre culturas esgotantes do solo (SILVA, 1999). Entretanto, a cultura necessita de níveis médios a altos de P em todo o solo arável para que potencialize sua capacidade produtiva.

A deficiência de P diminui consideravelmente a taxa de absorção do NO_3^- por unidade de comprimento de raiz em trigo-mouro, colza e cevada (SCHJORRING, 1986). Plantas de fumo, submetidas a períodos de omissão e P no meio de cultivo, apresentaram diminuição acentuada na absorção e na redução de nitrato (RUFTY Jr. et al., 1990), o mesmo ocorrendo com milho (ALVES et al., 1999) e tudo indica que o mesmo deve ocorrer com o algodoeiro. A deficiência de P reduz a fotossíntese, a síntese e a translocação de sacarose na planta e a produção de ATP nas células das raízes.

SEGUNDO Martinez et al. (1993), o nível nutricional interno afeta a habilidade das plantas em absorver P por meio de alterações na velocidade máxima de absorção, tamanho e proporção do sistema radicular. A distribuição dos nutrientes nas plantas é influenciada pela intensidade de retranslocação e reutilização sob condições de estresse. Uma pequena redistribuição e reutilização podem significar retenção em folhas velhas relativamente inativas, ao passo que grande mobilidade, pode resultar em retirada dos elementos de folhas maduras com atividade metabólica máxima (RAJU et al., 1987; LANCHLI, 1987). Ambos os casos são extremos e indesejáveis para que se obtenha um uso eficiente do nutriente na planta, o qual é definido como a relação entre a produção (grãos, biomassa, frutos) e o conteúdo de nutriente no tecido. Ou seja, é a quantidade de massa seca produzida por unidade do nutriente utilizado pela planta.

Para Silva & Rodrigues Filho (1981), as mais altas respostas do algodoeiro a aplicação de P têm ocorrido nos cultivos de solos ácidos, uma vez que nessa situação o nutriente é naturalmente encontrado em baixos teores e sua capacidade de fixação é alta. Isso foi confirmado por Silva et al. (1987), que informam haver uma tendência para o crescente efeito da adubação fosfatada observada através dos anos, face o deficiente aproveitamento do P pelo algodoeiro em condições de acidez do solo. Silva (1999)

mostra que a quantidade de P a ser aplicada ao solo para se alcançar a produção máxima em solo com pH 5,5 foi de 68 kg ha⁻¹ de P₂O₅ ao passo que o máximo não foi obtido com até 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em solo com pH 4,8. Neste ensaio, a melhor produtividade alcançada foi quase 2 vezes superior no pH 5,2 com a dose de 68 kg ha⁻¹ de P₂O₅ do que na dose de 120 kg ha⁻¹ no pH de 4,8. Assim, Silva et al (1995) e Silva, (1999) não acreditam no alcance de produtividades máximas no algodoeiro cultivado em solos em via de correção de seu teor de P na camada arável.

Para o algodoeiro, a necessidade quantitativa de P é menor que a necessidade de nitrogênio. Entretanto, as quantidades de P₂O₅ utilizadas na cultura são geralmente mais elevadas que as de nitrogênio, em decorrência da alta capacidade de fixação de fosfatos nos solos, especialmente os de cerrado e, de maneira geral, os solos argilosos (LOPES, 1984), resultando, assim, em baixa recuperação pela planta do P aplicado ao solo. A deficiência de P atrasa o desenvolvimento e as plantas crescem pouco, reduzem a frutificação, retardando a colheita, o que afeta a qualidade da fibra, as folhas mostram-se mais escuras e menores do que as normais e as produtividades são reduzidas. Podem aparecer manchas ferruginosas nos bordos foliares, que evoluem para crestamento em casos severos de deficiência (SILVA et al., 1995).

No algodão perene, Sousa & Crisóstomo (1980) encontraram correlações significativas entre teores de P no limbo das folhas da haste principal e dos ramos frutíferos com a produção.

Em geral, os teores de P na quinta folha a partir do ápice, no pique do florescimento (75-85 DAE) e em condições não limitantes ao crescimento do algodoeiro herbáceo, devem alcançar os valores de 2,5 a 4,0 g kg⁻¹ para que a planta tenha um desenvolvimento satisfatório e alcance sua máxima produtividade Silva, (1995) e Silva, (1999).

Para o algodoeiro, em solos nunca ou raramente adubados, com baixo suprimento de P e em terras ácidas ou em vias de correção, a resposta à adubação fosfatada supera a de qualquer outro nutriente (SILVA, 1999). Nesse tipo de solo é pouco provável o alcance das maiores produtividades potenciais da cultura já no primeiro ano de cultivo, sendo necessário uma adubação corretiva completa e alguns anos de cultivo sucessivo para que os teores de P na camada arável se elevem e maiores produtividades sejam alcançadas (SILVA et al. 1995, SILVA 1999).

Devido à concentração relativamente alta de P nas sementes de algodão (PASSOS, 1977), pois concentra 52,8% do total de P das plantas maduras

(THOMPSON, 1999), raramente as plântulas mostram-se com sinais de deficiência em solos com baixos teores de P. Entretanto, seu crescimento e o tamanho de suas folhas são menores, comparativamente às plântulas com suprimento adequado do nutriente no solo. Nesse caso, a adubação deve ser feita preferencialmente em sulco de plantio, abaixo e ao lado da semente, em quantidade adequada ao pleno crescimento da planta.

Em solos de estado de Sergipe, Freire et al. (1978) observaram que a aplicação de 80 e 160 kg de P₂O₅ produziu um aumento de produtividade do algodão em 160% e 240%, respectivamente, sobre a produção obtida no tratamento sem a aplicação do fertilizante. Houve, adicionalmente, uma antecipação da floração e da abertura dos frutos e aumento na altura das plantas.

Cerqueira et al. (1982) obtiveram grande resposta à aplicação de P no algodoeiro, trabalhando em solos com baixos teores de P (menos de 5,0 mg dm⁻³), devido à baixa disponibilidade natural do nutriente. As maiores produções foram verificadas com a aplicação de 60 e 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Sabino & Silva (1984), utilizando o superfosfato triplo na adubação fosfatada, em um Latossolo Vermelho férrico do Estado de São Paulo, obtiveram efeito significativo no peso de capulho, não obtendo o mesmo efeito para o peso de cem sementes.

Em trabalho realizado na Paraíba, Watts & Oliveira (1971) confirmaram a boa reação do algodoeiro herbáceo à adubação fosfatada, com 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅, superando o tratamento sem fósforo que teve um decréscimo de produção de 333 kg ha⁻¹ de algodão em caroço.

O algodoeiro é uma cultura sensível a baixos teores de P no perfil do solo e somente tem sido recomendado o seu cultivo em áreas abertas há vários anos e com seus teores de P na camada arável corrigidos (SILVA, 1999). Exceto no ano da aplicação, a distribuição do P em sulco no plantio é mais vantajosa do que em área total incorporado. Devido ao efeito residual, as doses subseqüentes tendem a ser menores do que no primeiro ano de cultivo, especialmente se a acidez do horizonte superficial for corrigida adequadamente (SILVA, 1999; ROSOLEM, 2001).

Dada a grande sensibilidade do algodoeiro aos níveis de P disponível no solo e a velocidade com que é absorvido durante o seu ciclo, com picos de absorção entre os 45 e 108 DAE, com máximo aos 70-75 DAE, as fontes solúveis em água têm sido as mais eficientes no fornecimento do nutriente à planta (STAUT & KURIHARA, 2001; ROSOLEM, 2001).

Silva et al. (1971) mostraram que o superfosfato simples superou o superfosfato triplo, no que diz respeito ao tamanho dos capulhos e peso de cem sementes e em produtividade, porém independente da fonte ficou evidenciado o aumento da produção e o peso de um capulho pelo efeito do P aplicado. Do mesmo modo, Sabino et al. (1991), trabalhando com três variedades de algodão, chegaram à conclusão de que o uso do superfosfato simples concorreu para aumentar significativamente o peso de cem sementes e o peso de um capulho, independente da variedade utilizada.

Medeiros (1987), que estudou o nível crítico de P em três cultivares de algodão, concluiu que o teor no solo de P que determina a produção máxima de matéria seca estava entre 19,2 mg dm⁻³ e 21,9 mg dm⁻³ para todas as cultivares estudadas. Conforme SILVA et al. (1995), a adubação fosfatada pode ser adequadamente recomendada em função dos resultados de análise do solo, variando sua dosagem (20 a 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅) de acordo com seu teor disponível no solo é realizada na adubação de plantio. A (EMBRAPA, 1993) também recomenda adubar somente com base nos resultados das análises do solo, respeitando-se os níveis críticos dos nutrientes no solo e na planta.

3.12. Aspectos regionais da cultura do algodão

Na região Nordeste, a cotonicultura sempre foi explorada na dependência da precipitação pluvial natural, o que a caracteriza como uma atividade de risco, devido à má distribuição e irregularidade das chuvas. Por outro lado à entrada do bicudo do algodoeiro (*Anthonomus grandis* Boheman) no início da década de 80, associada principalmente ao uso de tecnologias inadequadas, reduziu seriamente a área cultivada, bem como a produção e a produtividade nesta região (BARREIRO NETO et al., 1987, MOREIRA et al., 1989).

Conforme estudos realizados por Santos et al. (1992), a cultura do algodoeiro é eminentemente de clima tropical, e cultivada na maioria das regiões de clima quente; sendo a China, Estados Unidos, União Soviética, Índia, Paquistão, Brasil, Turquia, Egito, México e Sudão, nesta ordem, os maiores produtores mundiais.

Quanto à formulação de uma idéia a respeito da importância da cotonicultura, encontra-se registro de que esta atividade durante décadas, figurou como tradicional e de importância sócio-econômica para a região semi-árida do Nordeste do Brasil (SUDENE, 1979), principalmente devido ao grande contingente de mão-de-obra que congrega direta e indiretamente. Ainda neste sentido, mencionou-se que a sua fibra,

produto principal possui cerca de 400 aplicações industriais e que, desde o ano de 1995, existe a previsão de que o Brasil deveria importar anualmente, até o ano 2000, cerca de 400.000 toneladas de pluma (PIMENTEL, 1995).

Tradicionalmente, a cotonicultura nordestina baseou-se na exploração de sequeiro; no entanto, nos últimos anos, procurando minimizar os efeitos nocivos das secas periódicas e das irregularidades das chuvas sobre o rendimento da cultura, muitos agricultores começaram a mostrar interesse por sua exploração em regime de irrigação. Uma das vantagens desse cultivo é o curto período de ocupação da área (110 a 150 dias), baixo consumo de água (450 a 650 mm) e uma boa produtividade, variando em função do ciclo da cultivar utilizada e das condições edafoclimáticas. Entretanto, de acordo com Oliveira & Campos (1992), o manejo inadequado da irrigação tem contribuído para baixos rendimentos da cotonicultura irrigada no Nordeste.

Na região semi-árida do Nordeste brasileiro, onde se encontra a maior parte da cotonicultura nordestina, a modernização da agricultura não ocorreu em certas áreas. Isto pode ser explicado não só pela falta de interesse dos empresários da indústria têxtil pela matéria prima regional, mas principalmente, pelo tradicionalismo da estrutura de produção encontrada no campo (SANTOS & SANTOS, 1999).

Segundo Beltrão (1999) a região Nordeste já é um dos pólos mundiais de consumo de algodão, cerca de 300.000 t de pluma ano⁻¹ e necessita, portanto de ter sua produção incrementada, no sentido de atender, no mínimo a sua demanda interna para não depender do produto importado, que poderá ficar difícil e escasso no futuro.

Para a melhoria da produtividade e da qualidade extrínseca do algodão nordestino, dependendo esta última da colheita e do armazenamento, tem-se que fazer difusão e transferência de tecnologias não somente para os produtores, mas, também para os beneficiadores e até para as indústrias, ressaltando-se ainda, se houver vontade coletiva, pode-se produzir um dos melhores algodões do mundo (BELTRÃO, 1999).

3.13. Aspectos hídricos da cultura do algodão

Aragão Júnior et al. (1988), considera a irregularidade pluviométrica, um dos fatores que mais tem limitado o rendimento do algodoeiro no Nordeste; representando perdas de até 70% na produção e produtividade (MAGALHÃES et al., 1987). Verifica-se, portanto uma necessidade crescente de tornar a cotonicultura menos dependente de fatores climáticos, e, por meio do manejo das irrigações, maximizarem a eficiência na

exploração dos recursos de água e solo disponíveis, elevando assim, a produtividade da cultura a patamares significativos.

A necessidade hídrica das plantas, geralmente é estimada com base no processo evapotranspiratório. Breirsdorf & Mota (1971), referem-se à evapotranspiração como sendo um processo dinâmico e peculiar, representado pela água de constituição da planta mais as perdas que ocorrem na forma de vapor, através da superfície do solo (evaporação) e foliar (transpiração), que apresentam variações locais e espaciais devido às condições edafoclimáticas e ao estado de desenvolvimento das plantas.

Para Kramer (1974), a transpiração é considerada fator dominante nas relações hídricas da cultura, uma vez que a mesma é responsável pelo gradiente de energia que provoca o movimento da água dentro e através da planta.

Muitos e variados são os trabalhos que versam sobre os aspectos hídricos das culturas. A respeito da demanda hídrica do algodoeiro herbáceo, esta pode ser afetada tanto pelas condições climáticas, como pelo estágio de desenvolvimento das plantas, tipo de solo e condições de umidade na camada explorada pelo sistema radicular (OLIVEIRA, 1976, DOORENHOS & KASSAM, 1994).

Déficit de água no solo a ponto de causar acentuado estresse nas plantas, tem sido considerado como um fator principal na redução do rendimento da cultura (STOCKTON et al. 1961).

Doorenbos & Kassam (1994), consideram que, durante todo o ciclo vegetativo, o algodoeiro necessita de 700 a 1300 mm de água.

Kiehl (1979) generaliza que as plantas evaporam de 500 a 1000 unidades de solução do solo para formar uma unidade de substância seca.

Azevedo et al. (1993), encontraram que quanto maior a disponibilidade de água no solo, maior a capacidade de absorção de nutrientes pelas raízes e maior a eficiência fotossintética das folhas.

Bezerra et al. (1999), afirmam que a utilização da irrigação suplementar, com o suprimento normal de água para a cultura possibilita a obtenção de produtividades compatíveis com a agricultura irrigada, e ainda possibilita uma alta taxa de retorno econômico à atividade.

Souza & Beltrão (1999), trabalhando em casa de vegetação, onde objetivaram verificar e quantificar as modificações na fisiologia da cultivar CNPA 7H, em fase de plântula, ao submeter o solo em estresse anoxítico, verificaram que dependendo do período de encharcamento, em fase de plântula, o algodoeiro sofre profundas alterações

nas atividades enzimáticas, tais como β -amilase, redutase do nitrato e fotossíntese. E também submetido o solo ao estresse anoxítico causa redução no rendimento do algodoeiro, mesmo ocorrendo em fase de plântula.

Conforme estudos realizados por Santos et al. (1992), a cultura do algodoeiro é eminentemente de clima tropical, e cultivada na maioria das regiões de clima quente; sendo a China, Estados Unidos da América do Norte, União Soviética, Índia, Paquistão, Brasil, Turquia, Egito, México e Sudão, nesta ordem, os maiores produtores mundiais.

Na região Nordeste, a cotonicultura sempre foi explorada na dependência da precipitação pluviométrica natural, o que a caracteriza como uma atividade de risco, devido à má distribuição e irregularidade das chuvas.

Oliveira (1976) para meses caracterizados como frios e quentes-secos, no semi-árido brasileiro obteve, respectivamente, uma variação no consumo entre 588 e 686 mm no ciclo da cultura. Azevedo et al. (1991) determinaram o consumo total de uma cultivar de fibra branca (CNPA Precoce 1) e de ciclo curto para região semi-árida do Estado da Paraíba da ordem de 440 mm. Para cultivar de ciclo médio (CNPA 6H) no semi-árido do Estado do Rio Grande do Norte, Bezerra et al. (1994) observaram consumo de água pelas plantas de 616,5 mm.

3.13.1. Manejo de água no cultivo do algodoeiro

O algodoeiro herbáceo é uma planta extremamente sensível a anoxia radicular, causada por compactação e/ou excesso de água no solo, independente da cultivar. A magnitude do estresse anoxítico no metabolismo, produtividade e qualidade do produto é função da duração do mesmo e do estágio de desenvolvimento das plantas, com interações com outros fatores, do clima, do solo, da cultura e de outros biosistemas no agroecossistema cotonícola. No tocante as alterações metabólicas, a maioria dos efeitos é linear com a duração do estresse, tendo-se registro de decréscimo na fotossíntese de 87% e da respiração de 63% somente com três dias de estresse e redução de mais de 200% na atividade da enzima invertase e de outras enzimas, Beltrão (2001).

O encharcamento na fase de botão floral é crítico, reduzindo bastante a produção, bem como na floração, dependendo da floração, dependendo da duração. A produção pode ser reduzida em mais de 40% com até oito dias de deficiência ou falta de oxigênio nas raízes, dependendo do estágio de desenvolvimento das plantas. Quando a qualidade do produto, sementes e fibra dependendo da duração, frequência e intensidade das

precipitações pluviais e da nebulosidade e umidade relativa do ar, junto com a temperatura, 15 dias ou menos de chuva, próximo à colheita, pode comprometer totalmente a produção e sua qualidade, Beltrão, (2001).

O algodoeiro herbáceo apesar de ser uma cultura relativamente tolerante à seca, suas estruturas produtivas podem ser sensivelmente comprometidas quando déficits severos de água no solo são estabelecidos (ARANDA, *et al.*, 1966, KRANTZ *et al.* 1976; LUZ *et al.*, 1997).

O estresse nas fases de floração e frutificação do algodoeiro corresponde justamente ao período crítico de necessidade hídrica da cultura, e reduziu em cerca de 50% o seu rendimento, com relação à irrigação durante todo o ciclo, quando a cultura consumia 50% da água disponível, Luz *et al.* (1997).

Quanto à fenologia da cultura, Sousa (1996) diz que o nível de água no solo parece não afetar o período de emissão das diferentes formas reprodutivas, tendo o aparecimento dos botões florais, o início do florescimento e a abertura dos capulhos, para a variedade CNPA 7H, independente do nível de estresse, ocorrido em média aos 43, 75 e 139 dias do ciclo da cultura.

Aranda *et al.* (1966), estudando em Sevilha, Espanha, cinco tratamentos de irrigação (80, 70, 60, 45, 30% de água disponível no solo) e a testemunha (água disponível no solo acima de 80%), concluiu que a duração do ciclo do algodão aumentou com o nível de água. No entanto, em todos os tratamentos o ciclo da cultura foi mais curto que o da testemunha, tendo ocorrido a maior diferença, de 20 dias, no tratamento com base nos 30% da água disponível.

Sousa (1996), em trabalho com algodão submetidos a níveis decrescentes de água disponível no solo, não encontrou diferenças estatisticamente significativas no que concerne ao rendimento entre os tratamentos utilizados sugerindo resistência desta cultura ao estresse hídrico.

Para Beltrão *et al.* (1997) o algodoeiro herbáceo, mesmo representado por uma cultivar para as regiões mais chuvosas ou sob cultivo irrigado, como é o caso da CNPA Acala 1, é sensível ao estresse anoxítico do meio edáfico, e os danos dependem da duração do estresse e do estágio de desenvolvimento das plantas; os mesmos autores verificaram que os efeitos da falta temporária de oxigênio no sistema radicular do algodoeiro (*Gossypium* spp.) cultivar híbrido sintético, CNPA Acala 1, e recomendada para o plantio em áreas irrigadas e em regiões de elevada precipitação pluvial. Observaram que a produção de algodão em caroço e a precocidade das plantas foram

reduzidas significativamente, à medida que se aumentou o tempo do estresse anoxítico causado pelo encharcamento do substrato, o número de capulhos por planta foi reduzido em 50% quando comparado com a testemunha.

Medeiros & Vieira (1999) disseram que a produção de algodão é uma função complexa, que depende de fatores vinculados à produção e a retenção de maçãs e capulhos. Numa população de 700 plantas da cultivar CNPA 7H, cultivada sob irrigação via sulco, com os dados verificaram que o número de capulhos por planta foi de 8,99 a 8,24, com o peso no intervalo de 6,43 a 6,28 gramas. A produção de algodão por planta foi estimada nos valores máximos de 57,29 gramas e para o mínimo de 51,74 gramas.

Araújo et al. (1998) em áreas demonstrativas instaladas em condições irrigadas nos estados da Paraíba, Ceará, Rio G. do Norte e Pernambuco no ano de 1998 com as cultivares de algodoeiro herbáceo CNPA 7H e CNPA Precoce 2, constataram que a viabilidade econômica da mesma seria atingida a partir do nível de produtividade de 1.453 kg ha⁻¹ de algodão em caroço.

A cultivar CNPA 7H vem sendo utilizada em condições de irrigação, especialmente no Estado do Ceará, onde se tem atingido produtividades de até 4.000 kg ha⁻¹ de algodão em caroço, que com 37% de fibra, fornece 1.400 kg de fibras ha⁻¹ (BELTRÃO, 1999). Esta cultivar tem-se destacado em vários países, como o Paraguai (SANABRIA & BELOT citados por BELTRÃO, 1999) aonde chega a produzir mais de 1000 kg de fibra ha⁻¹ e no Uruguai produz mais de 4.600 kg ha⁻¹ de algodão em caroço.

Aragão Júnior et al. (1988), testando quantos níveis de irrigação, baseados em 100, 80, 60 e 40% da evapotranspiração potencial local, concluíram que a irrigação manejada com base em 80%, com uma frequência de seis dias, proporcionaram o maior rendimento da cultura do algodoeiro herbáceo.

Trabalhando com o algodoeiro irrigado, no Arizona, Jackson & Tilt (1968), constataram que quando a cultura havia consumido, em média, 95, 80, 65 e 50% da umidade disponível no solo, o rendimento do algodão cresceu com os níveis das irrigações, na ordem de 3947, 5037, 5104, 5355 kg ha⁻¹, respectivamente. Resultados semelhantes, proporcionalmente, foram observados por Aranda (1966), em Servilha, quando a demanda da cultura havia atingido 70, 55, 40 30 e 20% da água disponível.

3.14. Cultivar BRS 200 Marrom

O algodão colorido já era cultivado pelos incas há mais de 4.500 a.C. e por outros povos antigos das Américas, África e Austrália. No Brasil, a cultivar BRS 200 – Marrom obtida de um bulk (conjunto de linhagens fenotipicamente semelhantes) e derivada do algodão mocó (arbóreo ou perene) é de natureza genética complexa envolvendo pelo menos três espécies de algodão na sua origem; de certa forma é mais complexo que o algodão de fibra branca (FREIRE et al., 1999).

Por ser uma cultivar de ciclo semi-perene (três anos de exploração econômica), selecionada a partir de algodoeiros arbóreos nativos do semi-árido nordestino, possui alto nível de resistência à seca, adequado a ser plantada no seridó e sertão, preferencialmente nas localidades zoneadas para exploração do algodoeiro arbóreo. Entretanto, pode ser explorada, também, sob condições irrigadas, no semi-árido, quando possibilitará a obtenção de rendimentos de até 3.300kg de algodão em caroço por hectare. Apresenta produtividade 64% superior as cultivares de algodoeiro mocó (CNPA 5M), porém em condições de sequeiro sua produtividade é quase equivalente a da CNPA 7MH apesar de em condições irrigadas, produzir 22 % a menos que a 7MH, (EMBRAPA, 2000).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Localização do experimento e clima

O experimento foi conduzido nas dependências da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE), da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba, (CAGEPA), localizada no bairro da Catingueira, distante 10 km do centro da cidade de Campina Grande, PB. Situada na zona Centro Oriental do Estado da Paraíba, no Planalto da Borborema, e localizada pelas coordenadas geográficas 7°13' 11" de latitude sul 35°53'31" de longitude oeste e altitude 548 m. Conforme o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), o município apresenta precipitação total anual de 802,7 mm, temperatura máxima de 27,5°C, mínima de 19,2°C e umidade relativa do ar de 83%.

4.2. Estação de tratamento de esgoto

A ETE de Campina Grande possui duas lagoas em série, com profundidade de 3,5 m, sem aeradores; o esgoto bruto passa por uma calha Parshall e uma grade de ferro antes de entrar na primeira lagoa. No final da segunda lagoa existe um ponto de captação do efluente que foi utilizado no experimento, e um vertedouro seguido de um canal o qual conduz a água até o leito do riacho de Bodocongó, pertencente à bacia hidrográfica do Rio Paraíba. O emissário de esgotos da cidade de Campina Grande, as lagoas de estabilização e o ponto de captação do efluente usado no experimento são exibidos na Figura 1 e 2.



Figura 1. Emissário e lagoas de estabilização da estação de tratamento de esgotos (ETE) de Campina Grande-PB.



Figura 2. Captação do efluente final das lagoas de estabilização usado no experimento, ETE de Campina Grande.

4.3. Área experimental

A área experimental foi de 4200 m², distando 350 m das lagoas de estabilização, com uma diferença de nível de 5 m, uma declividade de 1,5%; o solo da área é um Neossolo conforme (EMBRAPA, 1999), de textura média, franco-argilo-arenoso, com pasto natural, cultivado anteriormente com algodão, milho e algodão respectivamente em experimentos que estudaram tipos de água e doses de nitrogênio, irrigados por superfície, utilizando sulcos. O último plantio foi feito com algodão no dia 03/11/2003.

Os dados meteorológicos referentes ao período de cultivo e coleta dos dados estão na Tabela 4 a seguir.

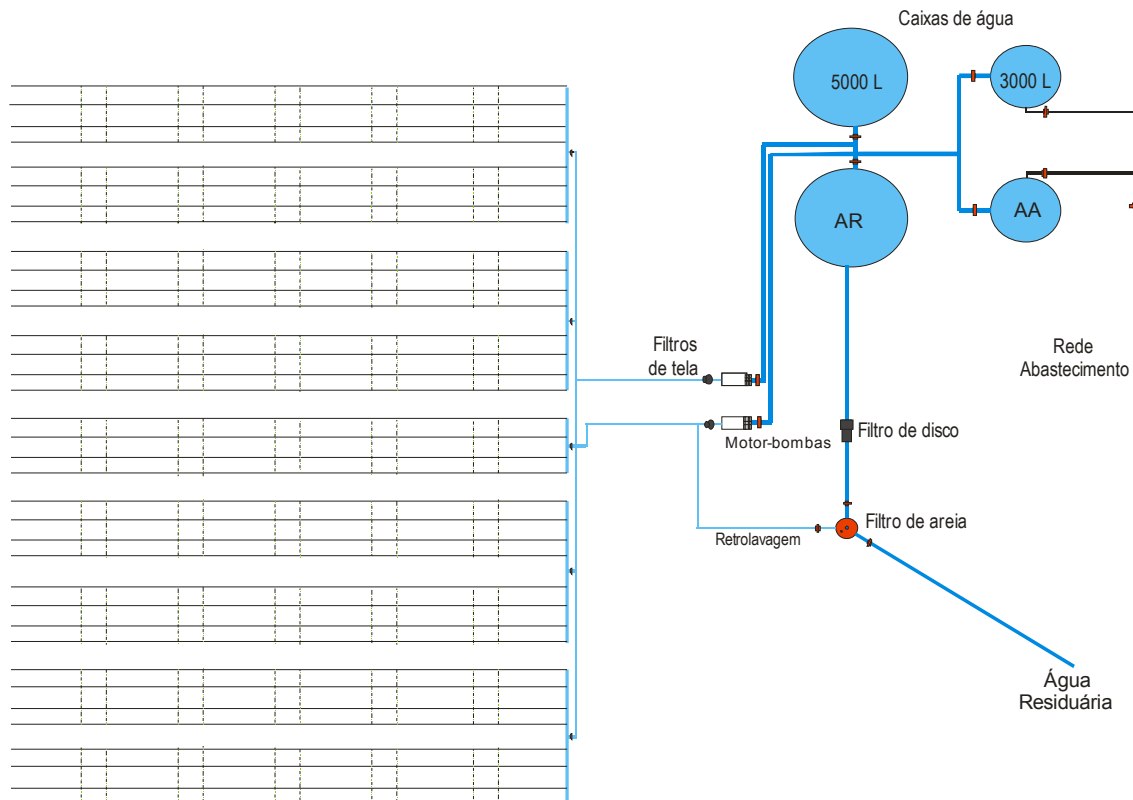
Tabela 4. Dados meteorológicos da estação climatológica CNPA/EMBRAPA, referente ao período da pesquisa.

Mês/Ano	Dados Meteorológicos				
	Temperatura Média (°C)	Precipitação (mm)	Evapotranspiração (ET _o , mm dia ⁻¹)	UR Média do ar (%)	Insolação média (h)
11/2004	24,0	0,3	6,5	75	9,5
12/2004	24,3	1,8	7,1	75	9,1
01/2005	25,1	1,6	7,1	76	8,4
02/2005	25,4	0,7	6,1	79	8,0
03/2005	25,3	99,5	6,0	77	7,9
04/2005	24,8	23,9	4,4	77	7,5
05/2005	23,5	184,4	3,3	83	4,7
06/2005	21,8	263,4	1,5	89	2,4
07/2005	21,3	41,6	2,9	82	6,2
08/2005	21,0	123,5	2,6	84	4,8
09/2005	22,3	12,4	3,3	75	5,8

Meses de cultivo dezembro 2004 a abril de 2005. UR – Umidade Relativa; h – hora; temperatura ambiente.

4.4. Sistema de irrigação

O sistema de irrigação foi localizado do tipo gotejamento, utilizando dois sistemas um para cada tipo de água, evitando assim a mistura das águas. O efluente das lagoas de estabilização era aduzido por um conjunto motobomba de 3 cv auto escovante BBA, modelo 7JCA, passando por uma linha adutora de 350 m de PVC de 50 mm, até chegar ao cabeçal de controle onde era filtrado por um filtro de areia e um filtro de disco 130 micron ambos com uma vazão de $10 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, até 2 caixas de água de 5000 L. A água de abastecimento era proveniente da rede local e armazenada em duas caixas de 3000 L. O efluente de esgoto e a água de abastecimento armazenadas nas caixas, eram aplicadas na área do experimento através de 2 motor-bomba centrífuga de 0,5 cv, sendo cada tipo de água ainda filtrada por um filtro de tela 130 micron, Após cada filtro de tela existia um manômetro analógico Figuras 3 e 4. As linha laterais de polietileno de 16 mm possuíam gotejadores autocompensantes com vazão de 4 L h^{-1} , espaçados em 50 cm. O controle das irrigações foi feito através de registros de passagem instalados no início de cada subunidade de irrigação, obedecendo o tempo estabelecido para cada lâmina de água.



Legenda:

AA - Água de abastecimento

AR - Água residuária

■ - Registros

— - Tubo de PVC de 50 mm

— - Tubo de PVC de 32 mm

— - Laterais de polietileno de 16 mm

Figura 3. Sistema de armazenamento, filtragem e distribuição de água.



Figura 4. Cabeçal de controle composto por filtro de areia, motobomba, filtro de disco, filtros de tela e manômetros analógicos.

4.5. Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, num arranjo fatorial misto $[(4 \times 2 \times 2) + 2] \times 3$, cujos fatores foram quatro lâminas de água residuária (L_1 - 278, L_2 - 416, L_3 - 554 e L_4 - 692 mm), que corresponde a ausência e presença de nitrogênio (0, 90 kg ha^{-1} de N) e ausência e presença de fósforo (0, 60 kg ha^{-1} de P_2O_5), mais dois tratamentos adicionais irrigados com água de abastecimento público adubado com 90 e 180 kg ha^{-1} de nitrogênio e lâmina de 554 mm), resultando em 18 tratamentos; com 3 repetições. O croqui da área com os tratamentos é apresentado na Figura 5 a seguir.

Cada parcela experimental constou de uma área de 20 m^2 , o arranjo de plantas foi em fileiras simples com espaçamento de 0,20 m entre plantas e 1 m entre fileiras. A área útil foi representada pelas duas fileiras centrais.

Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3		
Sem Adubo	P	Sem Adubo	N-P	N	P	L₁ - AR
N-P	N	P	N	N-P	Sem Adubo	
N	N-P	N	P	Sem Adubo	N-P	L₂ - AR
P	Sem Adubo	N-P	Sem Adubo	P	N	
N ₁	N	N ₁	N	N ₁	N	T - AA L_T
N-P	N	P	N	N-P	Sem Adubo	L₃ - AR
Sem Adubo	P	Sem Adubo	N-P	N	P	
N-P	N	N-P	Sem Adubo	P	N	L₄ - AR
Sem Adubo	P	N	P	Sem Adubo	N-P	

Figura 5. Croqui da área experimental com a disposição das parcelas e respectivos tratamentos e tipos de água de irrigação.

Legenda.

N - 90 kg de nitrogênio ha^{-1}

N₁ - 180 kg de nitrogênio ha^{-1}

P - 60 kg de fósforo (P_2O_5) ha^{-1}

N-P - com adubação N e P

Sem adubo - Sem adubação N e P

T - Tratamentos Adicionais

AR - Águas Residuárias, L = Lâmina, $L_1 = 367$, $L_2 = 505$, $L_3 = 643$, $L_4 = 781$

AA - Água de Abastecimento, $L_T = 643$ mm

4.6. Adubações

A partir das análises químicas do solo foram recomendadas adubações com 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 20 kg ha⁻¹ de potássio respectivamente.

As parcelas foram adubadas em fundação com 600g de fósforo, 60 g de potássio e ¼ (100g) do nitrogênio; utilizando como fontes o superfosfato simples o cloreto de potássio e a uréia. O restante do adubo nitrogenado ¼ foi aplicado após o desbaste aos 25 dias após a emergência (DAE), ¼ no início da floração aos 45 DAE e mais ¼ aos 65 DAE. Com os tratamentos adicionais procedeu-se da mesma forma. Não foi feita correção da acidez do solo devido o solo possuir o pH na faixa ótima para o cultivo do algodão.

4.7. Solo utilizado

Foram realizadas quatro coletas de solo para análise, a primeira foi uma coleta geral da área com dez amostragens perfazendo uma amostra única, antes de ser montado o sistema de irrigação e antes de ser divididas as parcelas experimentais, a segunda foi depois de ser divididas às parcelas e antes do plantio, com coletas perfazendo uma amostra composta das repetições para cada tratamento dentro do bloco. A terceira coleta foi depois dos 94 dias após a emergência das plântulas, início das chuvas e o término das irrigações, também com coletas perfazendo uma amostra composta das repetições para cada tratamento dentro do bloco. A última coleta de solo foi realizada depois da estação chuvosa no mês de setembro. O solo foi coletado na camada superficial de 0-20 cm. Após a coleta o material do solo foi conduzido para o laboratório, destorroado, colocado para secar a sombra, passado numa peneira de 2,0 mm (ABNT nº 10) e submetido à análise química.

4.8 Análises físico-hídrica

As análises físico-hídricas do solo foram realizadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS), Universidade Federal de Campina Grande, de acordo com as metodologias propostas pela (EMBRAPA, 1979). Para determinação da retenção de umidade no solo, procedeu-se segundo (RICHARDS, 1947), em que o ponto de murcha permanente (Pmp), corresponde a água retida no solo a um potencial matricial de -1,5 MPa e a capacidade de campo (Cc) a água retida a um potencial de -0,033 MPa, utilizando-se membrana e câmara de pressão, respectivamente.

4.9. Análises químicas

As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo, CCA UFPB, de acordo com as metodologias propostas pela (EMBRAPA, 1997). Para o cálcio e o magnésio foi utilizada como solução extratora o KCl 1N e coquetel de buffer (Cianeto de Potássio, Trietanolamina e Solução Tampão pH 10) e a respectiva determinação processada por titulação com EDTA 0,0125N em presença de Eriocromo “Black T”.

Para determinação do fósforo e o potássio utilizou-se o extrator Mehlich (H_2SO_4 0,025N + HCl 0,05N) como solução extratora. O teor de fósforo no solo foi determinado por espectrofotometria de absorção atômica, e o potássio por fotometria de chama. A solução extratora para o sódio, no Complexo Sortivo, foi o HCl 0,05 N, e a determinação foi feita em fotômetro de chama com filtro específico. O alumínio foi determinado utilizando-se uma alíquota de 100 ml do sobrenadante, e a ela adicionado o indicador azul de Bromatimol a 0,1%, cuja determinação foi feita com base na titulação com NaOH 0,05 N. O hidrogênio foi obtido, juntamente com o alumínio, a partir de solução extratora Acetato de cálcio pH 7,0.

A determinação do pH na solução do solo na proporção de 1:2,5 de água destilada, e a matéria orgânica foi determinada pelo método de Walkey - Black com a utilização da solução dicromato de potássio para efeito da oxidação da matéria orgânica e titulação com sulfato ferroso, conforme (EMBRAPA, 1979).

4.10. Água e efluente para irrigação

As águas usadas na pesquisa foram provenientes da rede de abastecimento local e das lagoas de estabilização da estação de tratamento de esgotos da cidade de Campina Grande. As análises das características físicas químicas e microbiológicas do efluente foram analisadas no início e duas vezes durante a pesquisa. As amostras foram coletadas no início da linha de gotejadores, acondicionada em garrafas plásticas de dois litros, para análises microbiológicas usou-se frasco de vidros esterilizado a 160° e acondicionados em caixas de isopor. As análises de macro nutrientes e microbiológicas do efluente foram realizadas pelo Laboratório da Estação de Tratamento Biológico de Esgoto (EXTRABES/PROSAB/UFPB) e pelo Centro de Tecnologia do Couro e Calçado Albano Franco, (CTCC/SENAI) com metodologia empregada de (APHA,

1995). As análises para fins de irrigação, macro elementos e metais pesados foram realizadas no laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS/UFCG), e Laboratório de Química e Fertilidade de Solo, UFPB, conforme (RICHARDS, 1965).

4.11. Determinação das lâminas e controle das irrigações

As lâminas de água foram estimas com base nos dados referentes à cultura do algodão herbáceo, com espaçamento (E1) de 0,2 m entre plantas e (E2) 1 m entre linhas, coeficiente de cultivo (Kc) de 0,9, fator de cobertura (Fc) de 0,70, evapotranspiração potencial máxima (ETP_{máx}) de 5,2 mm dia⁻¹ conforme (HARGREAVES, 1974), eficiência da aplicação de água (Ef) de 0,95% chegando ao valor de 0,69 L planta dia⁻¹ de acordo com a Equação 1, fazendo a transformação de mm dia⁻¹ em L dia⁻¹. A variação das lâminas aplicadas com os diferentes volumes aplicados por dia corresponderam a (133, 105, 76 e 48% da ETP_{máx}), que ao final de 94 dias com turno de irrigação de 3,5 dias resultou nas lâminas de (692, 554, 416 e 278 mm).

$$VPL \text{ dia}^{-1} = \frac{ETP_{máx} \times E_1 \times E_2 \times Kc \times Fc}{Ef} \quad (1)$$

Sendo:

VPL dia⁻¹ – Volume planta por dia (L)

ETP_{máx} – Evapotranspiração potencial máxima (mm)

E1 – Espaçamento entre plantas (m)

E2 – Espaçamento entre linhas (m)

Kc – Coeficiente de cultivo

Fc – Fator de cobertura

Ef – Eficiência de distribuição de água (%)

Após o plantio até a germinação total das sementes que durou cinco dias foi aplicada uma lâmina de 40 mm, em todos os tratamentos, a partir daí foi iniciado o controle utilizando um turno de irrigação de 3,5 dias; A irrigação foi interrompida aos 94 dias, mas ainda houve uma precipitação pluvial de 89 mm após ter sido cessada a irrigação, sendo essa precipitação contabilizada na lâmina final. Durante o experimento foram realizadas três avaliações do sistema em 54 gotejadores sendo seis gotejadores por linha lateral, os coeficientes de uniformidade de distribuição foram respectivamente

96,56; 93,55 e 95,58 %. A quantidade de efluente aplicado por planta e por área mais a precipitação ocorrida no final do cultivo estão na Tabela 5.

Tabela 5. Quantidade de água aplicada durante o experimento em milímetro e em litros.

Litros Planta ⁻¹ dia ⁻¹	mm Planta ⁻¹	Irrigação mm	Precipitação mm	Lâmina total mm	Litros planta ⁻¹	m ³ ha ⁻¹
1,4	6,9	692	89	781	156,15	7807,0
1,1	5,5	554	89	643	128,57	6429,0
0,8	4,0	416	89	505	101,00	5050,0
0,5	2,5	278	89	367	73,43	3671,0

Irrigação 94 dias mais precipitação pluviométrica de 89 mm.

Seguindo-se recomendações de Beltrão et al. (2001), avaliou-se o crescimento a intervalo de vinte dias, a partir da emergência das plântulas, através da amostragem de cinco plantas por parcela, obtendo-se dados das seguintes variáveis:

4.12. Determinação da altura das plantas

A altura foi determinada em seis plantas por parcela do colo da planta até o broto terminal aos 5, 25, 45, 65, 85 e 105 dias após a emergência (DAE), que foram marcadas em cada tratamento e repetição.

4.13. Determinação do diâmetro de caule

O diâmetro de caule era mensurado em seis plantas por parcela a 1 cm do colo da planta aos 25, 45, 65, 85 e 105 dias após a emergência, que foram marcadas em cada tratamento e repetição.

4.14. Determinação da área foliar

A área foliar foi determinada com base nas medidas do comprimento da folha, realizadas aos 25, 45, 65, 85 e 105 dias a contar da emergência das plântulas e a partir da Equação 2, proposta por Grimes & Carter, (1969):

$$Y = 0,4322 X^{2,3002} \quad (cm^2) \quad (2)$$

sendo:

Y - Área foliar folha⁻¹, cm²;

X - Comprimento da nervura principal da folha do algodoeiro, cm.

A área foliar por planta foi determinada pelo somatório da área de cada folha.

4.15. Determinação da biomassa parte aérea

A biomassa foi determinada aos 5, 25, 45, 65, 85 e 105 dias após emergência das plântulas (DAE), coletando-se duas plantas para determinação. Para o fornecimento do peso da (BS), as plantas coletadas foram postas em sacos de papel, que identificados, perfurados, foram colocadas para secar em estufa com ventilação forçada, a temperatura de 65-70°C por um período suficiente até atingir peso constante.

4.16. Número de botões florais e de frutos

Os componentes da produção número de botões florais e número de frutos foram contados a cada 20 dias, sendo os botões aos 45, 65 e aos 85 dias após a emergência e os frutos 65, 85 e 105 DAE, totalizando três contagens, as quais eram feitas em seis plantas por parcela.

4.17. Taxas de crescimento absoluto (TCA)

Taxa de crescimento absoluto TCA ou taxa de crescimento da cultura é a variação ou incremento em altura, biomassa ou área entre duas amostragens, em relação ao tempo, de acordo com Silva, (2000) foram encontradas as seguintes taxas:

4.17.1. Taxa de crescimento absoluto do caule

Expressa o crescimento da planta em altura dada pela Equação 3, (SILVA, 2000).

$$TCA_{Caule} = \frac{ALT_2 - ALT_1}{t_2 - t_1} \quad (\text{cm dia}^{-1}) \quad (3)$$

sendo:

ALT – Altura da planta (cm);

t – Época da amostragem (dias).

4.17.2. Taxa de crescimento absoluto do limbo foliar

Expressa o aumento da área do limbo, dada pela Equação 4, (SILVA, 2000).

$$TCA_{Limbo} = \frac{AFL_2 - AFL_1}{t_2 - t_1} \quad (\text{cm}^2 \text{ dia}^{-1}) \quad (4)$$

sendo:

AFL – Área foliar do limbo (cm²);

t – Época da amostragem (dias).

4.17.3. Taxa de crescimento absoluto da biomassa das folhas

Expressa o incremento de biomassa pelas folhas da planta, dada pela Equação 5:

$$TCA_{Biomassa Folhas} = \frac{BF_2 - BF_1}{t_2 - t_1} \quad (\text{g dia}^{-1}) \quad (5)$$

sendo:

BLT – Biomassa das folhas (g);

t – Época da amostragem (dias).

4.17.4. Taxa de crescimento absoluto da biomassa total da parte aérea

Expressa o incremento de biomassa total pela planta, dada pela Equação 6 (SILVA, 2000).

$$TCA_{Biomassa Total} = \frac{BTPA_2 - BTPA_1}{t_2 - t_1} \quad (\text{g dia}^{-1}) \quad (6)$$

sendo:

FLT – Biomassa total parte aérea (g);

t – Época da amostragem (dias).

4.18. Razão de área foliar (RAF)

A RAF é definida como sendo a razão entre o tecido assimilatório e a fitomassa seca resultante da fotossíntese, RAF é considerada como uma medida da capacidade fotossintética de uma planta. Dada pela Equação 7, (SILVA, 2000).

$$RAF = \frac{AFL}{BPA} \quad (7)$$

sendo:

AFL – Área foliar (cm²);

BPA – Biomassa da parte aérea (g).

4.19. Taxa de assimilação líquida (TAL)

A TAL reflete a dimensão do sistema fotossintético que é envolvido na produção de matéria seca, ou seja, é uma estimativa da fotossíntese líquida, (FERRI, 1985), Equação 8, de acordo com Silva, (2000).

$$TAL = \frac{TCR_{Biomassa\ Total}}{RAF} \quad (\text{g cm}^2 \text{ dia}^{-1}) \quad (8)$$

4.20. Taxas de crescimento relativo (TCR)

A TCR descreve a fase exponencial do crescimento de uma planta anual. Nos cálculos de TCR admite-se que novo crescimento é simplesmente uma função da matéria seca existente. A TCR é uma medida da eficiência da produção de nova matéria seca sobre a já existente e é também chamada de taxa de crescimento específica, (SILVA, 2000).

4.20.1. Taxa de crescimento relativo da biomassa total da parte aérea

A TCR da biomassa total é dada pela Equação 9, (SILVA, 2000).

$$TCR_{Biomassa\ Total} = \frac{\ln(BTPA_2) - \ln(BTPA_1)}{t_2 - t_1} \quad (\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}) \quad (9)$$

sendo:

ln – Logaritmo neperiano

BPA – Biomassa total da parte aérea da planta (g);

t – Época da amostragem (dias).

4.20.2. Taxa de crescimento relativo da fitomassa fresca

A TCR da fitomassa fresca é dada pela Equação 10, (BELTRÃO, 2001).

$$TCR_{Fitomassa\ Fresca} = \frac{\text{Log}_{10}(ALT \times DC^2)_2 - \text{Log}_{10}(ALT \times DC^2)_1}{t_2 - t_1} \quad (\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3} \text{ dia}^{-1}) \quad (10)$$

sendo:

Log – Logaritmo de base 10;

ALT – Altura de planta (cm);

DC – Diâmetro do caule (cm);

t – Época de amostragem (dias).

4.20.3. Taxa de crescimento relativo do limbo foliar

A TCR do limbo foliar é dada pela Equação 11, (SILVA, 2000).

$$TCR_{Limbo} = \frac{\ln(AFL_2) - \ln(AFL_1)}{t_2 - t_1} \quad (\text{cm}^2 \text{ cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}) \quad (11)$$

sendo:

ln – Logaritmo neperiano;

AFL – Área do limbo foliar (cm²);

t – Época da amostragem (dias).

4.20.4. Taxa de crescimento relativo do caule

A TCR do caule é dada pela Equação 12, (SILVA, 2000).

$$TCR_{Caule} = \frac{\ln(ALT_2) - \ln(ALT_1)}{t_2 - t_1} \quad (\text{cm cm}^{-1} \text{ dia}^{-1}) \quad (12)$$

sendo:

ln – Logaritmo neperiano;

ALT – Altura da planta (cm);

t – Época da amostragem (dias);

4.20.5. Taxa de crescimento relativo da biomassa das folhas

$$TCR_{Biomassa Folhas} = \frac{\ln(BF_2) - \ln(BF_1)}{t_2 - t_1} \quad (\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}) \quad (13)$$

sendo:

ln – Logaritmo neperiano

BF – Biomassa das folhas (g)

t – Época da amostragem (dias)

4.21. Índice de área foliar (IAF),

O IAF é dado pela Equação 14 de acordo com Floss, (2004).

$$IAF = \frac{\text{Área Foliar}}{\text{Área de solo}} \quad (\text{m}^2 \text{ m}^{-2}) \quad (14)$$

4.22. Taxa de produção de matéria seca (TPMS)

Indica a taxa de produção de matéria seca de uma comunidade de plantas ocupando uma determinada área cultivada. A TPMS é determinada através do produto da taxa assimilatória líquida (TAL) pelo índice de área foliar, Equação 15, (FLOSS, 2004).

$$TPMS = TAL \times IAF \quad (g \ m^2 \ dia^{-1}) \quad (15)$$

4.23. Índice de colheita (IC)

Indica a proporção dos produtos fotossintetizados que são translocados para a parte que é colhida de interesse comercial, em relação ao total produzido de fitomassa da planta, para esse caso não foi contabilizada a biomassa das raízes, Equação 16:

$$IC = \frac{\text{Biomassa Algodão em caroço}}{\text{Biomassa da Parte Aérea}} \quad (16)$$

4.24. Eficiência do uso da água (EF)

Estima quanto foi produzido (produto colhido) por unidade de volume de água consumida ou aplicada para a produção, Equação 17:

$$EF = \frac{\text{Algodão em caroço}}{\text{mm de água aplicada}} \quad (kg \ ha^{-1} \ mm^{-1}) \quad (17)$$

4.25. Peso de um capulho, peso de cem sementes, percentual de fibra e de sementes

Antes da colheita foram coletados no terço médio da planta 20 capulhos na área útil da parcela experimental, com a finalidade de fornecer informações para obtenção do peso médio de um capulho. Com a separação da fibra da semente obteve-se o peso médio de 100 sementes, percentual de fibra e de sementes.

4.26. Características têxteis da fibra

A fibra acondicionada em sacos de papel foi climatizada para análise das características têxteis: comprimento (UHM), uniformidade de comprimento (UNF), índice de fibras curtas (SFI), resistência (STR), alongamento a ruptura (ELG), índice de micronaire (MIC), índice de fiabilidade (SCI) maturidade (MAT), reflectância (Rd) e grau de amarelecimento (+b), no Laboratório de Fibras e Fios da Embrapa Algodão.

4.27. Produção de algodão em caroço, peso da pluma e peso de sementes

A estimativa da produção foi realizada com o peso do algodão em caroço, peso de sementes e de fibras da área útil de 10 m² da parcela, fazendo a extrapolação para um hectare.

4.28. Análise dos dados

Os dados foram submetidos à análise de variância, com desdobramento dos efeitos quantitativos em polinômios ortogonais, segundo sua significância pelo Teste F. A escolha do modelo de regressão foi feita com base no modelo de maior grau significativo pelo Teste F, cujo desvio da regressão tenha sido não significativo (GOMES, 1995). Tanto para a análise de variância quanto à estimativa dos parâmetros dos modelos da regressão, foi utilizado o pacote estatístico (SAS/SAT, 2000).

4.29. Fase experimental

Foi iniciada a montagem do experimento no mês de setembro de 2004, com a instalação do sistema de bombeamento de água, instalação de uma bomba de 3 cv, ligação da energia elétrica composta por um quadro geral e três chaves magnéticas, escavação de uma vala no solo de 350 m para ser colocado tubos de PVC de 50 mm, construção de um piso para a instalação do cabeçal de controle, composto por: um filtro de areia, duas motor-bomba, dois filtros de tela e um de disco, dois manômetros analógicos. Construção de uma cerca de arame ao redor da área para proteção. Foi passada uma grade para nivelar o terreno como para limpeza das ervas daninhas, e por fim montagem do sistema de irrigação tipo gotejamento localizado na área de cultivo. Foram coletadas amostras de solo em cada parcela experimental antes do plantio manual realizado no dia 15 de dezembro de 2004 com 20 sementes por metro linear, numa profundidade de 5 cm. De acordo com a análise do solo foi processada uma adubação de fundação à base de cloreto de potássio e micro-nutrientes em toda área, numa profundidade de 8 cm e aplicação de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ nas parcelas dos tratamentos adicionais. Durante cinco dias foi aplicada uma lâmina de água de 8 mm totalizando 40 mm, a emergência foi iniciada aos 5 dias após a semeadura onde foi iniciada o controle das irrigações, não havendo necessidades de replantio. Aos 15 dias após a emergência

foi feito o primeiro desbaste deixando 10 plantas m^{-1} , o segundo desbaste foi realizado aos 25 DAE deixando 5 plantas m^{-1} , ficando 50 plantas na área útil. No controle das ervas daninhas não foi usado herbicida, foram feitas capinas com enxadas aos 30 e 60 DAE. Para o controle de pragas e doenças realizou-se o Manejo Integrado de Pragas (MIP) havendo necessidades da aplicação do inseticida e acaricida, Endosulfan, só aos 60 DAE. Aos 94 DAE foi cessada a irrigação por ocasião do início das chuvas, sendo realizada depois de seis dias coletas de solo numa profundidade de 20 cm na área experimental para posterior análise. A colheita foi realizada aos 127, 128 e 129 DAE, quando todos os capulhos estavam totalmente abertos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Características do solo e da água antes do plantio

Pelos resultados da Tabela 6, observa-se que o Neossolo é de textura franco-argilo-arenosa. Quanto à fertilidade possui teor médio de fósforo e alto de potássio respectivamente, sendo para esses teores recomendado para o algodoeiro adubação de fundação com 60 de P_2O_5 e 20 $kg\ ha^{-1}$ de K_2O . O teor de sódio de $4,2\ mmol_c\ dm^{-3}$, não muito alto, esteve nos níveis encontrados em solos cultivados e irrigados do Nordeste. Com pH de 7,06 e devido à ausência de alumínio não foi preciso efetuar calagem, verifica-se também um baixo teor de matéria orgânica de $7,7\ g\ kg^{-1}$.

Tabela 6. Resultado das análises física, química e de fertilidade do solo antes do cultivo.

Atributos Físicos e Hídricos		Atributos Químicos e Fertilidade	
Areia ($g\ kg^{-1}$)	629	pH ($H_2O - 1:2,5$)	7,06
Silte ($g\ kg^{-1}$)	161	P_2O_5 $mg\ dm^{-3}$	13,4
Argila ($g\ kg^{-1}$)	210	K^+ $mmol_c\ dm^{-3}$	6,7
Densidade ($g\ cm^{-3}$)	1,43	Ca^{+2} $mmol_c\ dm^{-3}$	39,0
Porosidade total (%)	46,36	Mg^{+2} $mmol_c\ dm^{-3}$	45,4
CC - 0,033 MPa (%)	12,47	Na^+ $mmol_c\ dm^{-3}$	4,2
PM - 1,5 MPa (%)	4,53	H^+ $mmol_c\ dm^{-3}$	10,13
Umidade gravimétrica (%)	18,82	Al^{+3} $mmol_c\ dm^{-3}$	0,0
Água Disponível (%)	7,94	M.O. ($g\ kg^{-1}$)	7,7
		Nitrogênio ($g\ kg^{-1}$)	0,38

Textura: Franco-argilo-arenosa

Análises realizadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade, Departamento de Engenharia Agrícola, UFCG.

De acordo com os resultados obtidos do extrato de saturação do solo já irrigado com efluente durante três cultivos (algodão, milho e algodão) Tabela 7, observa-se que o pH, a condutividade elétrica e a Relação de Adsorção de Sódio (RAS) não tiveram os valores tão elevados. A concentração de bicarbonato foi de $3,8\ mmol_c\ L^{-1}$, com ausência de carbonato e sulfato. O solo foi classificado como normal e não sódico. Detalhe do bulbo molhado pelo gotejador Figura 6.



Figura 6. Detalhe da área superficial do bulbo molhado pelo gotejador.

Tabela 7. Resultado da análise do extrato de saturação do solo antes do cultivo.

pHes	6,8
Condutividade Elétrica (dS m ⁻¹ a 25°C)	1,66
Cloreto (Cl ⁻) (mmol _c L ⁻¹)	13,75
Carbonato (CaCO ₃) (mmol _c L ⁻¹)	0,00
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻) (mmol _c L ⁻¹)	3,8
Sulfato (SO ₄ ⁼) (mmol _c L ⁻¹)	0,00
Cálcio (Ca ⁺²) (mmol _c L ⁻¹)	3,13
Magnésio (Mg ⁺²) (mmol _c L ⁻¹)	5,63
Potássio (K ⁺) (mmol _c L ⁻¹)	1,77
Sódio (Na ⁺) (mmol _c L ⁻¹)	6,9
Percentagem de saturação	26,66
Relação de Adsorção de Sódio - RAS (mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}	3,19
Percentagem do Sódio Trocável - PST (%)	4,28
Salinidade	Não Salino
Classificação	Normal

Análises realizadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade, Departamento de Engenharia Agrícola, UFCG.

5.1.1. Características do efluente e da água de abastecimento

Na Tabela 8, estão às concentrações dos elementos presentes na água de abastecimento e no efluente usado na irrigação, os teores de fósforo e nitrogênio são bastante elevados no efluente de esgoto doméstico, comparando-se com a água de abastecimento, como também os teores de sódio, potássio, ferro, boro, cobre e manganês. Quanto aos teores de metais pesados só o cádmio esteve abaixo do limite de detecção. O efluente é classificado como C₂S₁ e, portanto alta salinidade, oferecendo riscos para irrigação, com restrições para irrigação em culturas moderadamente tolerantes a tolerantes, deve-se usar solos que tenha uma boa drenagem, devendo-se aplicar um excesso de água para uma boa lixiviação e usar matéria orgânica. Quanto ao surgimento de problemas de obstrução no sistema de irrigação de acordo com Nakayama (1982) o pH, os teores de ferro apresentam grau de restrição ligeira a

moderada. E de acordo com a University of Califórnia Committee of Consultants (1974) os teores de sódio, bicarbonato, boro e a CE da água, tiveram grau de restrição de uso ligeira e moderada; nenhuma restrição quanto aos teores de nitrato. Quanto aos teores dos oligoelementos: cobre, manganês, zinco, chumbo, níquel e cádmio, estão muito abaixo dos valores máximos recomendáveis para irrigação de acordo com National Academy of Science (1972) e Pratt (1972).

Tabela 8. Resultados da qualidade das águas usadas no experimento.

Parâmetros	Unidade	Água de Abastecimento	Água Residuária
pH		7,37	7,77
Condutividade elétrica	dS m ⁻¹	0,41	1,40
Fósforo Total	mg L ⁻¹	0,08	4,6
Ortofosfato solúvel	mg L ⁻¹	0,06	3,2
Amônia NH ₃ ⁻	mg L ⁻¹	0,96	51,25
Nitrogênio Total (N)	mg L ⁻¹	-	60,5
Nitrato NO ₃ ⁻	mg L ⁻¹	0,87	3,3
Nitrito NO ₂ ⁻	mg L ⁻¹	Ausência	6,0
Cálcio	mg L ⁻¹	26,00	25,00
Magnésio	mg L ⁻¹	11,52	23,4
Sódio	mg L ⁻¹	33,81	109,79
Potássio	mg L ⁻¹	5,46	23,01
Cloreto	mg L ⁻¹	340,5	199,0
Sulfato	mg L ⁻¹	95,71	27,36
Bicarbonato	mg L ⁻¹	140	195,81
Carbonatos	mg L ⁻¹	0	21,00
Ferro	mg L ⁻¹	0,55	1,34
Alcalinidade em carbonato	mg L ⁻¹	0,00	35,00
Alcalinidade em bicarbonatos	mg L ⁻¹	54,00	160,50
Alcalinidade total	mg L ⁻¹	54,00	195,50
Dureza total CaCO ₃	mg L ⁻¹	113,12	178,12
Sólidos totais	mg L ⁻¹	0	797,00
Sólidos fixos	mg L ⁻¹	0	671,00
Sólidos voláteis	mg L ⁻¹	0	127,00
D.Q.O.	mg L ⁻¹	90,00	330,00
D.B.O.	mg L ⁻¹	7,6	46
Ovos de helmintos	ovo L ⁻¹	0,00	0,00
Coliformes termo tolerantes	UFC/100ml	0,00	3,6x10 ⁶
Boro	mg L ⁻¹	-	1,54
Cobre	mg L ⁻¹	-	0,022
Manganês	mg L ⁻¹	-	0,09
Zinco	mg L ⁻¹	-	<LD ²
Chumbo	mg L ⁻¹	-	0,78
Níquel	mg L ⁻¹	-	0,05
Cádmio	mg L ⁻¹	-	<LD ³
RAS	(mmol L ⁻¹) ^{0,5}	1,30	2,83
Classificação		C ₁ S ₁	C ₂ S ₁

<LD²: Abaixo do Limite de Detecção-0,06 mg L⁻¹, <LD³: Abaixo do Limite de Detecção-0,001mg L⁻¹.
 Análises realizadas: Laboratórios de Análises químicas, físicas e microbiológicas do (PROSAB), Campina Grande, PB, Laboratório de Irrigação e Salinidade, (LIS, UFCG), Centro de Tecnologia do Couro e Calçado Albano Franco, (CTCC/SENAI), Laboratório de Química e Fertilidade do Solo, CCA UFPB.

5.2. Aporte de nutrientes via água residuária

De acordo com as concentrações de nutrientes determinados no efluente foram estimadas as quantidades de nutrientes transportadas ao solo com base nas lâminas aplicadas via água residuária durante 94 dias de cultivo. Observa-se na Tabela 9, portanto as grandes quantidades dos nutrientes; destacando-se as distintas formas de nitrogênio e o conteúdo de sódio bastante elevado. Pelas grandes quantidades dos nutrientes transportados ao solo, certamente como o algodão, culturas anuais e perenes sejam perfeitamente supridas pelos nutrientes contidos nas águas residuárias domésticas, salientando, porém a escolha correta do sistema de irrigação e o cuidado no manejo da irrigação.

Tabela 9. Aporte de nutrientes ao solo com base nas lâminas de água residuária aplicadas durante a irrigação.

Lâminas mm	Amônia	Nitrato	Nitrito	Fósforo	P-orto	Potássio	Cálcio	Magnésio	Sulfato
	(kg ha ⁻¹)								
692	418,5	22,8	41,5	31,8	22,1	159,17	172,93	161,87	189,26
554	335,1	18,3	33,2	25,5	17,7	127,44	138,47	129,60	151,54
416	251,7	13,7	25,0	19,1	13,3	95,72	104,00	97,34	113,82
278	168,3	9,2	16,7	12,8	8,9	64,00	69,53	65,08	76,10
	Sódio	HCO ₃	CaCO ₃	Boro	Ferro	Cobre	Manganês	Chumbo	Níquel
	(kg ha ⁻¹)								
692	759,45	1354,48	145,26	10,65	9,27	0,15	0,62	0,54	0,35
554	608,09	1084,53	116,31	8,53	7,42	0,12	0,50	0,43	0,28
416	456,73	814,57	87,36	6,41	5,57	0,09	0,37	0,32	0,21
278	305,36	544,61	58,41	4,28	3,73	0,06	0,25	0,22	0,14

5.3. Crescimento

5.3.1. Altura da planta

No resumo da análise de variância da altura do algodoeiro Tabela 10, verifica-se que houve efeito significativo das lâminas de água residuária sobre o crescimento em altura nas diferentes fases do ciclo da planta. Verifica-se que só houve efeito significativo sobre a altura aos 25 Dias Após a Emergência (DAE). Não houve interação de tipo algum entre os fatores estudados lâminas de água, nitrogênio e fósforo sobre a altura da planta. A Figura 7 exhibe a diferença na cor das folhas das plantas entre os tratamentos irrigados com água de abastecimento e com efluente.



Figura 7. Detalhe na diferença de cor da folha das plantas entre os tratamentos irrigados com água e com efluente.

No contraste do fatorial versus os tratamentos adicionais houve efeito significativo sobre a altura de planta nas diferentes fases de crescimento. Para o contraste entre os tratamentos adicionais não houve efeito significativo sobre a altura em todo ciclo da cultura. Só houve efeito de bloco sobre a altura de planta aos 45 e 65 DAE, e os coeficientes de variação foram ótimos.

Tabela 10. Resumo da análise de variância da altura da planta aos 25, 45, 65, 85 e 105 dias após a emergência das plântulas de algodoeiro irrigado sob diferentes lâminas de água residuária, com e sem nitrogênio e fósforo.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios				
		25 DAE	45 DAE	65 DAE	85 DAE	105 DAE
Lâminas (L)	3	58,401 ^{**}	149,848 ^{**}	1773,472 ^{**}	2673,74 ^{**}	2699,63 ^{**}
Nitrogênio (N)	1	42,751 ^{ns}	30,241 ^{ns}	0,0001 ^{ns}	105,02 ^{ns}	80,08 ^{ns}
Fósforo (P)	1	85,066 [*]	0,016 ^{ns}	6,750 ^{ns}	438,02 ^{ns}	752,08 ^{ns}
L x N	3	31,237 ^{ns}	8,660 ^{ns}	253,500 ^{ns}	418,96 ^{ns}	287,86 ^{ns}
L x P	3	24,012 ^{ns}	9,062 ^{ns}	74,472 ^{ns}	107,85 ^{ns}	356,08 ^{ns}
N x P	1	2,125 ^{ns}	56,985 ^{ns}	8,333 ^{ns}	6,02 ^{ns}	102,08 ^{ns}
L x N x P	3	2,866 ^{ns}	23,630 ^{ns}	49,500 ^{ns}	290,07 ^{ns}	130,30 ^{ns}
Fatorial vs Adicional	1	1112,008 ^{**}	2437,225 ^{**}	9130,083 ^{**}	11770,89 ^{**}	11183,34 ^{**}
Entre Adicionais	1	0,881 ^{ns}	35,526 ^{ns}	580,166 ^{ns}	682,66 ^{ns}	704,16 ^{ns}
Tratamento	17	93,669 ^{**}	184,329 ^{**}	951,656 ^{**}	1380,85 ^{**}	1367,26 ^{**}
Bloco	2	36,8535 ^{ns}	221,542 ^{**}	970,666 [*]	146,74 ^{ns}	79,46 ^{ns}
Resíduo	34	12,543	31,559	230,450	239,27	218,26
Total	53					
C.V (%)		10,85	10,43	15,98	13,28	11,31

*, **, ns. Significativo para 5%, 1% e não significativo, respectivamente pelo Teste F.

Na Tabela 11, observa-se os valores médios da altura em diferentes estádios de desenvolvimento para cada fator estudado, percebe-se que para o fator nitrogênio as médias foram superiores em valores absolutos quando houve a presença do adubo de 90

kg ha⁻¹ até os 65 DAE, a partir dessa idade os valores foram maiores na ausência de nitrogênio. Para o fósforo a altura da planta foi maior aos 25 DAE com a ausência do adubo e no restante do ciclo em valores absolutos exceto aos 65 DAE.

No contraste do fatorial versus os tratamentos adicionais observa-se que as médias da altura da planta do fatorial foram superiores para todos os estádios de desenvolvimento da planta em comparação com os tratamentos adicionais, com médias de 135,63 e 89,83 cm para o fatorial e tratamentos adicionais respectivamente. Entre os tratamentos adicionais as médias foram superiores em valores absolutos para os tratamentos que foram adubados com 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio, com médias de 79 e 100,67 cm para 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Ferreira (2003), estudando níveis crescentes de nitrogênio e águas residuárias e de abastecimento na irrigação do algodão cultivar BRS 187 8H, encontrou alturas médias aos 120 DAE de 73,28 cm e 69,79 cm para água residuária e abastecimento, respectivamente, inferior aos encontrados nessa pesquisa aos 105 DAE.

Tabela 11. Valores médios da altura de planta aos 25, 45, 65, 85 e 105 (DAE) das plântulas em função de lâminas de água residuária, nitrogênio e fósforo na cultura do algodoeiro.

Fatores	25 DAE (cm)	45 DAE (cm)	65 DAE (cm)	85 DAE (cm)	105 DAE (cm)
Lâmina (mm)					
781	35,90	60,83	95,58	124,50	150,92
643	31,00	55,51	86,92	113,50	138,67
505	35,32	56,24	84,67	107,42	129,17
367	34,68	52,25	79,67	99,25	120,00
Nitrogênio kg ha ⁻¹					
0	33,33 a	55,41 a	99,54 a	123,12 a	136,91 a
90	35,33 a	57,00 a	99,54 a	120,16 a	134,33 a
Fósforo kg ha ⁻¹					
0	35,55 a	56,22 a	99,16 a	124,66 a	139,58 a
60	32,89 b	56,19 a	99,91 a	118,62 a	131,66 a
Fatorial vs Tratamentos Adicionais					
Fatorial	34,22 a	56,21 a	99,54 a	121,65 a	135,63 a
Adicionais	19,78 b	34,83 b	58,17 b	74,67 b	89,83 b
Adicional 90 kg ha ⁻¹	19,4 a	32,41 a	48,33 a	64,00 a	79,00 a
Adicional 180 kg ha ⁻¹	20,7 a	37,25 a	68,00 a	85,33 a	100,67 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para altura da planta aos 105 DAE em função das lâminas de água Figura 8A, o efeito foi linear crescente, com acréscimos de 0,074 cm por milímetro de água aplicado ao solo. Na figura 8B o efeito das lâminas sobre a altura da planta para os tratamentos com nitrogênio (N), fósforo (P), e NP foram semelhantes, para o tratamento sem adubo a altura da planta praticamente se equiparou aos demais tratamentos a partir da lâmina de 600 mm, evidenciando que foi preciso certa quantidade de água residuária para então a planta ser suprida nutricionalmente em relação aos tratamentos que foram adubados. Na Figura 8C, a altura da planta em função dos dias, observa-se efeitos lineares crescentes até os 105 DAE, com acréscimos de 1,27; 1,04 e 0,75 cm dia⁻¹ para o fatorial e os tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio respectivamente.

Na Figura 8D, com a mesma quantidade de água residuária e de abastecimento aplicada sobre os tratamentos com água residuária e os adicionais com água de abastecimento, observa-se as maiores alturas nos tratamentos que foram irrigados com água residuária e nestes verifica-se que o tratamento sem adubo equipara-se em altura em relação aos tratamentos adubados. Nas Figuras 8E e 8F a altura em função do tempo, observa-se que praticamente não existe diferenças entre os tratamentos de N e P, já em relação às lâminas aplicadas observa-se uma maior diferenciação a partir dos 65

DAE, com valores superiores para a lâmina de 781 mm, seguida das de 643; 505 e 367 mm.

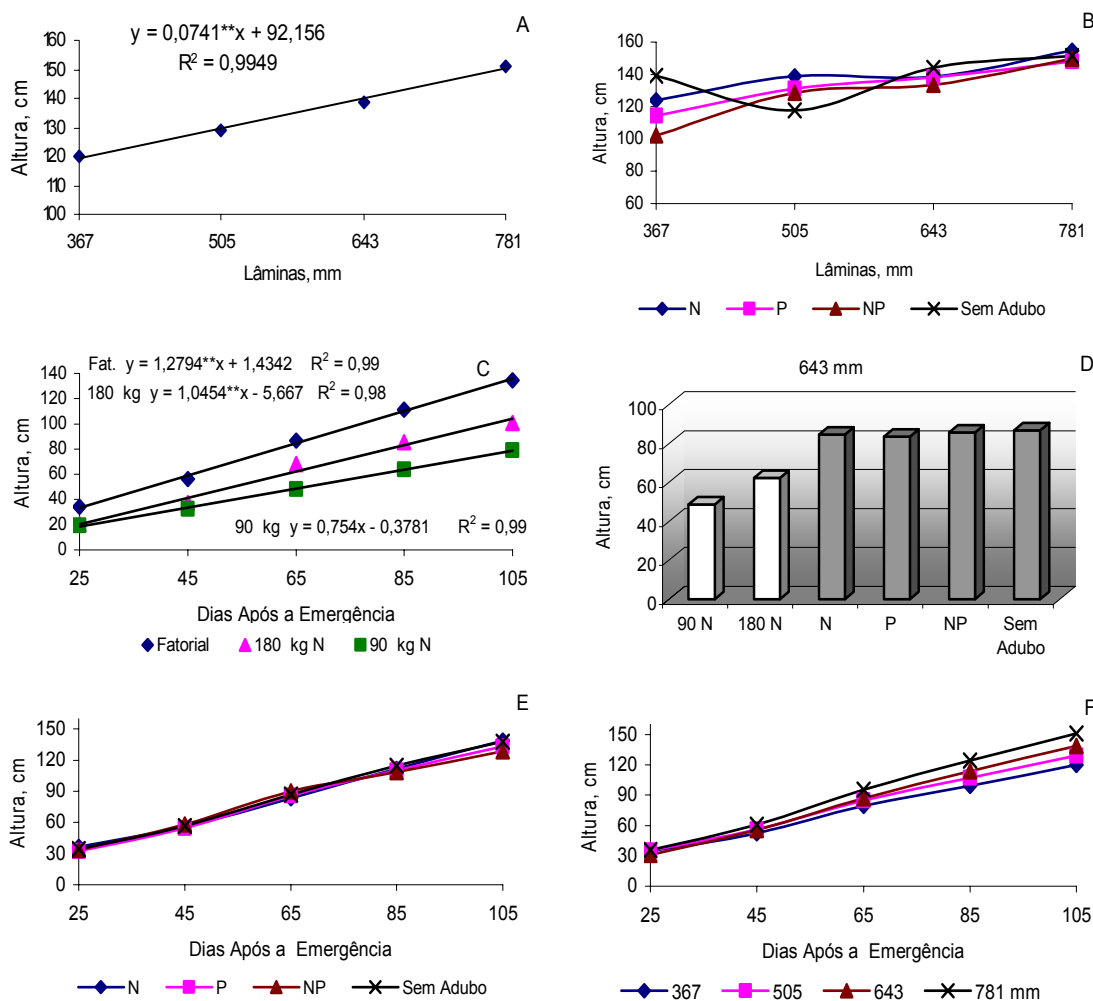


Figura 8. Altura de planta do algodoeiro, cultivar BRS 200 Marrom, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento.

5.3.2. Diâmetro do caule

No resumo da análise de variância do diâmetro de caule Tabela 12, verifica-se que as lâminas de água testadas só influenciaram significativamente no diâmetro a partir dos 65 DAE, não havendo diferenças significativas aos 25 e 45 DAE. A ausência e presença dos adubos nitrogenado e fosfatado, não influenciaram significativamente o diâmetro do caule do algodoeiro em nenhum estágio de desenvolvimento da planta. Houve interação de lâminas e nitrogênio e de lâminas e fósforo sobre o diâmetro aos 105 DAE, e de lâmina, fósforo e nitrogênio aos 25 DAE.

No contraste entre o fatorial versus os tratamentos adicionais houve efeito significativo sobre todos os diâmetros mensurados nos estádios de desenvolvimento da planta. Não houve efeito significativo entre os blocos para o diâmetro; os coeficientes de variação foram muitos bons.

Tabela 12. Resumo da análise de variância do diâmetro aos 25, 45, 65, 85 e 105 Dias Após a Emergência (DAE) das plântulas do algodoeiro irrigado sob diferentes lâminas de água residuária, com e sem nitrogênio e fósforo.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios				
		25 DAE	45 DAE	65 DAE	85 DAE	105 DAE
Lâminas (L)	3	1,138 ^{ns}	4,500 ^{ns}	28,549 ^{**}	26,83 ^{**}	147,51 ^{**}
Nitrogênio (N)	1	0,500 ^{ns}	4,440 ^{ns}	0,333 ^{ns}	8,25 ^{ns}	12,71 ^{ns}
Fósforo (P)	1	2,755 ^{ns}	9,013 ^{ns}	3,307 ^{ns}	1,88 ^{ns}	16,45 ^{ns}
L x N	3	1,367 ^{ns}	0,632 ^{ns}	0,448 ^{ns}	1,11 ^{ns}	16,82 [*]
L x P	3	0,053 ^{ns}	0,127 ^{ns}	2,185 ^{ns}	1,85 ^{ns}	40,47 ^{**}
N X P	1	0,025 ^{ns}	12,607 ^{ns}	6,163 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,38 ^{ns}
L x N x P	3	3,775 ^{**}	0,551 ^{ns}	3,165 ^{ns}	6,07 ^{ns}	5,78 ^{ns}
Fatorial vs Adicional	1	33,388 ^{**}	19,422 [*]	140,311 ^{**}	137,47 ^{**}	202,67 ^{**}
Entre Adicionais	1	0,201 ^{ns}	0,001 ^{ns}	2,666 ^{ns}	0,37 ^{ns}	14,10 ^{**}
Tratamento	17	3,286 ^{**}	3,701 ^{ns}	15,048 ^{**}	15,04 ^{**}	51,65 ^{**}
Bloco	2	1,547 ^{ns}	1,155 ^{ns}	0,407 ^{ns}	9,84 ^{ns}	11,87 ^{ns}
Resíduo	34	0,760	3,654	5,099	5,08	4,15
Total	53					
C.V (%)		17,23	19,61	18,22	14,93	11,25

*, **, ns. Significativo para 5%, 1% e não significativo, respectivamente pelo Teste F.

Na Tabela 13, observa-se os valores médios do diâmetro de caule em cinco amostragens durante a constância do cultivo, para cada fator estudado, onde se verifica que não existiu uma tendência sobre o diâmetro na ausência ou na presença do nitrogênio e do fósforo. No contraste entre o fatorial versus os tratamentos adicionais verifica-se que as médias do diâmetro em todo o ciclo foram maiores em comparação com os tratamentos que não foram irrigados com água residuária, tendo médias aos 105 DAE de 18,80 e 12,69 mm para o fatorial e tratamentos adicionais respectivamente. Entre os tratamentos adicionais as médias dos tratamentos que foram adubados com 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio foram sempre maiores com médias aos 105 DAE de 11,10 e 14,17 para 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio respectivamente.

Tabela 13. Valores médios do diâmetro das plantas aos 25, 45, 65, 85 e 105 (DAE) em função de lâminas de água residuária, nitrogênio e fósforo na cultura do algodoeiro.

Fatores	25 DAE (mm)	45 DAE (mm)	65 DAE (mm)	85 DAE (mm)	105 DAE (mm)
Lâmina (mm)					
781	5,62	10,53	15,12	17,92	22,47
643	4,94	10,26	13,48	16,35	21,33
505	5,56	9,70	12,00	14,78	16,76
367	5,29	9,17	11,58	14,35	16,44
Nitrogênio kg ha⁻¹					
0	5,25 a	10,26 a	12,87 a	16,07 a	19,31 a
90	5,45 a	9,65 a	13,04 a	15,24 a	18,28 a
Fósforo kg ha⁻¹					
0	5,59 a	10,39 a	12,70 a	15,85 a	18,21 a
60	5,11 a	9,52 a	13,22 a	15,46 a	19,38 a
Fatorial vs Tratamentos Adicionais					
Fatorial	5,35 a	9,96 a	12,95 a	15,66 a	18,80 a
Adicionais	2,85 b	8,05 b	7,83 b	10,58 b	12,69 b
Adicional 90 kg ha ⁻¹	2,67 a	8,03 a	7,17 a	10,33 a	11,10 b
Adicional 180 kg ha ⁻¹	3,03 a	8,07 a	8,50 a	10,83 a	14,17 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O diâmetro de caule do algodoeiro aumentou com as lâminas de água aplicadas Figura 9A e o efeito das lâminas sobre o diâmetro de caule para os tratamentos com N, P, NP e Sem adubo foram semelhantes Figura 9B. Através dos desdobramentos dos efeitos quantitativos das lâminas dentro de cada tratamento de N e P, observa-se na Figura 9C, através da análise de regressão polinomial, para as doses de N, houve efeito linear positivo e segundo as equações lineares estimaram-se acréscimos de 0,024 e 0,013 mm por milímetro de água aplicado ao solo respectivamente para 0 e 90 kg ha⁻¹ de N. No desdobramento das lâminas dentro das doses de P Figura 9D, houve efeito linear crescente sobre o diâmetro, com acréscimos de 0,019 e 0,18 mm respectivamente para 0 e 60 kg ha⁻¹ de P. Observa-se portanto através desses resultados que os maiores acréscimos no diâmetro foram com a ausência dos adubos nitrogenado e fosfatado.

O diâmetro de caule em função dos Dias Após a Emergência (DAE) Figura 9E, observa-se efeitos lineares crescentes até os 105 DAE, com acréscimos de 0,16; 0,12 e 0,09 mm dia⁻¹ para o fatorial e os tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio respectivamente.

No contraste do fatorial versus os tratamentos adicionais com a mesma lâmina de água aplicada 643 mm, verifica-se na Figura 9F, que os maiores diâmetros encontram-se nos tratamentos irrigados com água residuária sendo menores os diâmetros dos tratamentos irrigados com água de abastecimento.

Nas Figuras 9G e 9H o diâmetro em função do tempo, foram semelhantes entre os tratamentos de N e P, e para as lâminas aplicadas observa-se uma maior diferenciação a partir dos 65 DAE, com valores superiores para a lâmina de 781 e 643 mm, seguida das menores lâminas.

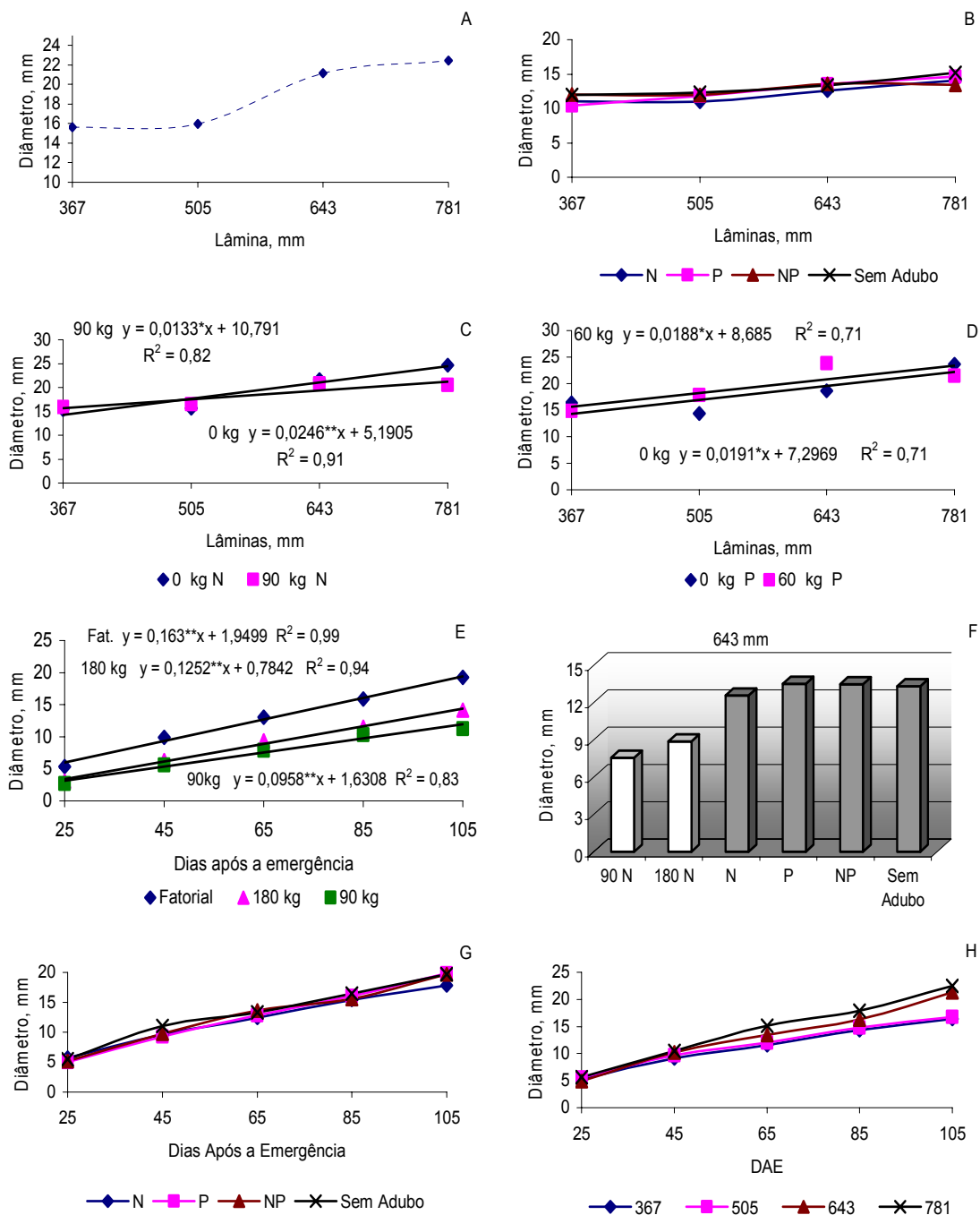


Figura 9. Diâmetro de caule algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento.

5.3.3. Área foliar

De acordo com o resumo da análise de variância para a área foliar Tabela 14, observa-se que as lâminas de água só não influenciaram significativamente sobre a área foliar aos 25 e 45 DAE, diferindo estatisticamente sobre a área foliar nos demais estádios de desenvolvimento da planta. O efeito da ausência e presença de nitrogênio só foi verificado sobre a área foliar aos 105 DAE. Na ausência e na presença de fósforo não foi verificado efeito significativo sobre a área foliar. Houve interação dos três fatores estudados lâmina, nitrogênio e fósforo sobre a área foliar aos 105 DAE. Na Figura 10 é observado a cultura aos 12 e 27 dias após a emergência.



Figura 10. Parcelas com linha de gotejadores e plantas com 12 e 27 dias após a emergência.

No contraste do fatorial versus os tratamentos adicionais houve efeito significativo sobre a área foliar nas diversas amostragens na constância do cultivo. No contraste entre os tratamentos adicionais só houve efeito significativo para a área foliar aos 105 DAE. Houve efeito significativo entre os blocos aos 45, 65 e 105 DAE; os coeficientes de variação foram relativamente altos.

Tabela 14. Resumo da análise de variância da área foliar aos 25, 45, 65, 85 e 105 Dias Após a Emergência (DAE) das plântulas do algodoeiro irrigado sob diferentes lâminas de água residuária, com e sem nitrogênio e fósforo.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios				
		25 DAE	45 DAE	65 DAE	85 DAE	105 DAE
Lâminas (L)	3	68725,65 ^{ns}	1219980,2 ^{ns}	31498245,17 ^{**}	83984051,0 ^{**}	164740311,0 ^{**}
Nitrogênio (N)	1	4611,88 ^{ns}	426217,37 ^{ns}	3270956,50 ^{ns}	883892,8 ^{ns}	53790303,0 [*]
Fósforo (P)	1	25682,62 ^{ns}	2716247,05 ^{ns}	449516,00 ^{ns}	10478333,6 ^{ns}	5712385,8 ^{ns}
L x N	3	12883,51 ^{ns}	1126628,96 ^{ns}	987717,08 ^{ns}	7492709,5 ^{ns}	6418413,6 ^{ns}
L x P	3	17225,07 ^{ns}	71741,02 ^{ns}	787076,72 ^{ns}	9396406,5 ^{ns}	14364839,0 ^{ns}
N x P	1	10968,04 ^{ns}	592558,52 ^{ns}	185035,65 ^{ns}	7156572,0 ^{ns}	6908418,8 ^{ns}
L x N x P	3	50358,4 ^{ns}	1599850,50 ^{ns}	2082837,23 ^{ns}	18380140,1 ^{ns}	316792216,0 [*]
Fatorial vs Adicional	1	865950,2 ^{**}	15658968,2 ^{**}	81449024,9 ^{**}	141786482,5 ^{**}	219198643,5 ^{**}
Entre Adicionais	1	1052,58 ^{ns}	992071,48 ^{ns}	369971,97 ^{ns}	1412892,7 ^{ns}	42320969,8 [*]
Tratamento	17	79755,49 ^{**}	1908274,41 ^{ns}	11281890,2 ^{**}	30557535,0 [*]	57619944,7 ^{**}
Bloco	2	22869,12 ^{ns}	8682560,78 ^{**}	10792581,8 ^{**}	2031801,4 ^{ns}	43642735,6 ^{**}
Resíduo	34	25126,75	1146534,75	3839336,3	12630148,1	8174778,0
Total	53					
C.V (%)		30,47	33,26	37,78	23,56	27,02

*, **, ns. Significativo para 5%, 1% e não significativo, respectivamente pelo Teste F.

Na Tabela 15, pode-se observar os valores médios de área foliar nas cinco fazes do ciclo da planta, verifica-se que para o fator nitrogênio a adubação com 90 kg ha⁻¹ influenciou de forma negativa a área foliar tendo-se, portanto menor área foliar na presença do adubo nitrogenado aos 105 DAE, com médias de 12.350,35 e 10.233,16 cm² para ausência e presença de nitrogênio respectivamente. Para o fósforo pelo teste de comparação de médias não houve diferenças entre os estádios, mais a área foliar foi menor na ausência de fósforo só aos 65 e 105 DAE em valores absolutos.

No contraste do fatorial versus os tratamentos adicionais, observa-se que as médias de área foliar do fatorial foram significativamente maiores em todos os estádios em comparação com os tratamentos adicionais com médias de 11.291,76 e 4.880,85 cm² para o fatorial e os tratamentos adicionais respectivamente aos 105 DAE. Entre os tratamentos adicionais a área foliar para os tratamentos que foram adubados com 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio foram superiores em todo o ciclo da planta em valores absolutos com médias de 2225,01 e 7.536,69 cm² para 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio respectivamente aos 105 DAE.

Tabela 15. Valores médios da área foliar aos 25, 45, 65, 85 e 105 (DAE) em função de lâminas de água residuária, nitrogênio e fósforo na cultura do algodoeiro.

Fatores	25 DAE (cm ²)	45 DAE (cm ²)	65 DAE (cm ²)	85 DAE (cm ²)	105 DAE (cm ²)
Lâmina (mm)					
781	605,18	3113,00	7232,26	10639,01	17160,14
643	454,39	2313,98	5695,93	6998,73	12098,23
505	632,47	2294,96	3957,71	5457,83	8715,71
367	535,44	2214,04	3359,97	5100,88	7658,28
Nitrogênio kg ha⁻¹					
0	574,75 a	2759,24 a	5880,40 a	7776,21 a	12350,35 a
90	555,15 a	2570,77 a	5358,31 a	7604,62 a	10233,16 b
Fósforo kg ha⁻¹					
0	588,08 a	2902,89 a	5522,59 a	8107,74 a	10946,78 a
60	541,82 a	2427,12 a	5716,13 a	7273,09 a	11636,73 a
Fatorial vs Tratamentos Adicionais					
Fatorial	564,95 a	2665,01 a	5619,36 a	7690,41 a	11291,76 a
Adicionais	162,01 b	951,52 b	1711,46 b	2484,45 b	4880,85 b
Adicional 90 kg ha ⁻¹	148,76 a	544,89 a	1463,14 a	1999,19 a	2225,01 b
Adicional 180 kg ha ⁻¹	175,25 a	1358,14 a	1959,78 a	2969,72 a	7536,69 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A área foliar cresceu com as lâminas de água aplicadas Figura 11A. Através dos desdobramentos dos efeitos quantitativos das lâminas de água dentro dos tratamentos de N e P, através da análise de regressão para os tratamentos de N, P e sem adubo o efeito foi linear, com acréscimos de 31,0; 24,8 e 25,1 cm² mm⁻¹ Figura 11B, já para o tratamento de NP o efeito foi quadrático com a área máxima estimada de 12329,69 cm², que seria atingida com 656,18 mm de água residuária. Verifica-se, portanto que a adubação com 90 kg ha⁻¹ de N e 60 kg ha⁻¹ de fósforo, existiu um excesso de nutrientes no solo disponível para planta, diminuindo a área fotossintética, havendo com isso necessidade de redução da lâmina aplicada.

No fatorial versus os tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha⁻¹ de N, houve efeito linear crescente para a área foliar com o tempo Figura 11C, e de acordo com as equações os acréscimos foram de 131,3; 82,3 e 26,7 cm² dia⁻¹. Com a mesma lâmina aplicada de 643 mm, Figura 11D, observa-se os baixos valores de área foliar nos tratamentos irrigados com água de abastecimento, nos tratamentos com água residuária os tratamentos adubados com fósforo obtiveram os maiores valores sinalizando então que a adubação fosfatada por enquanto foi benéfica para o crescimento em área foliar da planta para a lâmina de 643 mm. A área foliar em função do tempo figuras 11E e 11F observam-se para os tratamentos de N e P que a partir dos 65 DAE para os tratamentos com adubo fosfatado e para os sem adubo a área foliar foi superior, com isso pode-se

entender que a área foliar foi inferior quando se fez adubação com nitrogênio e fósforo de que quando se usou somente o fósforo; e para os tratamentos de lâminas de água.

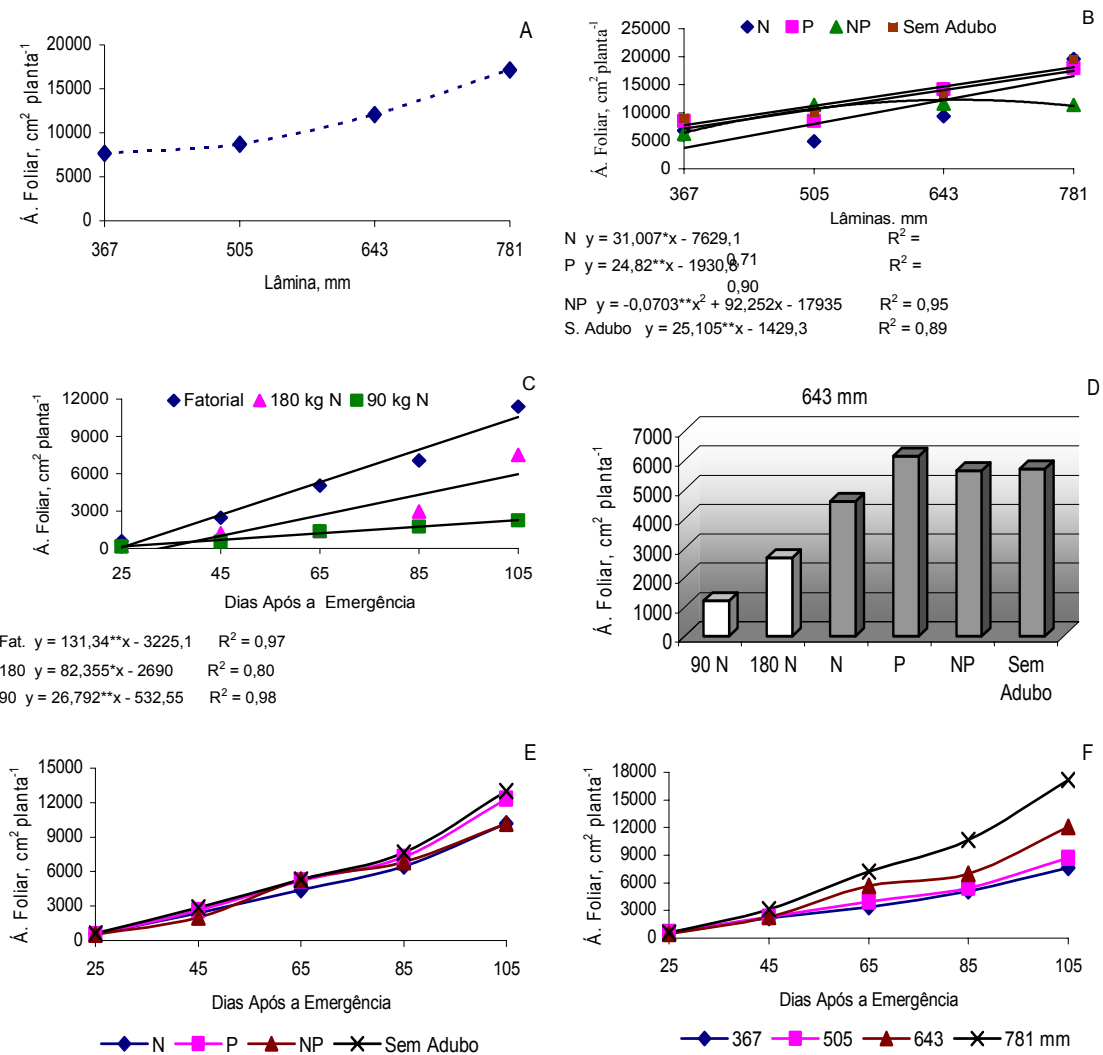


Figura 11. Área foliar do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha^{-1} de nitrogênio irrigado com água de abastecimento.

5.4. Biomassa em diferentes partes da planta

5.4.1. Biomassa total

De acordo com o resumo da análise de variância para a biomassa total da parte aérea em cinco amostragens durante o seu crescimento Tabela 16, observa-se que a biomassa só não foi influenciada pelas lâminas de água residuária no início do ciclo aos 25 DAE, o efeito significativo das lâminas de água sobre a biomassa se estendeu a partir dos 45 aos 105 DAE. Nos tratamentos de nitrogênio só houve efeito significativo aos 105 DAE, não havendo efeito sobre a biomassa total dos tratamentos de fósforo em nenhuma amostragem durante o ciclo da cultura. Só houve interação dos três fatores estudados lâmina, nitrogênio e fósforo sobre a biomassa total aos 45 DAE.

No contraste do fatorial versus os tratamentos adicionais houve efeito significativo sobre a biomassa total em todas as amostragens durante o ciclo da cultura. O contrário ocorreu com o contraste entre os tratamentos adicionais, não havendo, portanto efeito significativo sobre a biomassa total da planta. Para os tratamentos houve efeito significativo a partir dos 45 DAE. Houve efeito significativo entre os blocos nas cinco amostragens; o coeficiente de variação aos 25 DAE, considerado alto.

Tabela 16. Resumo da análise de variância da biomassa total da planta aos 25, 45 65, 85 e 105 Dias Após a Emergência (DAE) das plântulas do algodoeiro irrigado sob diferentes lâminas de água residuária, com e sem nitrogênio e fósforo.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios				
		25 DAE	45 DAE	65 DAE	85 DAE	105 DAE
Lâminas (L)	3	4,95 ^{ns}	45,83 [*]	2996,27 ^{**}	12222,35 ^{**}	155373,73 ^{**}
Nitrogênio (N)	1	4,80 ^{ns}	16,04 ^{ns}	106,56 ^{ns}	3345,01 ^{ns}	42733,86 ^{**}
Fósforo (P)	1	6,44 ^{ns}	23,47 ^{ns}	160,96 ^{ns}	527,35 ^{ns}	678,37 ^{ns}
L x N	3	4,33 ^{ns}	4,49 ^{ns}	149,50 ^{ns}	3311,93 ^{ns}	15647,12 ^{ns}
L x P	3	1,65 ^{ns}	13,74 ^{ns}	263,99 ^{ns}	261,56 ^{ns}	2039,50 ^{ns}
N x P	1	3,10 ^{ns}	0,008 ^{ns}	22,27 ^{ns}	85,60 ^{ns}	1167,91 ^{ns}
L x N x P	3	6,42 ^{ns}	46,32 [*]	139,84 ^{ns}	426,68 ^{ns}	3009,37 ^{ns}
Fatorial vs Adicional	1	23,60 ^{**}	552,77 ^{**}	9194,92 ^{**}	59096,70 ^{**}	198185,12 ^{**}
Entre Adicionais	1	4,16 ^{ns}	10,66 ^{ns}	80,74 ^{ns}	136,32 ^{ns}	14181,48 ^{ns}
Tratamento	17	5,54 ^{ns}	55,02 ^{**}	1189,07 ^{**}	6579,92 ^{**}	46185,64 ^{**}
Bloco	2	20,29 [*]	39,93 [*]	1050,14 [*]	10967,31 ^{**}	32121,48 ^{**}
Resíduo	34	5,11	11,08	244,29	2250,20	5511,72
Total	53					
C.V (%)		42,38	21,25	13,90	16,32	26,15

*, **, ns. Significativo para 5%, 1% e não significativo, respectivamente pelo Teste F.

Na Tabela 17, observa-se os valores médios da biomassa total em cinco estádios do ciclo da cultura para cada fator estudado, verifica-se que para os tratamentos de nitrogênio as médias de biomassa total foram maiores em valores absolutos na ausência do adubo exceto aos 25 DAE, com médias aos 105 DAE de 335,15 e 275,48 g para 0 e 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio respectivamente. Nos tratamentos de fósforo as médias da biomassa total aos 105 DAE foram 301,56 e 309,08 g para 0 e 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ respectivamente.

No contraste do fatorial versus os tratamentos adicionais verifica-se que as médias da biomassa total do fatorial foram maiores comparando-se com os tratamentos adicionais com média de 305,32 e 112,55 g para o fatorial e os tratamentos adicionais respectivamente aos 105 DAE. Entre os tratamentos adicionais a biomassa total dos tratamentos que foram adubados com 180 kg ha⁻¹ foram superiores em valores absolutos nas cinco amostragens, tendo médias de 63,94 e 161,17 g para 90 e 180 kg ha⁻¹ respectivamente.

Tabela 17. Valores médios da biomassa total da planta aos 25, 45, 65, 85 e 105 DAE em função de lâminas de água residuária, nitrogênio e fósforo na cultura do algodoeiro.

Fatores	25 DAE (g)	45 DAE (g)	65 DAE (g)	85 DAE (g)	105 DAE (g)
Lâmina (mm)					
781	6,13	19,46	84,09	192,72	410,32
643	4,65	16,87	64,19	148,94	396,44
505	5,78	16,02	57,75	130,01	222,57
367	5,73	14,85	46,34	116,16	197,84
Nitrogênio kg ha⁻¹					
0	5,25 a	17,37 a	64,88 a	157,17 a	335,15 a
90	5,88 a	16,22 a	61,90 a	140,48 a	275,48 b
Fósforo kg ha⁻¹					
0	5,20 a	17,50 a	61,55 a	152,14 a	301,56 a
60	5,93 a	16,10 a	65,22 a	145,51 a	309,08 a
Fatorial vs Tratamentos Adicionais					
Fatorial	5,57 a	16,80 a	63,39 a	148,83 a	305,32 a
Adicionais	3,47 b	6,62 b	21,87 b	43,56 b	112,55 b
Adicional 90 kg ha ⁻¹	2,63 a	5,29 a	18,20 a	38,77 a	63,94 a
Adicional 180 kg ha ⁻¹	4,30 a	7,95 a	25,54 a	48,34 a	161,17 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O efeito foi linear crescente para biomassa total aos 105 DAE em função das lâminas de água, Figura 12A, com acréscimos de 0,58 g por mm de água aplicado ao solo. Na Figura 12B, observa-se os tratamentos que foram adubados com fósforo e os sem adubação, a biomassa total foi maior do que os tratamentos que receberam nitrogênio a partir dos 505 mm. Para o fatorial e os tratamentos adicionais Figura 12C, houve efeito linear crescente para a biomassa total em função do tempo, com acréscimos de 3,6; 1,7 e 0,7 g dia⁻¹ para o fatorial, 90 e 180 kg ha⁻¹ respectivamente.

Com a mesma quantidade de água Figura 12D, os tratamentos adicionais tiveram a biomassa total inferior ao fatorial, e nos tratamentos de N e P houve uma maior biomassa na presença do adubo fosfatado, bem como, na ausência dos nutrientes; verifica-se, portanto, que de acordo com as variáveis avaliadas até o presente momento, o crescimento da planta não sofreu quaisquer detrimento em virtude da ausência dos adubos fosfatado e nitrogenado. Nas figuras 12E e 12F observa-se que houve efeito semelhante ao da área foliar, na presença de P e na ausência de adubo, verifica-se os maiores valores de biomassa total tendo o efeito mais evidente a partir dos 85 DAE; com biomassa total superior para as lâminas maiores 643 e 781 mm.

Os valores de biomassa da parte aérea estão muito acima dos encontrados por Ferreira, (2003) estudando níveis crescentes de nitrogênio e águas residuárias e de abastecimento na irrigação do algodão, cultivar BRS 187-8H em campo, encontrou biomassa da parte aérea aos 120 DAE de 49,95 e 46,25 g para água residuária e abastecimento, respectivamente, que não diferiram estatisticamente.

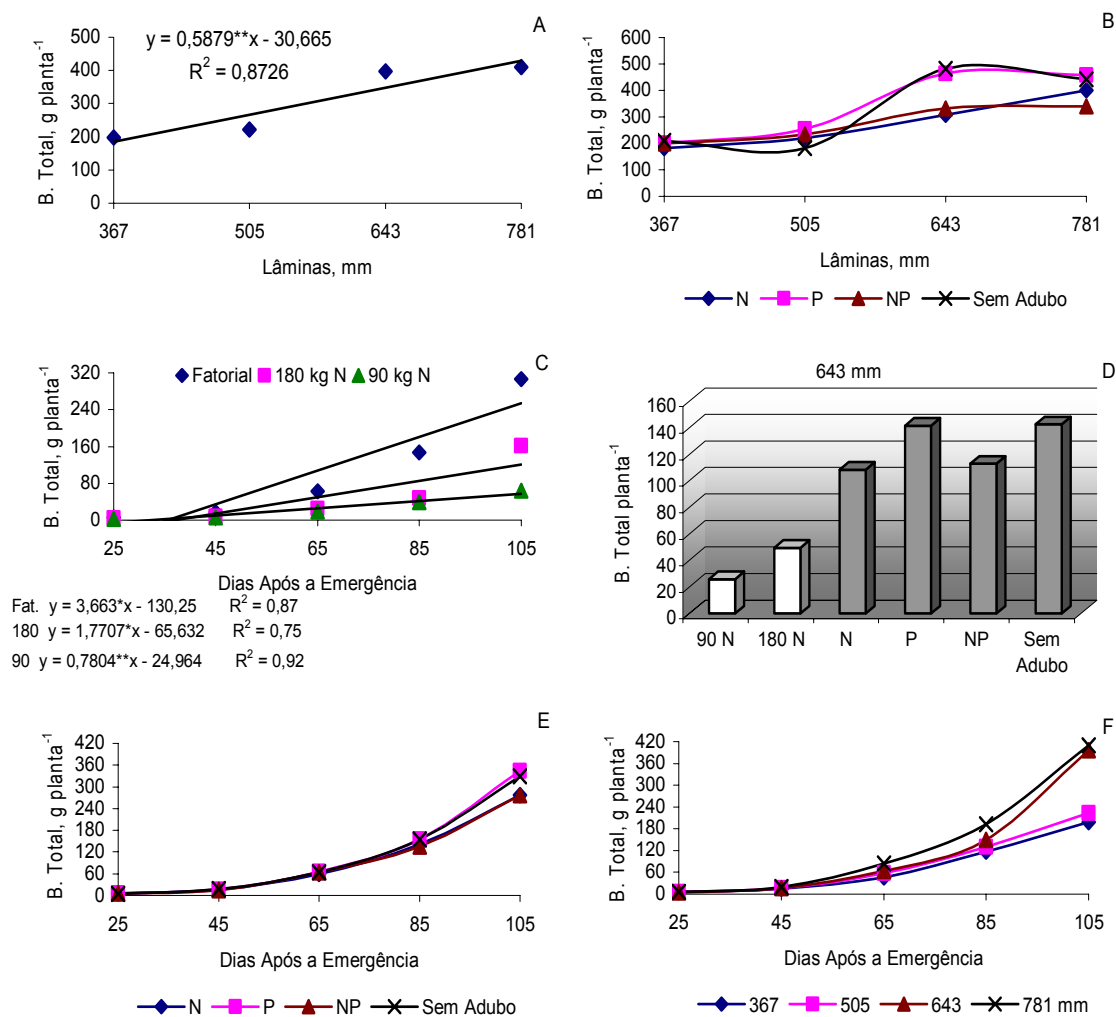


Figura 12. Biomassa total da planta do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento.

5.4.2. Biomassa das folhas

Através do resumo da análise de variâncias da biomassa das folhas Tabela 18, verifica-se que houve efeito significativo ($P \leq 0,01$) entre as lâminas de água testadas sobre a biomassa das folhas em todas as amostragens feitas durante o ciclo da cultura. Os tratamentos ausência e presença de nitrogênio foram significativos sobre a biomassa das folhas aos 45 e 105 DAE, não exercendo, portanto efeito sobre a biomassa das folhas aos 65 e 85 DAE. Nos tratamentos com presença e ausência de fósforo o efeito significativo só foi verificado sobre a biomassa das folhas aos 45 DAE.

No contraste do fatorial versus os tratamentos adicionais houve efeito significativo sobre a biomassa das folhas nas quatro amostragens feitas ao longo do ciclo da cultura. Já o contraste entre os tratamentos adicionais só houve efeito significativo aos 105 DAE. Só houve interação sobre a biomassa das folhas aos 45

DAE, entre lâmina e nitrogênio, lâmina e fósforo, e os três fatores lâmina, nitrogênio e fósforo. Houve efeito significativo entre os blocos aos 65 e 105 DAE, os coeficientes de variação foram bons.

Tabela 18. Resumo da análise de variância da biomassa das folhas aos 45, 65, 85 e 105 dias após a emergência das plântulas do algodoeiro irrigado com diferentes lâminas de água residuária, com e sem nitrogênio e fósforo.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios			
		45 DAE	65 DAE	85 DAE	105 DAE
Lâminas (L)	3	17,658 **	337,03 **	1127,38 **	3584,56 **
Nitrogênio (N)	1	14,257 *	48,74 ns	205,13 ns	2640,48 **
Fósforo (P)	1	37,736 **	40,35 ns	20,34 ns	575,67 ns
L x N	3	6,306 *	24,33 ns	389,54 ns	221,57 ns
L x P	3	7,963 *	36,66 ns	21,45 ns	613,51 ns
N X P	1	1,428 ns	2,88 ns	80,31 ns	114,97 ns
L x N x P	3	13,348 **	10,91 ns	83,57 ns	264,74 ns
Fatorial vs Adicional	1	127,270 **	1183,42 **	3323,39 **	5852,74 **
Entre Adicionais	1	2,653 ns	11,70 ns	40,09 ns	1820,73 **
Tratamento	17	18,774 **	154,90 **	502,07 **	1473,99 **
Bloco	2	5,250 ns	179,00 **	530,39 ns	2177,03 **
Resíduo	34	2,093	32,56	172,82	251,10
Total	53				
C.V (%)		19,91	11,33	16,71	24,27

*, **, ns. Significativo para 5%, 1% e não significativo, respectivamente pelo Teste F.

Nos valores médios para biomassa das folhas Tabela 19, observa-se que para os tratamentos de nitrogênio as médias da biomassa das folhas na ausência da adubação foram maiores aos 45 e 105 DAE com médias de 76,38 e 61,55 g para 0 e 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio respectivamente aos 105 DAE. Para o fósforo apesar de não ter havido efeito significativo sobre a biomassa das folhas aos 105 DAE, as médias foram 65,50 e 72,43 para 0 e 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ respectivamente.

No contraste do fatorial versus os tratamentos adicionais observa-se que as médias da biomassa das folhas do fatorial foram sempre maiores do que os tratamentos adicionais com média de 68,97 e 35,84 g para o fatorial e os tratamentos adicionais respectivamente aos 105 DAE. Entre os tratamentos adicionais as médias de biomassa das folhas foram maiores para os tratamentos que foram adubados com 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio, com médias de 14,42 e 53,26 g para 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio respectivamente.

Tabela 19. Valores médios da biomassa da folhas aos 45, 65, 85 e 105 DAE em função de lâminas de água residuária, nitrogênio e fósforo na cultura do algodoeiro.

Fatores	45 DAE (g)	65 DAE (g)	85 DAE (g)	105 DAE (g)
Lâminas (mm)				
781	9,61	33,31	53,96	88,14
643	7,42	27,16	41,16	80,31
505	7,22	23,70	37,44	56,87
367	6,99	20,36	33,11	53,40
Nitrogênio kg ha⁻¹				
0	8,35 a	27,86 a	43,05 a	76,38 a
90	7,26 b	25,85 a	38,91 a	61,55 b
Fósforo kg ha⁻¹				
0	8,69 a	25,94 a	41,63 a	65,50 a
60	6,92 b	27,77 a	40,33 a	72,43 a
Fatorial vs Tratamentos Adicionais				
Fatorial	7,81 a	26,86 a	40,98 a	68,97 a
Adicionais	2,92 b	11,96 b	16,02 b	35,84 b
Adicional 90 kg ha ⁻¹	2,26 b	10,57 a	13,44 a	14,42 b
Adicional 180 kg ha ⁻¹	3,59 a	13,36 a	18,61 a	53,26 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A biomassa das folhas aos 105 DAE Figura 13A, cresceu linearmente com o aumento das lâminas de água com acréscimos de 0,09 g mm⁻¹. Na figura 13B verifica-se que no tratamento com a presença de NP a biomassa das folhas é maior até os 505 mm, com o aumento da lâmina a biomassa das folhas dos tratamentos só com fósforo e os sem adubação aumentou tornando-se maior que os tratamentos que receberam nitrogênio. Novamente verifica-se efeito linear crescente em função do tempo da biomassa das folhas para o fatorial e os tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio, Figura 13 C, com acréscimos de 0,84; 0,59 0,23 g dia⁻¹, respectivamente. Com a mesma lâmina de água constata-se na figura 13D, valores superiores da biomassa das folhas das plantas irrigadas com água residuária em relação aos tratamentos adicionais. A biomassa das folhas em função do tempo para os tratamentos de NP e para lâminas Figuras 13E, nota-se que a maior biomassa foi na presença de fósforo e na ausência de adubo; e entre as lâminas Figura 13F, as maiores biomassas foram para as lâminas maiores.

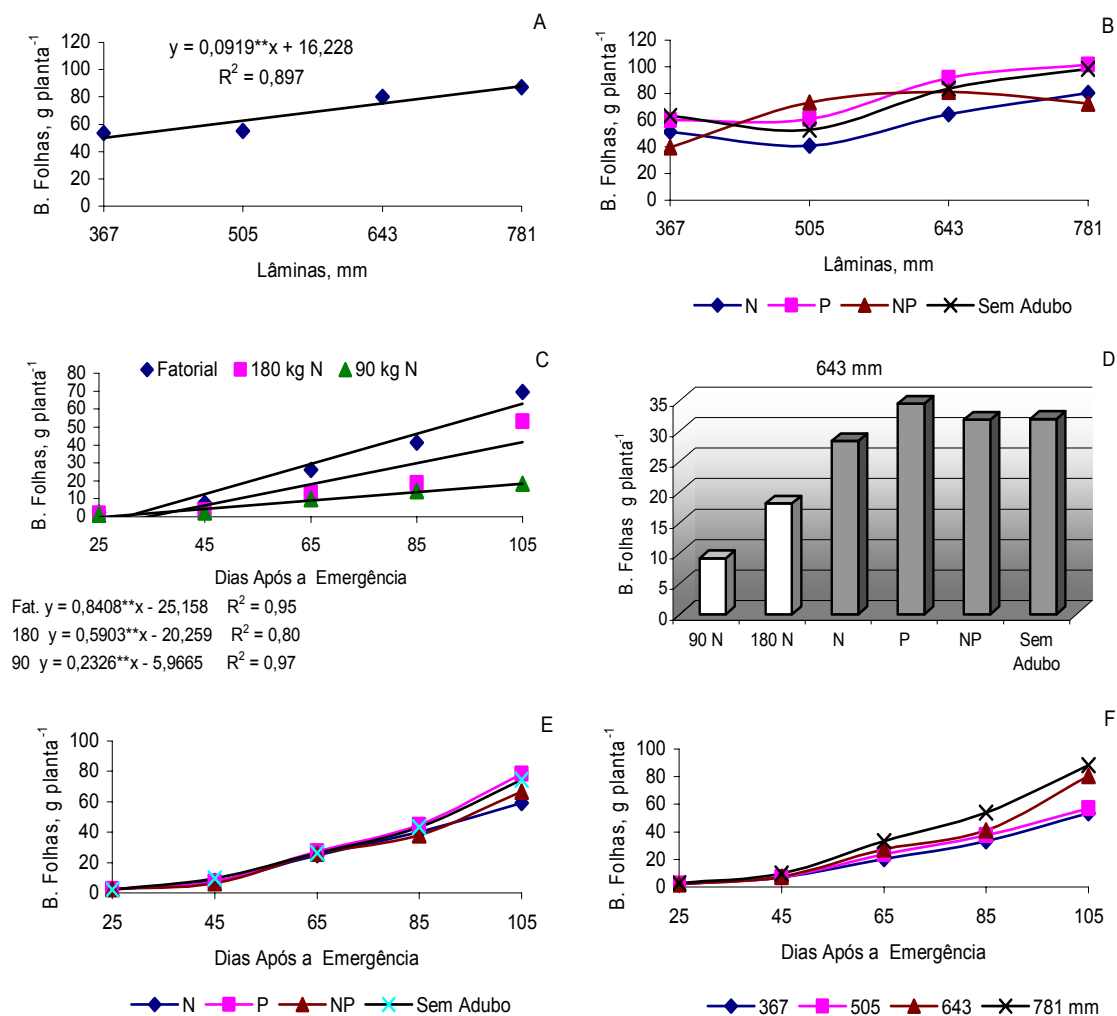


Figura 13. Biomassa das folhas do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento.

5.4.3. Biomassa do caule e ramos

O resumo da análise de variância da biomassa dos ramos da planta do algodoeiro Tabela 20, revela que só não houve efeito das lâminas de água residuária aplicada sobre a biomassa dos ramos aos 45 DAE, a partir desse intervalo houve efeito significativo ($P \leq 0,01$) sobre a biomassa dos ramos até o final do ciclo da planta. Nos tratamentos ausência e presença de nitrogênio e fósforo não houve efeito sobre a biomassa dos ramos. Não houve efeito das interações entre os fatores estudados, lâminas de água, nitrogênio e fósforo sobre a biomassa dos ramos.

No contraste do fatorial versus os tratamentos adicionais houve efeito significativo ($P \leq 0,01$) em todas as fases de desenvolvimento. Entre os tratamentos adicionais não houve efeito sobre a biomassa dos ramos. Houve efeito significativo de blocos aos 65 e 105 DAE, os coeficientes de variação foram relativamente bons.

Tabela 20. Resumo da análise de variância da biomassa dos ramos aos 45, 65, 85 e 105 dias após a emergência das plântulas do algodoeiro irrigado com diferentes lâminas de água residuária, com e sem nitrogênio e fósforo.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios			
		45 DAE	65 DAE	85 DAE	105 DAE
Lâminas (L)	3	8,984 ^{ns}	1045,16 ^{**}	2615,92 ^{**}	10329,32 ^{**}
Nitrogênio (N)	1	0,052 ^{ns}	7,38 ^{ns}	262,82 ^{ns}	1781,08 ^{ns}
Fósforo (P)	1	1,683 ^{ns}	145,15 ^{ns}	141,04 ^{ns}	13,70 ^{ns}
L x N	3	15,568 ^{ns}	19,63 ^{ns}	662,02 ^{ns}	1447,97 ^{ns}
L x P	3	1,438 ^{ns}	67,43 ^{ns}	17,20 ^{ns}	1297,61 ^{ns}
N X P	1	1,212 ^{ns}	4,54 ^{ns}	116,936 ^{ns}	48,30 ^{ns}
L x N x P	3	11,655 ^{ns}	44,33 ^{ns}	138,17 ^{ns}	555,64 ^{ns}
Fatorial vs Adicional	1	149,566 ^{**}	2553,0 ^{**}	7459,05 ^{**}	11287,48 ^{**}
Entre Adicionais	1	2,680 ^{ns}	22,38 ^{ns}	49,93 ^{ns}	1338,02 ^{ns}
Tratamento	17	15,772 ^{ns}	368,36 ^{ns}	1078,22 ^{**}	3256,48 ^{**}
Bloco	2	64,208 ^{**}	419,56 ^{**}	1072,50 ^{ns}	5483,19 ^{**}
Resíduo	34	8,378	79,64	331,25	558,62
Total	53				
C.V (%)		24,43	16,87	19,00	34,43

*, **, ns. Significativo para 5%, 1% e não significativo, respectivamente pelo Teste F.

Na Tabela 21, observa-se os valores médios da biomassa dos ramos em diferentes fazes de desenvolvimento da planta para cada fator estudado, verifica-se, que entre os tratamentos de nitrogênio as médias de biomassa dos ramos foram 79,84 e 67,66 para 0 e 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio respectivamente aos 105 DAE. Nos tratamentos de fósforo as médias de biomassa dos ramos foram 74,29 e 73,22 para 0 e 60 kg ha⁻¹ respectivamente aos 105 DAE.

No contraste o fatorial versus os tratamentos adicionais, observa-se que as médias da biomassa dos ramos do fatorial foram maiores em todo ciclo chegando aos 105 DAE com 73,76 contra 27,75g dos tratamentos adicionais. Entre os tratamentos adicionais as médias foram consideradas iguais 12,82 e 42,69 para 90 e 180 kg ha⁻¹ respectivamente.

Tabela 21. Valores médios da biomassa dos ramos aos 45, 65, 85 e 105 DAE em função de lâminas de água residuária, nitrogênio e fósforo na cultura do algodoeiro.

Fatores	45 DAE (g)	65 DAE (g)	85 DAE (g)	105 DAE (g)
Lâminas (mm)				
781	9,35	42,31	71,17	102,92
643	9,45	28,72	50,41	95,04
505	9,25	26,31	42,38	50,36
367	8,30	20,21	36,40	46,71
Nitrogênio, kg ha⁻¹				
0	9,02 a	29,77 a	53,12 a	79,84 a
90	8,96 a	28,99 a	48,44 a	67,66 a
Fósforo, kg ha⁻¹				
0	8,80 a	27,64 a	52,50 a	74,29 a
60	9,18 a	31,12 a	49,07 a	73,22 a
Fatorial vs Tratamentos Adicionais				
Fatorial	8,99 a	29,39 a	50,79 a	73,76 a
Adicionais	3,70 b	7,51 b	13,39 b	27,75 b
Adicional 90 kg ha ⁻¹	3,03 a	5,58 a	10,51 a	12,82 a
Adicional 180 kg ha ⁻¹	4,37 a	9,44 a	16,28 a	42,69 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na biomassa do caule e dos ramos Figura 14A, houve um crescimento linear com o aumento das lâminas, com acréscimos de 0,15 g por aumento unitário de água. O efeito sobre a biomassa de caule e ramos em função das lâminas entre os tratamentos de N e P, Figura 14B, observa-se que a biomassa para os tratamentos com a presença de P e na ausência de adubo foi menor com as lâminas menores do que os tratamentos adubados com N P; com o aumento das lâminas e aliado a isso o aporte de nutrientes para a planta, a biomassa dos tratamentos com fósforo e sem adubo aumentaram tornando-se superior aos demais. Na Figura 14C, os acréscimos para o fatorial e os tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha⁻¹, foram de 0,91; 0,45 e 0,14 g dia⁻¹, respectivamente. Como a aplicação da mesma quantidade de água o efeito é semelhante ao da biomassa das folhas, com uma diminuição da biomassa de caule e ramos, quando se adubou com N P Figura 14D. Os efeitos da biomassa de caule e ramos em função do tempo para os tratamentos de N e P e para as lâminas Figuras 14E e 14F seguem a mesma tendência das variáveis anteriores, os tratamentos com presença de P e sem adubo tiveram biomassas de caule e ramos maiores, e houve um crescimento também com o aumento das lâminas para a biomassa de caule e ramos até os 105 DAE da planta.

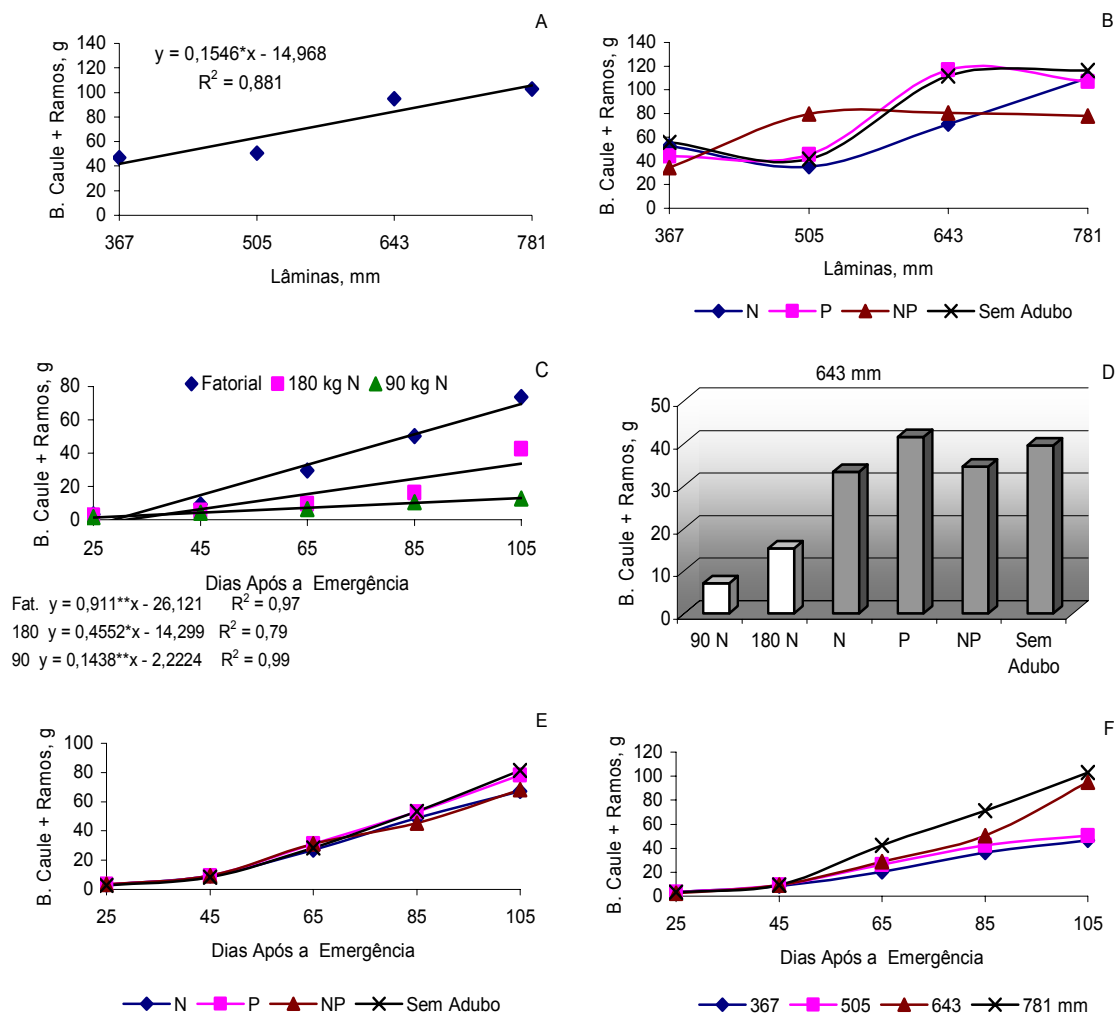


Figura 14. Biomassa do caule e ramos do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento.

5.4.4. Biomassa do fruto

O resumo da análise de variância da biomassa do fruto Tabela 22, revela que houve efeito significativo ($p \leq 0,01$) das lâminas de água residuária sobre a biomassa dos frutos aos 65 e 105 DAE, não tendo, portanto efeito sobre a biomassa aos 85 DAE. Entre os tratamentos de nitrogênio só houve efeito sobre a biomassa dos frutos aos 105 DAE, já os tratamentos de fósforo o efeito foi sobre a biomassa do fruto aos 65 DAE. Só Houve interação entre as lâminas de água testadas e o nitrogênio sobre a biomassa dos frutos aos 105 DAE.

Houve efeito significativo ($p \leq 0,01$) no contraste do fatorial versus os tratamentos adicionais. Entre os tratamentos adicionais não se verificou efeito

significativo. Só houve efeito de bloco para a biomassa de fruto aos 85 DAE. Os coeficientes de variação foram bons.

Tabela 22. Resumo da análise de variância da biomassa dos frutos aos 65, 85 e 105 dias após a emergência das plântulas do algodoeiro irrigado com diferentes lâminas de água residuária, com e sem nitrogênio e fósforo.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médios		
		B. Frutos 65	B. Frutos 85	B. Frutos 105
Lâminas (L)	3	27,84 ^{**}	685,86 ^{ns}	54706,32 ^{**}
Nitrogênio (N)	1	0,08 ^{ns}	747,10 ^{ns}	12799,12 [*]
Fósforo (P)	1	34,56 [*]	42,99 ^{ns}	3311 ^{ns}
L x N	3	5,66 ^{ns}	191,42 ^{ns}	7020,90 [*]
L x P	3	5,20 ^{ns}	91,40 ^{ns}	1325,08 ^{ns}
N X P	1	4,45 ^{ns}	109,77 ^{ns}	2688,16 ^{ns}
L x N x P	3	3,47 ^{ns}	93,72 ^{ns}	5475,19 ^{ns}
Fatorial vs Adicional	1	115,66 ^{**}	9823,24 ^{**}	68871,64 ^{**}
Entre Adicionais	1	0,69 ^{ns}	2,78 ^{ns}	1586,97 ^{ns}
Tratamento	17	16,58 ^{**}	818,42 ^{ns}	17150,68 [*]
Bloco	2	2,71 ^{ns}	2782,96 [*]	6453,62 ^{ns}
Resíduo	34	6,11	587,72	2205,29
Total	53			
C.V (%)		19,45	22,20	12,96

^{*}, ^{**}, ns. Significativo para 5%, 1% e não significativo, respectivamente pelo Teste F.

Na Tabela 23, as médias da biomassa dos frutos para cada fator estudado, observa-se que para os tratamentos de nitrogênio as médias aos 105 DAE foram 178 e 146 g para 0 e 90 kg ha⁻¹ respectivamente. Nos tratamentos de fósforo as médias aos 65 DAE foram 7,9 e 6,2 g para 0 e 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅. No contraste entre o fatorial e os tratamentos adicionais as médias do fatorial foram maiores nas três amostragens da biomassa do fruto chegando aos 105 DAE com 162 e 48,96 g para o fatorial e tratamento adicional respectivamente. Entre os tratamentos adicionais as médias de biomassa do fruto foram 32,70 e 65,22 g para 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio respectivamente.

Tabela 23. Valores médios da biomassa dos frutos aos 65, 85 e 105 DAE em função de lâminas de água residuária, nitrogênio e fósforo na cultura do algodoeiro.

Fatores	65 DAE (g)	85 DAE (g)	105 DAE (g)
Lâminas (mm)			
781	8,38	67,67	220,07
643	8,39	57,13	221,33
505	6,15	52,70	113,76
367	5,38	50,74	95,79
Nitrogênio, kg ha⁻¹			
0	7,09 a	61,00 a	178,0 a
90	7,01 a	53,11 a	146,0 b
Fósforo, kg ha⁻¹			
0	7,90 a	58,00 a	161,76 a
60	6,20 b	56,11 a	163,42 a
Fatorial vs Tratamentos Adicionais			
Fatorial	7,05 a	57,06 a	162,60 a
Adicionais	2,40 b	14,14 b	48,96 b
Adicional 90 kg ha ⁻¹	2,06 a	14,82 a	32,70 a
Adicional 180 kg ha ⁻¹	2,74 a	13,46 a	65,22 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Houve um crescimento na biomassa dos frutos com o aumento das lâminas de água Figura 15A; e como houve interação entre lâminas e os tratamentos de N, o desdobramento dos efeitos quantitativos de lâmina dentro de cada dose de N, e através da análise de regressão polinomial Figura 15B, o efeito foi linear positivo de lâmina de água sobre a biomassa dos frutos na presença e ausência de nitrogênio, e segundo as equações obtidas a biomassa dos frutos apresentaram taxas de acúmulo de 0,43 e 0,26 g mm⁻¹, para 0 e 90 kg ha⁻¹ de N. Na Figura 15C observa-se os maiores valores de biomassa dos frutos em função de lâminas de água para os tratamentos adubados com P e sem adubo a partir de aproximadamente 505 mm.

No contraste entre o fatorial versus os tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha⁻¹ de N, a biomassa dos frutos dos 65 aos 105 DAE, Figura 15D, apresentou efeito linear com acréscimos de 3,8; 1,5 e 0,7 g dia⁻¹ para o fatorial e tratamentos adicionais respectivamente. Na comparação dos tratamentos recebendo a mesma quantidade de água Figura 15E, observa-se entre os tratamentos adicionais, o que foi adubado com 180 kg de nitrogênio, obteve biomassa de fruto maior que o de 90 kg de N. Quando de fez uso de água residuária e se adubou com os mesmos 90 kg de N os valores de biomassa de fruto foram inferiores em relação aos tratamentos não adubados.

Para biomassa dos frutos em função dos 65 aos 105 DAE, para os tratamentos de N e P, Figuras 15F e 15G, o acúmulo de biomassa no fruto foi maior na presença do adubo fosfatado e na ausência de adubo, com uma maior diferenciação na biomassa do fruto a partir dos 85 DAE; já para entre as lâminas de água observa-se que a biomassa dos frutos na lâmina de 781 mm é praticamente a mesma até os 85 DAE, aumentando em seguida com a lâmina de 643 mm, sendo superior das duas lâminas menores.

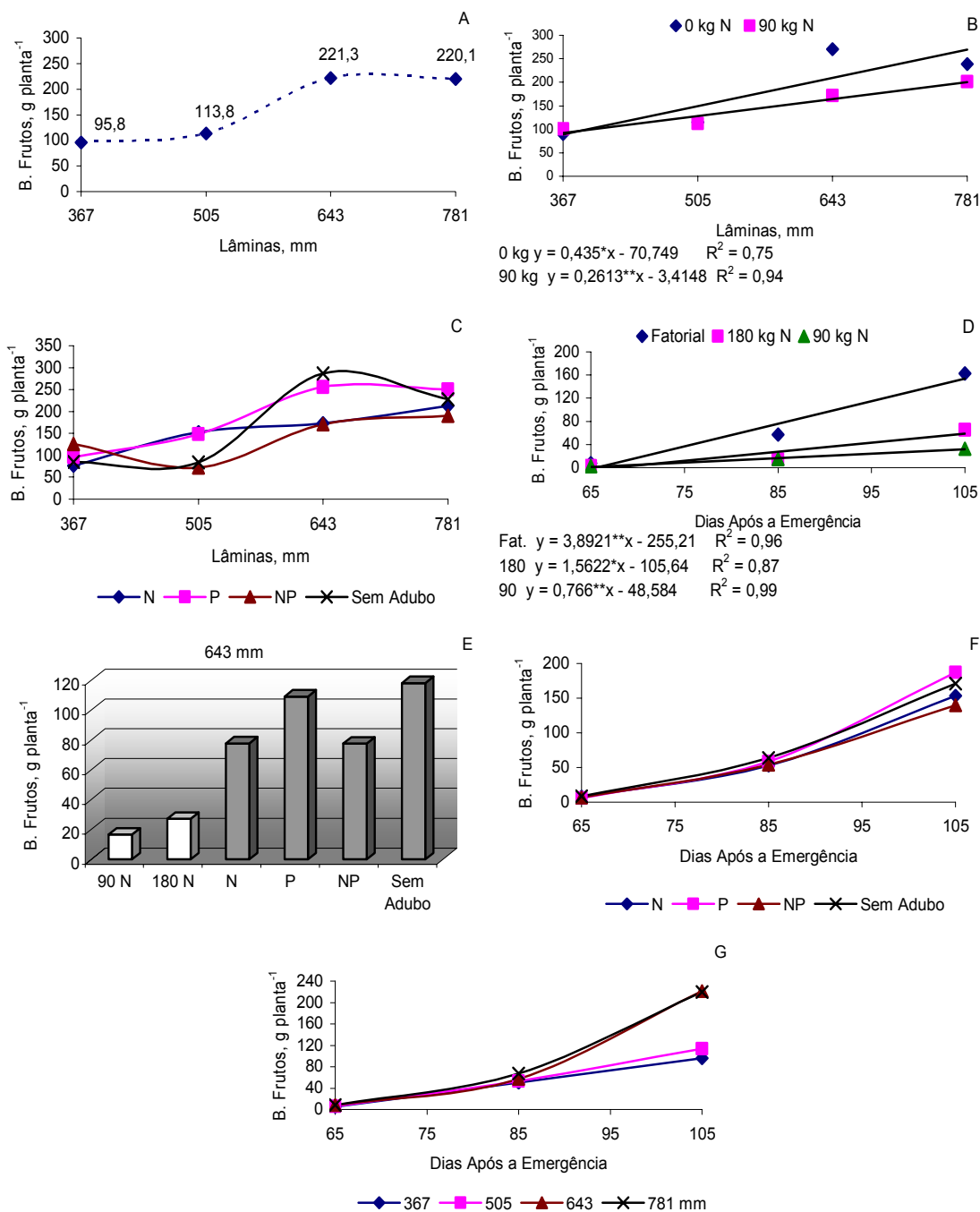


Figura 15. Biomassa dos frutos do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento.

5.4.5. Número de botões florais e de frutos

Observa-se na Tabela 24, o resumo da análise de variância para o número de botões e o número de frutos por planta, aos 45, 65, 85 e 105 DAE, constatou-se efeito significativo para o número de botões e número de frutos entre as lâminas de água residuária estudadas para todos os intervalos de tempo analisados, exceto para o número de botões aos 45 DAE; na ausência e presença de nitrogênio, só ocorreu efeito

significativo sobre o número de frutos aos 105 DAE. Não houve efeito sobre o número de botões e frutos nos intervalos de tempo avaliados das interações entre os três fatores estudados lâminas, nitrogênio e fósforo.

No contraste do fatorial versus os tratamentos adicionais, foi notória a diferença significativa entre os números de botões florais e frutos nos intervalos de tempo avaliados, exceto para o número de botões aos 85 DAE; não houve, portanto, efeito entre os tratamentos adicionais sobre as variáveis avaliadas. Só houve efeito significativo entre blocos para o número de botões aos 45 DAE; os coeficientes de variação são relativamente altos por se tratar de dados de contagem, sendo assim houve uma transformação nos dados.

Tabela 24. Resumo da análise de variância dos números de botões florais e números de frutos por planta, a cada 20 dias após a emergência das plântulas do algodoeiro, irrigado água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios					
		Nº Botões			Nº Frutos		
		45 DAE	65 DAE	85 DAE	65 DAE	85 DAE	105 DAE
Lâminas (L)	3	0,006 ^{ns}	5,47 ^{**}	7,75 ^{**}	2,386 ^{**}	3,20 [*]	12,29 ^{**}
Nitrogênio (N)	1	0,08 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,075 ^{ns}	0,707 ^{ns}	8,01 ^{**}
Fósforo (P)	1	0,58 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,708 ^{ns}	0,431 ^{ns}	0,34 ^{ns}
L x N	3	0,11 ^{ns}	1,19 ^{ns}	3,79 ^{ns}	0,330 ^{ns}	0,588 ^{ns}	1,19 ^{ns}
L x P	3	0,07 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,236 ^{ns}	0,170 ^{ns}	0,72 ^{ns}
N x P	1	0,11 ^{ns}	1,27 ^{ns}	2,32 ^{ns}	0,997 ^{ns}	1,418 ^{ns}	0,83 ^{ns}
L x N x P	3	0,12 ^{ns}	0,90 ^{ns}	1,08 ^{ns}	0,412 ^{ns}	0,643 ^{ns}	0,35 ^{ns}
Fat. vs Adicional	1	9,033 ^{**}	11,00 ^{**}	4,45 ^{ns}	2,100 [*]	20,248 ^{**}	31,52 ^{**}
Entre Adicionais	1	1,092 ^{ns}	0,12 ^{ns}	3,26 ^{ns}	0,864 ^{ns}	0,009 ^{ns}	0,34 ^{ns}
Bloco	2	1,31 ^{**}	1,33 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,267 ^{ns}	0,286 ^{ns}	0,88 ^{ns}
Resíduo	34	0,191	1,10	1,62	0,468	0,910	0,48
Total	53						
C.V (%)		15,49	20,63	34,22	25,23	18,75	12,96

*, **, ns. Significativo para 5%, 1% e não significativo, respectivamente pelo Teste F.

¹ Dados transformados em $y = \sqrt{x+1}$

Na Tabela 25 observa-se os valores médios, para cada variável avaliada e para cada fator estudado, verifica-se que no fator nitrogênio o número de frutos aos 105 DAE, na ausência do adubo, foi maior que aquele adubado com 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio; nas demais variáveis, para este fator os valores médios foram mais próximos, enquanto para o fósforo, os valores não diferiram entre si; já para o contraste do fatorial versus os tratamentos adicionais ocorreram diferenças com médias do fatorial maiores exceto para os 85 DAE; e entre os tratamentos adicionais as médias não diferiram estatisticamente entre si.

Tabela 25. Valores médios dos números de botões florais e números de frutos por planta, a cada 20 dias após a emergência das plântulas do algodoeiro cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, nitrogênio e fósforo.

Fatores	----- N° Botões -----			----- N° Frutos -----		
	45 DAE	65 DAE	85 DAE	65 DAE	85 DAE	105 DAE
Lâminas (mm)						
781	2,96	6,22	4,77	3,18	5,89	6,59
643	3,00	5,19	3,97	3,09	5,53	6,47
505	2,94	8,83	3,37	2,37	4,70	4,99
367	2,97	4,75	2,91	2,35	5,09	4,60
Nitrogênio kg ha⁻¹						
0	3,01 a	5,30 a	3,61 a	2,71 a	6,17 a	6,07 a
90	2,92 a	5,19 a	3,89 a	2,79 a	6,42 a	5,26 b
Fósforo kg ha⁻¹						
0	3,08 a	5,22 a	3,65 a	2,87 a	6,21 a	5,75 a
60	2,86 a	5,27 a	3,86 a	2,63 a	6,38 a	5,58 a
Fatorial vs Tratamentos Adicionais						
Fatorial	3,83 a	5,25 a	3,75 a	2,75 a	5,30 a	5,66 a
Adicionais	1,66 b	3,81 b	2,84 a	2,12 b	3,35 b	3,23 b
Adic. 90 kg ha ⁻¹	1,24 a	3,67 a	2,10 a	2,52 a	4,21 a	3,82 a
Adic. 180 kg ha ⁻¹	2,09 a	3,96 a	3,38 a	3,30 a	4,26 a	4,36 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. transformados em $y = \sqrt{x+1}$

O somatório do número de botões em função das lâminas de água para os tratamentos de N e P, Figura 16A, revela que na lâmina de 781 mm o número de botões florais foi maior no tratamento adubado com fósforo e na ausência de adubo, ocorrendo o inverso na lâmina de 643 mm.

Os números de botões florais aumentaram com a quantidade de água residuária aplicada, Figura 16B e se observa que, em todas as lâminas aos 65 DAE o número de botões foi maior. Como houve efeito significativo só para lâminas de água sobre o número de botões florais, e segundo as equações da análise de regressão obtidas, o número de botões apresentou efeito linear positivo para 65 e 85 DAE com acréscimos de 0,038 e 0,034 botões mm⁻¹ respectivamente.

Observa-se na Figura 16C, o número de botões em função do tempo por lâmina aplicada, ressalta-se que aos 45 DAE não houve diferenças entre as lâminas aplicadas; aos 65 e 85 DAE houve acréscimos do número de botões com o aumento das lâminas aplicadas, tendo em média, para a lâmina de 781 mm, o número máximo de botões florais de 37,68 aos 65 DAE.

Observando-se a Figura 16D, vê-se que o número de botões florais em função do tempo e de cada nível de adubação, aos 45 DAE nos tratamentos adubados apenas com

nitrogênio e os que não receberam adubo foram, em média, maiores que os demais. Aos 65 DAE, o número de botões foi maior para os tratamentos não adubados e para os que foram adubados com nitrogênio e fósforo. Aos 85 DAE o número de botões do tratamento que não foi adubado foi menor, denotando-se que os mesmos botões foram fertilizados, formando frutos; de certa forma, observa-se a precocidade do tratamento que não foi adubado. Ainda na Figura 16D, para o tratamento que recebeu nitrogênio o número de botões aos 85 DAE ainda foi elevado, fato este devido ao crescimento vegetativo da planta, que estimula o surgimento de botões florais.

Na Figura 16E, constata-se que o número de botões florais do fatorial nas três épocas amostradas foi maior em comparação com os tratamentos adicionais e que o número médio de botões para todos os tratamentos, foi maior aos 65 DAE com média de 28 botões por planta, diminuindo em seguida, aos 85 DAE por ocasião da formação de frutos.

Na Figura 16F, os tratamentos adubados com N e na presença de N-P conjuntamente, tiveram o maior número médio de botões florais nas três épocas de amostragem, sendo inferior nos tratamentos de fósforo e nos sem adubo, o que não era esperado, de acordo com as variáveis anteriores, mas observando melhor veremos que esse fato ocorreu devido a uma parte dos botões que formaram frutos e não foram contabilizados.

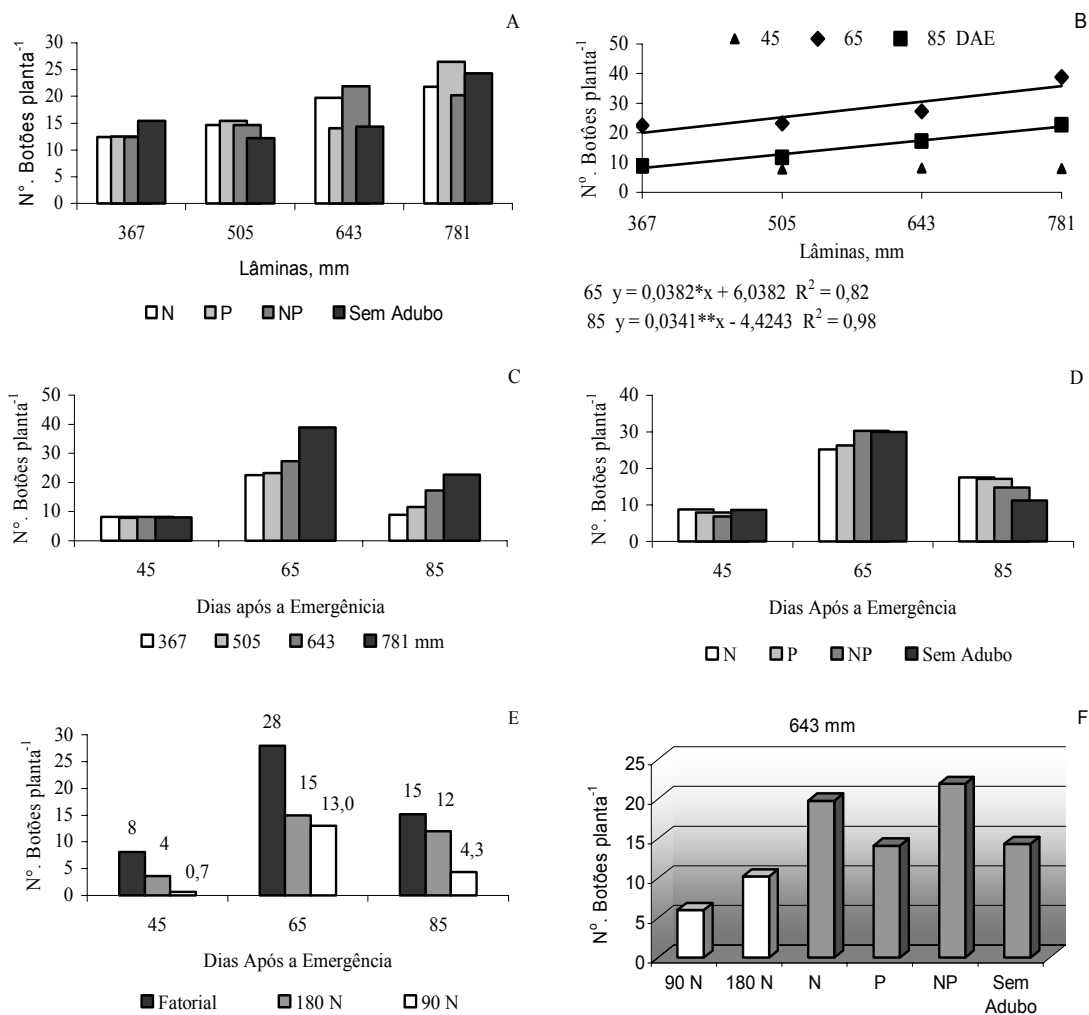


Figura 16. Número de botões florais da planta de algodoeiro de fibra marrom, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento.

5.4.6. Número de frutos

Observando agora o número de frutos em função das lâminas entre os tratamentos de N e P Figura 17A, constata-se que na lâmina de 643 mm o número de frutos é maior nos tratamentos com presença de P e sem adubo, e na lâmina de 781 mm verifica-se o maior número de frutos no tratamento que não foi adubado.

Para o número de frutos formados em função das lâminas aplicadas, Figura 17B observa-se que na lâmina de 367 mm o número de frutos foi maior aos 85 DAE não havendo aumento na formação de frutos a partir desta época, ocorrendo diminuição da quantidade de frutos formados por conta, talvez, de perdas relativas à competição por assimilados etc; segundo as equações da análise de regressão obtidas os acréscimos foram de 0,01; 0,02 e 0,06 frutos mm⁻¹, aos 65 85 e 105 DAE respectivamente.

Nota-se na Figura 17C, o número de frutos em função do tempo por lâmina de água residuária aplicada, em que aos 65 DAE o número de frutos já formados em plantas que foram irrigadas com a lâmina de 781 mm foi significativamente maior que as demais lâminas; aos 85 DAE o número de frutos permaneceu maior na lâmina de 781 mm; aos 105 DAE, o número de frutos formados nas lâminas de 643 mm e 781 mm foram muito próximo, se verificarmos o número de botões florais aos 65 DAE ver-se-á que também tinha valores não muito distantes. Número de frutos formados em função do tempo por tratamento de níveis de adubação Figura 17D; verifica-se que aos 65 DAE, o número de frutos foi maior para o tratamento não adubado, aos 85 DAE; para o tratamento que recebeu nitrogênio e fósforo a quantidade de frutos foi maior que os demais tratamentos com média de 31,17 frutos; aos 105 DAE os tratamentos adubados com fósforo e os que não receberam adubo tiveram as maiores quantidades de frutos com 38,08 e 37,33 respectivamente.

Na Figura 17E, constata-se que o número de frutos do fatorial nas três épocas amostradas foi maior em comparação com os tratamentos adicionais. O número médio de frutos em todos os tratamentos foi maior aos 105 DAE com média de 32,8 frutos por planta denotando-se, de forma geral, que não houve perda significativa de frutos com o tempo. Aproximadamente aos 65 DAE foi iniciada a formação dos frutos, portanto aos 105 DAE já se alcançava uma completa maturação de alguns frutos de acordo com Grimes & El-Zik (1990), onde relatam que após a abertura das flores e a fertilização dos óvulos, o fruto alcança tamanho completo em cerca de 20 a 25 dias e a completa maturação dos frutos ocorre em 40 dias, e que sementes completam o crescimento em um período de 21 dias e estão maduras antes da abertura do fruto.

Na Figura 17F é comprovado agora o que as variáveis anteriores de crescimento sinalizavam o maior número de frutos na presença de P e sem adubo, tendo os tratamentos sem adubo o número maior de frutos.

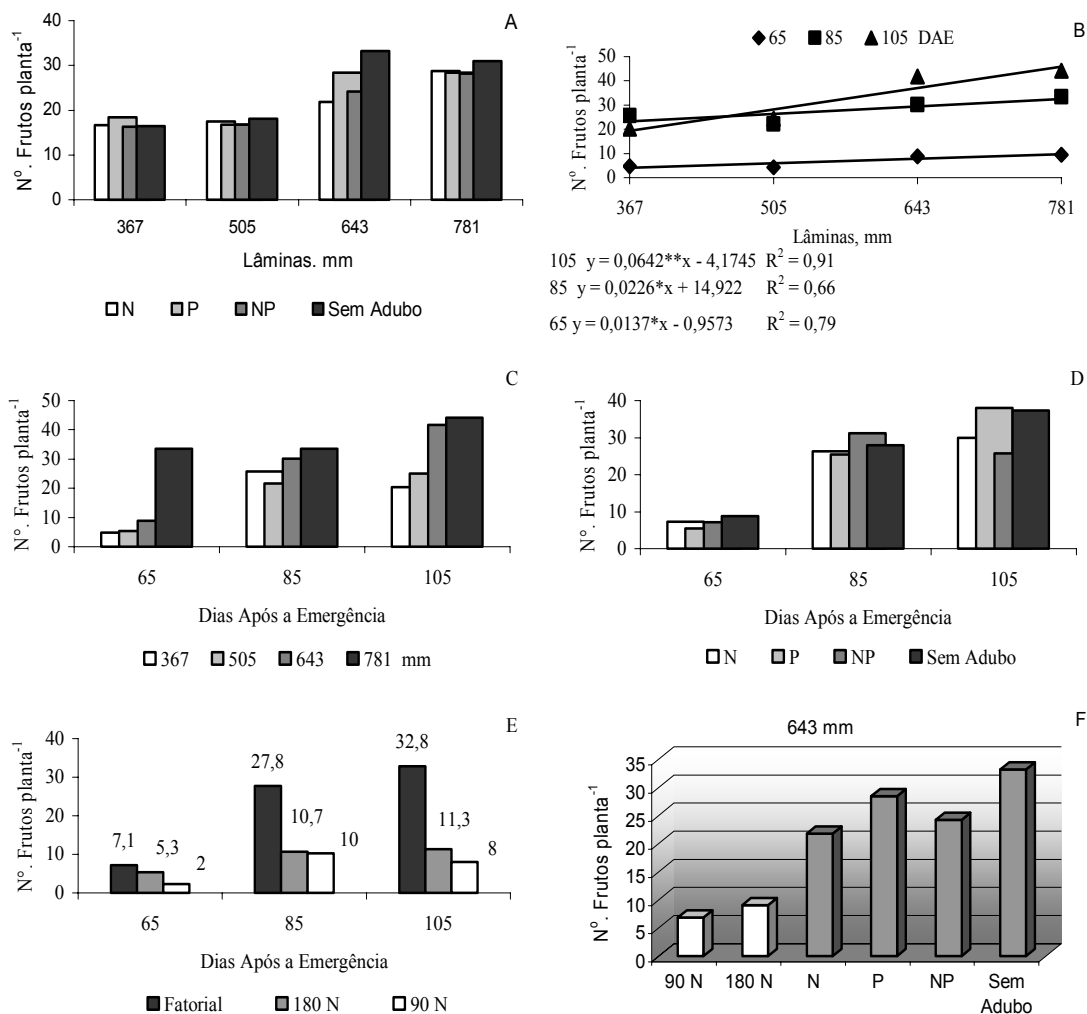


Figura 17. Número de frutos da planta de algodoeiro de fibra marrom, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento.

5.5. Relação biomassa de frutos, caule, ramos e folhas

É feita uma relação da biomassa produzida, dividida em caule e ramos, folhas e frutos. Na Figura 18A, a biomassa em função das lâminas de água, foi crescente na seguinte ordem: folhas, caule mais ramos e frutos, observa-se que a partir da lâmina de 505 mm aumentou a diferença entre a biomassa de caule e ramos e a de folhas, acontecendo o mesmo com a biomassa dos frutos em relação ao resto da planta. Já observando a Figura 18B, observa-se que a biomassa de frutos é menor que a soma da biomassa de caule, ramos e folhas; constata-se ainda que a diferença entre a biomassa dos frutos e o resto da planta vai diminuindo até a lâmina de 643 mm, a partir daí essa diferença na biomassa começa a aumentar, sinalizando que em lâminas maiores poderá

haver grandes diferenças na biomassa do que é produzido comercialmente e da biomassa que não é aproveitada.

Na Figura 18C, a biomassa dos órgãos da planta entre os tratamentos de N e P, verifica-se que na presença de P e sem adubo se tem as maiores biomassa de folha, fruto, caule e ramos, mas nos tratamentos que não foram adubados verifica-se que existe um maior equilíbrio de biomassa produzida entre folhas e caule mais ramos.

Na biomassa dos 65 aos 105 DAE entre a biomassa de folhas, frutos, caule e ramos, Figura 18D, observa-se o aumento da biomassa dos frutos em relação ao restante da planta chegando praticamente ao triplo da biomassa aos 105 DAE. Na Figura 18E, a biomassa de folhas, frutos, ramos e caule entre os tratamentos de N e P foi maior para os tratamentos com P e sem adubo dos 65 aos 105 DAE.

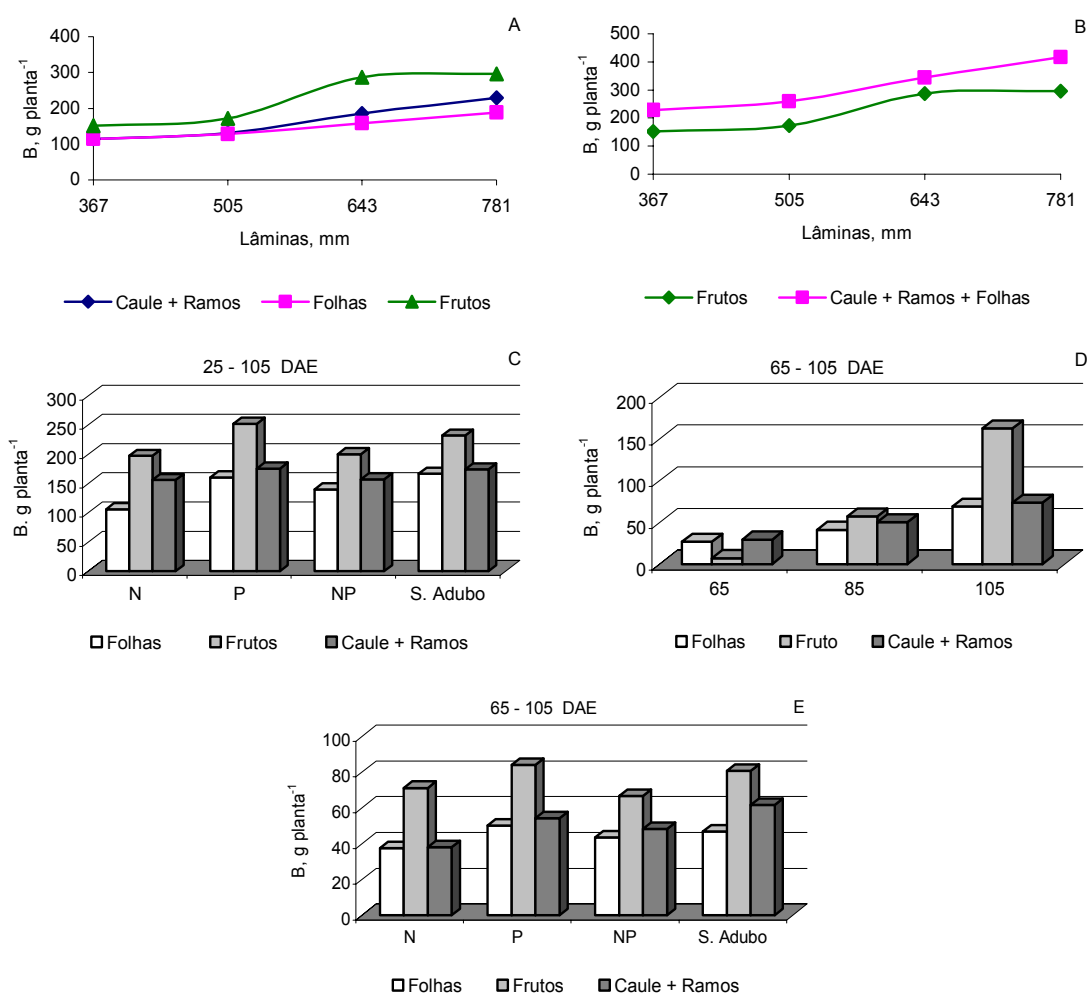


Figura 18. Relação entre a biomassa das folhas, frutos, caule e ramos do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento.

5.6. Características do crescimento.

5.6.1. Taxa de crescimento absoluto do caule

O efeito sobre a taxa de crescimento do caule em altura foi linear crescente com o aumento das lâminas de água Figura 19A. Entre os tratamentos de N e P a taxa de crescimento em altura foi similar, para os tratamentos adubados com nitrogênio e fósforo, e os dois juntos, Figura 19B, diferente da tendência dos tratamentos sem adubo, onde a taxa de crescimento foi decrescente até a lâmina de 505 mm só então a partir daí o crescimento foi ascendente. Na Figura 19C é possível verificar a taxa de crescimento em função do tempo para o fatorial e os dois tratamentos adicionais, observa-se que para ambos os tratamentos a taxa de crescimento é menor dos 25 aos 45 DAE, o fato disso acontecer poderá está ligado ao período que antecede a floração, a planta diminui seu crescimento preparando-se para a produção de tecidos reprodutivos, aumentando em seguida até os 65 DAE, e então por ocasião talvez do florescimento e formação dos frutos a partir dos 65 DAE a taxa de crescimento é atenuada. Observa-se ainda, com a adubação de 90 kg de nitrogênio a taxa de crescimento foi afetada sensivelmente. Na Figura 19D, para os tratamentos de N e P observa-se que na presença de nitrogênio a taxa de crescimento não diminuiu a partir dos 65 DAE, continuou constante, fato esse possivelmente prejudicial no seu desenvolvimento. Entre as lâminas de água Figura 19E, as taxas de crescimento obedeceram a uma mesma tendência, com taxas superiores para as maiores lâminas; e por fim a comparação da mesma lâmina de água, tendo os tratamentos adicionais taxas menores e os tratamentos do fatorial, taxas de crescimento equivalentes.

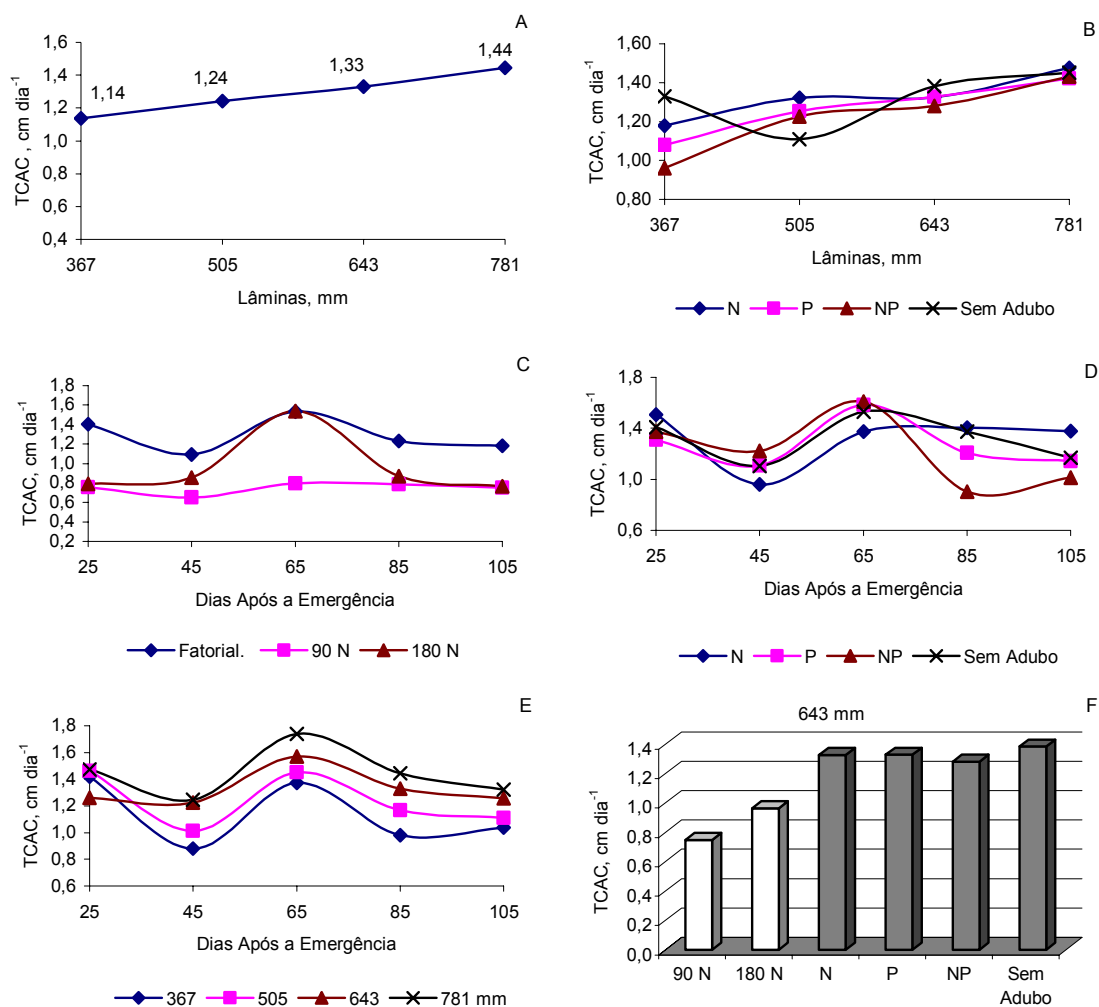


Figura 19. Taxa de crescimento em altura do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento.

5.6.2. Taxa de crescimento absoluto da área do limbo foliar

A taxa de crescimento do limbo cresceu com o aumento das lâminas de água aplicadas ao solo Figura 20A, sendo as taxas de 75; 86; 120 e 170 cm² dia⁻¹ para 367; 505; 643 e 781 mm respectivamente. Na Figura 20B, observa-se que a taxa de crescimento do limbo é semelhante na presença de N e P e na ausência de adubo; já as taxas tiveram comportamento diferenciado com o aumento das lâminas para os tratamentos que receberam N P conjuntamente. Para as taxas de crescimento em função do tempo para o fatorial e os tratamentos adicionais Figura 20C, observa-se que cresceu até os 65 DAE numa taxa de 128,9 cm² dia⁻¹, diminuindo até os 85 DAE para 99,4 cm² dia⁻¹, voltando a crescer chegando aos 105 DAE com 217,9 cm² dia⁻¹, esse crescimento após os 85 DAE pode está ligada por se tratar de uma planta perene, considerando-se

também que a aplicação de água não foi interrompida. Ocorrendo essas mesmas tendências para os tratamentos de N e P Figura 20D; onde se verifica que os tratamentos na presença de P e sem adubo obedecem a um mesmo perfil da taxa de crescimento do limbo. Para as lâminas Figura 20E, observa-se a mesma tendência da taxa de crescimento do limbo obtendo as maiores taxas nas lâminas maiores. Para uma mesma quantidade de água Figura 20F, observa-se as maiores taxas de crescimento para os tratamentos com presença de P e sem adubo.

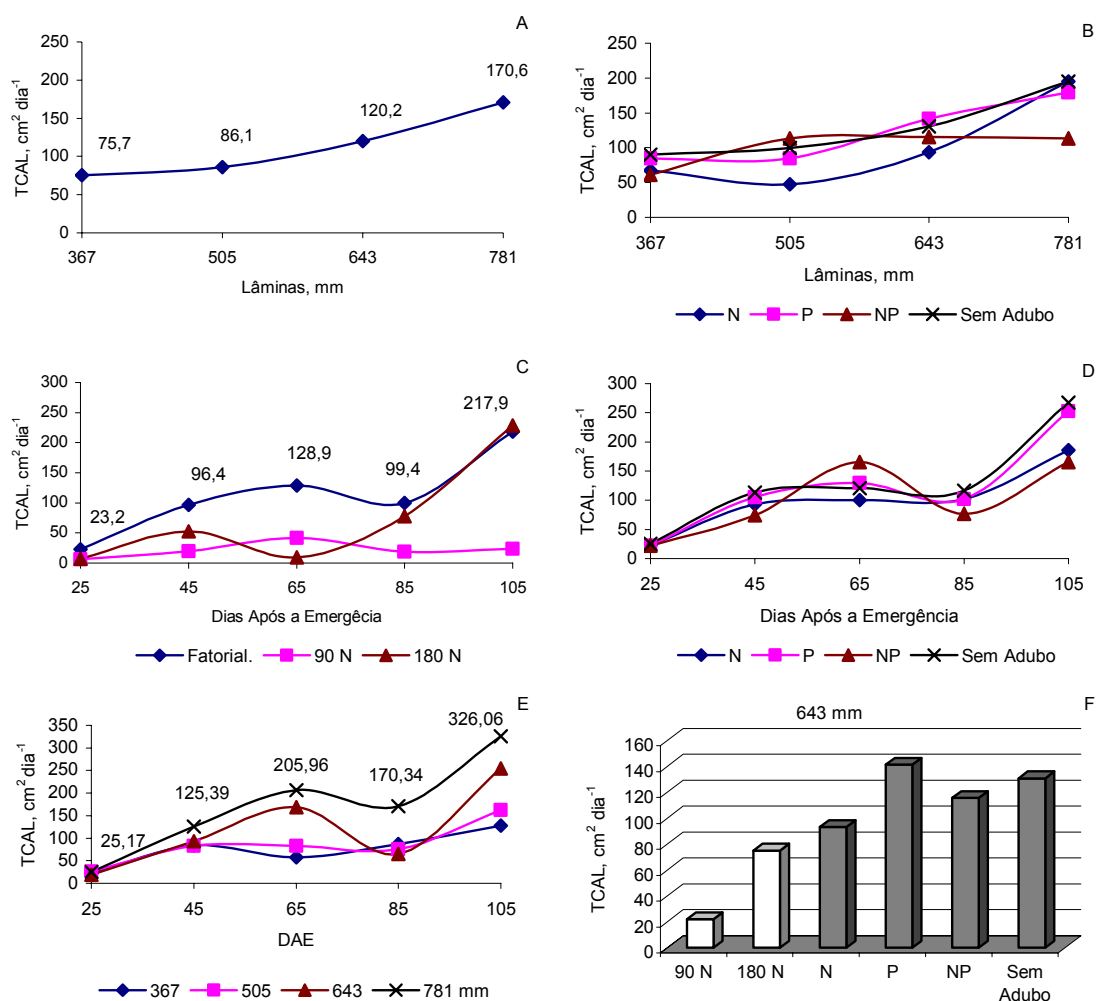


Figura 20. Taxa de crescimento da área foliar do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha^{-1} de nitrogênio irrigado com água de abastecimento.

5.6.3. Taxa crescimento absoluto da biomassa da folha

A taxa de crescimento absoluto da folha cresceu com o aumento das lâminas, iniciando com $0,5 \text{ g dia}^{-1}$, para a lâmina de 367 mm, e chegando a $0,9 \text{ g dia}^{-1}$, na lâmina de 781 mm Figura 21A. Entre os tratamentos de N e P Figura 21B, na presença de P e sem adubo verifica-se as maiores taxas com um comportamento parecido, houve um desempenho diferenciado no tratamento adubado com N e P conjuntamente, com a taxa de crescimento da biomassa da folha crescendo até 643 mm e logo decrescendo com o aumento da lâmina, talvez mais uma vez refletindo o excesso não só de nitrogênio, mas sim dos dois nutrientes incorporados ao solo. Na figura 21C, verifica-se que a taxa de crescimento da biomassa da folha é crescente, tendo um pico de $0,9 \text{ g dia}^{-1}$ aos 65 DAE, para em seguida diminuir até os 85 DAE, sendo observado esse comportamento tanto para o fatorial quanto para os tratamentos adicionais, com maiores taxas para os irrigados com água residuária. Ocorrendo o mesmo comportamento para os tratamentos de N e P, Figura 21D e para lâminas Figura 21E, com maiores taxas para os tratamentos adubados com P e para os sem adubo, e para as maiores lâminas. Com a mesma quantidade de água Figura 21F a maior taxa de crescimento absoluto da biomassa da folha foi para o tratamento adubado com fósforo.

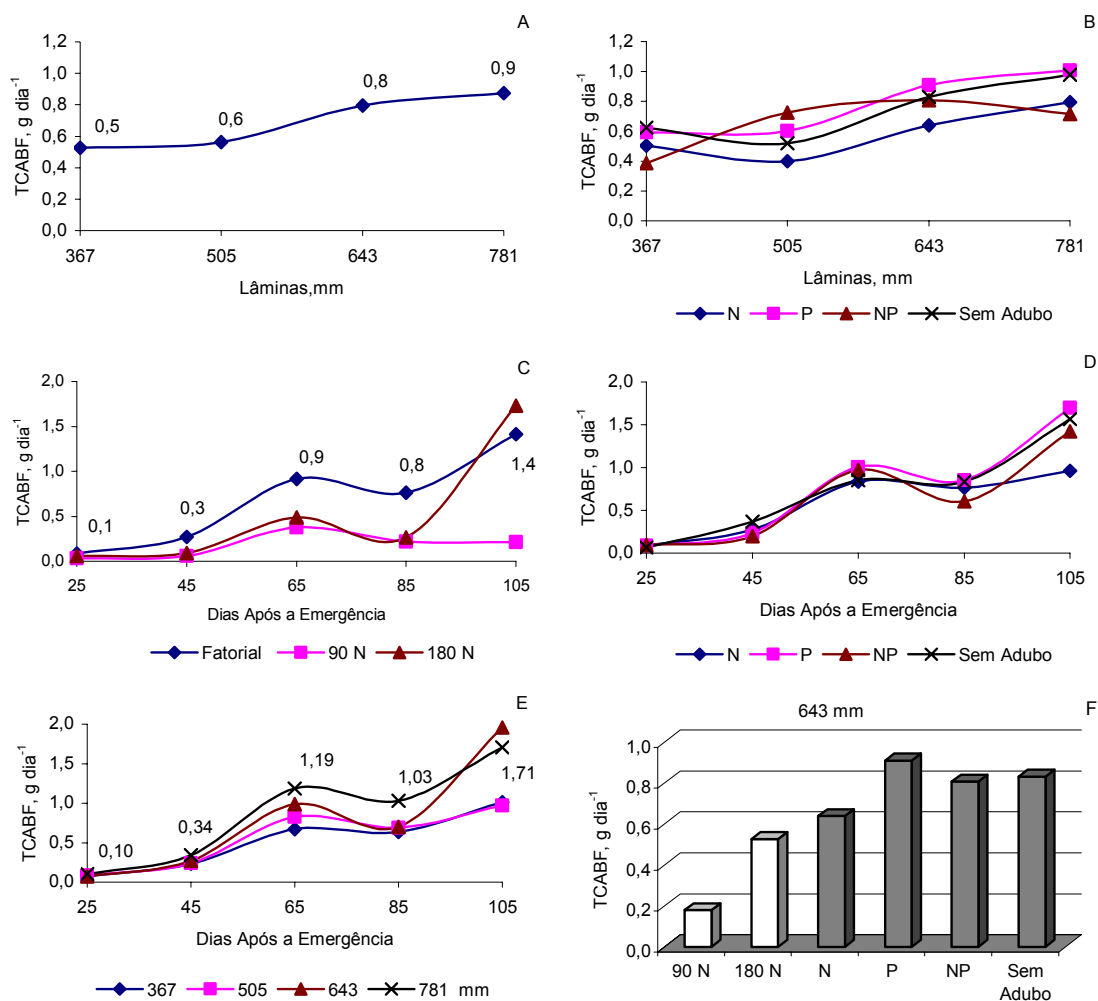


Figura 21. Taxa de crescimento da biomassa da folha do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento.

5.6.4. Taxa de crescimento absoluto da biomassa total

A taxa de crescimento absoluto da biomassa total aumentou com as lâminas, esse aumento foi mais evidente entre as lâminas de 505 e 643 mm, com taxas de 2,2 e 4,0 g dia⁻¹, respectivamente, Figura 22A. Entre os tratamentos de N e P Figura 22B, como era esperada, as maiores taxas foram para os tratamentos com P e sem adubo. Para o fatorial e os tratamentos adicionais com 0 e 90 kg de N Figura 22C, as taxas foram crescentes em função do tempo com 0,22 g dia⁻¹ aos 25 DAE chegando a 7,99 g dia⁻¹ aos 105 DAE para o fatorial. As taxas em função do tempo entre os tratamentos de N e P, Figura 22D foram similares até os 85 DAE, a partir daí os tratamentos com P e os sem adubos tiveram taxas mais elevadas, comportamento semelhante ocorreu entre os tratamentos de lâminas Figura 22 E, com as taxas das maiores lâminas se elevando a partir dos 85 DAE. Na Figura 22F, com a mesma quantidade de água, constata-se as

menores taxas de acúmulo de biomassa para os tratamentos adicionais, os quais foram irrigados com água de abastecimento, e nos tratamentos irrigados com água residuária as maiores taxas foram para os tratamentos adubados com P e para os sem adubos.

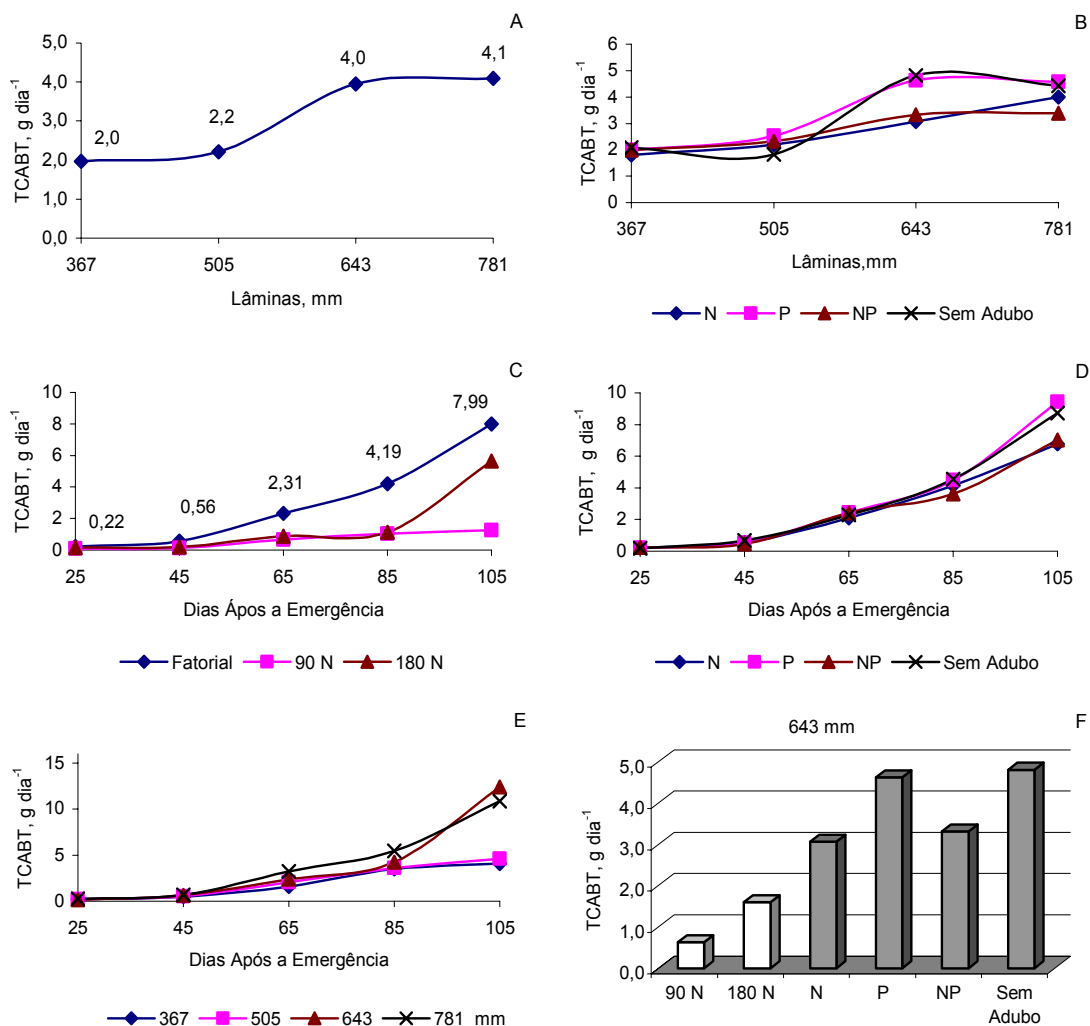


Figura 22. Taxa de crescimento da biomassa total do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento.

5.6.5. Razão de área foliar

A razão de área foliar, em função das lâminas de água Figura 23A, foi praticamente a mesma com 82,8 cm² g⁻¹ até a lâmina de 643 mm, a partir daí houve um aumento até a lâmina de 781 mm chegando a 95,4 cm² g⁻¹, revelando que maiores conteúdos de fitomassa foram reservados para a formação de folhas na lâmina maior. Entre os tratamentos de N e P Figura 23B, a ausência de adubo teve as maiores alocações de fitomassa para a formação de folhas, representando assim uma maior área

foliar útil para a fotossíntese. A RAF em função do tempo Figura 23C, para o fatorial, os valores máximos de $146,2 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ são atingidos aos 45 DAE, decrescendo em seguida, devido ao aumento da fitomassa total da planta; para os tratamentos adicionais observa-se que existe uma consonância no comportamento com o fatorial, mas com valores inferiores. Entre os tratamentos de N e P, Figura 23D, o comportamento foi praticamente o mesmo diferindo só o tratamento que não foi adubado que obteve razões maiores dos 25 aos 45 DAE, efeito verificado também entre as lâminas Figura 23E, com a RAF maior na lâmina de 781 mm. Com a mesma quantidade de água Figura 23F o valor da RAF foi maior para o tratamento adicional com 180 kg ha^{-1} , de nitrogênio; entre o fatorial o valor da RAF foi um pouco maior no tratamento que foi adubado com N e P conjuntamente.

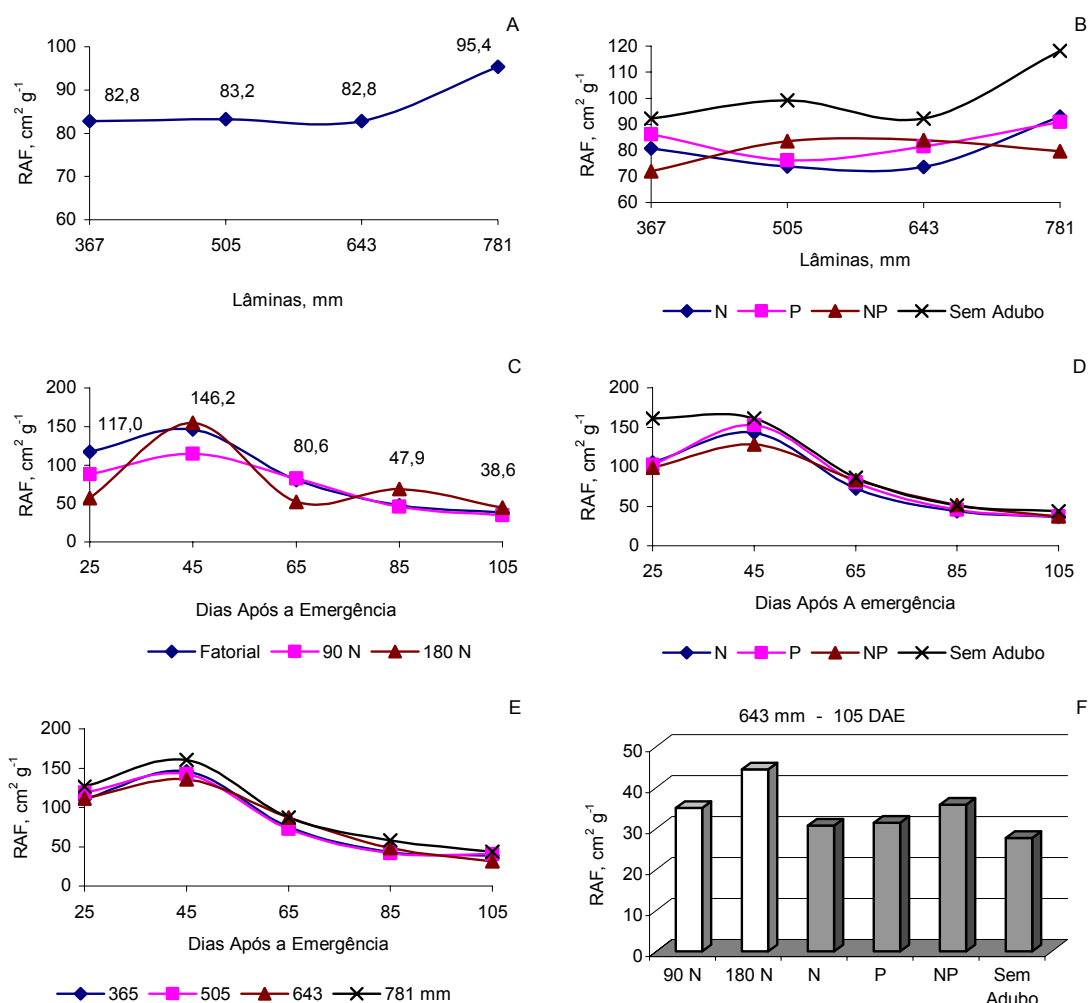


Figura 23. Razão de área foliar do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residual, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha^{-1} de nitrogênio irrigado com água de abastecimento.

5.6.6. Taxa de assimilação líquida

A taxa assimilatória líquida é o acúmulo de matéria seca por unidade de área foliar durante a fase de crescimento, não é uma medida das taxas de troca de carbono, mas pode ser usada para propósitos comparativos. A TAL representa o balanço entre o material produzido pela fotossíntese e aquele perdido através da respiração, Silva (2000).

A taxa de assimilação líquida (TAL) foi praticamente à mesma entre as lâminas de água Figura 24A, com maior taxa de $1,1 \text{ mg cm}^2 \text{ dia}^{-1}$ na lâmina de 643 mm. Entre os tratamentos de N e P Figura 24B, observa-se que houve um efeito análogo entre os tratamentos, com taxas menores para o tratamento que não foi adubado, possivelmente devido ao valor maior de RAF, baixando o valor da assimilação líquida. Na Figura 24C, as taxas de assimilação líquida são maiores aos 25 DAE, diminuindo em seguida até os 45 DAE, revelando, portanto a passagem do período vegetativo da planta para o reprodutivo.

A TAL em função do tempo Figura 24D, tem o mesmo comportamento entre os tratamentos de N e P, observando melhor a Figura 24D, percebe-se que a partir dos 45 DAE a TAL se eleva um pouco e se estabiliza até os 105 DAE, certamente isto se relaciona a uma diminuição da RAF com a alocação de fitomassa para formação dos frutos. Ocorre o mesmo entre as lâminas com a TAL em função do tempo Figura 24E, um comportamento análogo em todas as lâminas.

Com 643 mm dos 85 aos 105 DAE a taxa de assimilação líquida entre os tratamentos adicionais Figura 24F, foi maior para 180 kg ha^{-1} nitrogênio, entre o fatorial a TAL foi maior na ausência de adubo com $2,39 \text{ mg cm}^2 \text{ dia}^{-1}$ ou $23,9 \text{ g m}^2 \text{ dia}^{-1}$.

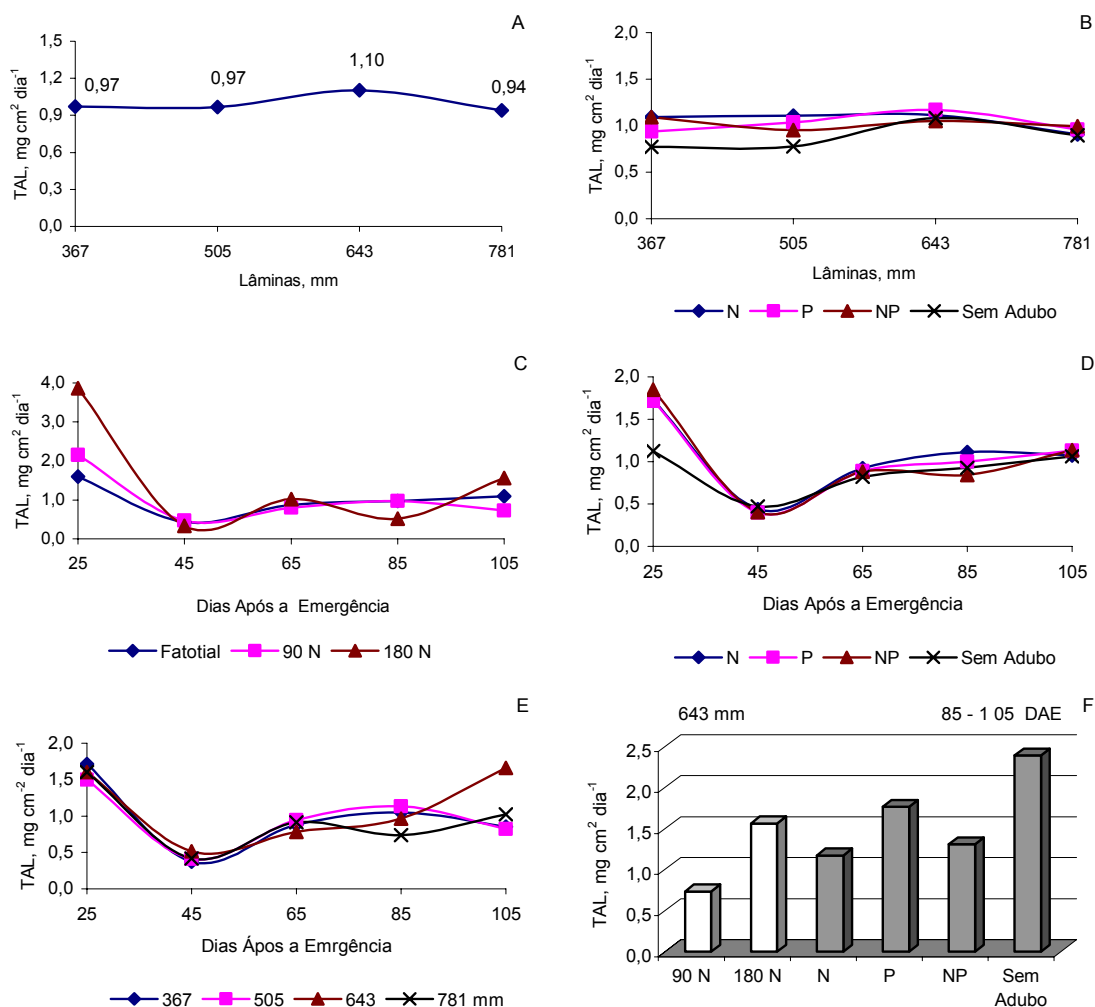


Figura 24. Taxa de assimilação líquida (TAL) da folha do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento.

5.6.7. Taxa de crescimento relativo da fitomassa fresca

A taxa de crescimento relativo da parte aérea foi crescente até a lâmina de 643 mm atingindo 0,024 cm³ cm⁻³ dia⁻¹, diminuindo um pouco na lâmina de 781 mm, Figura 25A. Entre os tratamentos de N e P, (Figura 25B), o comportamento dos efeitos dos tratamentos foram similares com um comportamento mais diferenciado com a presença conjunta de N-P. Dos 45 aos 105 DAE é observado na figura 25C, um efeito exponencial, com as taxas de crescimento diminuindo com o tempo, estimando-se que aos 60 DAE a taxa seria de 0,026 cm³ cm⁻³ dia⁻¹, valor esse superior ao achado por (BELTRÃO et al., 1990) onde estudando a cultivar CNPA precoce 1, no sertão paraibano em condições de sequeiro encontrou taxas de 0,017 cm³ cm⁻³ dia⁻¹ também aos 60 DAE.

As taxas de crescimento em função dos dias entre os tratamentos de N e P Figura 25D, também tiveram comportamentos decrescentes, não apresentando grandes diferenças entre os demais tratamentos. Na Figura 25E a taxa de crescimento relativo da parte aérea entre as lâminas de água em função do tempo foi semelhante, com taxas maiores para as lâminas de 643 e 781 mm. Para a mesma quantidade de água Figura 25F, as taxas relativas de crescimento para os tratamentos adicionais ficaram em torno de $0,010 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3} \text{ dia}^{-1}$, entre os tratamentos irrigados com água residuária, o que conseguiu maiores taxas foi o tratamento adubado com fósforo $0,024 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3} \text{ dia}^{-1}$.

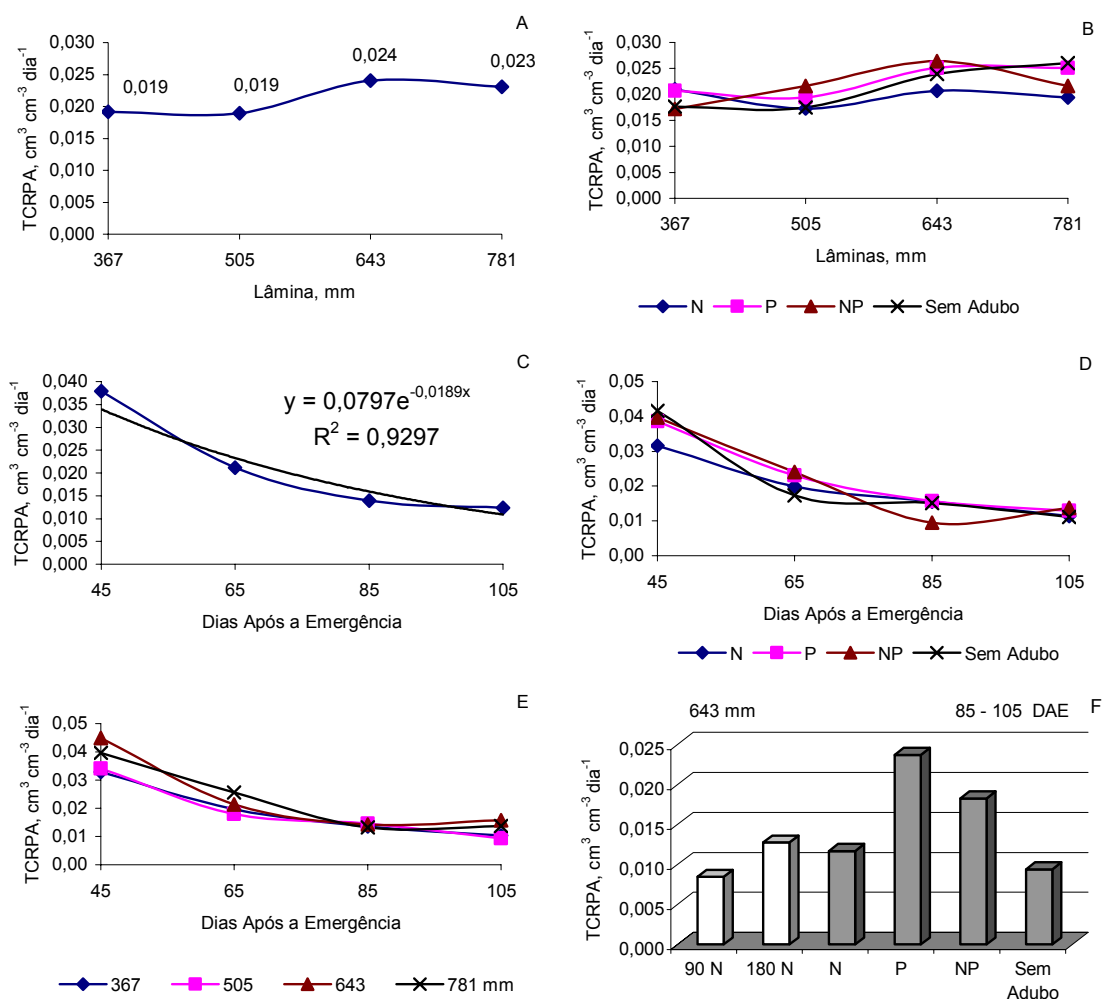


Figura 25. Taxa de crescimento relativo da fitomassa fresca do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha^{-1} de nitrogênio irrigado com água de abastecimento.

5.6.8. Taxa de crescimento relativo da área do limbo

A taxa de crescimento do limbo foliar, em função de lâminas de água aplicada ao solo Figura 26A, foi à mesma $0,079 \text{ cm}^2 \text{ cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ nas lâminas menores, aumentando em seguida para $0,084$ e $0,087 \text{ cm}^2 \text{ cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ nas lâminas de 643 e 781 mm respectivamente. Entre os tratamentos de N e P Figura 26B, observa-se um comportamento semelhante das taxas de crescimento na ausência de adubação e nas presenças individuais de N e P; na adubação conjunta de N-P houve um comportamento mais acentuado nas lâminas intermediárias de 505 e 643 mm decrescendo com o aumento da lâmina. Certamente isto está ligado ao fato que a planta estava nutrida com lâminas menores e os nutrientes contidos na água não afetaram seu crescimento, mas com o aumento da quantidade de água e mais ainda pelo aporte de nutrientes contidos na mesma, houve um efeito prejudicial na expansão do limbo foliar. Com o tempo a taxa de expansão diminuiu exponencialmente Figura 26C, chegando aos 60 DAE com uma taxa de $0,057 \text{ cm}^2 \text{ cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, não diferindo muito dos resultados encontrados por (BELTRÃO et al., 1990) onde estudando a cultivar CNPA precoce 1, no sertão paraibano, encontrou taxa de crescimento relativo foliar aos 60 DAE de $0,07 \text{ cm}^2 \text{ cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, isto de certa forma sinaliza que a cultura não teve um super-crescimento, sendo irrigada com água residuária com alto teor de nitrogênio amoniacal. Entre os tratamentos de N e P Figura 26D, em função dos dias, não se verifica amplas diferenças das taxas de crescimento relativo foliar. Na Figura 26E o comportamento das lâminas em relação às taxas de crescimento foram similares, na maior lâmina de 781 mm e através da equação exponencial, aos 60 DAE obteve-se taxa de $0,062 \text{ cm}^2 \text{ cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, e mais uma vez abaixo do valor encontrado por (BELTRÃO et al., 1990). Com a mesma lâmina de água dos 85 aos 105 DAE, Figura 26F, a taxa de crescimento relativo do limbo foi maior no tratamento adicional com 180 kg ha^{-1} , e entre o fatorial as maiores taxas ficaram para a presença de P e sem adubação, sinalizando, portanto que a ausência do adubo fosfatado não fez falta até aos 105 DAE.

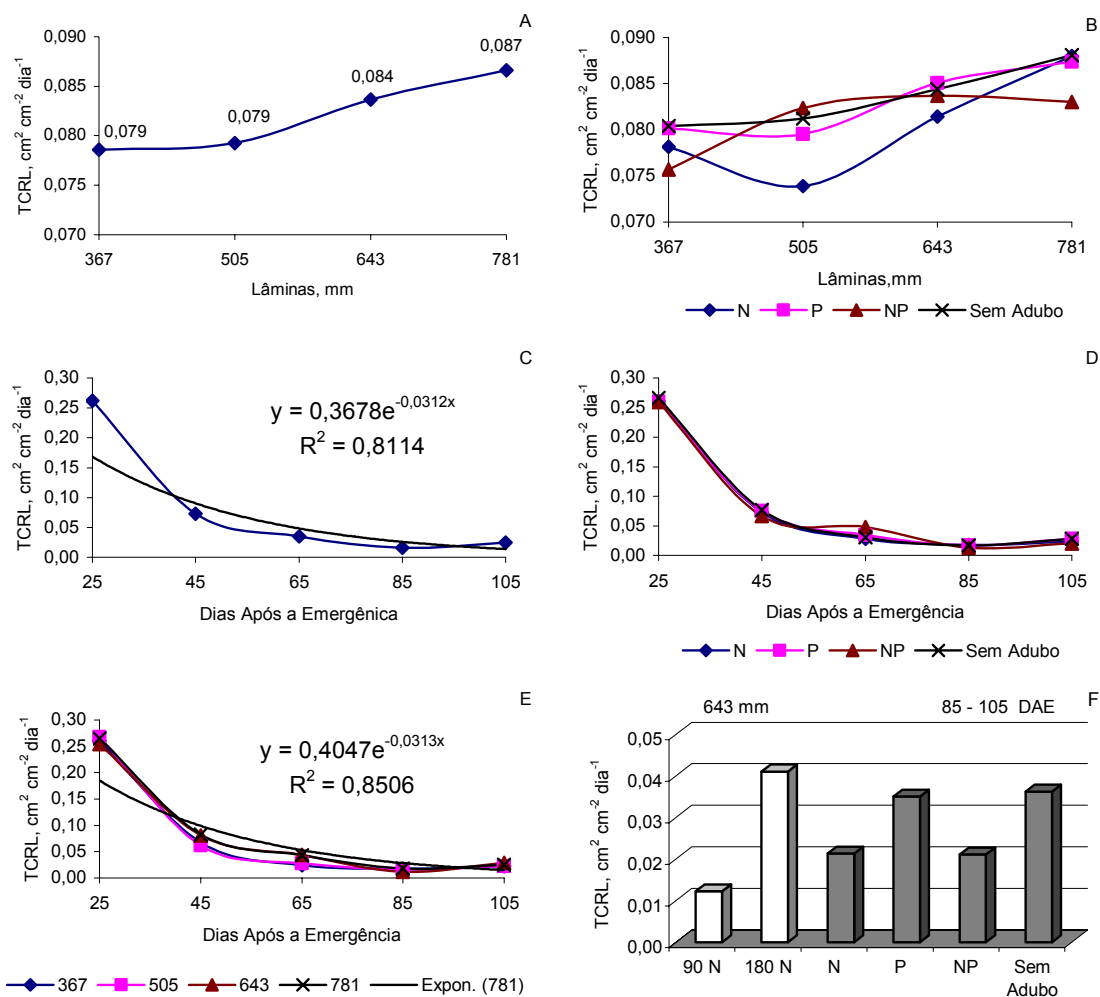


Figura 26. Taxa de crescimento relativo da área do limbo do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento.

5.6.9. Taxa de crescimento relativo caulinar

Na taxa de crescimento relativo caulinar TCR em função das lâminas Figura 27A, verifica-se que da lâmina de 367 para a 505 mm houve uma redução, em seguida atingiu a TCR caulinar mais alta de 0,086 cm cm⁻¹ dia⁻¹ diminuindo posteriormente. Entre os tratamentos de N e P Figura 27B, houve um comportamento similar entre os tratamentos na presença de nitrogênio e sem adubo, diferindo do comportamento dos tratamentos presença de P somente e N-P juntos, com isso constata-se que os tratamentos que não receberam fósforo tiveram uma redução no seu crescimento em altura na lâmina de 505 mm. A TCR caulinar em função do tempo Figura 27C, revela que houve um crescimento relativo decrescente do caule com um modelo exponencial e de acordo com a equação aos 75 DAE a taxa seria de 0,007 cm cm⁻¹ dia⁻¹, superior à

encontrada por (BELTRÃO et al., 1990), de $0,004 \text{ cm cm}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ na cultivar CNPA precoce 1, em condições de sequeiro com uma precipitação pluvial de 873,3 mm.

Entre os tratamentos de lâminas em função do tempo Figura 27D, até os 65 DAE possuíram taxas maiores as lâminas de 643 e 781 mm, a partir dos 65 DAE aos 105 DAE as TCR caulinar foram equivalentes entre as lâminas testadas. Entre os tratamentos de N e P, (Figura 27E) na presença de nitrogênio as TCR foram superiores até os 25 DAE a partir daí houve uma redução dos 45 aos 65 DAE com taxas menores que os demais tratamentos. Denota-se com isso que, até os 25 DAE a adubação nitrogenada pode ter contribuído para um maior crescimento relativo do caule. Para uma mesma quantidade de água residuária e de abastecimento de 643 mm Figura 27F, dos 85 aos 105 DAE, observa-se que os valores são maiores para a dose de 90 kg ha^{-1} , e para o fatorial as TCR caulinar foram maiores na presença de fósforo.

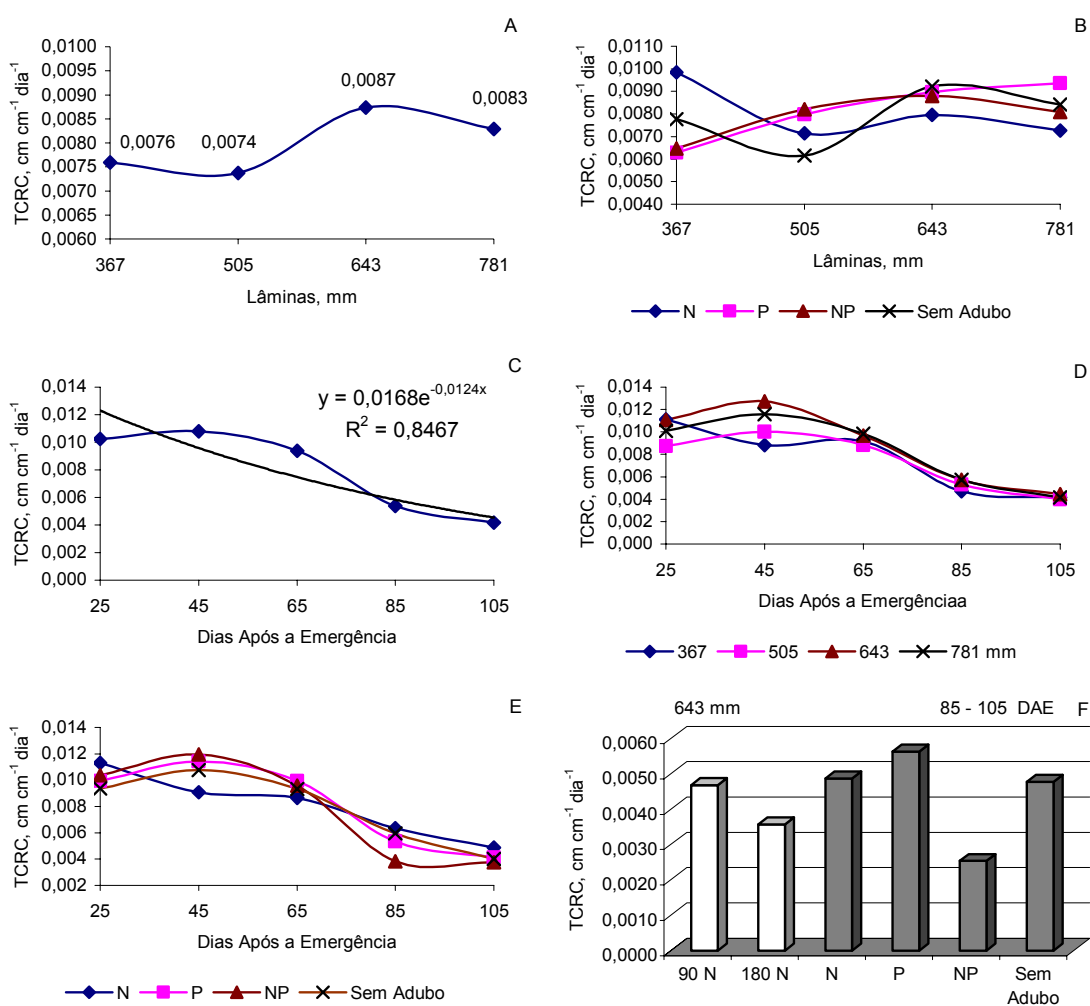


Figura 27. Taxa de crescimento relativo caulinar do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha^{-1} de nitrogênio irrigado com água de abastecimento.

5.6.10. Taxa de crescimento relativo da biomassa da folha

As taxas de crescimento relativo da biomassa da folha (TCRBF) em função das lâminas de água Figura 28A, foram praticamente à mesma nas lâminas menores em torno de $0,046 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, aumentando em seguida para $0,05 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, nas lâminas maiores. Entre os tratamentos de N e P Figura 28B, constata-se comportamento semelhante das taxas de crescimento relativo do limbo onde na ausência de adubação e nas presenças individuais de N e P, tem-se um comportamento similar, já na adubação conjunta de N-P as taxas aumentam até a lâmina de 643 mm para em seguida decrescer. Na Figura 28C, as TCRBF tem um efeito exponencial em função do tempo, e de acordo com a equação aos 75 DAE a taxa seria de $0,037 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. As TCRBF entre os tratamentos de N e P em função do tempo Figura 28D, observa-se que é decrescente até os 45 DAE aumentando um pouco até 65 DAE para os tratamentos que receberam adubo separado ou conjuntamente. Na ausência de adubação observa-se que o aumento das taxas de crescimento é entre 25 aos 45 DAE, com isso pode-se concluir que a maturidade das folhas do tratamento que não foi adubado se deu primeiro, tendo as folhas maduras mais nutrientes orgânicos e elementos minerais, servindo a partir daí de fonte para regiões da planta em crescimento. Entre as lâminas em função do tempo Figura 28E, o comportamento é similar aos tratamentos de N e P, com aumento na TCRBF aos 65 DAE. Com a mesma lâmina de 643 mm, Figura 28F observa-se uma TCRBF superior com 180 kg ha^{-1} de N, e entre os tratamentos irrigados com água residuária as taxas foram maiores na presença de P e sem adubo.

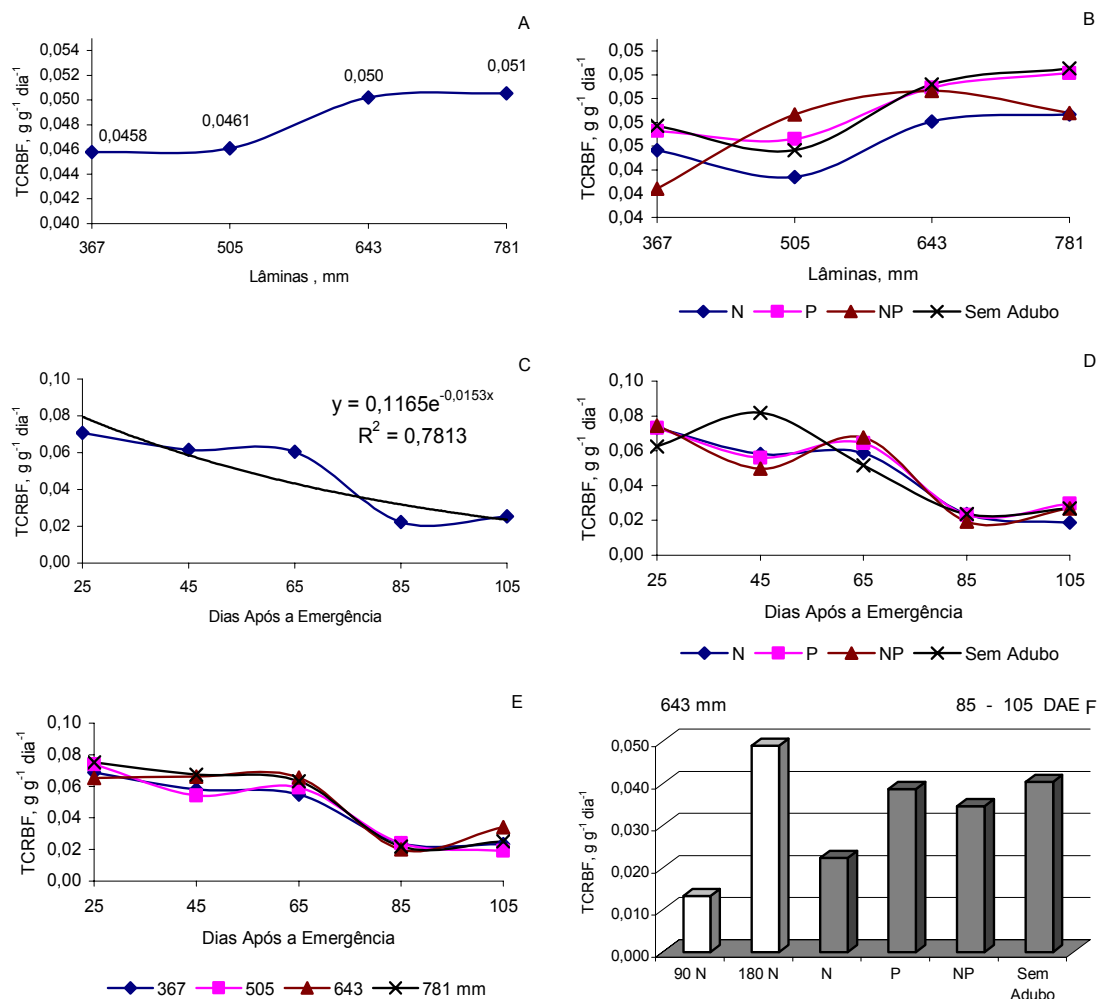


Figura 28. Taxa de crescimento relativo da biomassa da folha do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento.

5.6.11. Taxa de crescimento relativo da biomassa total

As taxas de crescimento relativo da biomassa total (TCRBT), em função das lâminas de água Figura 29A, foram equivalentes com valores em torno de 0,07 g g⁻¹ dia⁻¹. Na Figura 29B, entre os tratamentos de N e P, observa-se taxas maiores na presença de P e na ausência de adubo. As TCRBT foram decrescentes em função do tempo Figura 29C, com um pequeno aumento dos 45 aos 65 DAE; o efeito foi exponencial, e de acordo com a equação aos 75 DAE a TCRBT seria de 0,052 g g⁻¹ dia⁻¹. Entre os tratamentos de N e P em função do tempo Figura 29D, o efeito é crescente entre 45 e 65 DAE, mas de modo geral decresce em função do tempo, não existindo muitas diferenças entre os tratamentos. Entre as lâminas Figura 29E, ocorre o mesmo, mas com pequenos aumentos nos valores da TCRBT para as lâminas maiores. Na mesma quantidade de

água Figura 29F, a TCRBT, foi maior entre os tratamentos adicionais com 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio, entre o fatorial a presença de fósforo e a ausência de adubação promoveu as maiores TCRBT da planta dos 85 aos 105 DAE.

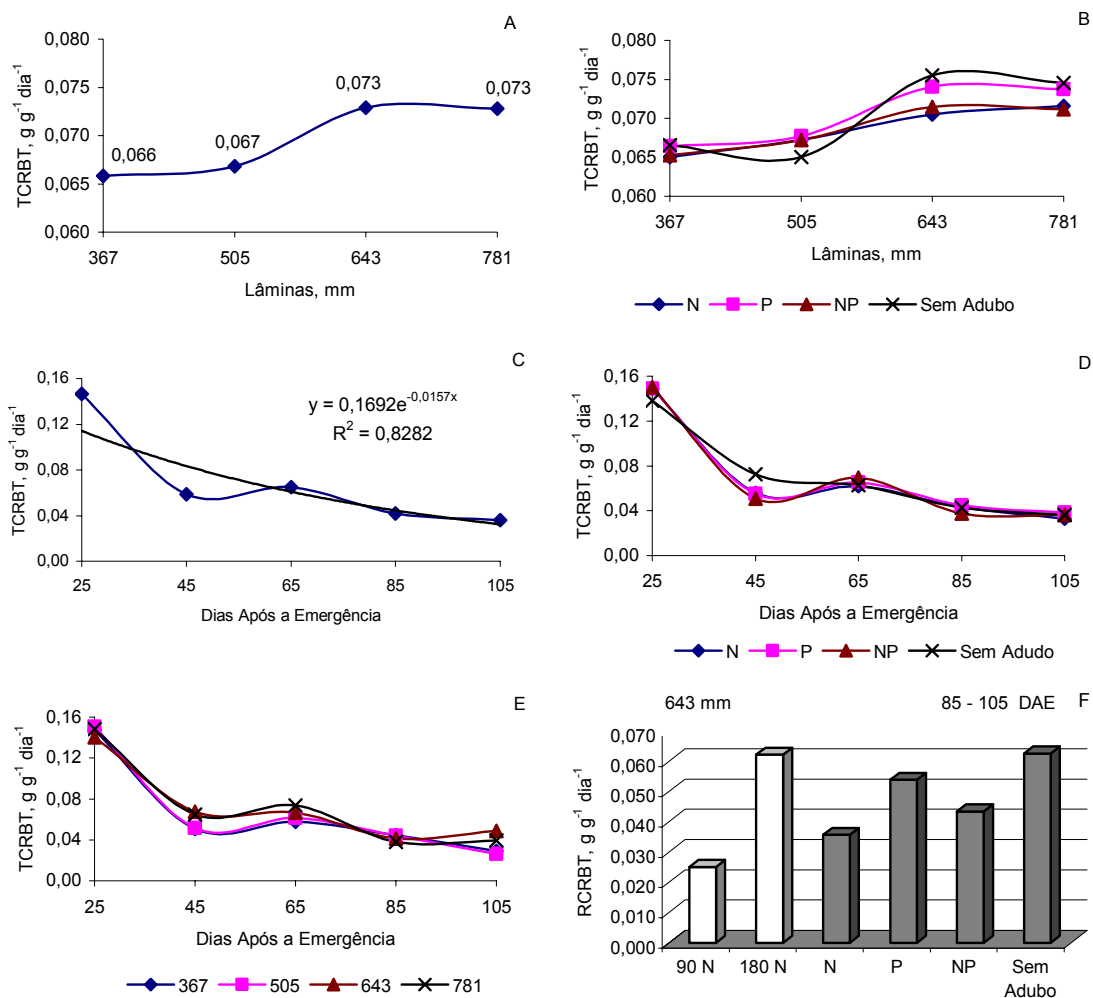


Figura 29. Taxa de crescimento relativo da biomassa total do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento.

5.7. Índice de área foliar

O IAF cresce com o aumento de área foliar, até atingir um valor a partir do qual o auto-sombreamento passa a ser prejudicial no desenvolvimento da planta. Estima a sobreposição de uma área, pela parte aérea de uma comunidade de plantas. O IAF ideal é aquele que resulta na máxima fotossíntese líquida (elevado valor TAL). Apesar de a superfície foliar ter uma enorme importância na absorção da radiação solar, o rendimento das culturas não aumenta indefinidamente com o aumento da área foliar.

Isso se deve ao fato de, a partir de um determinado IAF, existe uma área recebendo luz e realizando fotossíntese e uma área foliar auto-sombreada (FLOSS, 2004).

O índice de área foliar cresceu com as lâminas de água aplicadas ao solo com taxas de 1,89; 2,11; 2,76; e 3,87 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$, para 367, 505, 643 e 781 mm Figura 30A. Entre os tratamentos de N e P em função das lâminas aplicadas Figura 30B, observa-se o mesmo comportamento, sendo que o IAF na adubação conjunta N-P não teve o mesmo comportamento, o IAF diminuiu com o aumento das lâminas de água. Na Figura 30C, observa-se os maiores valores de IAF para o fatorial, aos 25 DAE com 0,28 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$, chegando aos 105 DAE com 5,70 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$, e em seguida os tratamentos adicionais com 180 e 90 kg ha^{-1} com valores menores de IAF em função do tempo. Nos tratamentos de N e P Figura 30D, a diferença é pequena até os 45 DAE, a partir daí há um crescimento maior do IAF na presença de P e na ausência de adubação. Entre os tratamentos de lâminas em função do tempo Figura 30E, constatam-se claramente os maiores valores de IAF para a lâmina de 781 mm, chegando a 105 DAE com IAF de 8,58 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$, seguida das lâminas menores. Com a mesma quantidade de água Figura 30F, o maior IAF foi para o tratamento adubado com fósforo e os sem adubo.

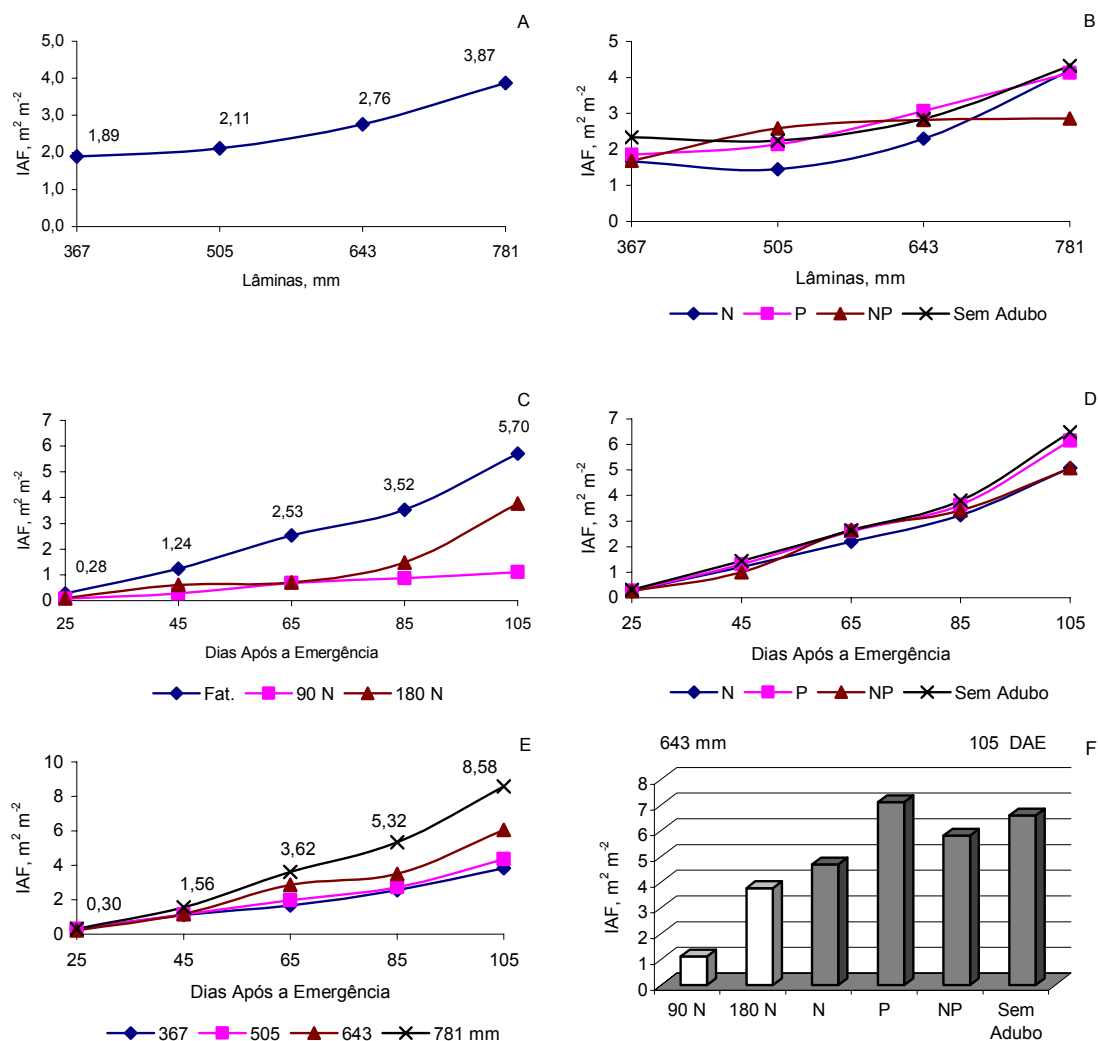


Figura 30. Índice de área foliar do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento.

5.8. Taxa de produção de matéria seca

A taxa de produção de matéria seca (TPMS) cresceu com o aumento das lâminas de água, com taxas de 0,20 g m⁻² dia⁻¹, na lâmina de 781 mm, Figura 31A. As TPMS entre os tratamentos de N e P Figura 31B, observa-se que na presença de P e sem adubo as taxas são maiores com o aumento das lâminas. Para o fatorial e os tratamentos adicionais em função do tempo Figura 31C, as TPMS são crescentes até os 85 DAE com o valor máximo de 0,33; 0,10 e 0,07 g m⁻² dia⁻¹ para o fatorial, e tratamentos adicionais com 180 e 90 kg ha⁻¹ respectivamente. Entre os tratamentos de N e P o efeito é semelhante, com valores máximos da TPMS aos 85 DAE, Figura 31D, com as maiores TPMS na presença de P e sem adubação. As TPMS foram maiores na lâmina de 781 mm Figura 31E, com TPMS máximas aos 85 DAE de 0,45 g m⁻² dia⁻¹

diminuindo para $0,33 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ aos 105 DAE. Entre os tratamentos adicionais as TPMS foram maiores para 180 kg ha^{-1} de nitrogênio; na presença de P e na ausência de adubo as TPMS foram superiores. Com a mesma quantidade de água Figura 31F as TPMS foram maiores nos tratamentos adubados com fósforo e os sem adubo.

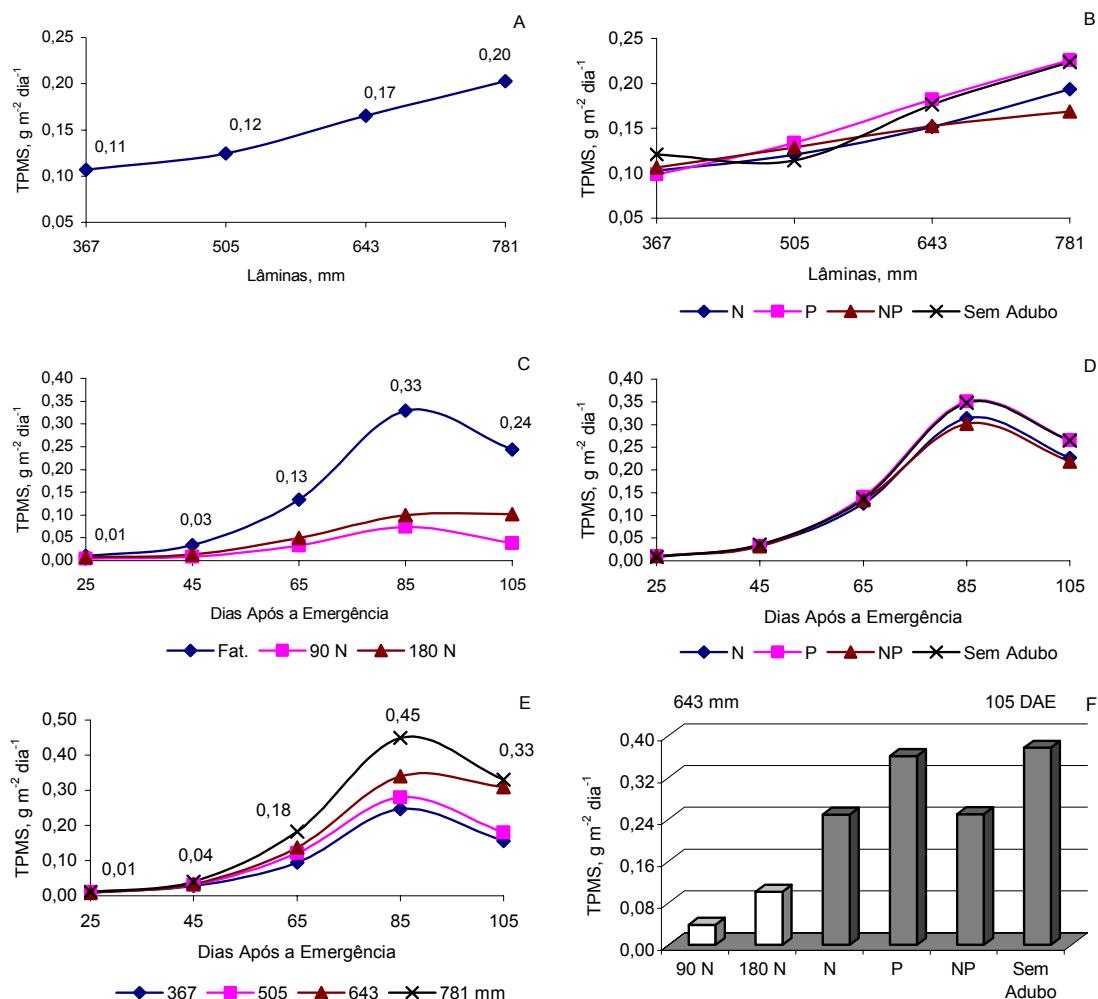


Figura 31. Taxa de produção de matéria seca do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha^{-1} de nitrogênio irrigado com água de abastecimento.

5.9. Teores de nutrientes na folha do algodoeiro aos 85 DAE

Na Tabela 26 são apresentados os teores adequados de nutrientes na folha do algodoeiro aos 85 dias após a emergência das plântulas conforme Silva et al. (1995).

Tabela 26. Teores adequados de nutrientes nas folhas do algodoeiro no período de florescimento.

Teores de macronutrientes (g kg ⁻¹)		Teores de micronutrientes (mg kg ⁻¹)	
Nitrogênio	35-43	Boro	30-50
Fósforo	2,5-4,0	Cobre	5-25
Potássio	15-25	Ferro	40-250
Cálcio	20-35	Manganês	25-300
Magnésio	3-8	Zinco	25-60
Enxofre	4-8		

Fonte: Silva et al. (1995).

O teor de nitrogênio na folha do algodoeiro aos 85 DAE, em função das lâminas de água, está acima do nível adequado Figura 32A, chegando ao teor máximo de 68,08 g kg⁻¹, na lâmina de 505 mm. Entre os tratamentos de N e P, Figura 32B, observa-se também níveis acima do adequado, nos tratamentos de N-P conjuntamente e no sem adubo o teor diminui com o aumento das lâminas; na presença de fósforo observa-se uma maior absorção de nitrogênio.

Para o teor de fósforo em função das lâminas aplicadas Figura 32C, na lâmina de 643 mm o teor atinge o valor considerado adequado por Silva et al. (1995) de 2,51 g kg⁻¹, e nas demais lâminas os teores não são muito diferentes ficando abaixo do ideal. Na Figura 32D, o teor de fósforo diminuiu com o aumento das lâminas no tratamento adubado com nitrogênio; na lâmina de 643 mm, o teor de fósforo nos tratamentos adubado com N-P e nos sem adubo são maiores, diminuindo em seguida na lâmina de 781 mm. Os baixos teores de fósforo mesmo com a aplicação do adubo e em lâminas maiores podem ser explicados por um maior crescimento e desenvolvimento da planta, sendo translocados maiores quantidades do nutriente para outras partes do vegetal, diminuindo assim a concentração na folha.

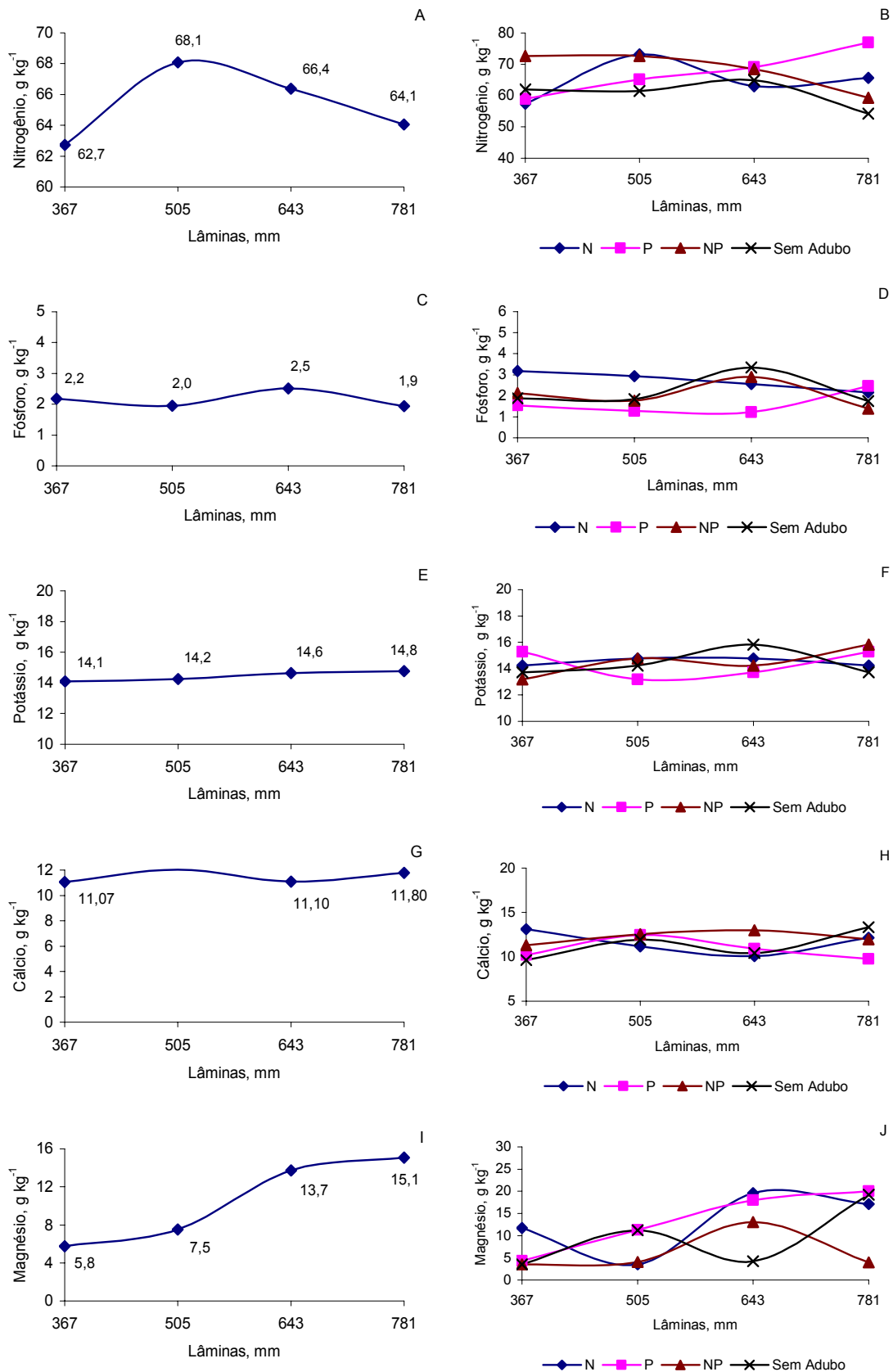
Os teores de potássio não foram muito destoantes com o aumento das lâminas de água, Figura 32E, chegando à lâmina de 781 mm com teor de potássio na folha de 14,77 g kg⁻¹, muito próximo do mínimo adequado de 15 g kg⁻¹. Entre os tratamentos de N e P Figura 32F, o menor teor de potássio de 13,19 g kg⁻¹, foi encontrado no tratamento adubado com fósforo na lâmina de 505 mm, e o maior valor no tratamento sem adubo com teor de 15,82 g kg⁻¹. Os teores de cálcio ficaram abaixo do valor adequado, com teor mais alto de 12,03 g kg⁻¹, na lâmina de 505 mm, Figura 32G. Entre os tratamentos de N e P Figura 32H, o tratamento sem adubo atingiu o teor mais alto 13,33 g kg⁻¹ na lâmina de 781 mm. Houve um aumento dos teores de magnésio com o aumento das lâminas Figura 32I, sendo os teores nas lâminas de 367 e 505 mm dentro da faixa ideal

e os teores nas lâminas de 643 e 781 mm acima dos valores ideais. Entre os tratamentos de N e P Figura 32J, na presença de fósforo observou-se um efeito mais uniforme do aumento dos teores de magnésio com o aumento das lâminas de água; nos demais tratamentos não se observam tendência.

Os teores de enxofre foram muito altos comparando-se aos adequados apresentados na Tabela 27. Na Figura 32L o maior teor de enxofre de 29,27 g kg⁻¹, foi atingido na lâmina de 643 mm. Entre os tratamentos de N e P Figura 32M, observa-se que os tratamentos sem adubo e N-P juntos têm um mesmo comportamento atingindo os maiores teores de enxofre na lâmina de 643 mm e diminuindo em seguida na lâmina de 781 mm. Os elevados teores de enxofre encontrados na folha do algodoeiro certamente estão associados ao grande aporte de enxofre no solo pelas águas de irrigação tanto pelo efluente como também pela água de abastecimento.

Não se observou grande diferença do teor de sódio na folha do algodoeiro em função das lâminas de água Figura 32N, o maior teor de 10,8 foi encontrado na lâmina de 505 mm. Nos tratamentos com ausência de adubo Figura 32O, constata-se que houve um aumento do teor de Na⁺, com o aumento das lâminas de água residuária, chegando à lâmina de 781 mm com teores de sódio na folha de 10,60 g kg⁻¹.

Fonseca (2001), avaliando o potencial de uso do efluente secundário de esgoto tratado (EET), como fonte de nitrogênio e água em um Latossolo Vermelho distrófico cultivado com milho, concluiu que: Para as plantas que receberam adubação completa, o efluente mostrou-se eficaz em substituir a água de irrigação, sem qualquer efeito negativo na produção de matéria seca e proporcionou, ainda, maior acúmulo de K⁺, P e Na⁺ nas folhas.



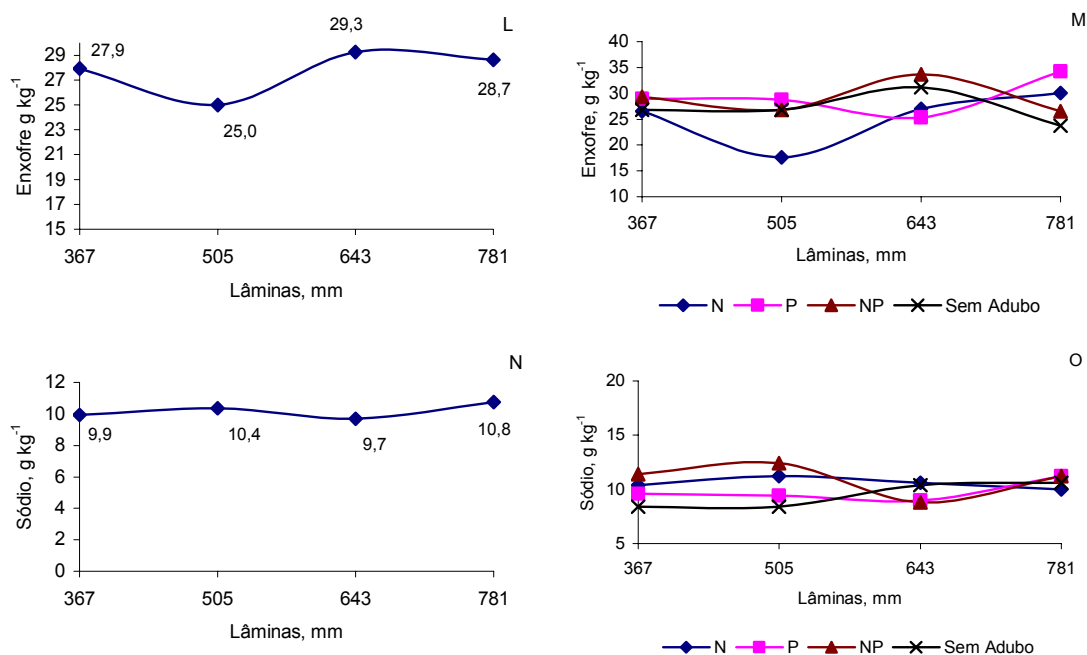


Figura 32. Teores de macronutrientes e do sódio nas folhas do algodoeiro cultivar BRS 200 aos 85 DAE.

Os teores de nitrogênio na folha do algodoeiro (Figura 33A), tanto das plantas irrigadas com água de abastecimento e residuária estiveram acima dos teores considerados adequados, Tabela 26, revelando que com uma adubação de 90 e 180 kg ha⁻¹, os teores de nitrogênio na folha estiveram dentro dos níveis considerados normais, mas as plantas não tiveram um crescimento e desenvolvimento igual ao dos tratamentos irrigados com água residuária, mesmo quando os teores de nitrogênio estiveram muito próximos entre os tipos de água. Durante o cultivo foi observado visualmente até aproximadamente aos 85 DAE a deficiência de nitrogênio nas folhas do algodoeiro nos tratamentos irrigados com água de abastecimento, fato não observado nos tratamentos irrigados com água residuária e também não foram encontradas deficiências de nenhum elemento químico essencial para o desenvolvimento da planta.

Os teores de fósforo nos tratamentos irrigados com água potável foram maiores que os irrigados com água residuária Figura 33B, com teor de 6,16 g kg⁻¹ de fósforo no tratamento com 180 kg ha⁻¹ de N. O teor mais alto de fósforo nos tratamentos adicionais, por sua vez não proporcionou produtividade maior ou bom desenvolvimento; os altos teores de P poderão ser devido ao menor crescimento da planta, sendo concentrado assim maior quantidades do nutriente na folha. Observa-se ainda na Figura 33B, com a aplicação de P os teores na folha foram ainda menores.

O tratamento adicional com 180 kg ha^{-1} de N, e o sem adubo, com teores de potássio na folha de $17,92$ e $15,82 \text{ g kg}^{-1}$, Figura 33C, foram os únicos a ter os valores dentro da faixa ideal de potássio conforme a Tabela 26, com os teores dos demais tratamentos muito próximos dos ideais mencionados. Informando que durante a condução do experimento não foi observado deficiência de potássio nas folhas do algodoeiro. O teor de cálcio entre os tratamentos adicionais e o fatorial não foram muito diferentes Figura 33D, ficando abaixo do recomendado. O teor de magnésio esteve mais alto em relação à faixa ideal, Figura 33E, os teores dos tratamentos adicionais foram $11,20$ e $9,50 \text{ g kg}^{-1}$, menores em relação aos tratamentos de N e P e mais altos em relação ao tratamento sem adubo com teor de $4,20 \text{ g kg}^{-1}$. Os teores de enxofre estiveram mais altos em relação à faixa ideal, Figura 33F, variaram de $42,54$ a $25,28 \text{ g kg}^{-1}$, foram mais altos nos tratamentos adicionais em relação aos tratamentos do fatorial.

Observa-se na Figura 33G, menor teor de sódio na folha do algodoeiro de $5,76$ e $7,17 \text{ g kg}^{-1}$, nos tratamentos irrigados com água de abastecimento, sendo inferiores aos teores nos tratamentos do fatorial irrigados com água residuária que chegaram a $10,60$ e $10,40 \text{ g kg}^{-1}$, na presença só de nitrogênio e sem adubo. Busch & Turner (1967), encontraram na folha do algodoeiro de fibra curta sob irrigação por aspersão diurna, aspersão noturna e em irrigação por superfície, teores de $7,3$; $4,6$ e $4,4 \text{ g kg}^{-1}$ respectivamente com condutividade elétrica da água de $4,4 \text{ dS m}^{-1}$ contendo 552 mg L^{-1} de sódio.

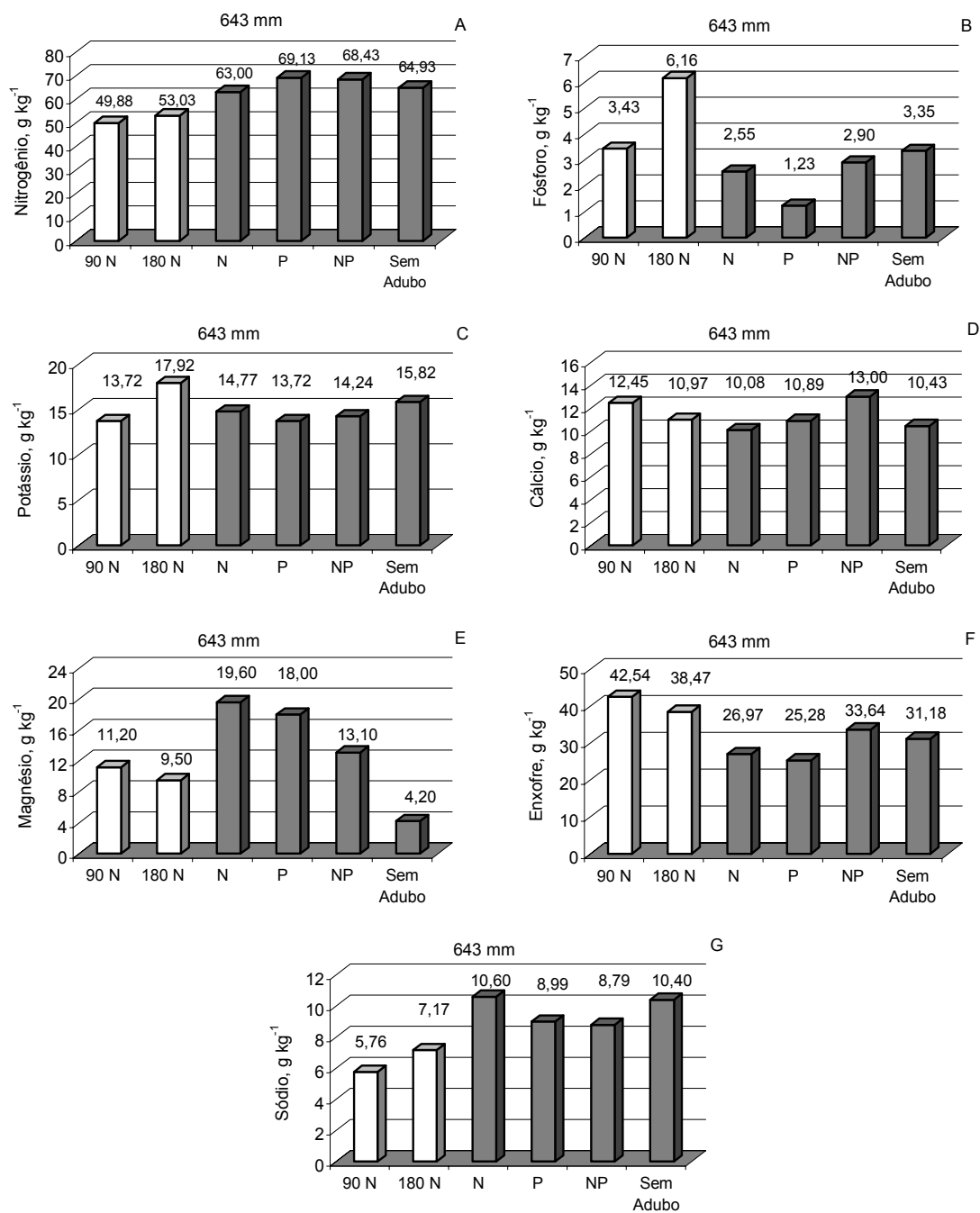


Figura 33. Teores de macronutrientes e do sódio nas folhas do algodoeiro cultivas BRS 200 aos 85 DAE, irrigado com água potável e efluente de esgoto doméstico.

5.10. Micronutrientes na folha do algodoeiro

Os teores de boro na folha foram muito altos se comparado com a faixa ideal na Tabela 26, com teores de 109,4 mg kg⁻¹ e 115,3 mg kg⁻¹, nas lâminas de 367 e 781 mm respectivamente Figura 34A; na Figura 34B, observa-se altos teores de boro nas lâminas de 643 e 781 mm no tratamento sem adubo de 110 e 122 mg kg⁻¹ respectivamente. Os teores de cobre ficaram dentro da faixa ideal não tendo grandes variações com teor

máximo de $16,45 \text{ mg kg}^{-1}$ na lâmina de 781 mm Figura 34C; entre os tratamentos de N e P Figura 34D, não houve muita diferença nos teores de cobre.

Os teores de ferro cresceram com o aumento das lâminas de água, e ficaram muito acima da faixa ideal, com teores de $128,3$ e $158,2 \text{ mg kg}^{-1}$ nas lâminas de 367 e 781 mm, Figura 34E; entre os tratamentos de N e P Figura 34F, na ausência de adubo constata-se aumentos mais uniformes dos teores de ferro. Os teores de zinco nas lâminas de água foram $25,3$ e $23,4 \text{ mg kg}^{-1}$ para 367 e 781 mm estando na faixa ideal só na lâmina de 367 mm Figura 34G, mas não se distanciando muito dos teores adequados. Na Figura 34H, os teores de Zn nos tratamentos adubados com N e N-P juntos foram maiores, os teores de zinco na folha do tratamento sem adubo foram menores, mas não comprometendo o desenvolvimento da planta.

Os teores de manganês na folha do algodoeiro ficaram dentro da faixa adequada, chegando ao valor máximo de $257,8 \text{ mg kg}^{-1}$ na lâmina de 505 mm Figura 34I, entre os tratamentos de N e P, Figura 34J, os tratamentos adubados só com nitrogênio e os sem adubo tiveram um mesmo comportamento.

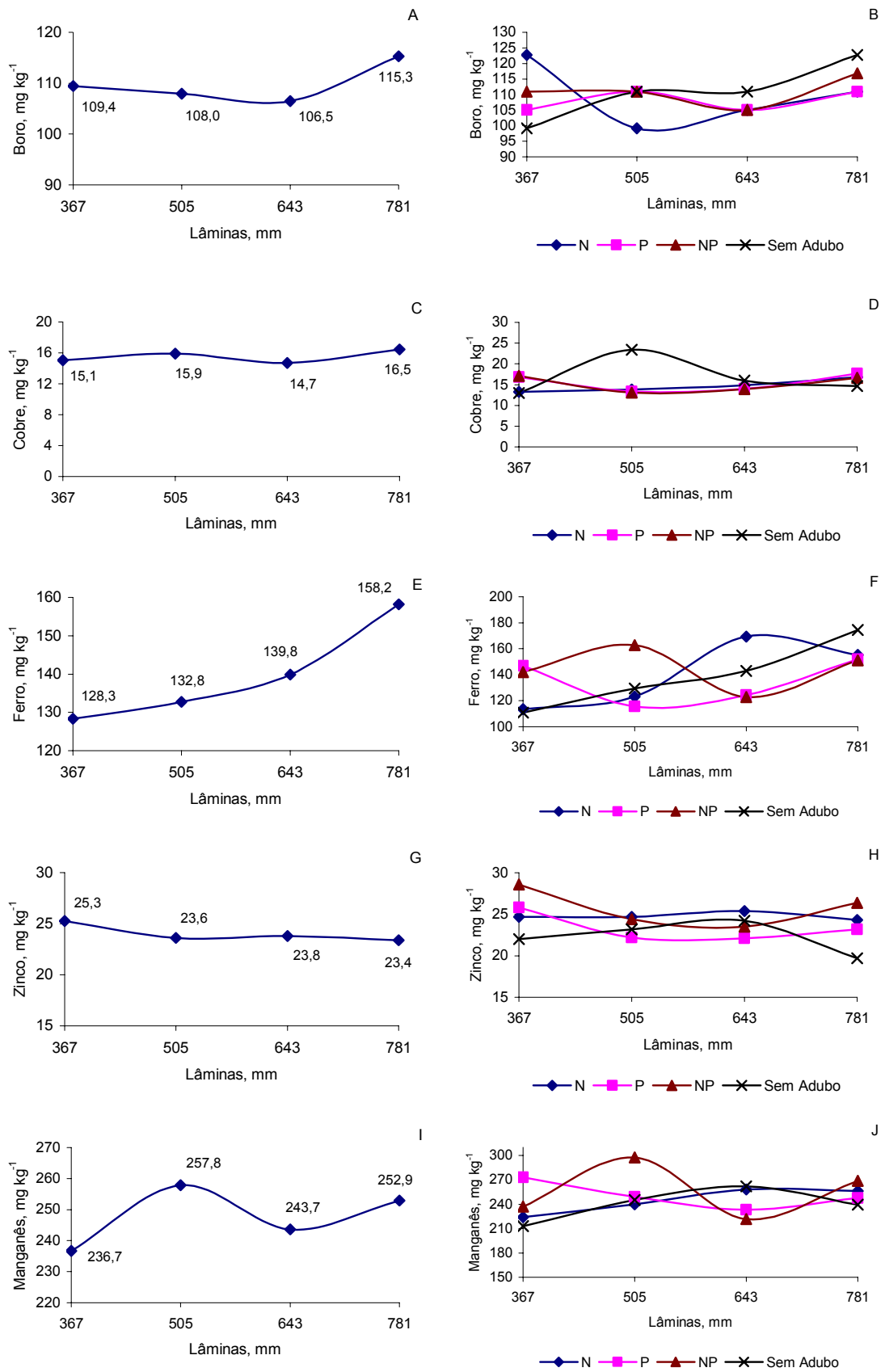


Figura 34. Teores de micronutrientes nas folhas do algodoeiro cultivar BRS 200 aos 85 dias após a emergência.

Os teores de sódio foram muito elevados em relação aos ideais, o teor de boro Figura 35A foi maior nos tratamentos irrigados com água de abastecimento com teores de 128,60 e 116,80 mg kg⁻¹, certamente devido aos teores existentes no solo, que foram suficientes para suprir a planta e o baixo porte da planta nos tratamentos adicionais fazendo com que o nutriente estivessem mais concentrados. Os teores de cobre estiveram dentro da faixa preconizada na Tabela 27, Figura 35B, chegando ao teor mais alto no tratamento adicional com 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio, não havendo, portanto grandes diferenças entre os demais tratamentos. O teor de ferro esteve dentro da faixa ideal de 40 - 400 mg kg⁻¹ Figura 35C, com teores mais acentuados nos tratamentos do fatorial, na presença só de nitrogênio chegando a 169,30 mg kg⁻¹. Os teores de zinco foram maiores entre os tratamentos adicionais com teores dentro da faixa ideal, Figura 35D; já entre o fatorial os teores de zinco estiveram a abaixo exceto o tratamento na presença só de nitrogênio com 25,40 mg kg⁻¹. O teor de manganês na folha do algodoeiro esteve dentro da faixa ideal Figura 35E, exceto os tratamentos irrigados com água de abastecimento com teores de 418,80 e 371,30 mg kg⁻¹, mais altos que o fatorial.

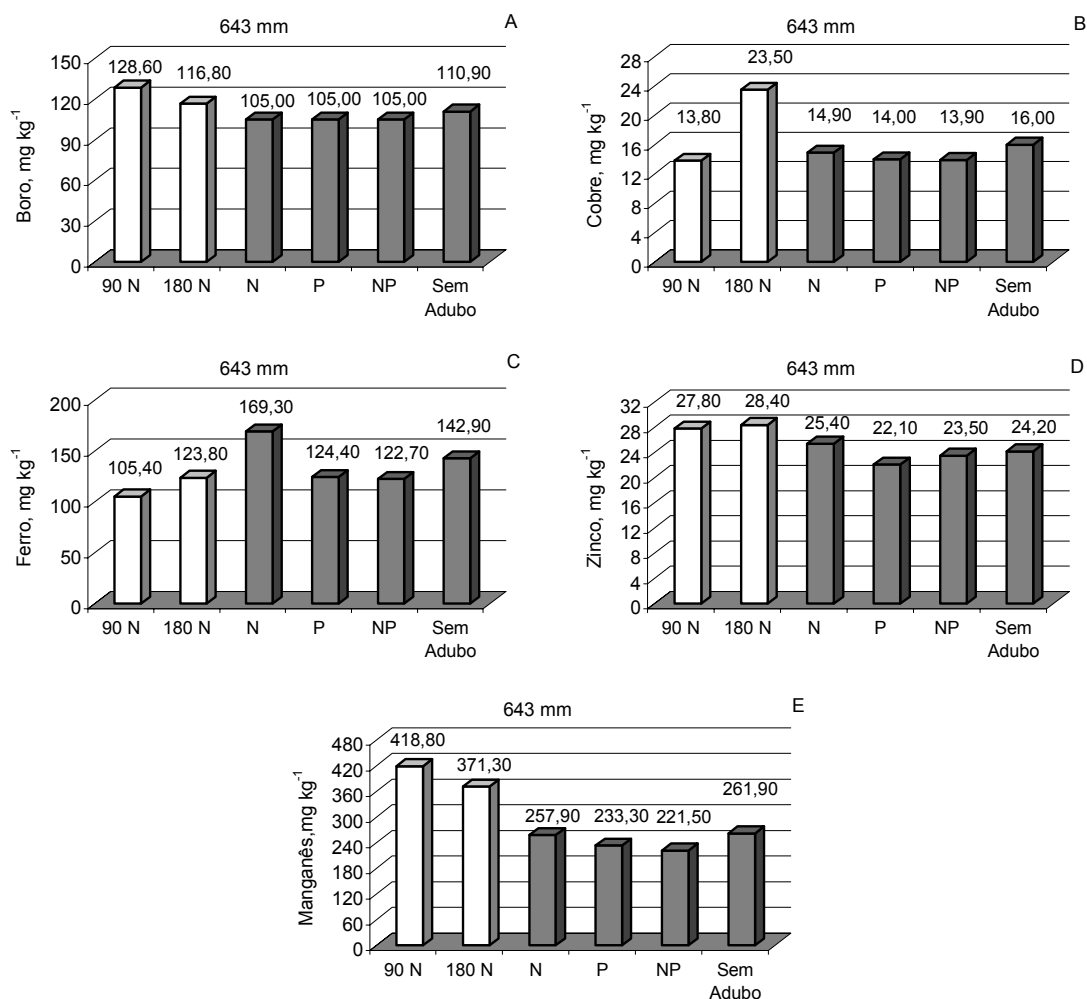


Figura 35. Teores de micronutrientes nas folhas do algodoeiro cultivar BRS 200 aos 85 DAE, irrigado com 643 mm de água de abastecimento e efluente de esgoto.

5.11. Teores de chumbo e cádmio na folha do algodoeiro

Foi verificado teor de chumbo na folha do algodoeiro de 1,8, 1,3 e 9,1 mg kg⁻¹ nas lâminas de 505, 643 e 781 mm, Figura 36A; entre os tratamentos de N e P Figura 36B, constata-se teores de chumbo nos tratamentos sem adubo nas lâminas de 505 e 781 mm, e na presença de fósforo e N-P juntos, na lâmina de 643 mm. Foi encontrado teores de cádmio de 0,5 e 28 mg kg⁻¹ na lâmina de 643 e 781 mm Figura 36C; entre os tratamentos de N e P Figura 36D, só foi encontrado cádmio na presença de N e P separados. Devido à variação da presença dos teores de chumbo e cádmio nas folhas do algodoeiro entre os tratamentos, certamente é possível existir teores de chumbo e cádmio no solo em toda a área irrigada com efluente, mas com diferentes quantidades diminuindo assim a absorção pelo vegetal. Entre os tratamentos adicionais foi encontrado cádmio 45,1 mg kg⁻¹, na dosagem de 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio, supostamente

devido ao cádmio residual de outros cultivos ou o cádmio presente no adubo fosfatado. Com a mesma quantidade de água aplicada Figuras 36E e 36F, observa-se que só foi encontrado chumbo na folha do algodoeiro aos 85 DAE nos tratamentos com a presença só de fósforo e na presença de N-P juntos com teores de 3,10 e 2,20 mg kg⁻¹ respectivamente, não sendo encontrado chumbo nos demais tratamentos. O cádmio foi encontrado em um dos tratamentos irrigados com água de abastecimento com 45,10 mg kg⁻¹, e no fatorial na presença de fósforo desta vez com teor menor de 1,8 mg kg⁻¹.

Segundo Bouwer & Chaney (1974), seria necessário um século de irrigação com os efluentes de esgoto para que os teores de metais pesados atingissem valores equivalentes daqueles encontrados em um solo que recebeu aplicação de biossólido por apenas um ano. Porém, Friedel et al. (2000) verificaram que, em solos que receberam efluentes de esgoto tratado por mais de 80 anos, apesar de ter havido aumento nos teores totais de metais pesados, a qualidade biológica do solo não chegou a ser afetada. Então, é crucial o monitoramento dos teores de metais pesados ao longo do tempo em solos utilizados para o propósito da disposição de resíduos (CAMERON et al., 1997), inclusive, solos irrigados com efluentes de esgoto tratados (BOND, 1998).

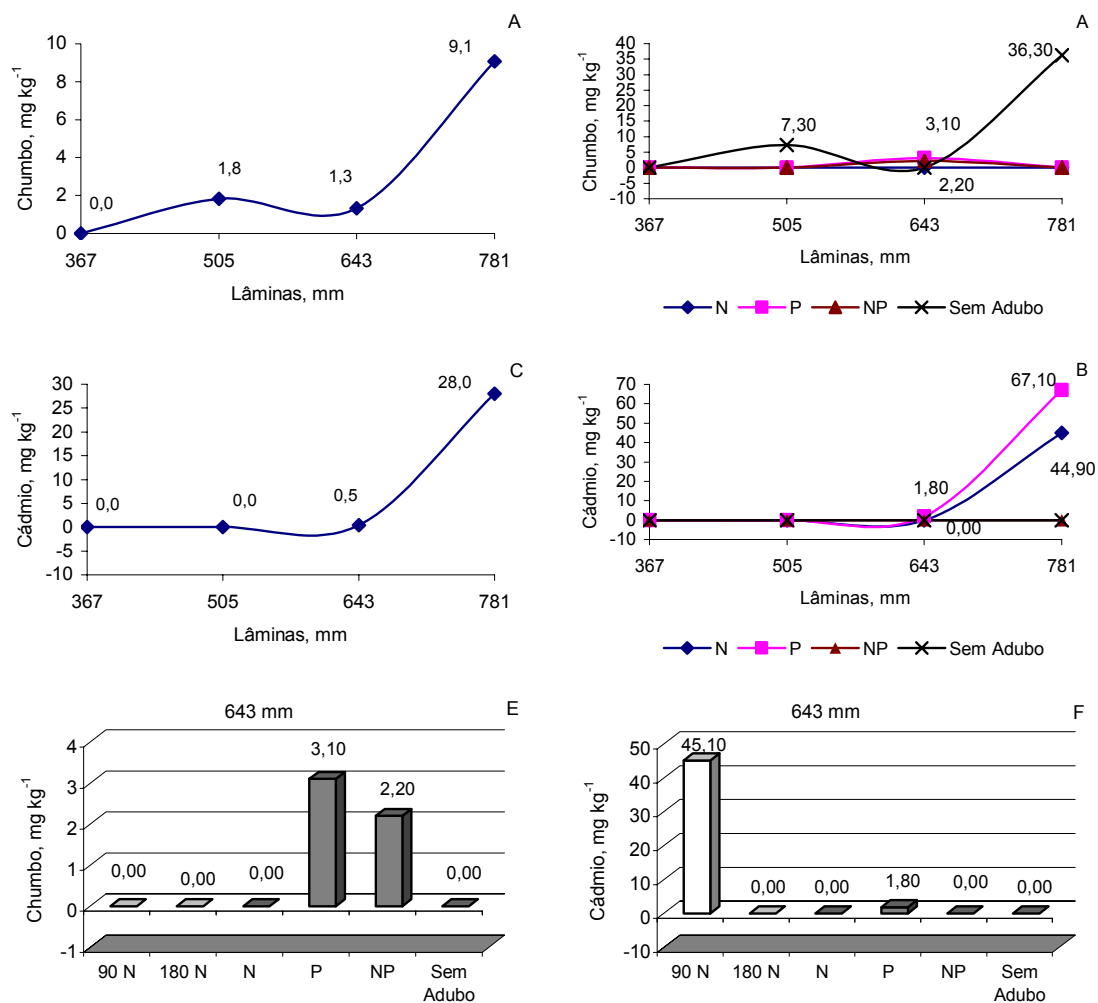


Figura 36. Teores de chumbo e cádmio nas folhas do algodoeiro cultivar BRS 200 aos 85 DAE.

5.12. Componentes da produção

Na Tabela 27, observa-se o resumo da análise de variância para as variáveis de produção peso de um capulho, peso de 100 sementes, percentagem de fibra, algodão em caroço, em pluma e sementes, onde se verifica que não houve efeito significativo das lâminas testadas sobre o peso de cem sementes e percentagem de fibra. As lâminas testadas influenciaram de forma significativa ($p \leq 0,01$) sobre o peso do algodão em caroço em pluma e sementes. Não houve efeito dos tratamentos ausência e presença dos adubos de nitrogênio e fósforo sobre as variáveis analisadas. Houve interação entre lâminas e fósforo e entre nitrogênio e fósforo sobre o peso de cem sementes e de lâmina e nitrogênio sobre a percentagem de fibra.

No contraste do fatorial versus os tratamentos adicionais houve efeito significativo para todas as variáveis analisadas de produção. Já para o contraste entre os

tratamentos adicionais não houve efeito significativo para nenhuma variável. Houve efeito de bloco para o peso do algodão em pluma. Os coeficientes de variação foram bons.

Tabela 27. Resumo da análise de variância do peso de um capulho e de cem sementes, percentagem de fibra, algodão em caroço, em pluma e sementes do algodoeiro irrigado sob diferentes lâminas de água residuária, com e sem nitrogênio e fósforo.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios					
		Peso 1 capulho	Peso 100 Sementes	Fibra	A.Caroço	A.Pluma	Sementes
Lâminas (L)	3	1,37 **	0,52 ns	3,25 ns	7,62 **	1,05 **	3,00 **
Nitrogênio (N)	1	0,0001 ns	0,73 ns	2,10 ns	0,59 ns	0,06 ns	0,27 ns
Fósforo (P)	1	0,85 ns	0,76 ns	0,23 ns	0,06 ns	0,005 ns	0,03 ns
L x N	3	0,59 ns	0,49 ns	6,64 *	0,04 ns	0,01 ns	0,02 ns
L x P	3	0,32 ns	0,97 *	1,84 ns	0,09 ns	0,02 ns	0,02 ns
N X P	1	0,66 ns	1,28 **	0,59 ns	0,25 ns	0,04 ns	0,08 ns
L x N x P	3	0,05 ns	0,04 ns	1,36 ns	0,04 ns	0,01 ns	0,01 ns
Fatorial vs Adicional	1	5,30 **	8,56 **	8,60 *	10,54 **	1,48 **	4,11 **
Adicionais	1	0,77 ns	0,42 ns	6,99 ns	0,001 ns	0,0001 ns	0,003 ns
Tratamento	17	0,86 **	1,05 **	3,40 *	2,05 **	0,28 **	0,80 **
Bloco	2	0,28 ns	0,49 ns	4,76 ns	0,88 ns	0,18 *	0,25 ns
Residuo	34	0,22	0,22	1,78	0,32	0,04	0,124
Total	53						
C.V (%)		7,42	4,13	3,42	21,92	21,73	22,40

*, **, ns. Significativo para 5%, 1% e não significativo, respectivamente pelo Teste F.

Na Tabela 28, observa-se os valores médios das variáveis de produção para cada fator estudado, em que as médias para os dois fatores nitrogênio e fósforo foram maiores em valores absolutos com a ausência dos adubos, exceto para a percentagem de fibra, observa-se, portanto que mesmo na ausência dos adubos a produção de algodão em caroço foi estatisticamente à mesma.

No contraste do fatorial versus os tratamentos adicionais observa-se que as médias do fatorial só não foram maiores para percentagem de fibra quando comparado com as médias dos tratamentos adicionais, mas o restante das médias das variáveis foram superiores com médias de 2,74 e 1,33 t ha⁻¹ de algodão em caroço, e de 1,06 e 0,53 t ha⁻¹ de algodão em pluma para o fatorial vs tratamentos adicionais respectivamente. Já entre os tratamentos adicionais as médias foram superiores em valores absolutos para o tratamento que recebeu 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio, exceto para percentagem de fibra e algodão em pluma.

Tabela 28. Valores médios do peso de um capulho e de cem sementes, percentagem de fibra, algodão em caroço, algodão em pluma e sementes em função de lâminas de água residuária, nitrogênio e fósforo na cultura do algodoeiro.

Fatores	Peso 1 capulho (g)	Peso 100 Sementes (g)	Fibra (%)	A. Caroço (t ha ⁻¹)	A. Pluma (t ha ⁻¹)	Sementes (t ha ⁻¹)
Lâminas (mm)						
781	6,99	11,83	38,11	3,77	1,44	2,33
643	6,64	11,83	38,67	2,94	1,13	1,80
505	6,41	11,48	39,47	2,19	0,86	1,33
367	6,21	11,35	39,26	1,95	0,77	1,18
Nitrogênio kg ha⁻¹						
0	6,56 a	11,703 a	38,71 a	2,84 a	1,09 a	1,74 a
90	6,55 a	11,457 a	39,12 a	2,62 a	1,02 a	1,59 a
Fósforo kg ha⁻¹						
0	6,69 a	11,706 a	38,84 a	2,77 a	1,07 a	1,70 a
60	6,42 a	11,454 a	38,99 a	2,70 a	1,05 a	1,64 a
Fatorial vs Tratamentos Adicionais						
Fatorial	6,56 a	11,58 a	38,92 b	2,74 a	1,06 a	1,68 a
Adicionais	5,56 b	10,31 b	40,19 a	1,33 b	0,53 b	0,80 b
Adicional 90 kg ha ⁻¹	5,20 a	10,05 a	41,27 a	1,32 a	0,54 a	0,77 a
Adicional 180 kg ha ⁻¹	5,92 a	10,58 a	39,11 a	1,35 a	0,53 a	0,82 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5.12.1. Peso de um capulho

O peso de um capulho aumentou com as lâminas de água, Figura 37A, o efeito foi linear com acréscimos no peso de 0,0019 g por mm de água aplicada ao solo. Entre os tratamentos de N e P Figura 37B, o peso de um capulho para o tratamento sem adubação foi inferior aos demais na lamina de 367 mm, aumentando em seguida e chegando na lâmina de 781 mm com o peso mais elevado do que os outros tratamentos, ao passo que o peso do capulho na adubação conjunta de N-P se manteve relativamente constante, porém diminuindo com a lâmina maior. Com a mesma quantidade de água Figura 37C, o maior peso de um capulho entre os tratamentos adicionais foi para o que recebeu 180 kg ha⁻¹ de N; e entre os tratamentos do fatorial os valores foram muito próximos e mais altos.

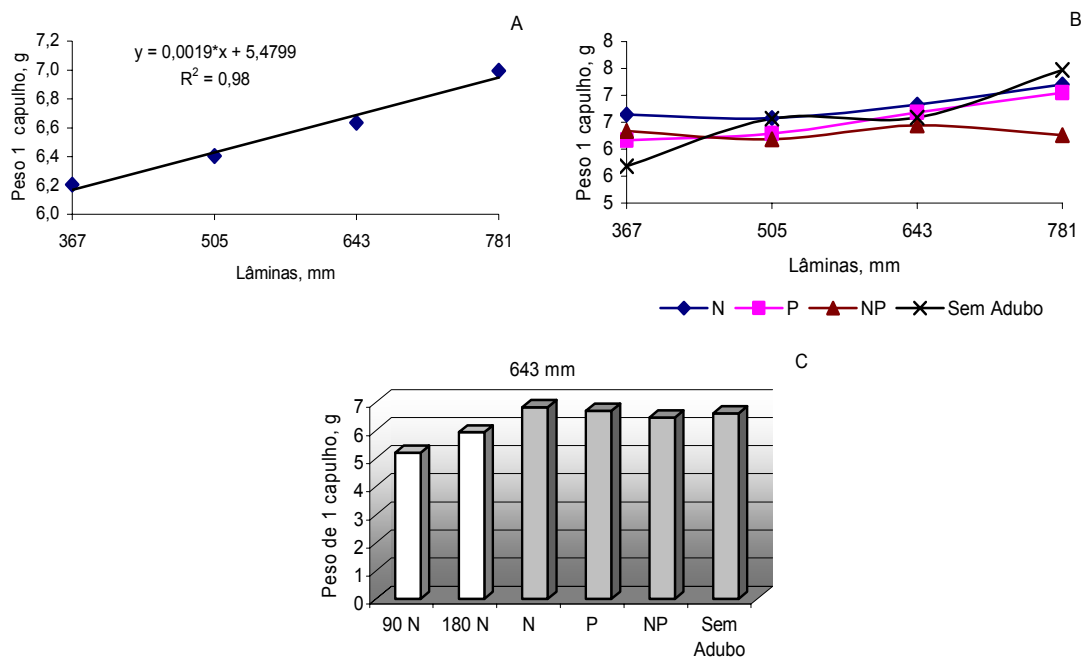


Figura 37. Peso de um capulho do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento.

5.12.2. Peso de cem sementes

Na Figura 38A, o peso de 100 sementes em função das lâminas de água é maior nas lâminas de 643 e 781 mm em média 11,8 g. De acordo com os desdobramentos dos efeitos quantitativos de lâmina dentro das doses de fósforo, Figura 38B, verifica-se efeito linear crescente na ausência de P, com acréscimos de 0,0023 g mm⁻¹. Entre os tratamentos de N e P Figura 38C, observa-se novamente que o tratamento sem adubo na menor lâmina o peso de 100 sementes foi inferior aos demais tratamentos crescendo com o aumento das lâminas e chegando na lâmina de 781 mm com maior peso, ao passo que da lâmina de 643 mm para a de 781 mm houve um decréscimo em peso de 100 sementes para os tratamentos que foram adubados. Para uma mesma quantidade de água de 643 mm Figura 38D, observa-se que o tratamento adicional com 180 kg ha⁻¹ de N tem um leve incremento de peso sobre o de 90 kg ha⁻¹; para o fatorial o maior peso de 100 sementes foi na presença de N.

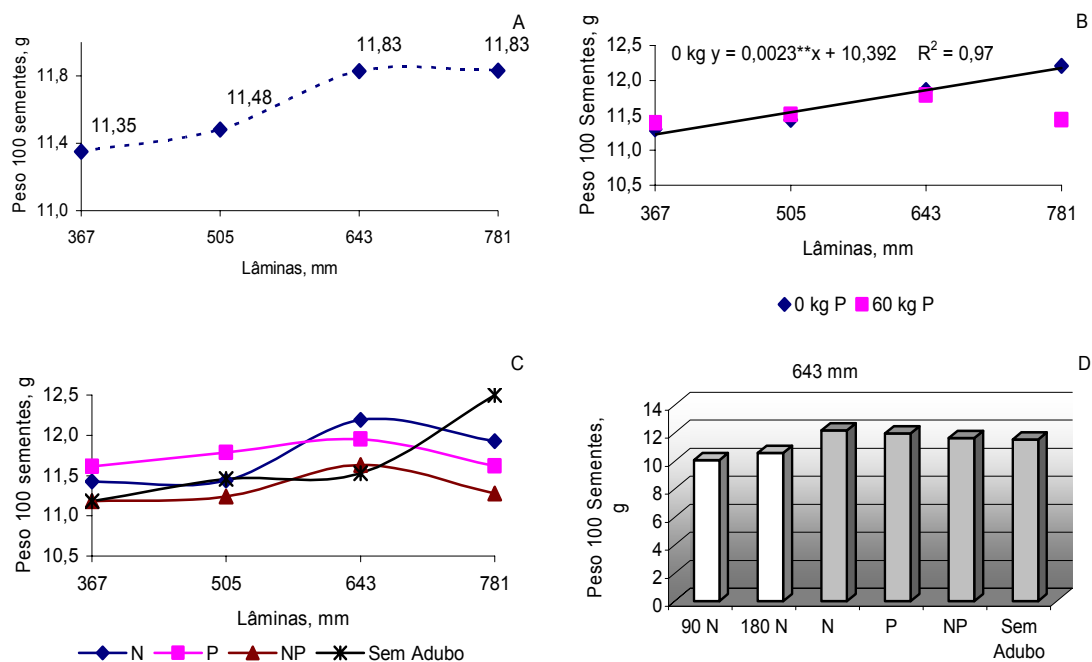


Figura 38. Peso de 100 sementes do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento.

5.12.3. Produção de algodão em caroço

A produção de algodão em caroço cresceu linearmente com o aumento das lâminas de água, de acordo com a Equação Figura 39A, os acréscimos foram da ordem de 0,0045 t ou de 4,5 kg por mm aplicado, sinalizando que a cultura responderia com incrementos de produção caso a lâmina fosse maior; com uma lâmina relativamente alta de 781 mm, não se observa, porém qualquer prejuízo na produção, nem qualquer sinal de anoxia radicular, certamente por ser um sistema de irrigação localizada tipo gotejamento, formando um bulbo úmido, com a periferia desprovida de água facilitando assim as trocas gasosas das raízes no perfil do solo.

Entre os tratamentos de N e P Figura 39B, a produção de algodão em caroço do tratamento sem adubação é menor que tratamentos adubados na lâmina 367 mm, isto devido à ausência de nutrientes, não sendo suficiente o aporte de nutrientes contidos na menor lâmina; a partir de aproximadamente 505 mm até os 781 mm, a situação se reverte, passando então o tratamento não adubado a ter produtividades maiores de algodão em caroço que os demais tratamentos adubados.

Com a lâmina de 643 mm Figura 39C, para os tratamentos adicionais observa-se produção equivalente entre ambos, já no fatorial constata-se o que realmente se supôs,

com a mesma lâmina de 643 mm, mesmo assim o tratamento não adubado foi superior aos tratamentos que receberam nitrogênio e fósforo.

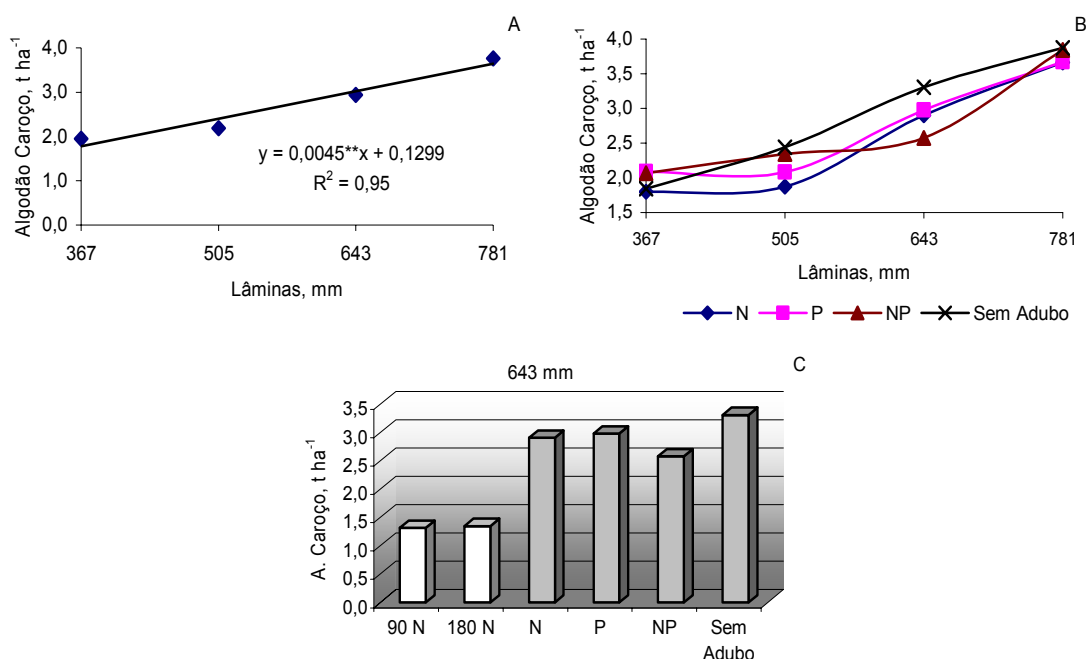


Figura 39. Produção em algodão em caroço, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento.

5.12.4. Índice de colheita

O índice de colheita entre as lâminas de 367 e 505 mm foram 0,20 e 0,21 respectivamente, diminuindo muito na lâmina de 643 mm com 0,15, voltando a subir para 0,20 na lâmina de 781 mm Figura 40A. Os índices de colheita das lâminas 367 e 505 são similares aos da lâmina de 781 mm, certamente devido às baixas produções de biomassa não comercial da planta, porém a produção de algodão em caroço é muito inferior ao da lâmina de 781mm, obtendo altas taxas de produção de biomassa não comercial, mas também obtendo produções satisfatórias de algodão em caroço. Entre os tratamentos de N e P Figura 40B, observa-se que na lâmina de 367 mm o tratamento sem adubo teve índice de colheita menor certamente devido a baixas produções de biomassa não comercial e de algodão em caroço, aumentando em seguida na lâmina de 505 e 781 mm, devido certamente ao aumento da biomassa da parte comercial. Os menores índices de colheita nas duas maiores lâminas para os tratamentos com fósforo e sem adubo em relação aos demais tratamentos, são devido a maior produção de biomassa da parte não comercial ao passo que os tratamentos com presença de N e N-P juntos, adquiriram biomassas não comercial menores, mas também por outro lado

menores produções de algodão em caroço como será visto a seguir. Com a mesma quantidade de água constata-se que o índice de colheita no tratamento adicional com 180 kg ha⁻¹ de N é maior que os demais, Figura 40C, de certa forma isso mostra que o índice de colheita não é um bom referencial para se tirar conclusões sobre produção, o índice de colheita puro não fornece subsídios para que se tenha uma conclusão definitiva sobre produção em determinada planta cultivada.

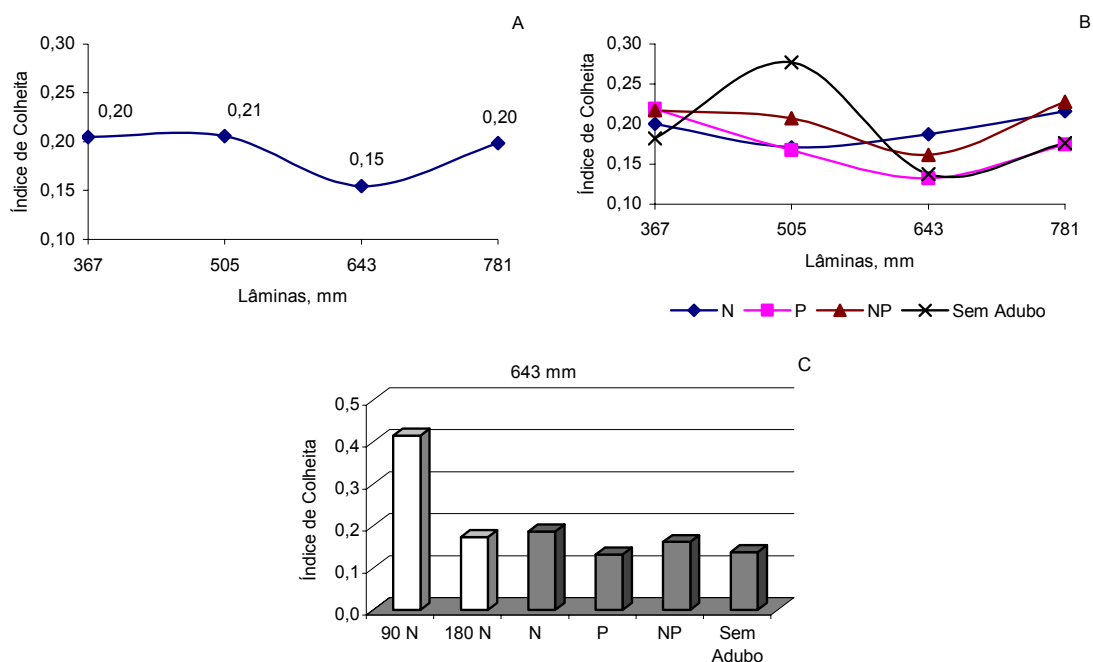


Figura 40. Índice de colheita do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residual, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento.

5.12.5. Peso da pluma

O peso de fibra cresceu com o aumento das lâminas de água, Figura 41A, houve efeito linear e de acordo com a Equação o aumento por mm aplicado seria de 0,0017 t ha⁻¹. Entre os tratamentos de N e P só na ausência de N houve diminuição no peso entres as lâminas de 367 e 505 mm diminuindo 0,001 t de pluma por milímetro de água aplicado. O peso de pluma foi maior no tratamento sem adubo nas lâminas de 505 e 643 mm, Figura 41B, na lâmina de 781 mm o peso foi de 1,45 t contra 1,49 t ha⁻¹ do tratamento adubado com N e P, diferença de 0,004 t não sendo significativo do ponto de vista estatístico, mas em termos reais verifica-se uma grande quantidade de pluma, se pensar-mos, porém numa área maior. Nos tratamentos recebendo a mesma quantidade de água Figura 41C, não se verifica diferenças expressivas entre os dois tratamentos

adicionais; entre o fatorial o peso em fibra maior foi obtido pelo tratamento sem adubação.

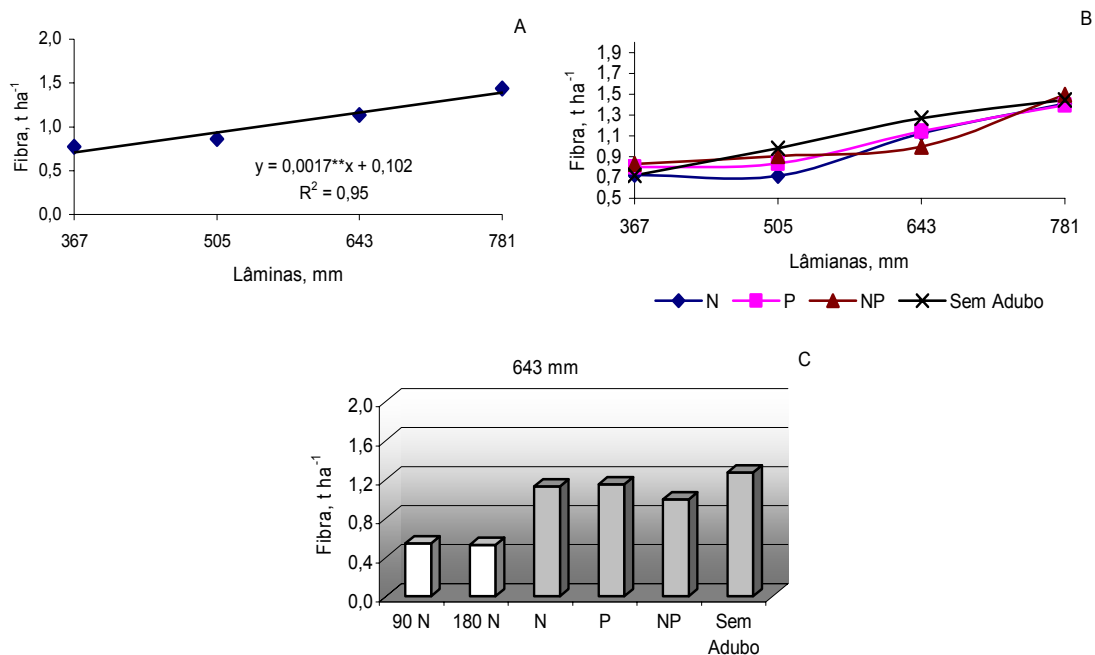


Figura 41. Peso do algodão em pluma, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento.

5.12.6. Percentual de fibra

O percentual de fibra aumentou um pouco entre as lâminas de 367 e 505 mm diminuindo em seguida com o aumento das lâminas de água, Figura 42A, chegando a 781 mm com 38,11% de fibra. De acordo com o desdobramento dos efeitos quantitativos das lâminas dentro das doses de N, Figura 42B, verifica-se que mesmo sem adubação mineral nitrogenada, há um decréscimo de fibra com o aumento da lâmina de 0,005% mm⁻¹. Entre os tratamentos de N e P, Figura 42C, observa-se que os tratamentos que receberam adubo nitrogenado adquiriram um maior percentual de fibra na lâmina de 505 mm, chegando à lâmina de 781 mm com 38,80% o tratamento adubado com N-P, contra 37,41% do tratamento que não foi adubado, porém com menores quantidades de fibras produzidas; com a mesma quantidade de água Figura 42D, onde o tratamento irrigado com água de abastecimento e adubação com 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio, obteve maior percentual de fibra, sendo também superior aos tratamentos irrigados com água residuária.

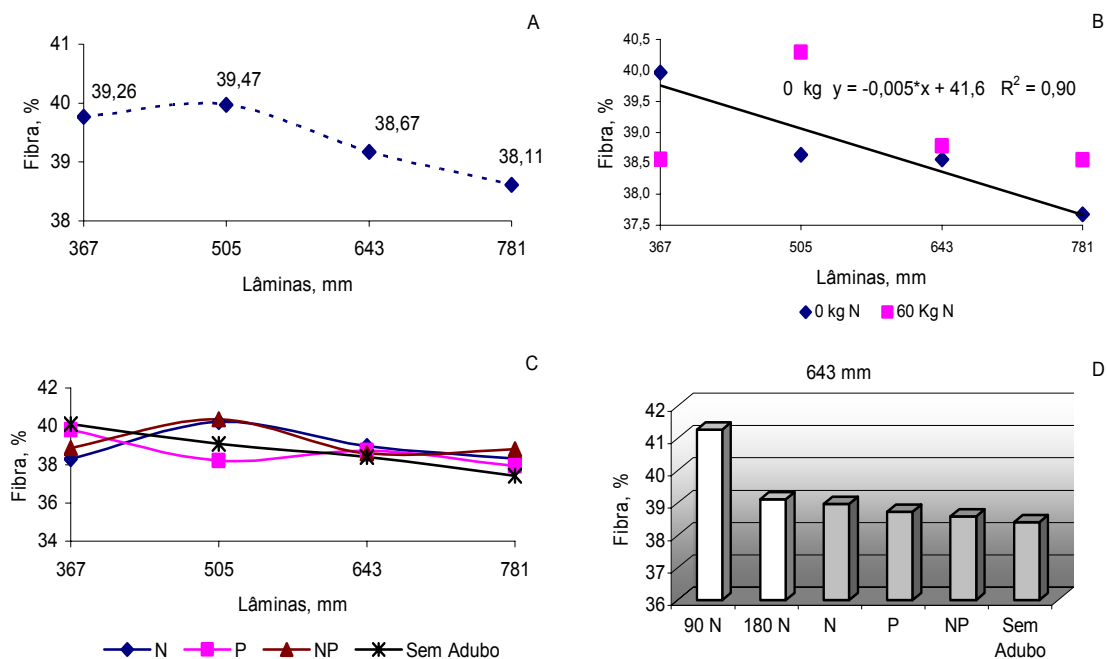


Figura 42. Percentagem de sementes do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento.

5.12.7. Peso de sementes

O peso de sementes aumentou com a quantidade de água aplicada, Figura 43A, o efeito foi linear, e de acordo com a Equação os acréscimos foram de 0,0028 t mm⁻¹. Entre os tratamentos de N e P, constata-se um crescimento no peso de sementes para todos os tratamentos com o aumento das lâminas de água, Figura 43B, obtendo os maiores pesos o tratamento não adubado, chegando a 781 mm com 2,43 t ha⁻¹, contra 2,35 t ha⁻¹ para o tratamento adubado com N-P. Para uma mesma quantidade de água de 643 mm, Figura 43C constata-se diferença expressiva entre o fatorial e os tratamentos adicionais, o peso de sementes encontrado foi maior para o tratamento sem adubação.

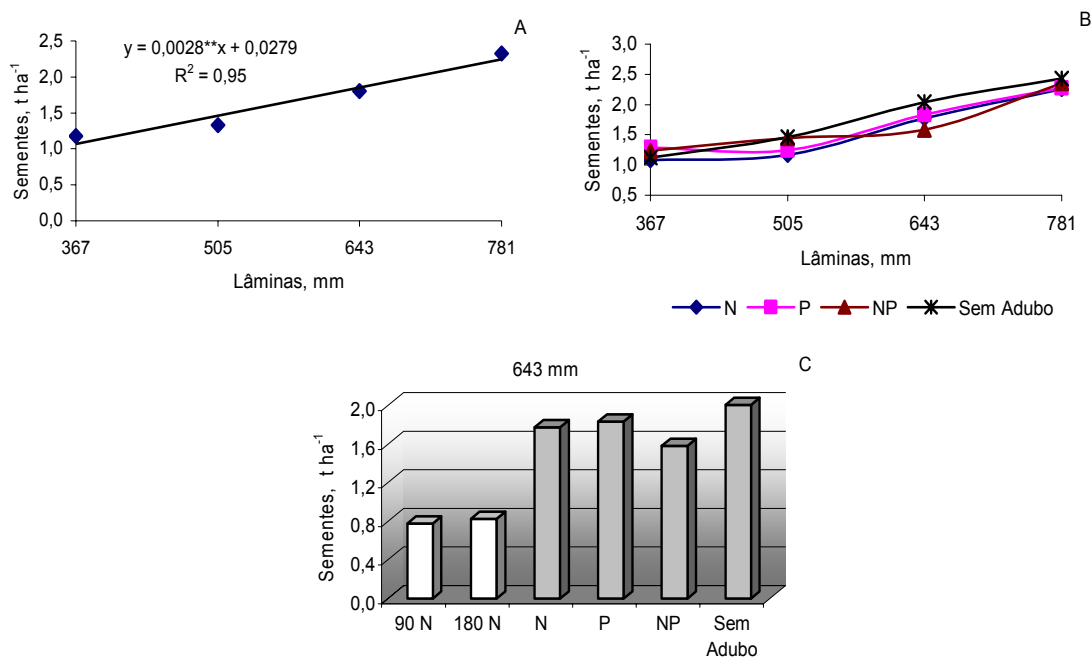


Figura 43. Peso de sementes do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento.

5.12.8. Percentual de sementes

O percentual de sementes também cresceu com o aumento das lâminas, Figura 44A, houve acréscimos de 0,003% mm⁻¹ aplicado. Observa-se que os tratamentos que não foram adubados com nitrogênio o percentual de sementes foi maior na lâmina de 505 mm Figura 44B, obtendo os tratamentos sem adubo e na presença de P, 62,59 e 62,06% de sementes na lâmina de 781 mm respectivamente. Com a mesma quantidade de água o tratamento adicional com 180 kg ha⁻¹ de N, Figura 44C, obteve maior percentual de sementes, e entre o fatorial o maior percentual de sementes foi para o tratamento sem adubo.

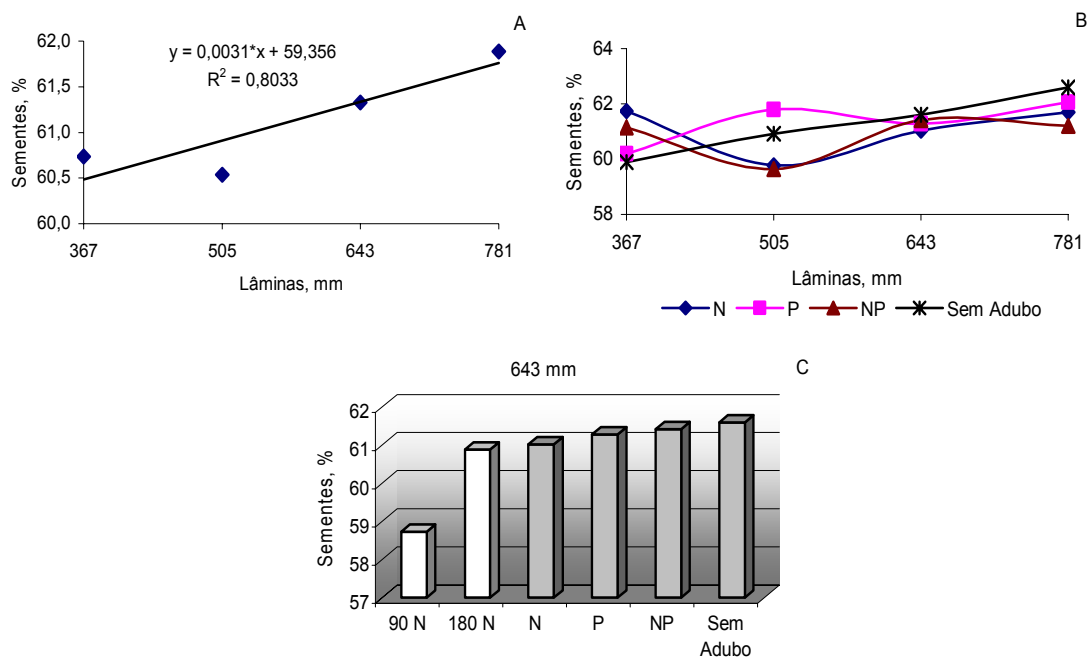


Figura 44. Percentagem de sementes do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento.

Observam-se através da Figura 45 os percentuais de fibras e sementes em função das lâminas de água, constata-se que até aproximadamente a lâmina de 580 mm os percentuais de fibra eram maiores em relação ao percentual de sementes Figura 45A, a partir daí houve um inversão, o percentual de fibra diminuiu com o aumento das lâminas de água enquanto o percentual de sementes aumentou. Já na Figura 45B, o peso de fibra e sementes cresce com o aumento das lâminas como já foi dito, e a partir da lâmina de 643 mm a diferença é maior entre do peso de semente e fibra. Sinalizando, porém que com o aumento da água de irrigação a planta irá mudar seu potencial de produzir fibra, para aumentar o peso da semente, não sendo, portanto neste caso um agravo, pois o algodoeiro respondeu muito bem em termos de produção de algodão em caroço com o aumento das lâminas de água.

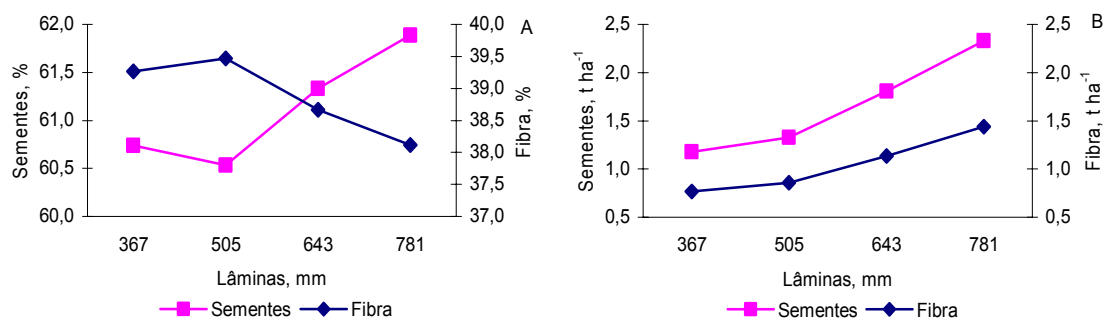


Figura 45. Relação entre a percentagem de fibra e de sementes do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residual.

5.12.9. Teor de óleo na semente

Como segunda oleaginosa do Brasil para produção de biodiesel o teor de óleo na semente se torna uma das variáveis mais importantes no estudo do algodoeiro. Houve aumento do teor de óleo na semente do algodoeiro com o aumento das lâminas de água Figura 46A, alcançando teores de 25,2; 25,3; 25,7 e 27% com as lâminas de 367, 505, 643 e 781 mm respectivamente. De acordo com os desdobramentos dos efeitos quantitativos das lâminas de água dentro das doses de nitrogênio e fósforo, na Figura 46B, houve efeito linear crescente na presença de 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio, com acréscimos de 0,0086% mm⁻¹ aplicado ao solo; e na Figura 46C, houve efeito linear crescente tanto para a ausência e presença de fósforo, com acréscimos de 0,0054 e 0,0044% mm⁻¹, para a ausência e presença do adubo fosfatado. Observa-se que com o adubo os acréscimos foram menores, fatos esse constatado também anteriormente pelos valores de peso de 100 sementes. Entre os tratamentos de N e P houve aumento do teor de óleo na presença de nitrogênio, Figura 46D, diminuindo o teor de óleo nos tratamento só com fósforo e nos sem adubo. Com mesma quantidade de água Figura 46E, o teor de óleo foi maior no tratamento adicional com 90 kg ha⁻¹, no fatorial o tratamento que possuiu menos teor de óleo foi o adubado com N-P juntos.

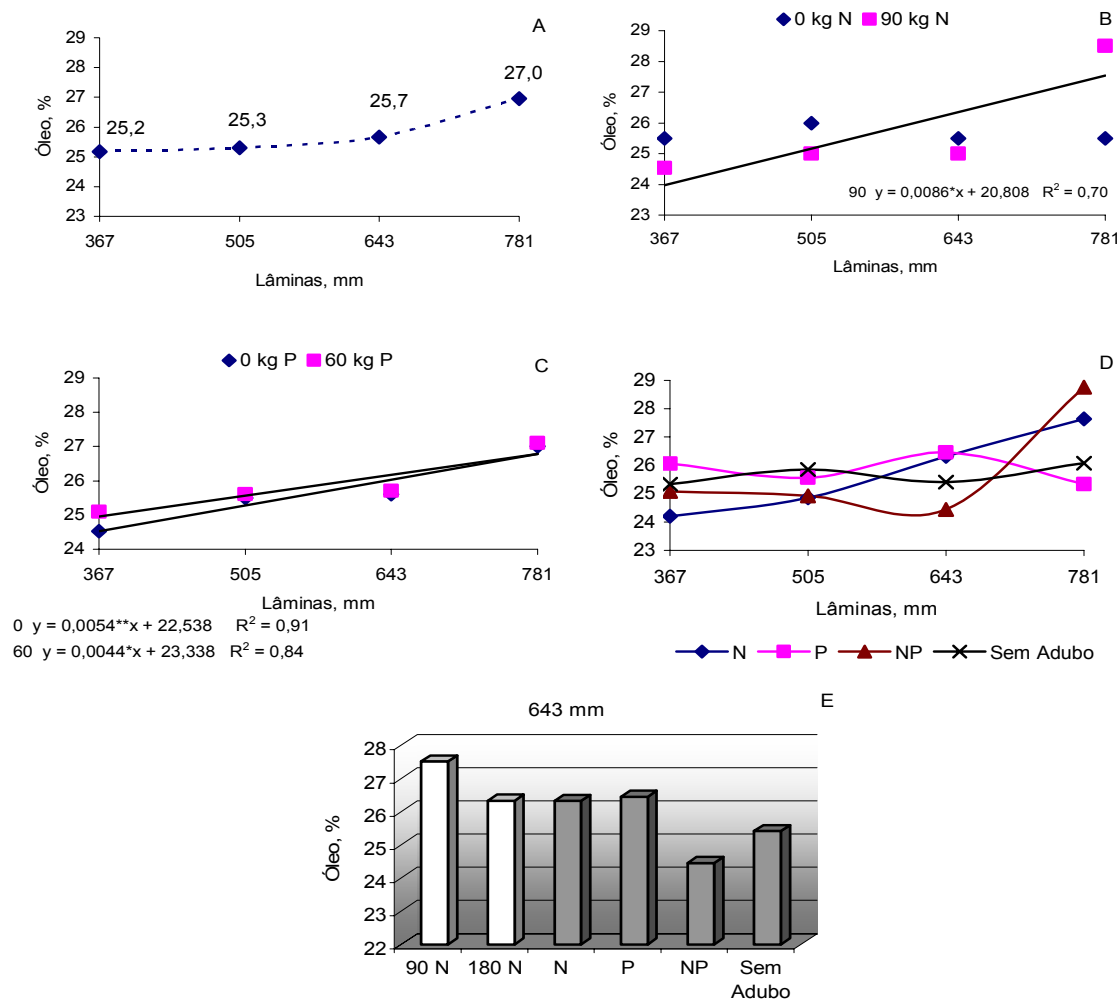


Figura 46. Teor de óleo na semente do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento.

5.13. Eficiência no uso da água

Apesar da baixa produção de algodão em caroço na lâmina de 367 mm, a eficiência no uso de água foi elevada pela pequena lâmina de água aplicada, Figura 47A, diminuindo um pouco na lâmina de 505 mm e aumentando para 0,46 e 0,48 kg m⁻³ nas duas lâminas maiores 643 e 781 mm respectivamente. Entre os tratamentos de N e P a eficiência do uso da água em função das lâminas de água Figura 47B, observa-se que houve uma maior uniformidade da eficiência para o tratamento sem adubo, sendo os valores da eficiência dependentes da produção de algodão em caroço, verifica-se que o comportamento dos tratamentos individuais de N e P, tem um mesmo perfil, o tratamento conjunto de N-P que conteve as menores produções, na lâmina de 643 mm, observa-se uma baixa eficiência nessa lâmina, como pode ser visto novamente na Figura

47C, onde a maior eficiência no uso da água ocorre para o tratamento sem adubo, verifica-se também a baixa eficiência dos tratamentos irrigados com água de abastecimento pela baixa produção obtida.

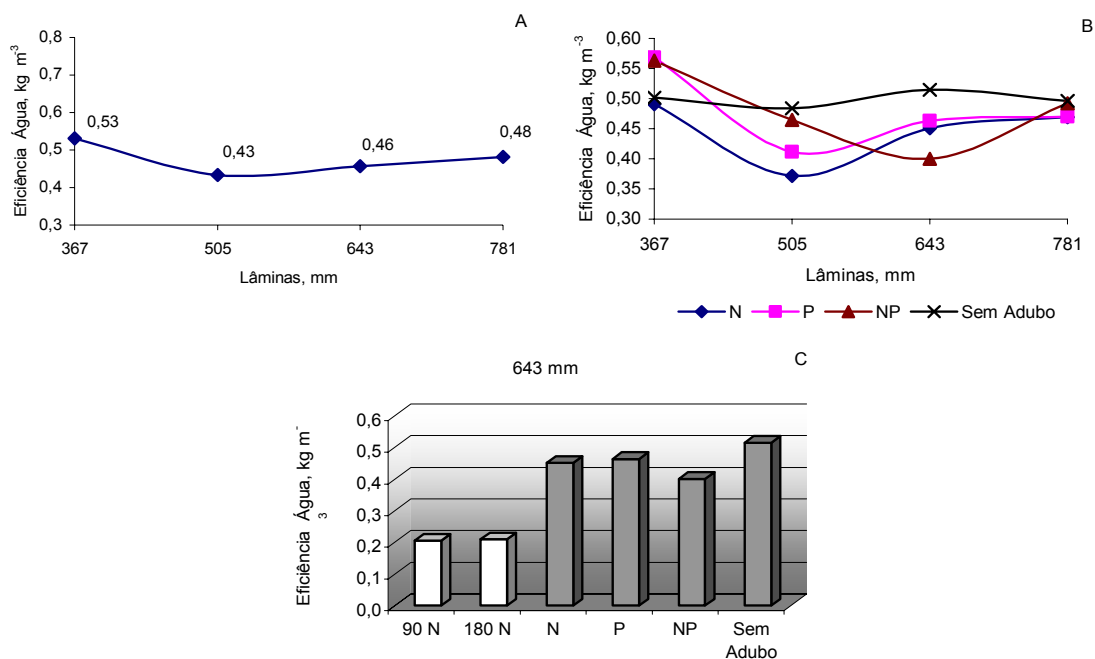


Figura 47. Eficiência do uso da água do algodoeiro, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento.

5.14. Características têxteis da fibra

Verifica-se através da Tabela 29, no resumo da análise de variância para as características têxteis da fibra do algodão marrom, que houve efeito significativo das lâminas de água residuária estudadas sobre o alongamento a ruptura (ELG), e o índice de micronaire (MIC). Para os tratamentos de nitrogênio e fósforo não houve efeito significativo com a ausência e a presença da adubação nitrogenada e fosfatada sobre todas as variáveis avaliadas. Na interação entre lâminas e fósforo houve efeito sobre o alongamento a ruptura, e entre nitrogênio e fósforo o efeito foi sobre o alongamento e o índice de micronaire.

No contraste do fatorial versus os tratamentos adicionais e entre tratamentos adicionais não houve efeito significativo. Só houve efeito significativo entre blocos para a variável alongamento à ruptura, os coeficientes de variação foram muito bons.

Tabela 29. Resumos das análises de variâncias das características têxteis da fibra, resistência (STR), alongamento a ruptura (ELG), índice de micronaire (MIC), maturidade (MAT), índice de consistência a fiação (SCI), do algodoeiro irrigado com diferentes lâminas de água residuária, com e sem fósforo e nitrogênio.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios				
		STR	ELG	MIC	MAT	SCI
Lâminas (L)	3	2,987 ^{ns}	2,065 ^{**}	0,261 ^{**}	0,972 ^{ns}	93,027 ^{ns}
Nitrogênio (N)	1	6,307 ^{ns}	0,130 ^{ns}	0,151 ^{ns}	2,083 ^{ns}	114,083 ^{ns}
Fósforo (P)	1	0,030 ^{ns}	0,385 ^{ns}	0,025 ^{ns}	0,750 ^{ns}	0,333 ^{ns}
L x N	3	9,463 ^{ns}	0,064 ^{ns}	0,125 ^{ns}	0,972 ^{ns}	83,805 ^{ns}
L x P	3	13,697 ^{ns}	1,705 [*]	0,013 ^{ns}	0,972 ^{ns}	254,055 ^{ns}
N X P	1	0,163 ^{ns}	1,960 [*]	0,460 [*]	0,750 ^{ns}	341,333 ^{ns}
L x N x P	3	4,455 ^{ns}	1,148 ^{ns}	0,041 ^{ns}	0,527 ^{ns}	168,277 ^{ns}
Fatorial vs Adicional	1	0,00009 ^{ns}	0,527 ^{ns}	0,006 ^{ns}	0,231 ^{ns}	0,231 ^{ns}
Entre Adicionais	1	11,20666 ^{ns}	0,006 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,000 ^{ns}	112,666 ^{ns}
Tratamento	17	6,442 ^{ns}	1,056 [*]	0,116 ^{ns}	0,832 ^{ns}	139,185 ^{ns}
Bloco	2	11,786 ^{ns}	2,085 [*]	0,023 ^{ns}	0,907 ^{ns}	375,796 ^{ns}
Resíduo	34	7,929	0,461	0,086	0,750	201,404
Total	53					
C.V (%)		9,79	9,20	6,34	0,96	11,58

*, **, ns. Significativo para 5%, 1% e não significativo, respectivamente pelo Teste F.

De acordo com os resultados dos resumos das análises de variância Tabela 30, verifica-se que só houve efeito significativo entre as lâminas testadas para o índice de fibras curtas. Entre os tratamentos de nitrogênio, ausência e presença, não houve efeito significativo para as variáveis analisadas. Já para o fósforo, houve significância para a refletância e o grau de amarelecimento. Na interação entre os fatores lâmina e fósforo, houve efeito significativo para o comprimento médio e índice de fibras curtas. Entre nitrogênio e fósforo o efeito só foi para a uniformidade; e na interação entre as lâminas, nitrogênio e fósforo, houve efeito para o índice de fibras curtas. No contraste entre o fatorial e os tratamentos adicionais não houve efeito significativo como também entre os tratamentos adicionais.

Tabela 30. Resumos das análises de variâncias para as características da fibra, comprimento médio da fibra (UHM), uniformidade (UNF), índice de fibras curtas (SFI), reflectância (Rd), grau de amarelecimento (+b), do algodoeiro irrigado com diferentes lâminas de água residuária, com e sem fósforo e nitrogênio.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios				
		UHM	UNF	SFI	Rd	(+b)
Lâminas (L)	3	2,311 ^{ns}	3,799 ^{ns}	2,021 ^{**}	5,056 ^{ns}	0,147 ^{ns}
Nitrogênio (N)	1	0,541 ^{ns}	5,200 ^{ns}	1,171 ^{ns}	2,412 ^{ns}	0,046 ^{ns}
Fósforo (P)	1	0,005 ^{ns}	1,687 ^{ns}	0,385 ^{ns}	48,481 [*]	5,266 [*]
L x N	3	0,063 ^{ns}	0,658 ^{ns}	0,399 ^{ns}	1,310 ^{ns}	0,0518 ^{ns}
L x P	3	3,223 ^{**}	0,103 ^{ns}	2,652 [*]	5,589 ^{ns}	0,505 ^{ns}
N X P	1	3,575 ^{ns}	9,363 ^{**}	0,075 ^{ns}	0,126 ^{ns}	0,226 ^{ns}
L x N x P	3	0,481 ^{ns}	1,208 ^{ns}	2,081 [*]	4,384 ^{ns}	0,636 ^{ns}
Fatorial vs Adicional	1	0,226 ^{ns}	0,0014 ^{ns}	0,144 ^{ns}	0,489 ^{ns}	0,014 ^{ns}
Entre Adicionais	1	1,500 ^{ns}	0,135 ^{ns}	0,166 ^{ns}	8,881 ^{ns}	0,375 ^{ns}
Tratamento	17	1,416 ^{ns}	2,158 ^{ns}	1,376 [*]	6,436 ^{ns}	0,585 ^{ns}
Bloco	2	0,541 ^{ns}	0,623 ^{ns}	0,146 ^{ns}	9,316 ^{ns}	0,602 ^{ns}
Resíduo	34	0,904	1,904	0,647	8,199	0,934
Total	53					
C.V (%)		42,38	1,67	18,80	6,40	5,34

*, **, ns. Significativo para 5%, 1% e não significativo, respectivamente pelo Teste F.

Na Tabela 31, observa-se os valores médios das variáveis avaliadas para cada fator estudado, verifica-se que no fator nitrogênio, os valores de resistência (STR) e alongamento à ruptura, estão dentro dos padrões exigidos pela indústria. O índice de micronaire foi elevado, ressaltando, porém que com um coeficiente de variação de 6,34% evidencia uma homogeneidade da fibra para essa variável que é a informação que a indústria necessita. Os valores de maturidade foram elevados, denotando, portanto um incremento maior de celulose na fibra do algodão marrom. Para o fator fósforo os valores permaneceram com os mesmos padrões dos de nitrogênio, fato verificado com os valores de micronaire para o restante dos fatores.

Na ausência de nitrogênio obtiveram-se valores maiores que 10 para a variável grau de amarelecimento, por se tratar fibra marrom esse valor é sempre superior à fibra de cor branca. No fator fósforo quando a reflectância baixou, o grau de amarelecimento aumentou, resultados esses são satisfatórios por se tratar de uma fibra de coloração natural marrom quando um aumenta o outro diminui.

Foram verificados ótimos valores para o comprimento médio da fibra em todos os tratamentos, a uniformidade se situou perto do mínimo desejado de 83%, já para o índice de fibras curtas os valores ficaram acima de 3,5%.

Tabela 31. Valores médios da resistência (STR), alongamento a ruptura (ELG), índice de micronaire (MIC), maturidade (MAT), índice de consistência a fiação (SCI), comprimento da fibra (UHM), uniformidade (UNF), índice de fibras curtas (SFI), reflectância (Rd), grau de amarelecimento (+b), em função de lâminas de água residuária, nitrogênio e fósforo na cultura do algodoeiro.

Fatores	STR (g tex ⁻¹)	ELG (%)	MIC	MAT (%)	SCI	UHM (mm)	UNF (%)	SFI (%)	Rd (%)	(+b)
Lâmina (mm)										
781	28,63	6,84	4,43	89,33	125,25	29,03	82,71	4,46	45,11	18,23
505	28,23	7,78	4,56	89,42	124,42	29,13	83,01	3,84	45,14	18,09
643	28,78	7,64	4,83	89,67	120,50	28,58	82,44	4,11	44,59	17,96
367	28,43	7,39	4,71	89,50	119,67	28,23	81,73	4,78	43,75	18,13
Nitrogênio, kg ha ⁻¹										
0	28,40 a	7,36 a	4,59 a	89,25 a	124,00 a	28,86 a	82,82 a	4,45 a	44,42 a	18,13 a
90	29,12 a	7,46 a	4,70 a	89,66 a	120,91 a	28,65 a	82,17 a	4,14 a	44,87 a	18,07 a
Fósforo, kg ha ⁻¹										
0	28,78 a	7,32 a	4,67 a	89,58 a	122,37 a	28,75 a	82,31 a	4,38 a	45,65 a	17,77 b
60	28,73 a	7,50 a	4,62 a	89,33 a	122,54 a	28,77 a	82,68 a	4,20 a	43,64 b	18,43 a
Fatorial vs Tratamentos Adicionais										
Fatorial	28,76 a	7,41 a	4,65 a	89,46 a	122,46 a	28,76 a	82,49 a	4,29 a	44,65 a	18,10 a
Adicionais	28,77 a	7,10 a	4,62 a	89,67 a	122,67 a	28,97 a	82,48 a	4,13 a	44,95 a	18,05 a
90 kg ha ⁻¹ N	30,13 a	7,07 a	4,60 a	89,67 a	127,00 a	28,47 a	82,63 a	4,30 a	43,73 a	18,30 a
180 kg ha ⁻¹ N	27,40 a	7,13 a	4,63 a	89,67 a	118,33 a	29,47 a	82,33 a	3,97 a	46,17 a	17,80 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Só foi possível ajustar um modelo para o índice de micronaire através da análise de regressão uma vez que as interações do fator lâmina com o N e com o P não foram significativas, Figura 48, com os dados ajustados a um modelo quadrático estimando, portanto o valor máximo de 4,86, sendo atingido com uma lâmina de 517 mm para em seguida decrescer, valor esse de micronaire não adequado para indústria nacional onde considera valores ideais entre 3,6 a 4,2, mas não se tornando fator primordial. Observa-se, portanto que a partir da lâmina de 505 mm o valor de micronaire decresce sinalizando, que com o aumento das lâminas o índice de micronaire diminui. É importante também frisar que esses valores são para cultivares de cor de fibra branca. Para as variáveis, alongamento à ruptura (ELG) e índice de fibras curtas (SFI) houve efeito das lâminas onde mais tarde veremos os efeitos nos desdobramentos das lâminas dentro dos níveis de N e P. No restante das características têxteis da fibra, resistência, maturidade, índice de fiabilidade, comprimento, uniformidade, reflectância e grau de amarelecimento, não há tendência entre as lâminas de água.

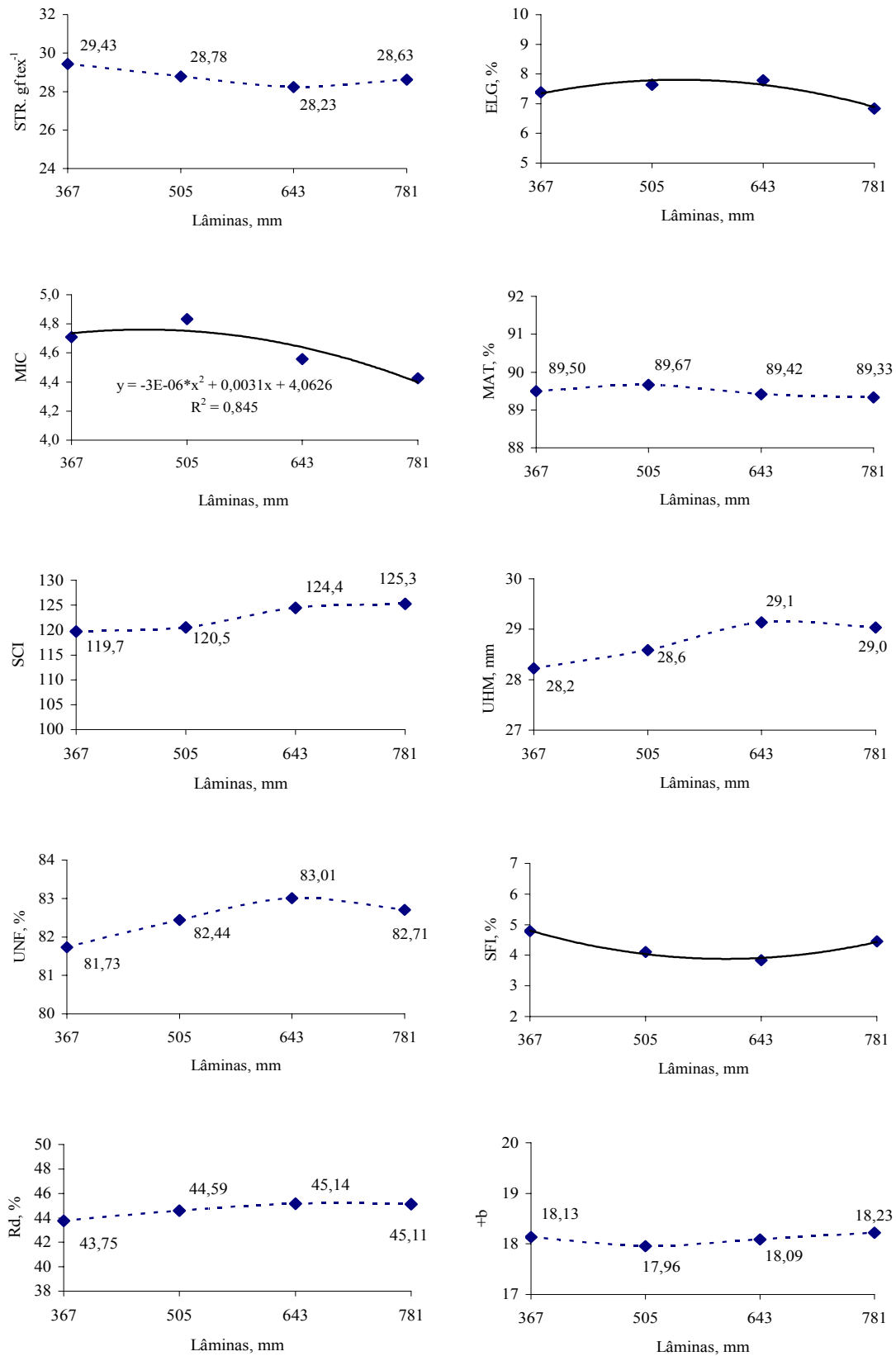


Figura 48. Características têxteis da fibra do algodão, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária.

O desdobramento dos efeitos quantitativos das lâminas dentro das doses de fósforo, através da análise de regressão, para a variável, alongamento à ruptura, apresentou efeito linear decrescente na ausência do fósforo com decréscimos de 0,0025% para cada milímetro aplicado Figura 49. Na dose de 60 kg ha⁻¹, houve efeito quadrático do alongamento a ruptura da fibra em função das lâminas de água. De acordo com a equação obtida o máximo alongamento de 9,6%, seria atingido com 623 mm para em seguida decrescer. Para o comprimento de fibra ocorreu efeito linear positivo na ausência do adubo fosfatado com incrementos de 0,0047 mm para cada milímetro de água aplicado. Ainda de acordo com o desdobramento para a variável índice de fibras curtas, a análise de regressão revelou efeito quadrático na ausência de fósforo, e de acordo com a equação estimada o menor percentual de fibras curtas de 4,76% seria atingindo com 580 mm para em seguida aumentar. Observando os valores de alongamento a ruptura e índice de fibras curtas percebe-se que existe uma coerência dos resultados onde a faixa de 415 a 464 mm de água atende os critérios para alongamento que não deve ser $\leq 7\%$, e o índice de fibras curtas que não deve ser $\leq 3,5\%$, e se levarmos em consideração também o índice de micronaire que diminuiu a partir de 505 mm, denota-se que o uso de água residuária no algodão mesmo que induza um maior crescimento vegetativo com lâminas altas, não se devem reduzir tais volumes, pois se corre o risco de haver detrimientos na qualidade da fibra.

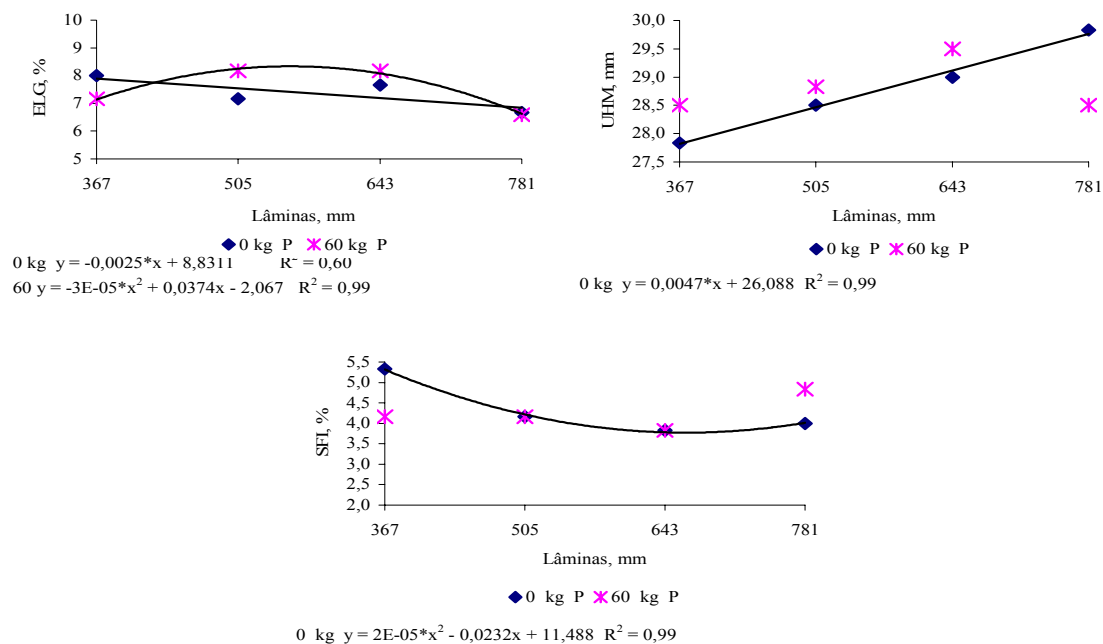


Figura 49. Alongamento a ruptura, comprimento e índice de fibras curtas da fibra do algodão, cultivar BRS 200 em função das lâminas de água.

O desdobramento dos efeitos quantitativos das lâminas dentro dos tratamentos de N e P, através da análise de regressão, para índice de fibras curtas, o efeito foi quadrático na ausência dos adubos fosfatado e nitrogenado, de acordo com a equação o menor percentual de 1,8% foi atingido com 715 mm, Figura 50. Nas demais características avaliadas não houve interação entre lâmina nitrogênio e fósforo, portanto é ilustrado apenas os valores sem tendências.

Para a resistência da fibra observa-se que com a presença dos adubos a resistência foi decrescendo até aproximadamente 643 mm, ocorrendo efeito inverso com a ausência de N e P, apesar dos valores estarem numa faixa ideal $\geq 26 \text{ gf tex}^{-1}$; a partir de aproximadamente 505 mm com a ausência de N e P se conseguiu uma resistência de fibra maior; efeito semelhante ocorre com índice de consistência à fiação, a partir de aproximadamente 380 mm o percentual atinge um valor considerável chegando ser maiores que os tratamentos que receberam nitrogênio, fósforo.

O alongamento a ruptura, só com a adubação nitrogenada, cairia com o aumento das lâminas, e que apesar dos valores de (ELG) serem menores na ausência dos adubos, os mesmos estão dentro dos padrões exigidos pela indústria. O percentual de uniformidade que reflete a variação do comprimento da fibra foi maior na presença da adubação fosfatada.

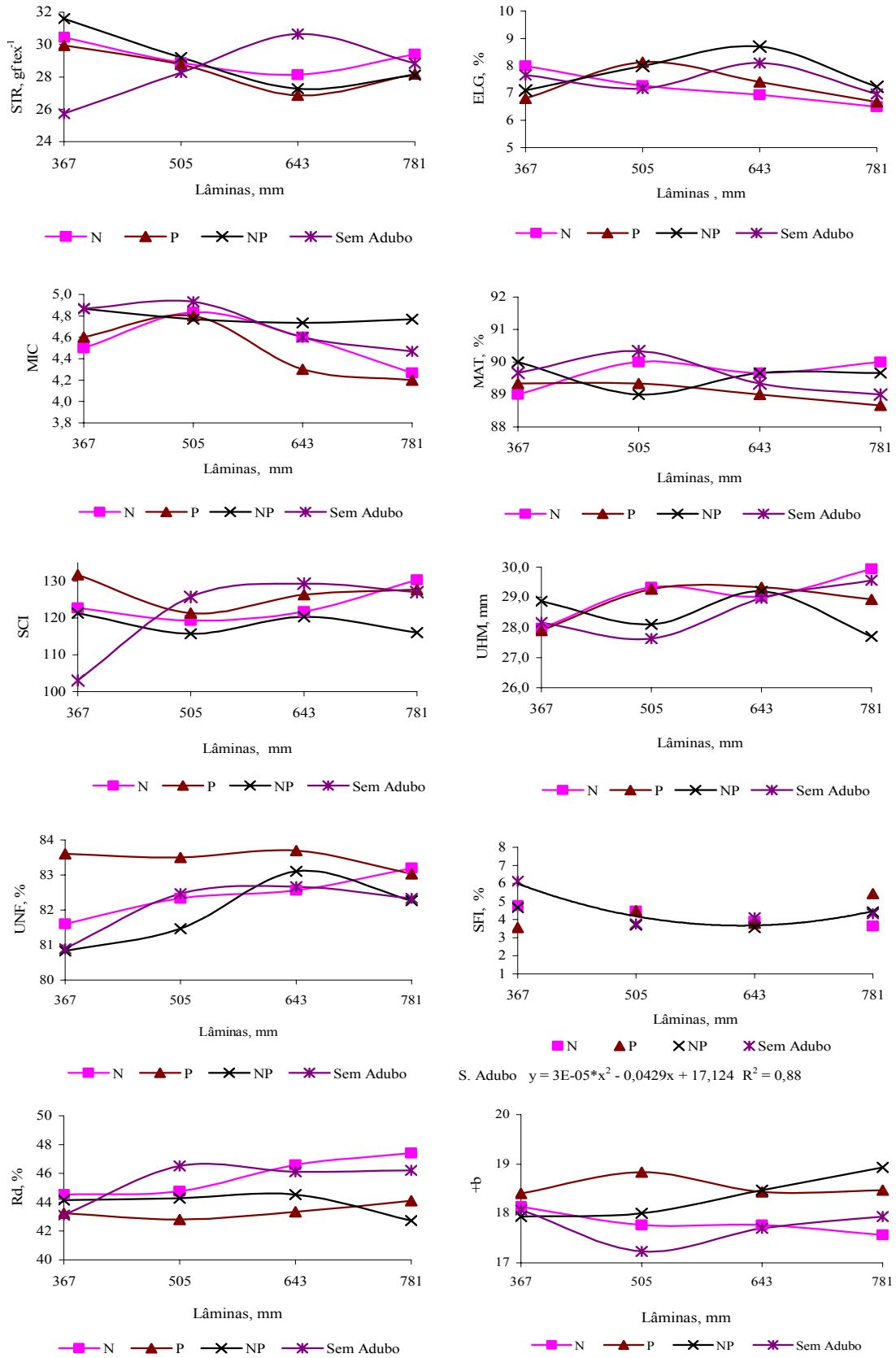


Figura 50. Características têxteis da fibra do algodão, cultivar BRS 200, em função de lâminas de água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo.

Com a mesma quantidade de água de 643 mm na Figura 51, os tratamentos adicionais versus o fatorial, não existindo, portanto diferenças significativas entre as duas águas estudadas em relação a características têxteis da fibra. O tratamento que não foi adubado respondeu por uma resistência de fibra maior, foi superada em alongamento a ruptura só pela adubação conjunta de N-P, obteve-se um índice de micronaire não tão alto, maturidade de 89,33%, comprimento foi adequado para indústria, uniformidade de 89,67%, índice de fibras curtas de 4,1%, reflectância baixa de 46,1 e um grau de amarelecimento de 17,7.

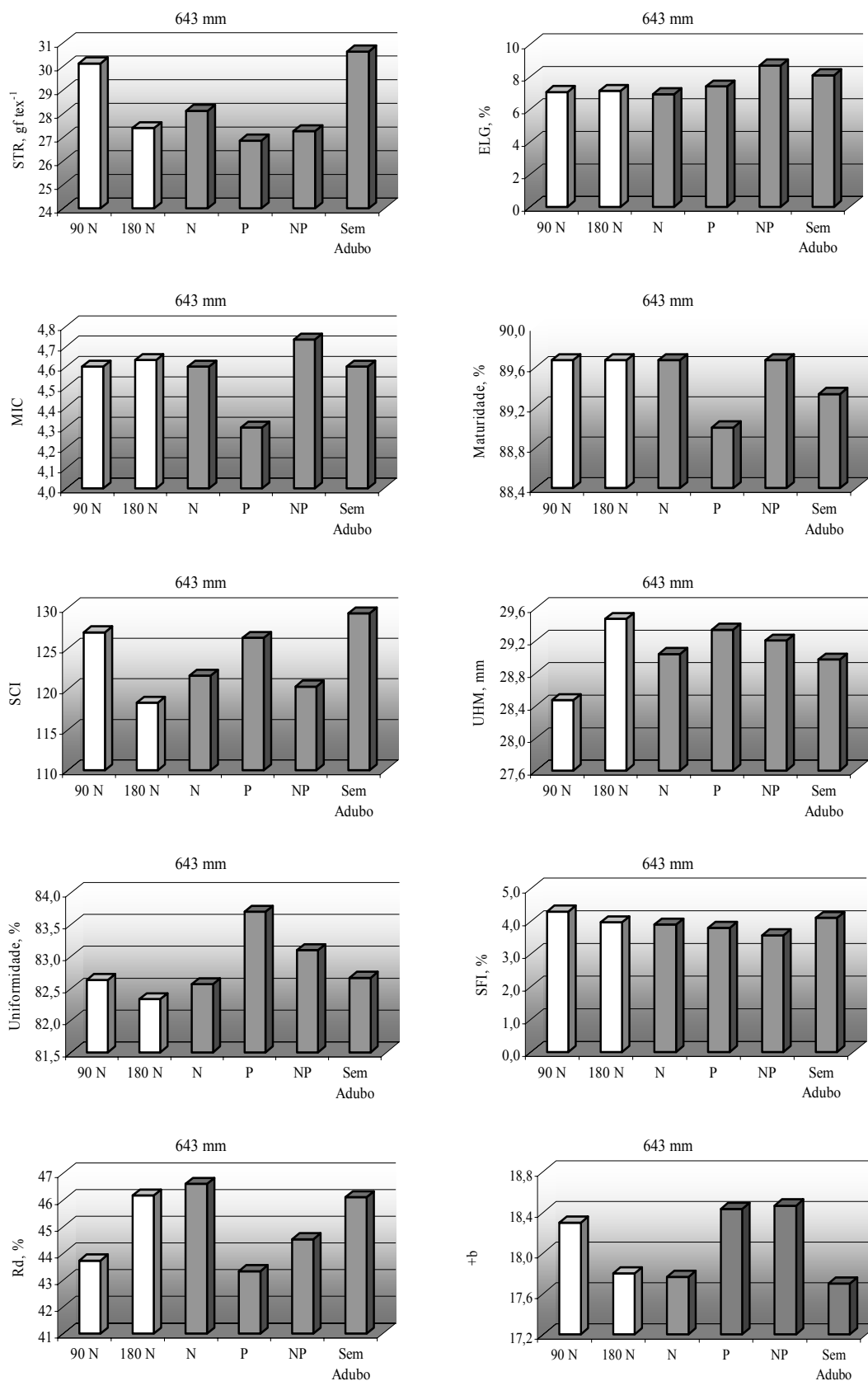


Figura 51. Características têxteis da fibra do algodão, cultivar BRS 200, irrigado com água residuária, ausência e presença de nitrogênio e fósforo, mais dois tratamentos adicionais com 90 e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio irrigado com água de abastecimento.

5.15. Análise da fertilidade do solo

Na Figura 52, os valores médios de fertilidade ante e após o cultivo do algodoeiro irrigado com água residuária, verifica-se que o pH antes do cultivo variou de 7,03 a 7,19; após ter cessado a irrigação houve uma precipitação de 89 mm, certamente essa quantidade expressiva de água de chuva contribuiu para a redução do pH que baixou variando de 6,23 a 6,43. Já em relação às lâminas aplicadas houve uma tendência de aumento nas lâminas maiores, adequado para um bom desenvolvimento das plantas.

No trabalho de Day et al. (1979) a irrigação com efluente de esgoto tratado não alterou o pH do solo, no entanto tratava-se de um solo de região semi-árida naturalmente alcalino. Por outro lado, Vazquez-Montiel et al. (1996) verificaram diminuição do pH em solo cultivado com milho e irrigado com efluente de esgoto tratado. Os autores sugeriram que essa queda no pH do solo foi devido à nitrificação, uma vez que esse efeito foi incrementado mediante a adição de fertilizante nitrogenado mineral.

O fósforo aumentou após o cultivo devido certamente ao aporte via água de irrigação e pela solubilização do super-simples aplicado na fundação; em função das lâminas aplicadas não houve grandes diferenças, ficando o teor de fósforo trocável no solo de $11,42 \text{ mg dm}^{-3}$, e também como será visto o não abaixamento dos teores de cálcio fazendo assim a maior fixação do fósforo às partículas de argila.

O potássio trocável no solo também aumentou depois do cultivo, devido certamente o aporte de potássio via água de irrigação e pela solubilização do cloreto de potássio da adubação mineral de fundação; em função das lâminas aplicadas o maior e menor teor de potássio foi na lâmina de 505 e 781 mm com $159,84$ e $127,65 \text{ mg dm}^{-3}$ respectivamente. O cálcio teve um leve incremento depois do cultivo permanecendo no solo em teores maiores apesar de ser um elemento de fácil lixiviação e o pH do solo encontrar-se abaixo de 6,5. Entre as lâminas não variou muito em média esteve com teores de $44,33 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Já o magnésio diminuiu depois do cultivo certamente devido às chuvas que arrasta certas quantidades deste nutriente com facilidade. Entre as lâminas não houve grandes variações, ficando em média com $11,04 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

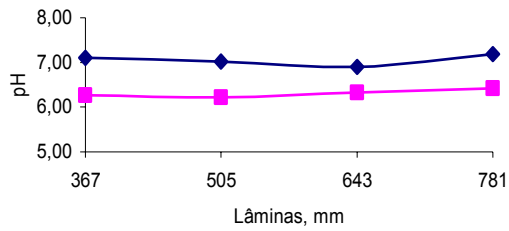
O sódio diminuiu depois do cultivo, certamente devido à lixiviação promovida pela precipitação de 89 mm ocorrida no final do cultivo, e por se tratar de um sistema de irrigação localizada, formando-se um bulbo úmido no perfil do solo onde os sais contidos no solo ou na água tendem a se direcionar para periferia do bulbo, diminuindo

muito a quantidade de sais dentro do bulbo úmido, não houve grandes variações entre as lâminas aplicadas em média $2,45 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de sódio.

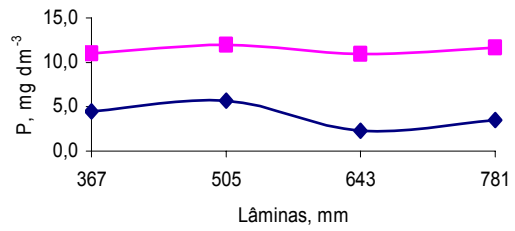
No trabalho de Speir et al. (1999), embora o teor de Na^+ tenha aumentado pela aplicação de efluentes secundários de esgoto tratado, o inverso ocorreu quando a irrigação cessou, devido ao efeito das chuvas na lixiviação desse cátion.

Os teores de hidrogênio aumentaram depois do cultivo, devido também a precipitação que eleva os teores de hidrogênio no solo, constata-se, porém que, do potássio, cálcio magnésio o elemento que diminuiu mais expressivamente com a entrada de hidrogênio foi o magnésio, e também a atividade microbiana que libera muito hidrogênio. Em relação às lâminas de água os teores foram muito próximos, ficando com um teor médio de $17,43 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Houve uma diminuição de carbono depois do cultivo, grande quantidade de matéria orgânica e conseqüentemente de nitrogênio fornecendo condições para uma maior atividade microbiana reduzindo os teores de carbono.

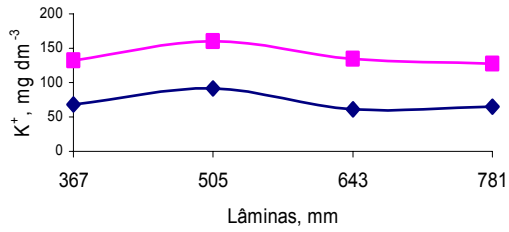
O nitrogênio orgânico aumentou devido ao grande aporte de matéria orgânica pela água residuária. A capacidade de troca de cátions (CTC) do solo já era muito alta antes do plantio com valores mínimos de $72,46 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na menor lâmina, estando o solo com já alta CTC, com o cultivo e o grande aporte de nutrientes contidos na água residuária a CTC aumentou, e em relação às lâminas o aumento foi maior nas lâminas menores. A Soma de Bases (SB) diminuiu depois do cultivo, essa diminuição foi devida aos teores de sódio e magnésio que também diminuíram em relação às lâminas, a SB foi menor nas lâminas maiores. A percentagem de saturação por bases da CTC (V%) diminuiu depois do cultivo devido ao aumento da CTC, e esta sendo maior pelos altos teores de hidrogênio. Porém o percentual do complexo coloidal ocupado por bases que já era alto com valores 86,77%, caracterizando o solo como altamente eutrófico, baixou apenas para 77,87% continuando assim um solo altamente fértil. A percentagem de sódio trocável calculada pela CTC, diminuiu após o cultivo; em relação às lâminas as reduções foram maiores nas lâminas de 505 e 643 mm. Segundo Jnad et al. (2001a), o aumento significativo da quantidade de Na^+ e P no solo foram as principais alterações nas características químicas do solo, decorrentes da aplicação de água residuária de origem doméstica, tratada, via sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial, em áreas cultivadas com grama. Porém, não foram observados aumentos significativos nas quantidades de N-total, Mg^{2+} , K^+ , e CE (condutividade elétrica do extrato da pasta saturada do solo).



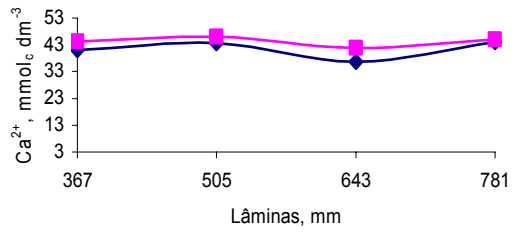
Antes do Plantio Irrigação + PP 89 mm



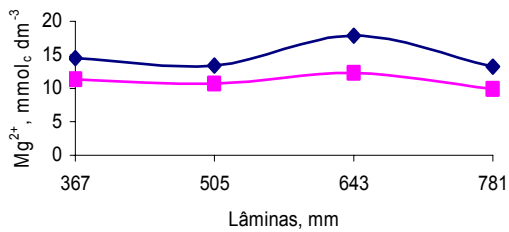
Antes do Plantio Irrigação + PP 89 mm



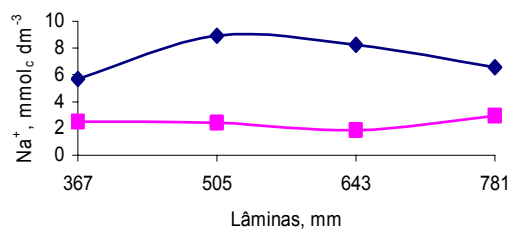
Antes do Plantio Irrigação + PP 89 mm



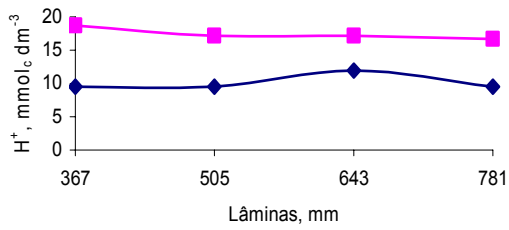
Antes do Plantio Irrigação + PP 89 mm



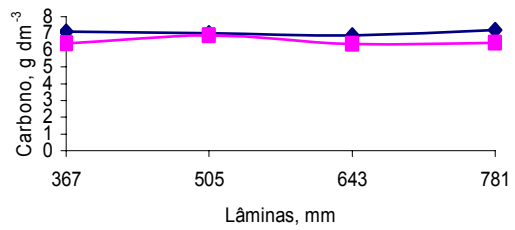
Antes do Plantio Irrigação + PP 89 mm



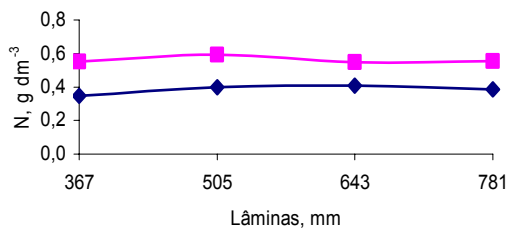
Antes do Plantio Irrigação + PP 89 mm



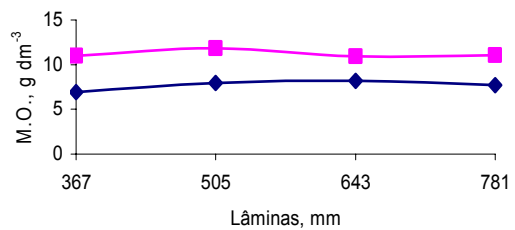
Antes do Plantio Irrigação + PP 89 mm



Antes do Plantio Irrigação + PP 89 mm



Antes do Plantio Irrigação + PP 89 mm



Antes do Plantio Irrigação + PP 89 mm

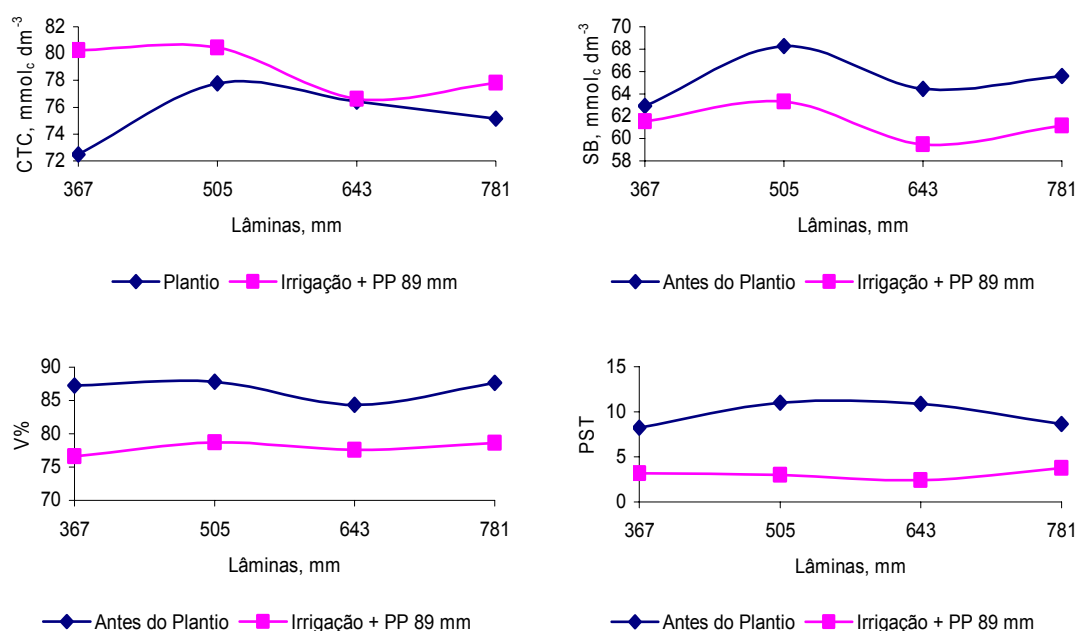


Figura 52. Fertilidade do solo antes do plantio e após o cultivo irrigado com efluente mais uma precipitação pluvial (PP) de 89 mm na área cultivada com algodão.

Tabela 32. Valores médios da fertilidade do solo antes do cultivo algodoeiro irrigado com efluente de esgoto e água dos tratamentos do fatorial e dos tratamentos adicionais.

Tratamentos	P mg dm ⁻³	K mg dm ⁻³	Na mml _c dm ⁻³	Ca mml _c dm ⁻³	Mg mml _c dm ⁻³	H mml _c dm ⁻³	C g kg ⁻¹
Fatorial	4,0	71,3	7,4	41,4	14,8	10,1	4,5
90 kg ha ⁻¹	2,9	62,5	2,7	32,0	15,5	9,9	3,9
180 kg ha ⁻¹	2,9	53,4	9,1	39,5	23,5	13,2	5,7
Tratamentos	MO g kg ⁻¹	N g kg ⁻¹	CTC mml _c dm ⁻³	PST %	SB mml _c dm ⁻³	V %	
Fatorial	7,7	0,4	75,4	9,7	65,3	86,8	
90 kg ha ⁻¹	6,7	0,3	61,7	4,4	51,8	84,0	
180 kg ha ⁻¹	9,9	0,5	86,7	10,5	73,5	84,8	

Tabela 33. Valores médios da fertilidade do solo depois do cultivo algodoeiro irrigado com efluente de esgoto e água mais 89 mm de precipitação pluvial, dos tratamentos do fatorial e dos tratamentos adicionais.

Tratamentos	P mg dm ⁻³	K mg dm ⁻³	Na mml _c dm ⁻³	Ca mml _c dm ⁻³	Mg mml _c dm ⁻³	H mml _c dm ⁻³	C g kg ⁻¹
Fatorial	11,42	138,46	2,45	44,33	11,04	17,43	6,52
90 kg ha ⁻¹	8,79	115,71	2,10	41,00	11,50	16,50	6,20
180 kg ha ⁻¹	8,73	109,64	2,00	40,00	11,27	16,67	6,23
Tratamentos	MO g kg ⁻¹	N g kg ⁻¹	CTC mml _c dm ⁻³	PST %	SB mml _c dm ⁻³	V %	
Fatorial	11,22	0,56	78,80	3,10	61,36	77,87	
90 kg ha ⁻¹	10,67	0,53	74,07	2,84	57,57	77,72	
180 kg ha ⁻¹	10,72	0,54	72,74	2,75	56,08	77,06	

5.16. Salinidade do solo depois do cultivo

Na Figura 53A, é apresentado os teores do extrato de saturação do solo antes do plantio. Após ter cessado a irrigação aos 94 DAE no dia 25/03/2005 até a coleta de solo aos 106 DAE no dia 06/04/2006 houve uma precipitação pluvial de 89 mm (PP 89 mm) e mais chuvas acumuladas durante cinco meses até o mês de setembro de 646 mm (PP 646 mm).

O pH do extrato de saturação do solo (pHes) antes da irrigação variou de 8,18 a 8,35 após a irrigação e a chuva de 89 mm o pH aumentou variando de 8,2 a 8,4 e após as chuvas de 646 mm o pH ficou entre 8,1 a 8,3.

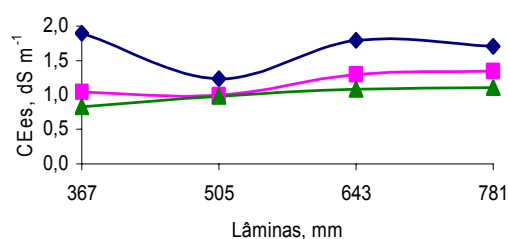
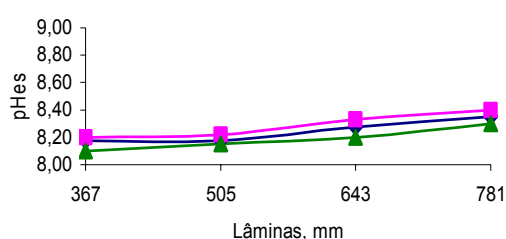
A condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) diminuiu com a precipitação de 89 mm, com uma leve tendência a aumentar com as lâminas aplicadas, e mais ainda com os cinco meses de chuva provocando uma uniformidade maior da CEes entre as lâminas aplicadas. Os efeitos do aumento do pH do solo mediante adição de efluente de esgoto em solos, de baixa fertilidade natural, têm sido desprezíveis e de pouca importância prática com relação à disponibilidade de nutrientes (SPEIR et al., 1999). Então, não é de se esperar que o HCO_3^- ou certos compostos orgânicos presentes na água residuária, em concentrações variáveis, possa substituir a prática da calagem, apesar desse aumento de alcalinidade ser considerado vantajoso pelo fato de diminuir a mobilidade de metais pesados no solo (STEWART et al., 1990).

Não houve grandes variações nos teores de cálcio até a lâmina de 643 mm; entre as três épocas de amostragem, na lâmina de 781 mm houve um aumento depois do cultivo, diminuindo em seguida após cinco meses de chuva. Os teores de magnésio a partir da lâmina de 505 mm foram menores, após a irrigação e as chuvas de cinco meses. O sódio diminuiu logo após a precipitação de 89 mm, diminuindo mais ainda com 646 mm de chuva. Observa-se com isso que houve uma lixiviação do perfil do solo na camada de 0-20 cm onde foram coletadas as amostras de solo, certamente o perfil de solo possui sulfatos provenientes da água residuária, que podem ter contribuído para uma maior lixiviação do sódio.

Houve um aumento dos teores de potássio mesmo com as chuvas depois do plantio e com cinco meses depois, esse aumento certamente estar ligado a adubação de manutenção que foi feita antes do plantio, com a aplicação de água rica também em potássio e a solubilização do adubo no solo, fez com que os teores aumentassem. Houve um aumento de bicarbonato após a irrigação, diminuindo em seguida com a precipitação pluvial de 646 mm. Os teores de cloreto diminuíram depois do cultivo na área, existindo

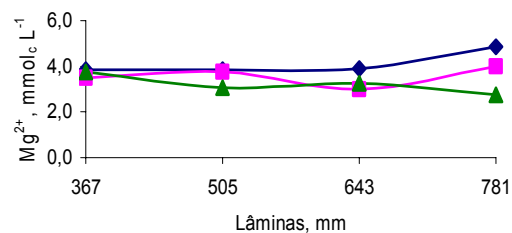
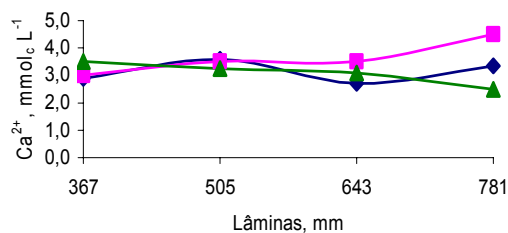
um aumento em relação à quantidade de água aplicada, diminuindo com a precipitação em cinco meses, com uma redução maior dos teores de cloreto na lâmina de 781 mm onde os teores eram mais altos. Existiu, contudo uma tendência de uniformização dos teores dos elementos com as precipitações pluviais (PP). A relação de adsorção de sódio (RAS) também diminuiu após a precipitação de 89 mm, e diminuindo novamente com chuvas acumuladas de 646 mm em cinco meses.

Normalmente, pelo fato do efluente ser salino, a irrigação com água residuária tem levado ao aumento da salinidade do solo (CROMER et al., 1984; SMITH et al., 1996b), a qual pode afetar a absorção de água pelas plantas devido à presença de uma maior concentração dos íons Na^+ , Cl^- e HCO_3^- na solução do solo (BIELORAI et al., 1984). Entretanto alguns autores têm assinalado diminuição na salinidade do solo pela irrigação com efluente (DAY et al., 1979; STEWART et al., 1990). No primeiro caso, tratava-se de um solo naturalmente salino. No segundo, os autores verificaram que, em um solo sob floresta irrigado com efluentes de esgoto tratados por mais de quatro anos, a salinidade foi reduzida devido à lixiviação e à absorção de sais pelas árvores.



—◆— Antes do Plantio —■— PP 89 mm —▲— PP 646 mm

—◆— Antes do Plantio —■— PP 89 mm —▲— PP 646 mm



—◆— Antes do Plantio —■— PP 89 mm —▲— PP 646 mm

—◆— Antes do Plantio —■— PP 89 mm —▲— PP 646 mm

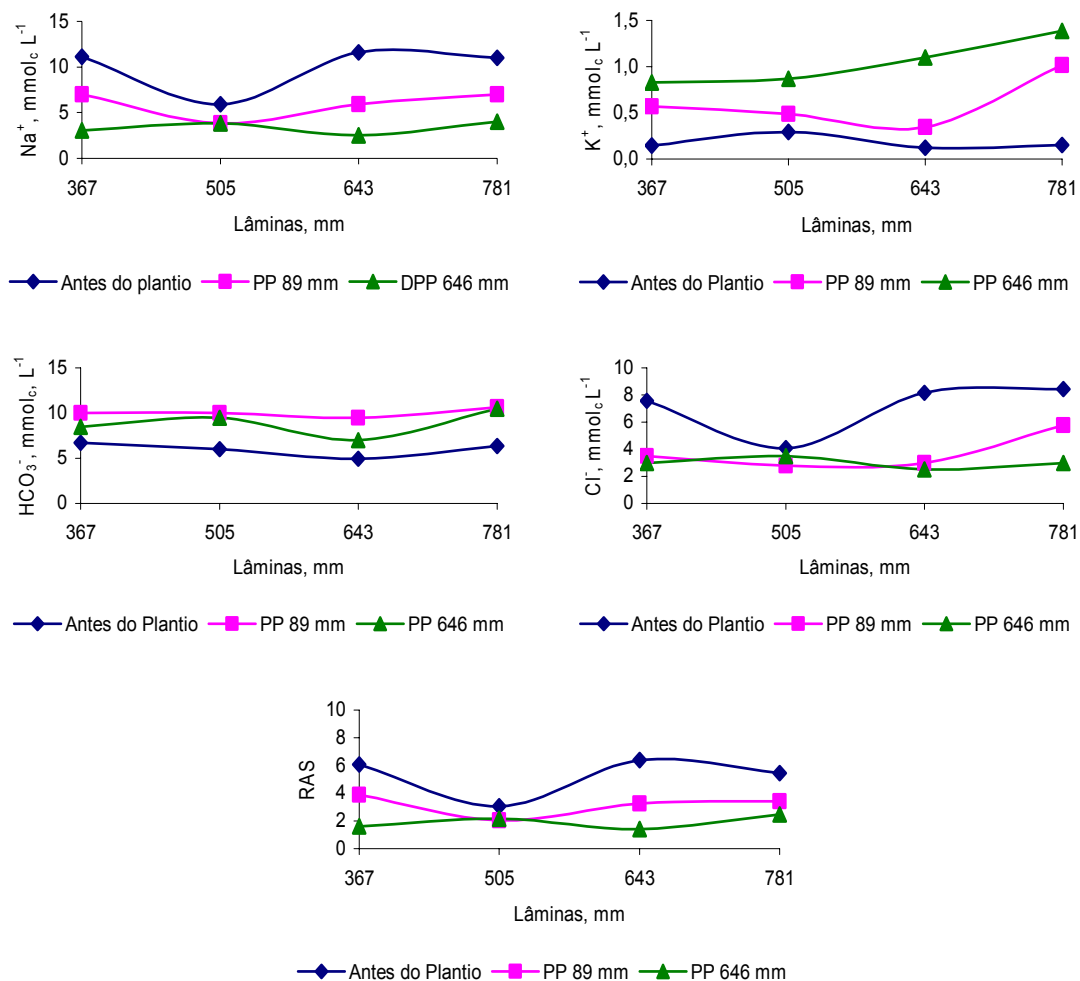


Figura 53. Salinidade do solo antes do plantio, depois de uma precipitação pluvial (PP) de 89 mm no final do cultivo e após cinco meses com uma precipitação de 646 mm na área irrigada com efluente e cultivada com algodão.

Tabela 34. Valores médios salinidade do solo antes do plantio do fatorial e dos tratamentos adicionais no algodoeiro irrigado com efluente e água.

Tratamentos	CEes	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
	dS m ⁻¹	mmol _c L ⁻¹	mmol _c L ⁻¹	mmol _c L ⁻¹
Fatorial	1,66	3,13	4,11	9,91
90 kg ha ⁻¹	0,67	1,97	2,22	1,77
180 kg ha ⁻¹	2,17	3,97	5,47	14,57
	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	RAS
	mmol _c L ⁻¹	mmol _c L ⁻¹	mmol _c L ⁻¹	
Fatorial	0,18	5,98	7,06	5,10
90 kg ha ⁻¹	0,08	4,67	3,17	1,13
180 kg ha ⁻¹	0,11	4,67	8,67	6,53

Tabela 35. Valores médios salinidade do solo depois do cultivo do fatorial e dos tratamentos adicionais no algodoeiro irrigado com efluente e água e com 89 mm de precipitação pluvial.

Tratamentos	CEes dS m ⁻¹	Ca ²⁺ mml _c L ⁻¹	Mg ²⁺ mml _c L ⁻¹	Na ⁺ mml _c L ⁻¹
Fatorial	1,17	3,63	3,56	5,94
90 kg ha ⁻¹	1,01	9,75	4,50	2,10
180 kg ha ⁻¹	1,01	9,75	4,50	2,10
	K ⁺ mml _c L ⁻¹	HCO ₃ ⁻ mml _c L ⁻¹	Cl ⁻ mml _c L ⁻¹	RAS
Fatorial	0,61	10,03	3,76	2,41
90 kg ha ⁻¹	0,49	14,00	2,50	1,03
180 kg ha ⁻¹	0,49	14,00	2,50	1,03

Tabela 36. Valores médios salinidade do solo depois do cultivo do fatorial e dos tratamentos adicionais no algodoeiro irrigado com efluente e água e com 646 mm de precipitação pluvial.

Tratamentos	CEes dS m ⁻¹	Ca ²⁺ mml _c L ⁻¹	Mg ²⁺ mml _c L ⁻¹	Na ⁺ mml _c L ⁻¹
Fatorial	1,00	3,08	3,20	3,35
90 kg ha ⁻¹	1,01	9,75	4,50	2,10
180 kg ha ⁻¹	1,01	9,75	4,50	2,10
	K ⁺ mml _c L ⁻¹	HCO ₃ ⁻ mml _c L ⁻¹	Cl ⁻ mml _c L ⁻¹	RAS
Fatorial	1,05	8,88	3,00	1,76
90 kg ha ⁻¹	0,49	14,00	2,50	1,03
180 kg ha ⁻¹	0,49	14,00	2,50	1,03

5.17. Análise econômica

Na análise econômica do cultivo do algodão marrom irrigado com água residuária na presença e ausência de adubação nitrogenada e fosfatada são apresentados na Tabela 38, tendo custo médio de produção não levando em conta os fertilizantes nitrogenados e fosfatados de R\$ 992,72 por hectare; com aração e gradagem, plantio manual, sementes, inseticida, fungicida, pulverizações, adubações, manejo da irrigação, desbaste, capinas manuais, catação de botões florais, colheita, arranquio e queima;

Os custos dos adubos nitrogenados e fosfatados foram R\$ 256,00 e 240,00 ha⁻¹ respectivamente. O custo do bombeamento de água das respectivas lâminas 781, 643, 505 e 367 mm, tanto para o efluente como para a água foi de R\$ 0,053 m³ sendo incluído os 89 mm de chuva. O valor por quilo de algodão em caroço para a estimativa das receitas foi de R\$ 1,00 muito abaixo do preço do algodão branco.

A receita líquida em relação às lâminas aplicadas foi de R\$ 1.932,49 para a lâmina de 781 mm. Com a lâmina de 367 mm a receita líquida foi inferior R\$ 334,70

devido à menor produtividade obtida. Com a irrigação de 643 mm de efluente e água de abastecimento, observa-se na Tabela 38, com efluente a maior receita líquida foi para o tratamento sem adubo devido a maior produtividade e o menor custo de produção; na irrigação com água de abastecimento obteve receitas negativas, devido à baixa produtividade e aos custos de irrigação e adubação. Para se obter lucro fazendo o uso de água limpa nas condições que o trabalho foi realizado é necessário que os custos de produção sejam menores a R\$ 1418,72 por hectare ou os preço do quilo do algodão em caroço seja no mínimo R\$ 1,50 isso com a aplicação de 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio, porque com 180 kg ha⁻¹ de N o agricultor só iria conseguir cobrir os custos. Portanto com o uso de água limpa e a aplicação de 90 kg ha⁻¹ de N será necessário que o produtor tenha rendimentos não inferiores a 1760 kg ha⁻¹, para cobrir os custos de produção.

Entre os tratamentos isolados da presença e ausência de nitrogênio e fósforo irrigados com efluente Tabela 39, observa-se que em todos os tratamentos com a lâmina de 781 mm foi responsável por maior retorno econômico. E entre os tratamentos de N e P, o sem adubo proporcionou a maior receita líquida obtida tanto pela maior produção quanto pelo menor custo de produção proporcionado pela economia da não aquisição dos adubos nitrogenados e fosfatados.

Com o uso da água residuária doméstica tratado na irrigação e na ausência de adubação nitrogenada e fosfatada os rendimentos de apenas 1.336 e 1.117 kg de algodão em caroço para as lâminas de 781 e 367 mm respectivamente seriam necessários para o produtor cobrir os custos de produção.

Tabela 37. Análise econômica do algodoeiro BRS 200, irrigado por gotejamento com efluente tratado e água de abastecimento, adubado com nitrogênio e fósforo.

Lâminas mm	Produtividade Algodão caroço (kg ha ⁻¹)	Despesas (R\$ ha ⁻¹)	Receita Bruta (R\$ ha ⁻¹)	Custo por kg de algodão	Receita Líquida (R\$ ha ⁻¹)	Índice de lucratividade (%)
692 + 89	3765	1832,51	3765,00	0,49	1932,49	51,3
554 + 89	2939	1759,44	2939,00	0,60	1179,56	40,13
416 + 89	2187	1686,37	2187,00	0,77	500,63	22,89
278 + 89	1948	1613,30	1948,00	0,83	334,70	17,18
Tratamentos						
Irrigação - 643 mm com efluente						
N	2900	1.519,44	2900,00	0,52	1380,56	47,61
P	2977	1.503,44	2977,00	0,51	1473,56	49,50
N e P	2573	1.759,44	2573,00	0,68	813,56	31,62
Sem Adubo	3307	1.263,44	3307,00	0,38	2043,56	61,80
Irrigação - 643 mm com água de abastecimento						
90 kg ha ⁻¹ N	1317	1.759,44	1317,00	1,34	-442,44	-33,59
180 kg ha ⁻¹ N	1347	2.015,44	1347,00	1,50	-668,44	-49,62

Preço do kg de algodão em caroço R\$ 1,00; custo do bombeamento da água e do efluente R\$ 0,053 m³, para as lâminas de 692, 554, 416 e 278 mm, mais 89 mm de chuva. 1975,5 e 2020,5

Tabela 38. Análise econômica do algodoeiro BRS 200, irrigado por gotejamento com efluente tratado e água de abastecimento, adubado com nitrogênio e fósforo.

Lâminas (mm)	Produtividade Algodão caroço (kg ha ⁻¹)	Despesas (R\$ ha ⁻¹)	Receita Bruta (R\$ ha ⁻¹)	Custo por kg de algodão	Receita Líquida (R\$ ha ⁻¹)	Índice de Lucratividade (%)
Nitrogênio						
692 + 89	3667	1592,51	3667,0	0,43	2074,49	56,57
554 + 89	2900	1519,44	2900,0	0,52	1380,56	47,61
416 + 89	1877	1446,37	1877,0	0,77	430,63	22,94
278 + 89	1800	1373,30	1800,0	0,76	426,70	23,71
Fósforo						
692 + 89	3670	1576,51	3670,0	0,43	2093,49	57,04
554 + 89	2977	1503,44	2977,0	0,51	1473,56	49,50
416 + 89	2080	1430,37	2080,0	0,69	649,63	31,23
278 + 89	2087	1357,30	2087,0	0,65	729,70	34,96
Nitrogênio e Fósforo						
692 + 89	3847	1832,51	3847,0	0,48	2014,49	52,37
554 + 89	2573	1759,44	2573,0	0,68	813,56	31,62
416 + 89	2347	1686,37	2347,0	0,72	660,63	28,15
278 + 89	2067	1613,30	2067,0	0,78	453,70	21,95
Sem Adubo						
692 + 89	3877	1336,51	3877,0	0,34	2540,49	65,53
554 + 89	3307	1263,44	3307,0	0,38	2043,56	61,80
416 + 89	2443	1190,37	2443,0	0,49	1252,63	51,27
278 + 89	1840	1117,30	1840,0	0,61	722,70	39,28

Preço do kg de algodão em caroço R\$ 1,00; custo do bombeamento da água e do efluente R\$ 0,053 m³, para as lâminas de 692, 554, 416 e 278 mm, mais 89 mm de chuva.

6. CONCLUSÕES

1. A água residuária doméstica promoveu melhores resultados no crescimento e desenvolvimento do algodoeiro cultivar BSR 200, com a lâmina de 692 mm mais 89 mm de água da chuva.

2. A utilização de água de esgoto substitui a adição de fósforo e nitrogênio no solo para adequado crescimento e desenvolvimento do algodoeiro marrom.

3. O maior número de botões florais e de frutos por planta foi maior no tratamento com lâmina de 692 mm do efluente de esgoto tratado mais 89 mm de chuva, quando comparada com água de abastecimento.

4. O efluente de esgoto doméstico tratado proporcionou maiores razões de área foliar (RAF) na lâmina de 692 mm na ausência de adubo.

5. As plantas irrigadas com efluente e na ausência de adubo, obtiveram maiores taxas de assimilação líquida (TAL).

6. O índice de área foliar (IAF) e a taxa de produção de matéria seca (TPMS) foram superiores nas plantas irrigadas com 692 mm do efluente de esgotos tratado mais 89 mm de chuva.

7. As plantas do algodoeiro irrigadas com efluente de esgoto doméstico tratado aos 85 dias após a emergência, estavam adequadamente supridas em macro e micronutrientes na ausência dos adubos químicos contendo uréia e fósforo.

8. As adubações com nitrogênio e fósforo nas quantidades de 90 e 60 kg ha⁻¹ respectivamente, foram supridas com o uso da água residuária na irrigação do algodoeiro.

9. Foram encontrados teores muito altos de 36 mg kg⁻¹ chumbo e 44 mg kg⁻¹ cádmio na folha do algodoeiro aos 85 dias após a emergência das plantas irrigadas com efluente e sem adubação.

10. O peso de 1 capulho, de 100 sementes, peso de algodão em caroço, da pluma e de sementes, foram superiores com a maior lâmina de efluente de esgoto doméstico tratado de 692 mais 89 mm de chuva..

11. As crescentes lâminas do efluente de esgoto tratado promoveram aumento do percentual de óleo nas sementes, sementes de plantas irrigadas com água de abastecimento com 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio tiveram também grande percentual de óleo.

12. Com o uso do efluente de esgoto aumentou a eficiência do uso de água pelas plantas refletindo-se em maior rendimento de algodão em caroço.

13. A irrigação com água residuária de esgoto não prejudicou as características têxteis da fibra do algodão marrom.

14. Os teores de P, K⁺, Ca²⁺, N, M.O., H e a capacidade de troca de cátions (CTC) do solo aumentaram após o cultivo do algodoeiro irrigado com efluente de esgoto doméstico tratado e 89 mm de chuva, já o pH, Mg²⁺, Na⁺, C, PST, a soma de bases trocáveis, e a percentagem de saturação por bases (V%) diminuíram, por causa dos grandes teores de hidrogênio após as chuvas e da atividade microbiana.

15. A condutividade elétrica, pH, os teores de Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, Cl⁻, e a Relação de Adsorção de Sódio do extrato de saturação do solo diminuíram após a irrigação do algodoeiro com efluente de esgoto tratado e após 646 mm de chuva.

16. Os maiores rendimentos econômicos, foram obtidos nos tratamentos irrigados com água residuária doméstica sem adubação do solo com nitrogênio e fósforo.

17. Com o uso da água residuária doméstica na irrigação sem o uso de adubação nitrogenada e fosfatada nas lâminas de 781 e 367 mm, os rendimentos de 1.336 e 1.117 kg de algodão em caroço para cada lâmina respectivamente seriam necessários para o produtor cobrir os custos de produção.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-JALOUD, A. A.; HUSSAIN, G.; AL-SAATI, .J.; KARIMULLA, S. Effect of wastewater irrigation on mineral composition of corn and sorghum plants a pot experiment. **Journal of Plant Nutrition**, Athens, v.18, p.1677-1692, 1995.
- AL-JALOUD, A. A.; HUSSAIN, G.; KARIMULLA, S.; AL-HAMIDI, A.H. Effect of irrigation and nitrogen on yield components of two rapeseed cultivars. **Agricultural Water Management**, v.30, p.57-68, 1996.
- AL-NAKSHABANDI, GA.; SAQQAR, M.M.; SHATANAWI, M.R.; FAYYAD, M.; AL-HORANI, H. Some environmental problems associated with the use of treated wastewater for irrigation in Jordan. **Agricultural Water Management**, v.34, p.81-94, 1997.
- ALVES, W.W. de A.; LACERDA, M.D. de; SOUZA, R.M. de; DANTAS NETO, J.; AZEVEDO, C.A.V. Algodão colorido irrigado com água residuária: efeito na produção de biomassa da parte aérea. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 14., Porto Alegre, RS, 2004. **Anais...** Porto Alegre: ABID, 2004a. CD-ROM.
- ALVES, W.W. de A.; SOUZA, R.M. de; LACERDA, M.D. de; DANTAS NETO, J.; AZEVEDO, C.A.V. Água disponível no solo e doses crescentes de nitrogênio no algodão colorido irrigado com água residuária. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 14, Porto Alegre, RS, 2004. **Anais...** Porto Alegre: ABID, 2004b. CD-ROM.
- ALVES, V. M. C.; MAGALHÃES, J. V.; VASCONCELOS, C. A.; NOVAES, R. F.; BAHIA FILHO, A. F. C. ; FRANÇA, G. E.; OLIVEIRA, C. A. FRANÇA, C. C. M. Acúmulo de nitrogênio e de fósforo em plantas de milho afetadas pelo suprimento parcial de fósforo nas raízes. **R. Bras. Ci. Solo**, 23: 299-304. 1999.
- AMBROSANO, E. J.; TRIELIN, P. C. O.; MURAOKA, T. Técnica para marcação dos adubos verdes crotalária júncea e mucuna-preta com ¹⁵N para estudos de dinâmica de nitrogênio. **Bragantia**, Campinas, v. 56, nº 1, p.219-224, 1997.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DO ALGODÃO. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2001. 143p.
- APHA, AWWA, WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19. ed. Washington, DC: APHA, 1995.

- ARAGÃO JÚNIOR, T, MAGALHÃES, C. A. de, SANTOS, C. S. V. dos. Estudos de lâminas de irrigação na cultura do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.r. latifolium Hutch), In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 8, 1988, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, SC, CIC, 1988. p.108-116.
- ARANDA, J. M. Efeito del regimen de riegos sobre el rendimiento adelanto de cosecha del algodón. **Anales de Edafologia e Agrobiologia**, Sevilha, v.25, p.313-324, 1966.
- ARAÚJO, J. M. de; OLIVEIRA, J. M. C. de; VALE, D. G.; SILVA, M. B. da; CARTAXO W. V. Avaliação da viabilidade econômica do algodoeiro herbáceo irrigado no Nordeste – Pequena produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 2, Ribeirão Preto. **Anais...** Campina Grande: EMBRAPA – CNPA, 1999. 716 p. p. 503 – 506.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. 2ª ed. Campina Grande: UFPB. Tradução de: GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; DAMASCENO, F. A. 1999, 153p. (Estudos da FAO, Irrigação e Drenagem, 29, revisado 1).
- AZEVEDO, M. R. de Q. **Impacto e modificação em agrossistemas cultivados com milho e algodão irrigados com água residuária tratada**. Campina Grande, UFCG, 2005. 239p. (Tese de Doutorado).
- AZEVEDO, P.V. de; RAO, T.V.R.; AMORIM NETO, M.S.; PEREIRA, J.R.C.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; MACIEL, G.F. Necessidades hídricas da cultura do algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.7, p.863-870, jul. 1993.
- AZEVEDO, R. V. de; RAMANA RAO, T. V; AMORIM NETO, M. da S.; BEZERRA, J. R. C.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J. Estimativa do consumo hídrico de um cultivo de algodão herbáceo irrigado. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 7, Viçosa, 1991. **Resumos...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1991, p.229-231.
- BALKS, M.R.; BOND, W.J; SMITH, C.J. Effects of sodium accumulation on soil physical properties under an effluent-irrigated plantation. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v.36, p.821-830, 1998.
- BARBER, S.A. **Soil Nutrient Bioavailability: um mechanistic approach**. 2nd Ed. New York: John Wiley & Sons, 1995. 414 p.

- BARBER, S.A.A. Diffusion and mass-flow concept of soil nutrient availability. **Soil Science**. Baltimore, 93: 39-49, 1962.
- BARREIRO NETO, M.; SILVA, M.J.; OLIVEIRA, F.A.; CARVALHO, O.S. **Importância da irrigação do algodoeiro no Nordeste brasileiro**. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 1987. 16p. (Documento, 20).
- BARROW, N.J. Evaluation and utilization of residual phosphorus in soil In: KHASAWANEM, F.E.; SAMPLE, E.C. & KAMPRATH, eds. **The role of phosphorus in agriculture**, Madison, 1980.
- BARROW, N.J. Reactions of anions and cations with variable charge soils, **Adv. Agron.** p 183-230. 1985.
- BASTOS, R. K. X. **Reúso de Efluentes. Anais do Seminário Internacional Tendências no Tratamento Simplificado de Águas Residuárias Domésticas e Industriais**. Belo Horizonte-MG, mar. 1996. p. 222-236.
- BELTRÃO, N. E. de M.; AZEVEDO, D. M. P. de. **Defasagem entre a produtividade real e potencial do algodoeiro herbáceo: limitações morfológicas, fisiológicas, e ambientais**. Campina Grande, PB. EMBRAPA/CNPA, 1993. 108p. (EMBRAPA/CNPA. Comunicado Técnico, 39).
- BELTRÃO, N. E. de M. Algodão brasileiro em relação ao mundo: situação e perspectivas. In: **O Agronegócio do Algodão no Brasil**. Brasília, DF. EMBRAPA – Algodão, 1999. p. 16 – 27.
- BELTRÃO, N.E. de M.; ALMEIDA, O.A. de; PEREIRA, J.R.; FIDELES FILHO, J. Metodologia para estimativa do crescimento do fruto e do volume absoluto e relativo da planta do algodoeiro. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 283-289, jan-abr., 2001a.
- BELTRÃO, N. E. de M. Alteração no Metabolismo, Produtividade e Qualidade do Produto, Causadas por Excesso de Água e/ou Compactação do Solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3, Campo Grande, MS, 2001. **Anais...** Campina Grande: EMBRAPA – CNPA, 2001. p. 427– 430.
- BELTRÃO, N. E. de M.; AZEVEDO, D. M. P. de; VIEIRA, D. J.; NÓBREGA, L. B. da. **Recomendações técnicas e considerações gerais sobre o uso de herbicidas, desfolhantes e reguladores de crescimento na cultura do algodão**. Campina Grande: EMBRAPA/CNPA, 1997. 32p. (EMBRAPA/CNPA. Documentos, 48).
- BELTRÃO, N. E. de M.; DINIZ, M. de S.; VIEIRA, D. J.; NÓBREGA, L. B. da S.;

- SOUSA, R. P. de; SOUSA NETO, J. B. de. Configuração de plantio e época de capação em algodoeiro herbáceo de curta duração irrigado. In: REUNIÃO NACIONAL DO ALGODÃO, 5.; 1988. **Resumo dos trabalhos**. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 1988, p.70.
- BELTRÃO, N. E. DE M.; NÓBREGA, L. B. da; VIEIRA, D. J.; AZEVEDO, D. M. P. de; SOUSA, R. P. de. Crescimento e desenvolvimento do algodoeiro de curta duração cultivar CNPA Precoce, no sertão paraibano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v.25, n.7, p.991-1001, jul.1990.
- BEZERRA, J. R. C.; AMORIM NETO, M. DA S.; SILVA, M. J. DA. L.; BARRETO, A. N.; SILVA, L. C. Irrigação do algodoeiro herbáceo. In: BELTRÃO, N. E. de M.; Organizador. **O Agronegócio do Algodão no Brasil**. Campina Grande: EMBRAPA/Algodão, v.2 p.617-682. 1999.
- BEZERRA, J. R. C.; BARRETO, A. N.; SILVA, B. B. da; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; RAMANA RAO, T. V; LUZ, M. J. da S. E; MEDEIROS de; SOUZA, C. B. de; SILVA, M. B. da. Consumo hídrico do algodoeiro herbáceo. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Algodão (Campina Grande, PB). **Relatório técnico anual 1992-1993**. Campina Grande, PB, 1994. p.151-154.
- BIELESKI, R. L. Phosphate pools, phosphate transport, and phosphate availability, *An, Rev. Plant. Physiol*, 24:225-252, 1973.
- BIELORAI, H.; VAISMAN, I.; FEIGIN, A. Drip irrigation of cotton with treated municipal effluents: I. Yield response. **Journal of Environmental Quality**, v.13, p.231-234, 1984.
- BLUM, D. e FEACHEM, R.G. Health Aspects of Nigthsoil and Sludge Used in Agriculture and Aquaculture. Part III: An **Epidemiological Perspective**. Report N° 05/85. Duenbendorf, Switzerland. International Reference Centre for Waste Disposal, 1985.
- BOND, W. J. Effluent irrigation an environmental challenge for soil science. **Australian. Journal of Soil Research**, v.36, p.543-555, 1998.
- BOUWER, H. IDELOVITCH, E. Quality requirements for irrigation with sewage water. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Rome, v.113, p.516-535, 1987.
- BOUWER, H. Integrated water management: emerging issues and challenges. **Agricultural Water Management**, v.45, p.217-228, 2000.

- BOUWER, H.; CHANEY, R.L. Land treatment of wastewater. **Advances in Agronomy**, v.26, p.133-176, 1974.
- BREIRSDORF, M. I. C.; MOTA, F. S. Necessidade de água e balanço da radiação solar na cultura do arroz irrigado e estudo da seca nos sistemas de rotação arroz-pastagens-cultura no Rio Grande do Sul. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO, 2, 1971, Porto Alegre, RS. **Anais...** Porto Alegre: SEDUSUL, 1971. p.261-280.
- CAMERON, K.C.; DI, H.J.; McLAREN, R.G. Is soil an appropriate dumping ground for our waster. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v.35, p.995-1035, 1997.
- CAMPOS, J.R. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbico e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.
- CARVALHO, L. P. de; NÓBREGA, M. B. de M.; FREIRE, E. C.; SANTANA, J. C. F. de. **Cores naturais da fibra de algodão e obtenção de uma população da cultivar CNPA 7 H Verde**. Campina Grande, PB, 1999. 23p. (EMBRAPA – CNPA. Documentos 68).
- CERQUEIRA, W.P.; SANTOS, G.; SILVA, R.J.M. da. Adubação nitrogenada fosfatada na cultura do algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v17, n11, p1563-1576. 1982.
- CERVellini, G. de S.; TOLEDO, S. V. de; REIS, A. J.; ROCHA, T. R. Nitrogênio na adubação química do cafeeiro: doses e parcelamento do nitrogênio. **Bragantia**, Campinas, v. 45, p. 45-55, 1986.
- CHAE, Y.M.; TABATABAI, M.A. Mineralization of nitrogen in soil amended with organic wastes. **Journal of Environmental Quality**, v.15, p.193-198, 1996.
- CROMER, R. N.; TOMPKINS, D.; BARR, N. J.; HOPMANS, P. Irrigation of Monterey pine With wastewater: effect on soil chemistry and groundwater composition. **Journnal of Enviromental Quality**, v.13, p.539-542, 1984.
- CRUCIANI, D. E.; MAIA, P. C. S.; PAZ, V. P. S.; FRIZZONE, J. A. Fertirrigação nitrogenada na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) por sistema de irrigação por aspersão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, nº 1, p. 63-67, 1998.
- DARWISH, M.R.; EL-AWAR, F.A.; SHARARA, M.; HAMDAR, B. Economic-enviromental approach for optimum wastewater utilization in irrigation: a case study in Lebanon. **Applied Engineering in Agriculture**, v.15, p.41-48, 1999.

- DAY, A. D.; McFADYEN, J. A.; TUCKER, T. C.; CLUFF, C. B. Commercial production of wheat grain irrigated with municipal water and pump water. **Journal of Environmental Quality**, v.8, p.403-406, 1979.
- DAY, A.D. TAHER, F.A.; KATTERMAN, F.R.H. Influence of treated municipal waste water on growth, fiber, acid-soluble nucleotides, protein, and acid content in wheat grain. **Journal of Environmental Quality**, v.4, p.167-169, 1975.
- DAY, A.D.; McFADYEN, J.A.; TUCKER, T.C.; CLUFF, C.B. Effects of municipal waste water on the yield and quality of cotton. **Journal of Environmental Quality**, v.10, p.47-49, 1981.
- DAY, A.D.; RAHMAN, A., KATTERMAN, F.R.H.; JENSEN, V. Effects of treated municipal wastewater and commercial fertilizer on growth, fiber, acid-soluble nucleotides, protein, and amino acid content in wheat hay. **Journal of Environmental Quality**, v.3, p.17-19, 1974.
- DAY, A.D.; TUCKER, T.C. Effect of city sewage effluent on grain yield and grain and quality of fall-sown, irrigated barley. *Agronomy Journal*, v.55, p.317-318, 1963.
- DAY, A.D.; TUCKER, T.C. Effect of treated municipal wastewater on growth, fiber, protein, and amino acid content of sorghum grain. **Journal of Environmental Quality**, v.6, p.325-327, 1977.
- DAY, A.D.; TUCKER, T.C.; VAVICH, M.G. Effect of city sewage effluent on the yield and quality of grain from barley, oats, and wheat. **Agronomy Journal**, v.54, p.133-135, 1962.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Tradução por H. R. Gheyi, A. A. Sousa, F. A. Damasceno, e J. F. de Medeiros. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (Estudos da FAO: Irrigação e Drenagem, 33) Tradução de Yield Response to Water.
- DUQUE, F. F.; NEVES, M. C. P.; FRANCO, A. A.; VICTORIA, R. L.; BODDEY, R. M. The response of field grown *Phaseolus vulgaris* L. to Rhizobium inoculation and qualification of N₂ fixation using ¹⁰N. **Plant and Soil**, v. 88, p. 333-343, 1985.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA) **Sistema Brasileiro de classificação de Solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro, 1999,0412p.
- EMBRAPA- Centro Nacional de Pesquisa do Algodão. **Algumas informações técnicas das cultivares de algodão**. Campina Grande-PB. s. d.; 1993, Folheto.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA) **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1979.
- ENGELSTED, O. P.; TERMAN, G.L. Agronomic effectiveness of phosphate fertilizers. In: KHASAWANEH, F.E.; SAMPLE, E.C. & KAMPRETH, E.J. eds. **The role of phosphorus in agriculture**. ASA/SSSA. Madson, p311-332, 1980.
- FALKINER, R. A.; SMITH, C. J. Changes in soil chemistry in effluent-irrigated Pinus radiata and Eucalyptus grands. **Australian Journal of Soil Research**, v.35, p.131-147, 1997.
- FEIGIN, A.; BIELORAI, H.; DAG, Y.; KIPNIS.; GISKIN, M. The nitrogen factor in the management of effluent-irrigated soil. **Soil Science**, v.125, p.248-254, 1978.
- FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. Irrigation with treated sewage effluent: **Management for environmental protection**. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 224p.
- FEIGIN, A.; VAISMAN, I.; BIOLORAI, H. Drip irrigation of cotton with treated municipal effluents: II. Nutrient availability in soil. **Journal of Environmental Quality**, v.13, p.234-238, 1984.
- FERNÁNDEZ, S.; VIDAL, D.; SIMÓN, E.; SUGRAÑES, L. Radiometric characteristics of *Triticum aestivum* cv. Astral under water and nitrogen stress. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 15, nº 9, p.1867-1884, 1994.
- FERREIRA, O. E.; BELTRÃO N. E. de M.; KÖNIG, A.; DIAS, J. M.; SANTOS, J. W. dos. Adubação nitrogenada e qualidade da água de irrigação e seus efeitos na produtividade e componentes de produção do algodoeiro herbáceo In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 2003, Goiânia. **Anais...** Campina Grande: EMBRAPA – CNPA, 2003.
- FERRI, M. G. **Fisiologia vegetal** 1. 2ª ed. São Paulo: EPU, 1985. 362p.
- FERREIRA, O. E. **Efeito da aplicação de água residuária doméstica tratada e adubação nitrogenada na cultura do algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. r. latifolium Hutch.) e no meio edáfico**. Campina Grande, UFCG, 2003. 78p. (Dissertação de Mestrado).
- FIDELES FILHO, J.; NÓBREGA, J. Q.; SOUSA, J. T.; DANTAS, J. P. Comparação dos efeitos de água residuária e de poço no crescimento e desenvolvimento do algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, (Suplemento), p.328-332, 2005.

- FIGUEIRÊDO, I. C. M.; LIMA, V. L. A.; HAANDEL, A. C.; ARAÚJO, M. G. F.; COSTA, V. G. Efeito do biossólido na produção do algodão colorido. In: XXXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Salvador, BA, **Anais...**Salvador: SBEA, 2002. CD-ROM.
- FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa, MG, 2000, 402p.
- FLECK, N. G.; SILVA, P. R. F. Efeito da época de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do girassol, com e sem controle de plantas daninhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 24, nº 6, p. 669-676, 1989.
- FLOSS, ELMAR LUIZ. **Fisiologia das plantas cultivadas: o estudo que está por trás do que se ver**. Passo Fundo: UPF, 2004. 528p.
- FONSECA, A.F. **Disponibilidade de nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e do milho pela aplicação de efluente de esgoto tratado**. Piracicaba, ESALQ. 110p, 2001. (Dissertação de mestrado).
- FONSECA, D. M.; GOMIDE, J. A.; ALVAREZ, V. H; NOVAES de, R. F. Fatores que influenciam os níveis críticos de fósforo para o estabelecimento de gramíneas forrageiras, em casa de vegetação. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, 21: 27-34, 1997.
- FRANÇOIS, L.E. Narrow row cotton. (*Gossypium hirsutum* L.) under saline conditions. **Irrig. Sci.** v.3, p. 149-156, 1982.
- FREIRE, E.C.; ANDRADE,F.P.de; SANTANA,J.C.F. de; PEDROSA, M. B.; Melhoramento do Algodoeiro de Fibras Longas para Cultivo sob Condições Irrigadas no Nordeste do Brasil. In: II Congresso Brasileiro de Algodão, 2, Ribeirão Preto, SP, **Anais...** Campina Grande: EMBRAPA, 1999 pág 566-568.
- FREIRE, E.C.; SOUZA,L.S. da; KORNELIUS, E.; RODRIGUES, E.M. & ALVES, E.J. Efeito da adubação nitrogenada e fosfatada em algodoeiro hergbáceo no estado de Sergipe. **Pesq. Agrop. Bras.** Brasilia. 1978.
- FRIEDEL, J.K; LANGER, T.; SIEBE, C.; STAHR, K. Effects of long-term waste water irrigation on soil organic matter, soil microbial biomass and its activities in central Mexico. **Biology and Fertility Soil**, v,31, p.414-421, 2000.
- FURLANI, E.J., ZANQUETA, R. SILVA, M.N, CARVALHO, E.H, Características da fibra em função de doses e momentos de aplicação de adubo nitrogenado para a cultura do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) IAC 224. III Congresso Brasileiro de Algodão. Vol. 2. Campo Grande, MS, **Anais...** Dourados: Embrapa Agropecuária

- Oeste, 2001.
- GARCIA, G.O. **Alterações Químicas, Físicas e Mobilidade de Íons no Solo Decorrentes da Aplicação de Água Residuária da Lavagem e Despolpa dos Frutos do Cafeeiro Conilon**. Viçosa, UFV. 100p, 2003. (Dissertação de Mestrado).
- GAZETA MERCANTIL. Panorama Setorial. Exportações de Algodão. Editores: Lúcia Kassai & Onildo Cantalice. Brasil, Segunda-Feira, 28 de Fevereiro de 2005, Pág. A-14.
- GERLOFF, G.C.; GABELMAN, W.H. Genetic basis of inorganic plant nutrition In: **New York. Springer**. Verlag, 1983. P453-480.
- GOMES, F. P. **Curso de Estatística Experimental**. São Paulo: Nobel, 467p. 1995.
- GOMES, R.P. **Adubos e adubação**. 7º ed. São Paulo: Nobel, 1978, 1978, 178p.
- GRESPLAN, S. L.; ZANCANARO, L. **Nutrição e adubação**. Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Mato Grosso-Fundação MT. Mato Grosso: Liderança e Competitividade. Rondonópolis: Fundação MT. Campina Grande: Embrapa-CNPA, 1999. Cap. 5, p. 87-99.
- GRESPLAN, S. L.; ZANCANARO, L. **Nutrição e adubação do algodoeiro no Mato Grosso**. Rondonópolis: FMT/EMBRAPA, 1999, p.95 (Boletim, 3).
- GRIMES, D. W.; EL-ZIK, K. M. Cotton. I: STEWART, B. A.; NIELSEN, D. R. Irrigation of Agricultural Crops. Madison, **Soil Science Society of America**. (Série Agronomy, 30), 1990, p.741-773.
- HARGREAVES, G.H. **Potential evapotranspiration and irrigation requirements for the Northeast of Brazil**. Utah: Utah State University, 1974. 55p.
- HESPANHOL, I. **Aspectos Técnicos e de Saúde Pública Relativos ao Uso de Esgotos na Agricultura e Aqüicultura**. Encontro Internacional sobre o Desenvolvimento da Década da Água. Lisboa, Portugal: 19 a 22 abril 1988. Governo de Portugal, República Federal da Alemanha, PNUD, OMS, 1988. 69p.
- HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: Agricultura, Indústria, Municípios, Recargas de Aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. vol 7. n. 4. 75-95p, Out/Dez 2002.
- HOLFORD, I.C.R. Soil Phosphorus: its measurement and its uptake by plants. **Aust. J. Soil Res.**, 35: 227-239, 1997.

- HORTENSTINE, C. C. Chemical changes in the soil solution a Spodosol irrigated with secondary-treated sewage effluent. **Journal of Environmental Quality**, v. 5, p.335-338, 1976.
- HUSSAIN, G.; AL-JALOUD, A.A. Effect of irrigation and nitrogen on yield, yield components and water use efficiency of barley in Saudi Arabia. **Agricultural Water Management**, v.36, p.55-70, 1998.
- HUSSAIN, G.; AL-JALOUD, A.A. KARIMULLA, S. Effect of treated effluent irrigation and nitrogen on yield and nitrogen use efficiency of wheat. **Agricultural Water Management**, v.30, p.175-184, 1996.
- ICAC RECORDER, Washington, **Internacional Cotton Advisory Committee**, v. 10, n° 4, p.36, 1992.
- INGLÉS, A.; GÓMEZ, M.; NOGALES, R. Efecto del riego con aguas residuales urbanas depuradas sobre la disponibilidad de metales pesados para la planta. **Suelo y Planta**, v.2, p.703-712, 1992.
- JACKSON, E. B.; TILT, P. A. Effects of irrigation intensity and nitrogen level on the performance of eihgt varieties of upland cotton, *Gossypium hirsutum* L. **Agronomy Journal**, Madison, v.60, n.1, p.13-17, 1968.
- JNAD, I.; LESIKAR, B.; KENIMER, A.; SABBAGH, G. Subsurface Drip Dispersal of Residential Effluent: I. Soil Chemical Characteristics. **Transactions of the ASAE**. v. 44(5), 2001a.
- JNAD, I.; LESIKAR, B.; KENIMER, A.; SABBAGH, G. Subsurface Drip Dispersal of Residential Effluent: II. Soil Hydraulic Characteristics. **Transactions of the ASAE**. v. 44(5), 2001b.
- JOHNS, G,G.; McCONCHIE, D. M. Irrigation of bananas with secondary treated sewage effluent. I. Field evaluation of effect on plant nutrients and additional elements in leaf, pup and soil. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.45, p.1601-1617, 1994a.
- JOHNS, G,G.; McCONCHIE, D. M. Irrigation of bananas with secondary treated sewage effluent. II. Effect on plant nutrients, additional elements and pesticide residues in plants, soil and leachate using drainage lysimeters. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.45, p.1619-1638, 1994b.
- KARLEN, D.L.; VITOSH, M.L.; KUNZE, R.J. irrigation of corn with simulated municipal sewage effluent. **Journal of Environmental Quality**, v.5, p.269-273,1976.

- KEMPER, K. E. **O custo da água gratuita: alocação e uso dos recursos hídricos no Vale do Curu**, Ceará, Nordeste brasileiro. Tradução de: Marcos Felipe. Linköping, 1997.
- KIEHL, E. S. **Manual de edafologia: Relações solo - planta**. São Paulo: Ceres, 1979. 262 p.
- KÖNIG, A.; CEBALLOS, B. S. O. Reúso de Água Residuárias na Agricultura - Uma Alternativa para a Produção Agrícola e Controle da Poluição Ambiental. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 26, Campina Grande, PB **Anais...** Campina Grande: 1997.
- KRAMER, P. J. **Relaciones hídricas de suelos y plantas**. México: EDUTEX S. A, 1974. 529p.
- KRANTZ, B. A.; SWANSON, N. P.; STOCRINGER, K. R.; CARRECER, J. R. Irrigation cotton to insure higher yields. **Yearbook Agric.**, p.381-388, 1976.
- LANCHLI, A. Soil scienci in the next. Twenty five years, does a biotecnology play a role. **Soil Sci. Soc. Am J. Madison**, 54. 1987.
- LATTERELL, J. J.; DOWDY, R. H.; CLAPP, C. E.; LARSON, W. E.; LINDEN, D. R. Distribution of phosphorus in soil irrigated with municipal waste-water effluente: a 5° year study. **Journal of Environmental Quality**, v.11, p124-128, 1982.
- LAW, J.P.Jr.; BERNARD, H. Impact of agricultural pollutants on water uses. **Transactions of the ASAE**, v.13, n.4, p.474-478, 1970.
- LEAL, J. R.; VELLOSO, A. C. X. Adsorção de fosfato em latossolos sob vegetação de cerrado. **Pesq. Agrop. Bras.** 8: 81-88, 1973.
- LÉON S., G.; CAVALLINI, J. M. **Tratamento e uso de águas residuárias**. Campina Grande: UFPB, 1999. 109p.
- LIMA, V. L. A. **Efeitos da qualidade da água de irrigação e da fração de lixiviação sobre a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em condições de lisímetro de drenagem**. 1998. 87f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- LINDSAY, W.L; MORENO, E. C. Phosphate phose equilibria in soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v24, n1, p177-182. 1960.
- LOPES, A. S.; COX, F. R. Relação de características físicas, químicas e mineralógicas com fixação de fósforo em solos sob cerrado. **Rev. Bras. Ci. Solo.** 3:82-88. 1979.

- LOPES, A.S. **Solos sob “cerrado”:** características, propriedades e manejo. Piracicaba: POTAFOS, 1984. 162p.
- LOTTI, P. Problems of Management and Reuse of Waste Water in Agriculture. **Water International**, vol. 6, nº 4, December, 170-176. 1981.
- LUZ, M. J. da S. Efeito deficiência hídrica sobre o rendimento e a qualidade da fibra do algodoeiro. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 1, n. 1, p. 125 – 133, 1997.
- MAAS. E. V. HOFFMAN, G. J. **Tolerância del los cultivos a los sales**. Boletín Técnico. Departamento de Irrigación. Universidad Anotón. Chapingo, México, n.9, p.1-18, 1980.
- MAGALHÃES, A. R.; GARAGORRY, F. L.; MOLION, S. B. C.; AMORIM NETO, M. da S. A.; NOBRE, C. A.; PORTO, E. R.; REBOUÇAS, O. E. **The effects of climatic variations of agriculture in Northeast to Brazil**, 1987, 109p.
- MALAVOLTA, E.; HAAG; H.P.; MELLO, F.A.P. **Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas**. São Paulo : Pioneira, 1974. 727 p.
- MALAVOLTA, E. **Manual de calagem e adubação das principais culturas**. São Paulo: Ceres, 1987. 496p.
- MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubações**. São Paulo: Ceres, 3ª Edição, 1981. 596p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2 ed. London: Academic Press, 1995. 889p.
- MARTINEZ, H.E.P.; NOVAIS, R.F.; RODRIGUES, L.A.; SACRAMENTO, L.V.S. do. Comportamento de variedades de soja cultivadas em diferentes doses de fósforo. **Rev. Bras. Ci. Solo**. 17: p231-238, 1993.
- MATOS, A.T. **Aproveitamento de efluentes líquidos domésticos e agroindustriais na agricultura**. In: III Encontro de preservação de mananciais da zona da mata mineira. Viçosa: UFV, 392p, 2003.
- MATOS, A. T.; PINTO, A. B.; PEREIRA O. G.; BARROS, F. M. Alteração de atributos químicos no solo de rampas utilizadas no tratamento de águas residuárias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.3, p.406-412, 2005.
- McBRIDE, M.B. Reactions controlling heavy metal solubility in soil. **Advances in Soil Science**, v10, p.1-57, 1989.

- MEDEIROS, A. A. de, VIEIRA, R. de M.. Produção de Algodão na Cultivar CNPA 7H, em Cultivo Irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 2. 1999, Ribeirão Preto. **Anais ...** Campina Grande: EMBRAPA – CNPA, 1999. 716 p. p. 500 – 502.
- MEDEIROS, A.A.; **Nível crítico de fósforo em cultivares de algodão (*Gossypium hirsutum L.*) var. Marie galante, Huch.** Piracicaba, SP. 1987. Tese de doutorado.
- MEDEIROS, J. C.; FREIRE, E. C.; CUNHA, H. F.; QUEIROZ, J. C.; DEL'AQUA, J. M.; PEDROZA, M. B.; ASSUNÇÃO, J. H. **Principais ações de pesquisa e transferência de tecnologia para o algodoeiro no Estado de Goiás, Safra 1999/2000.** Campina Grande, PB, 2001, 37p.
- MELLO, F.E. de S. Recuperação de solos salgados no Nordeste. Recife: **DNOCS**, 1959. v.19, p. 87-89.
- MELO, R. F. de.; MIGUEL, A. A.; SILVA, M. R. M.; OLIVEIRA, F. A. de O.; ALVES, W. W. de. A. Efeito da adubação nitrogenada e de níveis de água disponível no solo sobre a produção de matéria seca e demanda do algodoeiro herbáceo. In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, Ribeirão Preto, SP **Anais...**Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 1999. p.418-420.
- MENDEZ, J.; KAMPRATH, E. J. Liming of latossolo and the effects in phosphorus response. **Soil Sci. Soc. Amer. Jour.** 42: 86-88, 1978.
- MILLAR, A. A. **Respuesta de los cultivos al deficit de água como información basica para el manejo del riego.** Petrolina: EMBRAPA - CPATSA, 1976. 62p.
- MIRANDA, T. L. G. de. **Reúso de Efluentes de Esgotos Domésticos na Irrigação de Alfices.** UFRGS, Porto Alegre, 1995. (Dissertação de Mestrado).
- MONDINO, M. H.; GALIZZI, F. A. **Efects de la aplicación de fertilizantes nitrogenados y fosforados sobre las propiedades tecnologicas de La fibra del algodón producida Bajo Riego.** Santiago del Estero, Argentina, p. 1022-1024, 2001.
- MOREIRA, J. A. N; et al.; **Algodoeiro mocó: Uma lavoura ameaçada de extinção.** Campina Grande, PB, EMBRAPA-CNPA, 1989, 20p. (Documento, 36).
- MOTA, S. Preservação e Conservação de Recursos Hídricos. 2ª ed. Revisada e atualizada. Rio de Janeiro. 1995.

- MUJERIEGO, R.; SALA, L.; CARBÓ, M.; TURET, J. Agronomic and public health assessment of reclaimed water quality for landscape irrigation. **Water Science & Technology**, v.33, p.335-344, 1996.
- NAKAYAMA, F.S. Water analysis and treatment techniques to control emitter pluggins. In: PROC IRRIGATION ASSOCIATION CONFERENCE, 21-24 February 1982, Portland, Oregon, 1982.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES; NATIONAL ACADEMY OF ENGINEERING. **Water quality criteria**. Washington DC, United States Enviromental Protection Agency, 1972. 592p. (Report N° EPA-r373-033)
- NATURAL COLORS OF COTTON. **ICAC Recorder**, v. 10, n° 4, p.3-5, Dec. 1992.
- NÓBREGA, L.B. da; VASCONCELOS, L.N.; BELTRÃO, N.E.de M.; SANTOS, J.W. dos; AZEVEDO, D.M.P. de; VIEIRA, D.J. Isoterma de adsorção de fósforo em solo cultivado com algodoeiro herbáceo no cariris velho Paraibano. In: I Congresso Brasileiro de Algodão. Fortaleza, CE. **Anais...** Campina grande: EMBRAPA-CNPA, 1997.
- NOVAIS, R. F.; SMITH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. UFV. Viçosa. MG. 1999. 385p.
- OLIVEIRA, F. A. de.; CAMPOS, T. G. da S. Efeito da supressão da irrigação no algodoeiro herbáceo. **Pesquisa Agropecuária. Brasília**, DF. 1992. v.26, n° 3, p.383-390.
- OLIVEIRA, F. A. **Determinação da época de plantio e uso consultivo do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L. var. Coker 100A) no Sub-Médio São Francisco**. Campina Grande, PB. UFPB/CCT, 1976, 71p. (Dissertação de Mestrado).
- ORON, G.; CAMPOS, C.; GILLERMAN, L.; SALGOT, M. Wastewater treatment, renovation and reuse for agricultural irrigation in small communities. **Agricultural Water Management**, v.38, p.223-234, 1999.
- OSINAME, O.; VANGINJ, H.; ULEX, P. L. G. Effect nitrifications inibitios of the fate and efficiency of nitrogenenoms fertilisers Ander simulated homid tropical conditions. **Tropical Agricultura**, v. 60, p.211-217, 1983.
- OVERMAN, A.R. Irrigation of corn with municipal effluent. Transactions of the **American Society of Agricultural Engineers**, v.24, p.74-80, 1981.

- PAGANINI, W.S. **Disposição de Esgotos no Solo: (escoamento à superfície)**, 2.ed. São Paulo, Fundo Editorial da AESABESP, 1997. 232p.
- PASSOS, S.M. de G. **Algodão**. Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1977. P. 138-203.
- PEIXINHO, C. F. LEAL, M. S. A Água em Revista – Revista Técnica e Informativa da CPRM – Suplemento das Águas. **Proteção da Qualidade e do Abastecimento dos Recursos Hídricos: Aplicação de Critérios Integrados no Desenvolvimento, Manejo e Uso dos Recursos Hídricos**. 1996.
- PESCOD, M. B. Wastewater treatment and use in agriculture. Rome: FAO, 1992. 125p. (Irrigation and Drainage Paper, 47).
- PETINARI, R. A.; FURLANI JUNIOR, E.; TARSITANO, M. A. A.; ARAÚJO, C. A. M. e. Análise Econômica de Doses e épocas de Aplicação de Nitrogênio para a Cultura do Algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) IAC 22. In: III Congresso Brasileiro de Algodão, Campo Grande, MS. **Anais...** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 20001. p.59-61.
- PIMENTEL, M. S. Algodão: variedades precoces driblam o bicudo no Sudeste da Bahia. **Manchete Rural**, Rio de Janeiro, v.8, n.99, p.60 - 66, set., 1995.
- PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia**. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2ª edición, 471p, 1990.
- PRATT, P.F. Quality criteria for trace elements in irrigation waters. California, **California Agricultural Experiment Station**, 1972. 46p.
- QUIN, B.F.; SYERS, J.K. Surface irrigation of pasture with treated sewage effluent. III. Heavy metal content of sewage effluent, sludge, soil, and pasture. New Zealand **Journal of Agricultural Research**, v.21, p.435-442, 1978.
- QUIN, B.F.; WOODS, P.H. Surface irrigation of pasture with treated sewage. I. Nutrient status of soil and pasture. New Zealand. **Journal of Agricultural Research**, v.21, p.419-426, 1978.
- RAIJ, B. V. Fertilidade do solo e adubação. São Paulo, Piracicaba: Ceres, Potafos, 1991. 343p.
- RAJU, P.S.; CLARK, R.B.; MAITI, R.K.; & MARANVILLE, J.W. Phosphorus uptake, distribution and use by glossy and nonglossy sorghum. **Jour. Plant. Nutr.** New York. 10, p2017-2024, 1987

- REZENDE, A.A.P. **Fertirrigação do Eucalipto com Efluente Tratado de Fábrica de Celulose Kraft Branqueada**. Viçosa, UFV. 152p, 2003, (Tese de Doutorado).
- RIBEIRO, J. L. **Efeito do sódio no desenvolvimento do algodoeiro mocó (*Gossypium hirsutum* L. Marie galante Hutch.) e herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.)** 1982. 109 f: Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal da Paraíba - Areia.
- RICHARDS, L. A. Pressure membrane apparatus construction and use. **Agric. Eng.**, Saint Joseph, v.28, p.451-4, 1947.
- RICHARDS, L.A. **Diagnosis y rehabilitación de suelos salinos y sódicos**. México: Limusa. 1965. 172p.
- RODRIGUES, M. B.; KIEHL, I. L. Volatilização da amônia após uréia em diferentes doses de aplicação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v. 10, nº 1, p. 37, 1986.
- ROSOLEM, C.A. Problemas em nutrição mineral, calagem e adubação do algodoeiro. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, Potafos, n.95, p.10-17, 2001. (Encarte Técnico).
- RUFTY Jr. T.W.; MACKOWN, C.T. & ISRAEL, D.W. Phosphorus stress effects on assimilation of nitrate, **Plant. Physiol.** 94: 328-333, 1990.
- SABINO, N. P.; SILVA, N. M. da; RODRIGUES FILHO, F. S. O. Efeitos da aplicação de N e K na qualidade da fibra do algodoeiro cultivado em Latossolos Roxos do estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas v.35, 1976, p.381-389.
- SABINO, N. P.; SILVA, N. M.; KONDO, J. I. Efeito da adubação com superfosfato simples em características agronômicas e propriedades tecnológicas da fibra das variedades do algodoeiro IAC 13-1, IAC 16, IAC 17. **Bragantia**, Campinas, v 50, n1, p.129-137. 1991.
- SABINO, N.P; SILVA, N.M. Efeitos da utilização de misturas de adubo com ou sem enxofre na precocidade e nas características do capulho e da fibra do algodoeiro. **Bragantia**. Campinas, v.43, n1, p. 87-94. 1984.
- SAMPLE, E. C.; SOPER, R. J. & RACZ, G. J. Reactions of phosphate fertilizers in soil In: KHSAWNEH, F. E.; SANPLE, E. E. & KAMPRATH, E. J. eds. The role of phosphorus in agriculture. Madison, **American Society of Agronomy**, 1980. p.263-310.

- SAN JUAN, J. A. M. **Riego por goteo: teoría e práctica**. 4ª ed. Madrid: Mundi-Prensa, 2000. 302p.
- SANTOS, R. F. dos, SANTOS, J. W. dos. Agronegócio do algodão: crise no mercado brasileiro da matéria-prima agrícola. In: **O Agronegócio do Algodão no Brasil**. Brasília, DF. EMBRAPA – Algodão, 1999. p. 30 - 54.
- SANTOS, R. F. dos; BARROS, M. A. L.; CAVALCANTE, J. J. Conjuntura Internacional e Nacional do Algodão, 1990/91. In: **RELATÓRIO TÉCNICO ANUAL DE PESQUISA DO ALGODÃO**, 1990/91. Campina Grande, PB. EMBRAPA-CNPA, 1992. p.73-74.
- SAS/SAT User's Guide. In: SAS Institute. SAS OnlineDoc: version 8.2. Cary, 2000. CD Rom.
- SCHACHTMAN, D.P., REID, R.J., AYLING, S.M. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. **Plant Physiol.**, 116: 447-453, 1998.
- SCHIPPER, L.A.; WILLIAMSON, J.C.; KETTLES, H.A.; SPEIR, T.W. Impact of land-applied tertiary-treated effluent on soil biochemical properties. **Journal of Environmental Quality**, v.25, p.1073-1077, 1996.
- SCHJORING, J. K. Nitrate and ammonium absorption by plants growing at a sufficient a insufficient level of phosphorus in nutrient solution: In: LAMBERS, H. ed. **Fundamentals, ecological and agricultural aspects nitrogen metabolism in higher plants**. Dordrech, Martinus Nijhoff, 1986. p. 53-58.
- SHALVELET, J.; HSIAO, T.C. Salinity and drought: a comparison of their effects on osmotic adjustment, assimilation, transpiration and growth. **Irrig. Sci.**, Heidelberg, v.7. p. 249-264, 1986.
- SHENDE, G.B. Status of wastewater treatment and agricultural reuse with special reference to Índia experience and research and development needs. In: **FAO Regional seminar on the treatment and use of sewage effluents for irrigation**, Rome: FAO. 1985. p. 157-182.
- SILVA, L. C.; BELTRÃO, E. de M.; AMORIM NETO, M. da S. **Análise de crescimento de comunidades vegetais**. Campina Grande: Embrapa – Algodão, 2000. 47p. (Embrapa – Algodão), Circular número 34.
- SILVA, N. M. Nutrição mineral e adubação do algodoeiro no Brasil. Piracicaba: Potafos, 1999.

- SILVA, N. M.; CARVALHO, L. H. CHIAVEGATO, E. J.; SABINO, N. P.; KONDO, J. I. Competição de adubos fosfatados no algodoeiro, em ensaios de longa duração; **Bragantia**, Campinas, v46, n2, p.233-246, 1987.
- SILVA, N. M.; FUZATTO, M. G.; SABINO, N. P. **Adubação do algodoeiro em latossolos roxos altamente deficientes em potássio**. Instituto Agronômico, 1971, 15p. (Projeto BNDE/ ANDA/ CIA,6).
- SILVA, N.M. da. Nutrição mineral e adubação do algodoeiro no Brasil. In: CIA, E.; FREIRE, E.C.; SANTOS, W.J. dos (Eds.). *Cultura do Algodoeiro*. Piracicaba: Potafos, 1999. p.57-92.
- SILVA, N.M. da.; CARVALHO, L.H.; CIA, E.; FUZATTO, M.G.; CHIAVEGATTO, E.J.; ALLEONI, L.R.F. Seja doutor do seu algodoeiro. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, nº 69, mar 1995. *Arq. Agrono. Piracicaba*, n8. p1-24, mar. 1995, encarte.
- SILVA, N.M.; RODRIGUES FILHO, F.S.O. Uso de misturas de adubo contendo ou não enxofre na adubação do cultivar IAC 16 de algodoeiro. **Bragantia**. Campinas, v 40, n16, p167-178. 1981.
- SILVA, V. F.; SOUSA, J. T.; VIEIRA F. F.; SANTOS, K. D. Tratamento o anaeróbio de esgoto doméstico para fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, (Suplemento), p.186-190, 2005.
- SIMS, R.E.H. Utilization of waste organic matter. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.58, p.91-95, 1996.
- SMITH, C.J.; FRENEY, J.R.; BOND, W.J. Ammonia volatilization from soil irrigated with urban sewage effluent. **Australian Journal of Soil Research**, v.34, p.789-802, 1996a.
- SMITH, C.J.; HOPMANS, P.; COOK, F.J. Accumulation of Cr, Pb, Cu, Ni, Zn and Cd in soil following irrigation with treated urban effluent in Australia. **Environmental Pollution**, v.94, p.317-323, 1996b.
- SOUSA, C. C., **Efeito de níveis de nitrogênio e da água disponível no solo sobre a cultura do algodoeiro herbáceo em condições controladas**. 1996. 74f. Centro de Ciências Agrárias. UFPB. Areia. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônômica).

- SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. *Informações Agronômicas*, Potafos, Piracicaba, n.102, jun., 2003. 16 p. (Encarte Técnico).
- SOUSA, F.A.J.; CRISOSTOMO, L.A. Efeitos de adubação fosfatada por via foliar e ao solo no algodão (*Gossipium hirsutum L.*) avaliada pela produção e diagnose foliar. **Ciência e Agronomia**. Fortaleza. 10:1 1980.
- SOUSA, J. T. LEITE, V. D. **Tratamento e utilização de esgotos domésticos na agricultura**. Campina Grande, PB: EDUEP, 2002, 103p.
- SOUSA, J. T.; CEBALLOS, B.S. O.; HENRIQUE I. N.; DANTAS J. P.; LIMA, S. M. S. Reúso de água residuária na produção de pimentão (*Capsicum annum L.*). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.1, p.89-96, 2006.
- SOUZA, J. G. de; BELTRÃO, N. E. de M.; Influência de encharcamento do solo na fisiologia de plântula de algodoeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 2. 1999, Ribeirão Preto. **Anais...** Campina Grande: EMBRAPA – CNPA, 1999. 716 p. p. 84 – 86.
- SPEIR, T.W.; VAN SCHAIK, A.P.; KETTLES, H.A.; VICENT, K.W.; CAMPBELL, D.J. Soil and stream-water impacts of sewage effluent irrigation onto steeply sloping land. **Journal of Environmental Quality**, 28, p.1105-1114,1999.
- STAUT, L. A. KURIHARA, C. H. **Calagem e Adubação. In: Embrapa Agropecuária Oeste**. Embrapa Algodão. Algodão: tecnologia de produção. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste. 2001, p.103-123.
- STEWART, H. T. L.; HOPMANS, P.; FLINN, D. W. Nutrient accumulation in trees and soil following irrigation with municipal effluent in Australia. **Environmental pollution**, v.63, p.155-177, 1990.
- STOCKTON, J. R. DONEEN, L. D, WALHOOD, V. T. Boll shedding and growth of the cotton plant in relation to irrigation frequency. **Agronomy Journal**, Madison, v.53, p.272-275, 1961.
- STRAUSS M.; BLUMENTHAL, U.J. Human Waste Use In Agriculture and Aquaculture. **Utilization Practices and Health Perspectives**. IRCWD Report N°08/89, 1989, 250 p.

- SUDENE. Superintendência do Desenvolvimento de Nordeste. Isótopos ambientais aplicados a um estudo hidrológico do Nordeste brasileiro. Recife: **SUDENE/MINTER**, 1979. 58p.
- SWENSON, R. M; COLE, C. V; SIELING, D. H. Fixation of phosphorus by Fe and Al and replacement by organic and inorganic ions. **Soil Science**, Baltimore, v67, n1, p. 3-32, 1949.
- TANJI, K.K. Irrigation with marginal quality water: issue. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.123, p.165-169, 1997.
- THOMAS, J. R. Osmotic and specific salts effects on growth of cotton. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, p.407-412, 1980.
- THOMPSON, W.R. Fertilization of cotton for yields and quality. In: CIA, E.; FREIRE, E.C.; SANTOS, W.J. dos (Eds.). *Cultura do Algodoeiro*. Piracicaba: POTAFOS, 1999. p.93-99.
- TRIVELIN, P. C. O.; OLIVEIRA, M. W.; VITTI, A. C.; GAVA, G. F. C.; BENDASSOLI, J. A. Perdas de nitrogênio da uréia no sistema solo planta em dois ciclos de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, nº 2, p. 193-201, 2002.
- TUCKER, T. C.; TUCKER, B. B. Nitrogen nutrition. In: ELLIOT, F. C.; HOOVER, M.; PORTER JÚNIOR, W. K. (eds.). **Advances in production and utilization of quality cotton: principles and practices**. Ames: Iowa State University, 1968, p.183-211, cap.7.
- UNIVERSITY OF CALIFORNIA COMMITTEE OF CONSULTANS. Guidelines for interpretation of water quality for agriculture. Davis: university of California, 1974, 13p.
- van der HOEK, W.; HASSAN, U. M.; ENSINK, J. H. J.; FEENSTRA, S.; RASCHID-SALLY, L.; MUNIR, S.; ASLAM, R.; ALIM, N.; HUSSAIN, R.; MATSUNO, Y. Urban Wastewater: A Valuable Resource for Agriculture. A Case Study from Horoonabad, Pakistan. Research Report 63. Colombo, Sri Lanka: **International Water Management Institute**. 2002.
- VANCE, C.P.; UHDE-STONE, C.; ALLAN, D.L. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**, 157: 423-447, 2003.

- VAZQUEZ-MONTIEL, O.; HORAN, N. J.; MARA, D. D. Management of domestic wastewater for use in irrigation. *Water Science & Technology*, v.355-362, 1996.
- WADDLE, B. A crop growing practices. In: KOMEL, R. J.; LEWIS, C. P. Cotton. Madison: **American Society of Agronomy**, 1984. p. 233-263 (Série Agronomy, 24).
- WATTS, W. R. D.; OLIVEIRA, C. D. de. Carência de fósforo na cultura do algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum L.*) var. latifolium no estado da Paraíba. **Pesq. Agrop. Nord.**; v3, n1, p.35-38. 1971.
- WERNECK, J. E. F. L.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. O estado das águas no Brasil: perspectivas de gestão e informação de recursos hídricos. Geneva: **Organização Meteorológica Mundial**. 1999, 334p.
- WHO. Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture. Tecn. Report. Ser. N° 778 Geneva: **World Health Organization**, 1989.
- WORLD BANK. **Irrigation and drainage research**. s.l., 1990. v.1, 21p.
- ZANIN, F.; PIPPUS, A. J.; FURTADO, G.C.; SOUZA, L. C. F. Efeito da sucessão de culturas e diferentes doses de nitrogênio na produtividade do algodoeiro (*Gossypium hirsutum L.*). III Congresso Brasileiro de Algodão, Campo Grande, MS. Anais.... Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste Dourados, v.1, 2001.

9. APÊNDICES



Apêndice 1. Imagens de algumas etapas da pesquisa.