

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E**  
**AMBIENTAL**

**DISSERTAÇÃO**

**Modelagem do sistema solo-água-planta-atmosfera e dinâmica de nitrogênio em  
cultivo de algodão (*Gossypium hirsutum*) no cerrado baiano**

**Eduardo Pires Bender**

**2016**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E  
AMBIENTAL**

**MODELAGEM DO SISTEMA SOLO-ÁGUA-PLANTA-  
ATMOSFERA E DINÂMICA DE NITROGÊNIO EM CULTIVO DE  
ALGODÃO (*Gossypium hirsutum*) NO CERRADO BAIANO**

**EDUARDO PIRES BENDER**

*Sob a orientação do Professor*  
**Dr. Gustavo Bastos Lyra**

*e Co-orientação da Doutora*  
**Dra. Claudia Pozzi Jantalia**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no curso de pós-graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, com área de concentração em Sistemas Agrícolas.

Seropédica, RJ  
Março de 2016

633.510981

42 Bender, Eduardo Pires, 1983-  
B458m Modelagem do sistema solo-planta-  
T água-atmosfera e dinâmica de  
nitrogênio em cultivo de algodão  
(Gossypium hirsutum) no cerrado  
baiano / Eduardo Pires Bender. - 2016.  
154 f.: il.

Orientador: Gustavo Bastos Lyra.

Dissertação (mestrado) -  
Universidade Federal Rural do Rio de  
Janeiro, Curso de Pós-Graduação em  
Engenharia Agrícola e Ambiental,  
2016.

Bibliografia: f. 113-121.

1. Algodão - Cultivo - Bahia -  
Teses. 2. Plantas e solo - Bahia -  
Teses. 3. Plantas e água - Bahia -  
Teses. 4. Crescimento (Plantas) -  
Modelos matemáticos - Teses. 5.  
Nitrogênio na agricultura - Teses.  
6. Gases estufa - Teses. I. Lyra,  
Gustavo Bastos, 1975- II.  
Universidade Federal Rural do Rio de  
Janeiro. Curso de Pós-Graduação em  
Engenharia Agrícola e Ambiental.  
III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E  
AMBIENTAL**

**EDUARDO PIRES BENDER**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, áreas de Concentração em Sistemas ambientais.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 30/03/2016

---

Gustavo Bastos Lyra Dr. DCA- IF – UFRRJ  
(Orientador)

---

Marcio dos Reis Martins Dr. CNPAB  
(Banca examinadora)

---

Carlos Rodrigues Pereira Dr. EE - DEAM - UFF  
(Banca examinadora)

Dedico

A toda minha família pelo apoio incondicional em todos os momentos da minha vida,  
por sempre acreditar e me proporcionar todas as condições necessárias para alcançar  
todos os objetivos por mim verdadeiramente almejados.

Dedico também a todos que direta ou indiretamente me iluminaram com seus  
conhecimentos e pensamentos positivos.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus avós maternos, Antônio Vergínio Pires (*in memorian*) e Tereza Borges Pires e paternos, Nadolino Bender (*in memorian*) e Nelsy Angela Bender, aos meus pais, Derci Antônio Bender e Maria Conceição Bender, meu irmão, Cristian Pires Bender, minhas tias Dalva Donadel, Angela Pires Pasquali, Eliana Kesting e Maria das Graças Borges Pires, pois sem seu apoio tudo seria imensuravelmente mais difícil.

Ao meu orientador da graduação Paul Richard Momsen Miller, pelo meu despertar acadêmico, bem como o apoio e incondicional sempre que preciso. Não poderia deixar de agradecer também a galera da compostagem da UFSC pelo convívio e aprendizado.

Aos meus colegas da Ecomposto, que me proporcionaram vivências inesquecíveis e amadurecimento sem igual.

Agradeço ao meu amigo Joao Antônio Montbeller pelo apoio, sem ele possivelmente esta etapa não teria nem iniciado, quiçá concluída.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental pela confiança creditada.

Ao meu orientador Gustavo Bastos Lyra, por toda paciência, conhecimento, irmandade e credibilidade em mim confiada.

A Embrapa via os pesquisadores Inácio Tévez, José Carlos Polidoro, Alexandre Ortega e minha co-orientadora Claudia Jantalia Pozzi, que me proporcionaram um crescimento profissional inimaginável, além de todo apoio para o desenvolvimento do trabalho.

Agradeço a Petrobras e Fundep pela bolsa a qual foi a mim destinada, foi também fundamental para a manutenção do foco no trabalho.

Por fim, ressalto a importância de todas as pessoas com que tive a oportunidade de conviver, sem vocês não seria quem sou, sinto-me muito grato a isso.

## RESUMO GERAL

Bender, Eduardo Pires. **Modelagem do sistema solo-água-planta-atmosfera e dinâmica de nitrogênio em cultivo de algodão (*Gossypium hirsutum*) no cerrado baiano**. 154f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental). Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

A expansão das áreas produtivas no cerrado brasileiro, aliado a tecnificação dos sistemas de cultivo, fez com que a cotonicultura brasileira se tornasse novamente representativa no cenário internacional. No entanto, estes sistemas agrícolas que visam alto rendimento, subsidiado pela aplicação de fertilizantes podem acarretar em impactos ambientais e econômicos. O experimento foi desenvolvido no oeste da Bahia, município de Luís Eduardo Magalhães, os objetivos gerais foram mensurar experimentalmente alguns coeficientes para subsidio a modelagem de água no solo, crescimento e produção de algodão, submetido a diferentes fontes de fertilizantes nitrogenados, assim como quantificar as perdas gasosas para atmosfera de fertilizantes nitrogenados pastilhados, nas formas de amônia ( $\text{NH}_3$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). A dose de N em todos os fertilizantes foi de  $200 \text{ kg ha}^{-1}$ . No primeiro capítulo foram realizadas simulações de crescimento com o modelo logístico ajustado em função aos GDA, bem como simulações de água no solo, crescimento e produção, com o modelo SWAP-WOFOST. No segundo capítulo, as perdas gasosas de nitrogênio foram quantificadas através do sistema de câmaras estáticas e posteriormente analisadas por espectrofotometria e cromatografia, para amônia e óxido nitroso, respectivamente. O modelo logístico apresentou resultados satisfatórios para todos os parâmetros avaliados, com coeficiente de regressão ( $R^2_{\text{ajs}}$ ) de 0,99 para altura em todos os tratamentos avaliados, o  $R^2_{\text{ajs}}$  para BT variou entre 0,99 (UP) e 0,98 (Sulf e T), para BC o  $R^2_{\text{ajs}}$  oscilou entre 0,99 (UP) e 0,95 (T), a BF e o IAF apresentaram o  $R^2_{\text{ajs}}$  dentre 0,92 (T e Sulf) e 0,88 (UP), para BER o  $R^2_{\text{ajs}}$  variou entre 0,99 (UP e T) e 0,98 (Sulf). As simulações de água no solo com o SWAP apresentaram  $R^2_{\text{ajs}}$  variando entre 0,58 (Sulf) e 0,39 (T), o índice “d” oscilou entre 0,67 (Sulf) e 0,65 (T), o índice “c” variou entre 0,52 (Sulf) e 0,42 (T), sendo considerado sofrível e mau, respectivamente. Quanto as simulações de crescimento com o WOFOST, o  $R^2_{\text{ajs}}$  para IAF variou entre 0,99 (UP) e 0,97 (Sulf), o índice “d” foi de 0,99 em todos os tratamentos, a BER apresentou  $R^2_{\text{ajs}}$  dentre 0,94 (T) e 0,87 (Sulf), o índice “d” variou entre 0,98 (UP) e 0,96 (T), as simulações de BT apresentaram  $R^2_{\text{ajs}}$  dentre 0,99 (UP) e 0,97 (T e Sulf), o índice “d” variou de 0,99 (UP) a 0,96 (T), o índice “c” foi considerado ótimo em todas as variáveis e tratamentos avaliados. No segundo capítulo, a produção de algodão em caroço entre os fertilizantes oscilou de  $94,0 \pm 22,0$  (UPP) a  $78,6 \pm 22,3$  (UPS Ae Zn), no entanto, a produtividade de algodão em caroço foi superior no tratamento UPSA, oscilando entre  $6514,2 \pm 396,1$  e  $5551,0 \pm 633,7$  (UPS Ae Zn), este mesmo padrão foi observado na produtividade de algodão em pluma, a qual foi 14,4 % maior no tratamento UPSA do que no UPS Ae Zn. As perdas de nitrogênio via  $\text{N}_2\text{O}$  acumuladas dentre os fertilizantes, durante o ciclo produtivo, variaram entre 819,0 (UPSA) e 533,0 (UPS Ae Zn)  $\text{g N-N}_2\text{O ha}^{-1}$ , o que representou fatores de emissão entre 0,29 (UPSA) e 0,15% (UPS Ae Zn). A volatilização da amônia acumulada variou entre 61,7 (UPP) e 45,7 (UPS Ae Zn)  $\text{kg N-NH}_3 \text{ ha}^{-1}$  para os fertilizantes testados, o que representou de 30,8 e 25,9% do total aplicado.

**Termos para indexação:** Algodoeiro, modelos de culturas, gases de efeito estufa, volatilizado, ureia.

## GENERAL ABSTRACT

Bender, Eduardo Pires. **Modeling of soil-water-plant-atmosphere system and dynamics of nitrogen in cultivation of cotton (*Gossypium hirsutum*) in Bahia cerrado.** 154f. Dissertation (Master in Agricultural and Environmental Engineering). Institute of Technology, Department of Engineering, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

The expansion of production areas in the Brazilian cerrado, combined with technification farming systems, made the Brazilian cotton again became representative in the international scenario. However, these farming systems aimed at high income, subsidized by the application of fertilizers can result in environmental and economic impacts. The experiment was developed in western Bahia, municipality of Luis Eduardo Magalhães, the overall objectives were experimentally measure some coefficients to subsidize water modeling in the soil, growth and production of cotton subjected to different sources of nitrogen fertilizers, and to quantify the gas losses to atmosphere of nitrogen fertilizers pastilhados, in the forms of ammonia and nitrous oxide. The dose in all of N fertilizer was  $200 \text{ kg ha}^{-1}$ . In the first chapter, of growth simulations were performed with the adjusted logistic model according to the GDA and water simulations in the soil, growth and production, with the SWAP-WOFOST model. In the second chapter, the gaseous nitrogen losses were quantified through the static camera system and analyzed by spectrophotometry and chromatography, for ammonia and nitrous oxide, respectively. The logistic model showed satisfactory results for all parameters, with regression coefficient ( $R^2_{ajs}$ ) of 0.99 for height in all the treatments, the  $R^2_{ajs}$  to BT ranged from 0.99 (UP) and 0.98 (Sulf and T) for the BC  $R^2_{ajs}$  ranged from 0.99 (UP) and 0.95 (t), BF and LAI had from the  $R^2_{ajs}$  0.92 (t and Sulf) and 0.88 (UP) to BER the  $R^2_{ajs}$  ranged from 0.99 (UP and T) and 0.98 (Sulf). Water simulations on the ground with the SWAP showed  $R^2_{ajs}$  ranging from 0.58 (Sulf) and 0.39 (T), the index "d" ranged from 0.67 (Sulf) and 0.65 (T), the index "c" ranged from 0.52 (Sulf) and 0.42 (t), considered tolerable and bad, respectively. The growth simulations WOFOST the  $R^2_{ajs}$  to IAF ranged from 0.99 (UP) and 0.97 (Sulf), the index "d" was 0.99 in all treatments, the BER presented  $R^2_{ajs}$  from 0, 94 (t) and 0.87 (Sulf), subscript "d" ranged from 0.98 (UP) and 0.96 (t), BT simulations presented among  $R^2_{ajs}$  0.99 (UP) and 0.97 (T and Sulf), the "d" index ranged from 0.99 (UP) to 0.96 (T), the index "c" was very good in all the variables and evaluated treatments. The second chapter, seed cotton production of fertilizers ranged from  $94.0 \pm 22.0$  (UPP) to  $78.6 \pm 22.3$  (UPS AeZn), however, the cotton yield in the treatment was higher UPSA, ranging from  $6514.2 \pm 396.1$  and  $5551.0 \pm 633.7$  (UPS AeZn), the same pattern was seen in cotton lint yield, which was 14.4% higher in UPSA treatment than in UPS AeZn. Nitrogen losses via nitrous oxide accumulated from the fertilizers during the production cycle, ranging from 819.0 (UPSA) and 533.0 (UPS AeZn)  $\text{g N-N}_2\text{O ha}^{-1}$ , which represents emission factors between 0.29 (UPSA) and 0.15% (UPS AeZn). The volatilization of ammonia accumulated ranged between 61.7 (UPP) and 45.7 (UPS AeZn)  $\text{kg NH}_3\text{-N ha}^{-1}$  for the tested fertilizers, which represented 30.8 and 25.9% of the total applied.

Index terms: Cotton, greenhouse gases, crop models, Brazilian Savannah, Urea.



## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1:** Análise química do Latossolo Vermelho-Amarelo do local de estudo, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm..... 22
- Tabela 2:** Resultado da análise física do Latossolo Vermelho-Amarelo do local de estudo, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90, 90-100 e 100-110 cm..... 23
- Tabela 3:** Resultado da análise físico hídrica do Latossolo Vermelho-Amarelo do local de estudo, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90, 90-100 e 100-110 cm..... 23
- Tabela 4:** Valores após ajuste pelo modelo logístico da altura inicial ( $w_o$ , cm), final ( $w_f$ , cm), taxa máxima de crescimento relativo ( $r$ ,  $\text{cm cm}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) e os respectivos coeficientes de regressão ( $R^2_{\text{ajs}}$ ) para altura da planta de algodão, sendo os graus-dia acumulados (GD) a variável independente para o ajuste do modelo. Valores entre parênteses representam o erro padrão de estimativa dos coeficientes. .... 49
- Tabela 5:** Valores após ajuste pelo modelo logístico da biomassa total inicial ( $w_o$ , g), final ( $w_f$ , g), taxa de crescimento relativo máxima ( $r$ ,  $\text{g g}^{-1}\text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) e os respectivos coeficientes de regressão ajustado ( $R^2_{\text{ajs}}$ ), sendo os graus-dia acumulados (GD) a variável independente para o ajuste do modelo. Valores entre parênteses representam o erro padrão de estimativa dos coeficientes... 51
- Tabela 6:** Análise de variância (ANOVA) para a variável biomassa final de caules. ... 52
- Tabela 7:** Valores após ajuste pelo modelo logístico da biomassa de caules inicial ( $w_o$ , g), final ( $w_f$ , g), taxa máxima de crescimento relativo ( $r$ ,  $\text{g g}^{-1}\text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) e os respectivos coeficientes de regressão ( $R^2_{\text{ajs}}$ ), sendo os graus-dia acumulados (GD) a variável independente para o ajuste do modelo. Valores entre parênteses representam o erro padrão de estimativa dos coeficientes. .... 53
- Tabela 8:** Valores após ajuste pelo modelo logístico da biomassa foliar inicial ( $w_o$ , g), final ( $w_f$ , g), taxa máxima de crescimento relativo ( $r$ ,  $\text{g g}^{-1}\text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) e os respectivos coeficientes de regressão ( $R^2_{\text{ajs}}$ ), sendo os graus-dia acumulados (GD) a variável independente para o ajuste do modelo. Valores entre parênteses representam o erro padrão de estimativa dos coeficientes. .... 55
- Tabela 9:** Valores estimados pelo modelo exponencial dos coeficientes ( $a$ ,  $b$  e  $x_2$ ) índice de área foliar e os respectivos coeficientes de regressão ( $R^2_{\text{ajs}}$ ) e Erro

Padrão de Estimativa (EPE), sendo os graus-dia acumulados (GDA) a variável independente para o ajuste do modelo. Valores entre parênteses representam o erro padrão de estimativa dos coeficientes. ....	57
<b>Tabela 10:</b> Valores após ajuste pelo modelo logístico da biomassa de estruturas reprodutivas inicial ( $w_o$ , g), final ( $w_f$ , g), taxa máxima de crescimento relativo ( $r$ , $g\ g^{-1}C^{-1}$ ) e os respectivos coeficientes de regressão ( $R^2_{ajs}$ ), sendo os graus-dia acumulados (GD) a variável independente para o ajuste do modelo. Valores entre parênteses representam o erro padrão de estimativa dos coeficientes.....	59
<b>Tabela 11:</b> Peso de 30 capulhos (P30), rendimento de pluma e peso de caroços de algodão dos tratamentos avaliados. ....	61
<b>Tabela 12:</b> Parâmetros de VGM e condutividade hidráulica utilizados na calibração do modelo.....	63
<b>Tabela 13:</b> Principais parâmetros da cultura do algodão especificados ao SWAP-WOFOST. ....	64
<b>Tabela 14:</b> Biomassa aérea total de plantas de algodão para os tratamentos avaliados, na antese.....	94
<b>Tabela 15:</b> Análise de variância para produtividade de algodão em caroço nos tratamentos avaliados e densidade de plantas. Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ....	95
<b>Tabela 16:</b> Peso médio de 30 capulhos (P30), rendimento médio de pluma e peso médio de caroços de algodão dos tratamentos avaliados. Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Números entre parênteses acompanhando as médias são os respectivos desvios padrões. ....	98

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Área experimental, município de Luís Eduardo Magalhães, localidade novo Paraná, Bahia, Brasil. ....	19
<b>Figura 2:</b> Delimitação da área experimental após plantio mecanizado. ....	20
<b>Figura 3:</b> Estação Meteorológica instalada em frente à área experimental.....	21
<b>Figura 4:</b> Coleta de amostras de terra indeformadas em diferentes profundidades para avaliação físico-hídrica (esquerda). Equipamento utilizado para coleta de amostras de terra deformadas em diferentes profundidades (direita). ....	22
<b>Figura 5:</b> Identificação das plantas para aferição de dados de crescimento (a). Balança utilizada para pesagem (b); Segregação de compartimentos vegetais (c).....	25
<b>Figura 6:</b> Variação das temperaturas do ar (a) e do solo (b) máximas, médias, mínimas diárias, radiação solar global e no topo da atmosfera (c) e a transmissividade (d) no período de novembro de 2014 à julho de 2015, Luiz Eduardo Magalhães, BA.....	40
<b>Figura 7:</b> Valores relativos máximos, médios e mínimos diários da Umidade relativa do ar. Evolução do conteúdo volumétrico de água no solo e da precipitação com o transcorrer do experimento. ....	41
<b>Figura 8:</b> Variação das temperaturas do ar (a) e do solo (b) máximas, médias, mínimas diárias, radiação solar global e no topo da atmosfera (c) e a transmissividade (d) no período de novembro de 2014 à julho de 2015, Luiz Eduardo Magalhães, BA.....	42
<b>Figura 9:</b> Médias diárias da velocidade do vento no decorrer do experimento.....	43
<b>Figura 10:</b> Desenvolvimento das plantas de algodão em função dos graus dias acumulados. ....	46
<b>Figura 11:</b> Direcionamento da biomassa da parte aérea do algodoeiro em função dos Graus Dias Acumulados (GDA). ....	47
<b>Figura 12:</b> Evolução da altura das plantas em função dos graus dias acumulados. ....	48
<b>Figura 13:</b> Evolução na biomassa total observada a partir da média de plantas em função dos graus dias acumulados. ....	50
<b>Figura 14:</b> Evolução da biomassa de caule em função dos graus dias acumulados. ....	52
<b>Figura 15:</b> Evolução na biomassa foliar em função dos graus dias acumulados. ....	54
<b>Figura 16:</b> Evolução do Índice de área foliar durante o ciclo de cultivo em função dos graus dias acumulados (GDA). ....	56

<b>Figura 17:</b> Evolução na biomassa de estruturas reprodutivas (flores, maçãs e capulhos viáveis e inviáveis) em função dos graus dias acumulados.....	58
<b>Figura 18:</b> Conteúdo volumétrico de água no solo a 0-10 cm observado x simulado (SWAP) (a) durante o período experimental e dispersão dos dados observados x estimados (b) nas parcelas fertilizadas com Ureia Perolada.....	65
<b>Figura 19:</b> Conteúdo volumétrico de água no solo a 0-10 cm observado x simulado (SWAP) (a) durante o período experimental e dispersão dos dados observados x estimados (b) nas parcelas fertilizadas com Sulfammo. ....	65
<b>Figura 20:</b> Conteúdo volumétrico de água no solo a 0-10 cm observado x simulado (SWAP) (a) durante o período experimental e dispersão dos dados observados x estimados (b) no tratamento Testemunha.....	66
<b>Figura 21:</b> Índice de área foliar observado x simulado (SWAP) (a) durante o período experimental e dispersão dos dados observados x estimados (b) nas parcelas fertilizadas com Ureia Perolada.....	67
<b>Figura 22:</b> Índice de área foliar observado x simulado (SWAP) (a) durante o período experimental e dispersão dos dados observados x estimados (b) nas parcelas fertilizadas com Sulfammo.....	68
<b>Figura 23:</b> Índice de área foliar observado x simulado (SWAP) (a) durante o período experimental e dispersão dos dados observados x estimados (b) no tratamento Testemunha.....	68
<b>Figura 24:</b> Biomassa de estruturas reprodutivas observadas x simulado (SWAP) (a) durante o período experimental e dispersão dos dados observados x estimados (b) nas parcelas fertilizadas com Ureia Perolada.....	70
<b>Figura 25:</b> Biomassa de estruturas reprodutivas observadas x simulado (SWAP) (a) durante o período experimental e dispersão dos dados observados x estimados (b) nas parcelas fertilizadas com Sulfammo.....	70
<b>Figura 26:</b> Biomassa de estruturas reprodutivas observadas x simulado (SWAP) (a) durante o período experimental e dispersão dos dados observados x estimados (b) no tratamento Testemunha.....	71
<b>Figura 27:</b> Biomassa total observada x simulada (SWAP) (a) durante o período experimental e dispersão dos dados observados x estimados (b) nas parcelas fertilizadas com Ureia. ....	73

<b>Figura 28:</b> Biomassa total observada x simulada (SWAP) (a) durante o período experimental e dispersão dos dados observados x estimados (b) nas parcelas fertilizadas com Sulfammo.....	73
<b>Figura 29:</b> Biomassa total observada x simulada (SWAP) (a) durante o período experimental e dispersão dos dados observados x estimados (b) nas parcelas testemunhas. ....	74
<b>Figura 30:</b> Área experimental, município de Luís Eduardo Magalhães localidade Novo Paraná, Bahia, Brasil. O círculo amarelo representa o local do experimento.	87
<b>Figura 31:</b> Teores de nitrato ( $\text{NO}^{-3}$ ) do solo (D) e teores de amônio ( $\text{NH}_4$ ) (E) em cultivo de algodão submetido a diferentes fertilizantes pastilhados sob SPD, Safra 2014/2015. As barras nos gráficos representam o erro padrão da média. ....	99
<b>Figura 32:</b> Precipitação e temperatura média do ar (A), emissões de $\text{N}_2\text{O}$ (B), Espaço Poroso Saturado Preenchido por Água (EPPA) e Temperatura média do solo (C), Teores de nitrato ( $\text{NO}^{-3}$ ) do solo (D) e teores de amônio ( $\text{NH}_4$ ) (E) em cultivo de algodão submetido a diferentes fertilizantes pastilhados sob SPD, Safra 2014/2015. As barras nos gráficos representam o erro padrão da média. ....	103
<b>Figura 33:</b> Emissões acumuladas de $\text{N}_2\text{O-N}$ durante o ciclo produtivo. ....	107
<b>Figura 34:</b> Perdas diárias por volatilização de $\text{N-NH}_3$ (A); Temperatura média do solo, Temperatura média do ar e precipitação (B), durante o período de amostragem.....	109
<b>Figura 35:</b> Volatilização de $\text{N-NH}_3$ acumulada durante a campanha experimental. ...	110

## LISTA DE ABREVIACÕES

BC.....	Biomassa de caules
BER.....	Biomassa de estruturas reprodutivas
BF.....	Biomassa de folhas
BT.....	Biomassa total da parte aérea
DAE.....	Dias Após a Emergência
DAF.....	Dias Após a Fertilização
DAP.....	Dias Após o Plantio
EPE.....	Erro Padrão de Estimativa
GDA.....	Graus Dias Acumulados
IAF.....	Índice de Área Foliar
IEM.....	Índice de Eficiência de Modelagem
RQME.....	Raiz do Quadrado Médio do Erro
SWAP.....	Soil Water Atmosphere Plant
Sulf.....	Sulfammo Meta 29
T.....	Testemunha (0 kg N ha <sup>-1</sup> )
UP.....	Ureia Perolada
UPP.....	Ureia Pastilhada Pura
UPSA.....	Ureia Pastilhada com 7 % de S (100 % Sulfato de Amônio)
UPS.....	Ureia Pastilhada com 7 % S (100 % S <sub>elementar</sub> )
UPSAeZn.....	Ureia Pastilhada com 7 % S (100 % Sulfato de Amônio) e Zn
WOFOST.....	World Food Studies

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA GERAL.....</b>	<b>3</b>
2.1. Cerrado baiano .....	3
2.2. A cultura do algodão.....	4
2.2.1. Características fisiológicas, morfológicas e nutrição .....	5
2.3. Nitrogênio.....	7
2.4. Enxofre.....	9
<b>CAPITULO I: MODELAGEM DO CRESCIMENTO E produtividade DO ALGODÃO (<i>Gossypium hirsutum</i>) SUBMETIDO A DIFERENTES FONTES DE NITROGÊNIO COM O MODELO SWAP / wofost .....</b>	<b>11</b>
<b>3. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>4. Revisão bibliográfica.....</b>	<b>15</b>
4.1. Modelagem.....	15
4.1.1. 4.1.1. Modelagem via SWAP (Soil Water Atmosphere Plant) .....	17
<b>5. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>18</b>
5.1. Caracterização da Área experimental.....	18
5.2. Delineamento experimental.....	19
5.3. Medidas meteorológicas.....	20
5.4. Caracterização química e físico-hídrica do solo.....	21
5.5. Práticas culturais .....	24
5.6. Crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura .....	24
5.7. Modelos de crescimento semi-empíricos.....	27
5.8. Operacionalização do modelo SWAP.....	28
5.8.1. Fluxo de água no solo .....	28
5.8.2. Evapotranspiração e interceptação da chuva pelo dossel vegetal .....	30
5.8.3. Crescimento da cultura .....	35
5.9. Avaliações dos modelos e análises estatísticas .....	36
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>38</b>
6.1. Variáveis Meteorológicas.....	38
6.2. Desenvolvimento, crescimento e produtividade.....	43
6.2.1. Desenvolvimento .....	43
6.2.2. Crescimento.....	48
6.2.3. Produção e produtividade.....	60
6.2.4. Calibração e validação do modelo SWAP / WOFOST .....	63
<b>7. Conclusões .....</b>	<b>74</b>

<b>CAPITULO ii: Avaliação da eficiência de fertilizantes pastilhados na cultura do algodão (<i>Gossypium hirsutum</i>) no cerrado baiano. ....</b>	<b>76</b>
<b>8. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>79</b>
<b>9. Revisão Bibliográfica .....</b>	<b>80</b>
9.1. Emissões de gases de efeito estufa.....	80
9.1.1. Forçante radiativa .....	81
9.1.2. Emissões agrícolas.....	82
9.2. Amônia (NH <sub>3</sub> ).....	85
9.2.1. Técnicas para quantificação das emissões de N-N <sub>2</sub> O e volatilização de N-NH <sub>3</sub> 85	
<b>10. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>86</b>
10.1. Caracterização da Área experimental.....	86
10.2. Delineamento experimental .....	87
10.3. Medidas meteorológicas .....	88
10.4. Caracterização química e físico-hídrica do solo .....	88
10.5. Práticas culturais .....	88
10.6. Fertilização Nitrogenada.....	88
10.7. Determinação da biomassa e Produção .....	89
10.8. Análise de nitrato e amônio do solo .....	90
10.9. Coletas Óxido Nitroso (N <sub>2</sub> O).....	90
10.10. Coleta da Amônia (NH <sub>3</sub> ) volatilizada .....	92
10.11. Análises estatísticas .....	93
<b>11. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>94</b>
11.1. Biomassa e produção de algodão .....	94
11.2. Teores no solo de Nitrato (NO <sub>3</sub> ) e Amônio (NH <sub>4</sub> ).....	99
11.3. Espaço Poroso Preenchido por Água e Emissões de Óxido Nitroso (N <sub>2</sub> O).....	102
11.4. Perdas por volatilização de amônia (NH <sub>3</sub> ).....	108
<b>12. CONCLUSÕES .....</b>	<b>111</b>
<b>13. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>112</b>
<b>14. Anexo I.....</b>	<b>121</b>
<b>15. Anexo II.....</b>	<b>126</b>



## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Nas últimas três décadas do século XX, as áreas agrícolas aumentaram aproximadamente 7 % (311 Mha). Contudo, a tendência de aumento não se configurou na primeira década do século XXI (2000-2009), quando ocorreu diminuição de aproximadamente 53 milhões de hectares das áreas cultivadas, pastagens e pradarias. Apesar da menor área cultivada, a produção de grãos aumentou de 1,2 para 2,5 bilhões de toneladas durante o mesmo período, ou seja, ocorreu aumento da produtividade. O aumento da produtividade foi subsidiado pelo maior uso de fertilizantes (de 32 para 106 Mt ano<sup>-1</sup>) e aumento das áreas irrigadas em 73 % (IPCC, 2014).

A produção agrícola nacional na safra de 2014/2015 foi estimada em 209,5 milhões de toneladas, distribuídos em 58 milhões de hectares, sendo o cerrado, qual engloba 12 estados e compreende 24,4 % do território brasileiro (FREIRE, 1998), responsável por aproximadamente 60 % da produção agrícola do Brasil (CONAB, 2015). Devido condições de relevo propícias, este bioma apresenta elevada aptidão agrícola, no entanto os solos geralmente são ácidos, bem drenados e com baixa fertilidade natural.

Apesar das restrições edáficas, o cerrado possibilitou o restabelecimento da cotonicultura nacional, onde através de elevadas doses de fertilizantes torna-se possível a obtenção do rendimento de pluma de 1300 kg ha<sup>-1</sup>. Esse rendimento encontra-se entre os maiores mundiais em condição de sequeiro e o terceiro geral, sendo superado apenas por Austrália e Turquia, que produzem de 90 a 100 % em sistemas irrigados (SANTOS et al., 2008). No Brasil, o algodão é cultivado em 15 estados, no entanto 85 % da área plantada é proveniente do estado do Mato Grosso e da Bahia, onde se espera produção para safra 2014/15 de cerca de 1,5 milhão de toneladas de algodão em caroço (CONAB, 2015).

Predominantemente, são cultivadas duas espécies de algodão com elevado potencial para a produção de fibras, o *G. hirsutum* e *G. barbadense*, que representam 90 e 5 %, respectivamente, da produção mundial de fibras de algodão (ALI, 2015). O rendimento médio global de fibra de algodão na safra 2010/11 foi de 757 kg ha<sup>-1</sup>, com valores entre 200 kg ha<sup>-1</sup>, em países subdesenvolvidos, onde os recursos podem ser limitantes, e 1681 kg ha<sup>-1</sup> na Austrália (THORP et al., 2014), no Brasil a produtividade média de fibra de algodão da safra de 2014/15 foi de 1507 kg ha<sup>-1</sup>, e no oeste da Bahia de 1422 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2015).

O algodão é importante *commodities* global, que fornece fibras, alimento, além de potencial para a produção de combustível. Para manter a cotonicultura economicamente competitiva devem ser consideradas melhorias no uso da água em casos de irrigação, manejo da fertilização nitrogenada, avanços na genética, melhor compreensão dos impactos do clima sobre a cultura e adoção de técnicas de agricultura de precisão (THORP et al., 2014). Devido à peculiaridade de sua organogênese Mauney (1984) chegou a afirmar ser o algodoeiro a mais complexa dentre as plantas cultivadas.

O nitrogênio (N) corresponde ao nutriente requisitado em maior aporte quando se almejam altos rendimentos para o algodão (CARVALHO, 2007; ALI, 2015). Caso sua disponibilidade não supra as demandas fisiológicas requeridas, esse nutriente tende a limitar o crescimento e produtividade da cultura. Nesse caso, a fertilização pode ser realizada de diversas formas, doses e parcelamentos, e visa sempre a melhor eficiência do fertilizante e sua pronta disponibilidade nos momentos exigidos em maior demanda para o crescimento e produção das plantas (ALI, 2015).

Os cultivos de algodão no cerrado estão em sua maioria inseridos em solos arenosos, de baixa matéria orgânica e em grande parte conduzidos em sistemas de plantio convencional, em tais condições doses de 150-200 kg N ha<sup>-1</sup> são usualmente requeridas para atingir o rendimento esperado. A cada 1000 kg de algodão em caroço produzido aproximadamente 35 kg N ha<sup>-1</sup> são exportados nas fibras e sementes (SANTOS et al., 2008).

Outro elemento que representa boa parte dos custos com fertilização de algodão nas condições de cerrado é o enxofre (S) (SANTOS et al., 2008). O enxofre, por ter baixa mobilidade na planta acarreta em aporte contínuo do nutriente para o adequado crescimento do vegetal. Sua exportação varia de 4 a 8 kg para cada 1000 kg de algodão em caroço (CARVALHO, 2007). Doses de 80 kg S ha<sup>-1</sup> são usualmente aplicadas em solos de textura arenosa em condições de sequeiro no cerrado baiano. Sua aplicação em adubos formulados pode ser uma alternativa para o suprimento anual das plantas, caso não haja efeito residual de aplicações anteriores (SANTOS et al., 2008).

Entretanto estes elevados índices de produtividade são subsidiados por alto aporte nutricional para a cultura, que deve ser preconizado à otimização do aproveitamento dos insumos agrícolas em contrapartida ao aumento do montante aplicado, que em determinadas situações podem acarretar em impactos ambientais (ALVES et al., 2006).

Haja vista os assuntos anteriormente abordados objetivaram-se com o presente trabalho avaliar a eficiência agrônômica e ambiental dos fertilizantes nitrogenados aqui avaliados. Para atingir o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram contemplados: (i) determinar experimentalmente parâmetros e coeficientes relacionados ao crescimento, desenvolvimento e produção das plantas de algodão, assim como parâmetros do solo e atmosfera para subsidio as simulações do modelo SWAP (*Soil-Water-Plant-Atmosphere*); (ii) Ajustar o modelo SWAP para cultivos de algodão inseridos nas condições edafoclimáticas do cerrado baiano; (iii) determinar experimentalmente as perdas de nitrogênio via volatilização de amônia (NH<sub>3</sub>) e óxido nítrico (N<sub>2</sub>O) de fertilizantes formulados de ureia na forma pastilhada, com fontes de enxofre (enxofre elementar e sulfato de amônio) e/ou micronutrientes nesse bioma.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA GERAL**

### **2.1. Cerrado baiano**

O extremo oeste da Bahia vem se destacando no cenário agrícola nacional, na safra de 2013/2014 foram estimados para as culturas do milho, soja e algodão 1,88 milhões de hectares plantados e produção total de 7 milhões de toneladas (AIBA, 2015).

O grande potencial de crescimento da cotonicultura na fronteira agrícola do cerrado baiano é confirmado devido sua capacidade de expansão do território para cultivos, em conjunto com seu potencial produtivo, que devido tecnificação e condições edafoclimáticas propícias para a cultura, a partir da safra de 2004/05, equipararam a produtividade em pluma com as regiões Centro/Sul, onde se produz cerca de 1560 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto nas regiões Norte/Nordeste 1516 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2015).

Entretanto, impactos antrópicos sobre o planeta, como emissões de gases de vida longa para a atmosfera tendem a acarretar alterações em diversos biomas brasileiros, assim como no cerrado. O aumento térmico provavelmente reduzirá a taxa fotossintética das plantas endêmicas deste bioma, tendo como consequência a diminuição do seu potencial de formação de biomassa e produtividade primária. Esses processos aumentam vulnerabilidade a queimadas e resultam na redução de seus estoques de carbono e nitrogênio, devido fenômenos de volatilização, transporte de partículas, erosão e escoamento (PBMC, 2013).

Estudos indicam aumento na temperatura superficial e diminuição dos totais de chuva durante este século. Até 2040, as tendências demonstram aumento de 1°C na

temperatura e redução de 10 a 20 % nas chuvas, caso as projeções se concretizem até 2070, a temperatura do ar continental sofrerá aumento na ordem de 3 a 3,5 °C e reduções de 20-35 % do total de chuvas (PBMC, 2013).

Portanto, técnicas de manejo de sistemas agrícolas que preconizam a maximização de recursos naturais e interações positivas ambientais devem ser consideradas, aumentando o poder de adaptação dos ecossistemas agrícolas a flutuações climáticas adversas.

## **2.2.A cultura do algodão**

A cotonicultura, em seu histórico, sempre foi fundamental para a economia brasileira, no entanto em meados dos anos 80 sofreu com uma série de intempéries relacionada ao sistema econômico global. Este período caracterizou-se pela expansão das exportações nacionais, que causaram mudanças econômicas nesta commodity. Em decorrência de subsídios internacionais, aliados a introdução da praga do bicudo (*Anthonomus grandis Boheman*), que se proliferou rapidamente na região nordeste e acarretou redução significativa na área cultivada de algodão (BELTRÃO, et al. 2008; BEZERRA et al., 2010; SANTOS, et al., 2008)

Como os sistemas produtivos, nesta época, baseavam-se em pequenos proprietários, cuja capacidade financeira não acompanhava as demandas internacionais, estes acontecimentos praticamente dizimaram a cotonicultura brasileira. Contudo, devido sua importância econômica, seu resgate é de fundamental importância, sendo necessários grandes investimentos e alterações em seu sistema produtivo, que hoje é basicamente dominado por grandes latifúndios e formas de manejo extremamente tecnificadas (SANTOS, et al., 2008).

O Brasil ocupa posição de destaque no cenário internacional, impulsionado pela nova fronteira agrícola do cerrado, que com períodos pluviométricos característicos permite a produção de algodão de sequeiro com ótima qualidade de fibras e elevada produtividade, sendo superado apenas por Austrália e Turquia, que se baseiam em sistemas irrigados de cultivo, o que aumenta a competitividade do algodão brasileiro no mercado internacional, devido à redução nos custos de produção (SANTOS, et al., 2008).

Em torno de 68% da área de produção de pluma são provenientes das regiões Centro Oeste e Sul e os 32% restantes das regiões Norte e Nordeste. A máxima produção obtida nos últimos 10 anos foi de 5.070.070 toneladas em 2011, a menor foi

observada em 2009, que representou 43% deste ápice. A safra de 2014 foi 15,4% menor em relação ao potencial produtivo da série cronológica (CONAB, 2015). O rendimento máximo foi obtido em 2008, cuja produtividade foi de 3.744 kg ha<sup>-1</sup>, o menor rendimento foi observado em 2005, 33% menor. Em 2014 o rendimento foi 0,32% menor ao apresentado em 2008 (CONAB, 2015).

### **2.2.1. Características fisiológicas, morfológicas e nutrição**

O algodoeiro é caracterizado como uma planta anual, planofoliar, metabolismo C<sub>3</sub>, autógama, sendo que a taxa de cruzamento possa ultrapassar 50%. Apresenta diferenciação nos ramos, sendo monopodiais os vegetativos e simpodiais os frutíferos, o que ocasiona competição entre crescimento e formação de estruturas reprodutivas (BELTRÃO, et al. 2008).

Suas folhas são alternas, e podem ser cotiledonares, vegetativas ou reprodutivas, sendo as primeiras responsáveis pelas fontes de reserva até a planta desenvolver as estruturas secundárias. As folhas vegetativas são responsáveis por mais de 70 % da nutrição da planta, e suportam até 70 dias antes da senescência. As reprodutivas, que normalmente correspondem à metade do tamanho das vegetativas, são fontes de produção de fotoassimilados. Devido características heliófilas, o algodoeiro não se satura em condições máximas de radiação, o que implica elevada fotorrespiração. Apresenta taxa de crescimento inicial de 15 mg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> a 20 mg m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> e consumo de água de 646 g H<sub>2</sub>O g<sub>massa seca</sub><sup>-1</sup>, característico de plantas fotossinteticamente ineficientes (BELTRÃO et al., 2008).

O dossel planofoliar do algodão não permite a distribuição de luz de maneira proporcional para os diferentes extratos da planta, o que reduza fração de radiação fotossinteticamente ativa que atinge os macrofilos mais velhos dos nós inferiores. Seu índice de área foliar (IAF) pode chegar a 5, mas com índice 3 os níveis de interceptação podem chegar a 95% (BELTRAO et al., 1990), cuja variação temporal está relacionada a fatores edafoclimáticos, cultivar, densidade populacional, entre outros (MONTEIRO et al., 2005).

O espaçamento entre plantas de algodoeiro responde de maneira complexa, pois envolvem aspectos ecofisiológicos (LAMAS; STAUT, 2001), alterando significativamente a arquitetura das plantas, a posição dos frutos nos ramos, número de frutos, altura das plantas, altura da inserção dos ramos reprodutivos e o número de nós na haste principal (LAMAS et a., 2005) . Maiores produtividades foram obtidas com

espaçamento de 0,90 m entre plantas, que proporcionou maior crescimento na fase inicial cultura quando comparado ao espaçamento de 0,45 m. Isso se deve ao direcionamento das reservas energéticas ao crescimento vegetativo, entretanto aos 72 após a emergência (DAE) estas diferenças não foram constatadas, possivelmente devido ao direcionamento das reservas das plantas ao desenvolvimento de estruturas reprodutivas (FERRARI et al., 2008).

O algodoeiro apresenta alto potencial anóxico, o que inviabiliza seu cultivo em regiões com precipitações elevadas, com sistema radicular pivotante, que pode alcançar até 2,5 metros de profundidade. Requer entre 500 e 1500 mm de precipitação durante seu ciclo e necessita de períodos pluviométricos específicos (BELTRÃO, et al. 2008). No entanto, água em excesso pode ocasionar aumento na produção de biomassa e consequente atraso na maturação, o que pode reduzir o número total de capulhos.

Durante a floração e formação dos capulhos (maçãs) o algodão requer considerável quantidade de água, enquanto no final do ciclo (abertura capulhos) o excesso de água pode acarretar em alongamento do ciclo devido hábito indeterminado (BELTRÃO, et al. 2008; BEZERRA, et al., 2008) e apodrecimento de capulhos.

O conhecimento dos estádios fenológicos permite melhor compreensão do ciclo da cultura, uma vez que altas temperaturas podem acelerar a maturação da cultura. Técnicas de modelagem permitem ajustar a gestão da safra, assim como desenvolver estratégias de adaptação, como o caso das mudanças climáticas, onde a previsão do efeito altas temperaturas nas fases fenológicas podem apresentar respostas negativas ou positivas, portanto este entendimento permite que a melhor decisão seja tomada (LUO et al., 2014).

Devido o crescimento excessivo ocasionado por condições climáticas favoráveis, aliado ao excesso de nitrogênio, se faz necessário no algodão a aplicação de reguladores de crescimento (atividade anti-giberelina) visando à redução no porte das plantas e melhorar o aporte de assimilados aos drenos produtivos (BELTRÃO et al., 2008), melhorando as condições de colheita e qualidade de fibras, contudo fatores como temperatura, época de semeadura, cultivar e adubação tendem a causar diferenças entre os resultados (FERRARI, S., et al. 2008).

O montante, a forma e quantidade de aplicações de fertilizantes nitrogenados na cultura do algodão são bastante variáveis. No entanto, devido aos processos de transformação do nitrogênio no solo torna-se difícil estimativa da necessidade de adubação nitrogenada para a sustentabilidade do sistema produtivo.

O elemento supracitado é também fundamental na capacidade fotossintética das plantas, pois sua deficiência pode resultar em redução no crescimento em altura, assim como na fitomassa vegetal. Segundo Black Júnior (1973), plantas de metabolismo C3 requerem cerca de duas vezes mais nitrogênio para atingir a fotossíntese máxima do que plantas de metabolismo C4.

Com o advento de cultivares de algodão de elevada capacidade produtiva, doses cada vez maiores de nitrogênio são necessárias para a obtenção das produtividades economicamente requeridas. Doses acima de 150 kg N ha<sup>-1</sup> são relatadas por Lamas e Staut (2005) para a obtenção de incrementos na produtividade do algodoeiro. Teixeira et al. (2008) afirma que doses crescentes de nitrogênio incrementam a massa média de capulhos, massa média de cem sementes e a produtividade do algodoeiro.

Alves et al. (2006), em estudo que avaliou o balanço de N de cultivo de algodão em sucessão a soja, cuja dose 115 kg N ha<sup>-1</sup> e aplicação de forma parcelada, sendo 22% no plantio na forma de uréia e posicionada no sulco, 39% aos 26 e 48 DAE na forma de sulfato de amônio em cobertura, observou saldo negativo de 15,7 kg N ha<sup>-1</sup> nas condições de cerrado sul-mato-grossense. Os capulhos corresponderam a 87% do nitrogênio encontrado na parte aérea do algodão, em valores absolutos 114,6 kg N ha<sup>-1</sup>.

Experimento avaliando doses de N e efeitos da sucessão de culturas na disponibilidade nitrogênio para a cultura do algodão apresentou maior produção de algodão em caroço e rendimentos de pluma quando sucessão foi de braquiária-algodão, sendo 28 e 31% maior do que a sucessão algodão-algodão, respectivamente. Fato possivelmente decorrente das plantas de algodão nesse sistema de rotação apresentar melhor distribuição de fotoassimilados para a produção de fibras em comparação ao enfoque no crescimento vegetativo (GALHARDO et al., 2013).

### **2.3. Nitrogênio**

A atmosfera consiste na maior e inesgotável reserva de nitrogênio terrestre, sendo sua aquisição natural para o sistema solo-planta proveniente principalmente de descargas elétricas atmosféricas e fixação biológica de nutrientes. Sinteticamente pode-se obter nitrogênio para a fertilização a partir da fixação industrial, através de processos de síntese de amônia e ácido nítrico (MALAVOLTA & MORAES, 2006).

Segundo a Lei N ° 6.894, de 16 de dezembro de 1980, fertilizante é definido como substância mineral ou orgânica, natural ou sintética, fornecedora de um ou mais nutrientes aos vegetais. Os fertilizantes são utilizados na agropecuária para melhorar as

características de fertilidade do solo, e contribuem para a reposição de nutrientes exportados pelos cultivos. (DIAS & FERNANDES, 2006).

Cerca de 80 % do custo de produção de N refere-se o uso de combustíveis fósseis como fonte energética. Com a perspectiva de esgotamento dessa fonte, a busca por alternativas onde se maximize o uso de maquinários agrícolas, assim como o uso de fertilizantes que proporcionem melhor interação solo-planta são essenciais (ALBUQUERQUE et al., 2007).

Devido ao baixo custo relativo, alta solubilidade em água e boa assimilação dos produtos de sua hidrólise pelas plantas, usualmente a ureia corresponde à fonte de fertilizantes nitrogenados de maior demanda na agricultura mundial contemporânea (URQUIAGA & MALAVOLTA, 2002).

O Brasil consome cerca de três milhões de toneladas de ureia por ano, que constitui mais da metade do montante de adubo nitrogenado utilizado no país. Contudo, este fertilizante, em determinadas condições, pode propiciar elevadas taxas de perdas de nitrogênio via volatilização e lixiviação e, apresenta desvantagens agronômicas, quando comparado a outros fertilizantes nitrogenados, como o sulfato de amônio, o qual apresenta caráter ácido, que contribui para menores perdas atmosféricas, além de fornecer nitrogênio e o enxofre, fundamentais para o desenvolvimento das plantas, e melhoria na solubilidade de nutrientes como o fósforo e manganês.

Perdas de N da ureia por desnitrificação são normalmente inferiores a 10% (milho), no entanto as perdas por volatilização de  $\text{NH}_3$  podem representar até 78% do N aplicado via fertilizante. Estas perdas estão condicionadas a umidade do solo, pois após a aplicação do fertilizante no solo, este (ureia) em contato com a água sofre hidrólise, ocorrendo elevação do pH nos arredores do grânulo.

Com o processo de hidrólise catalisado pela enzima uréase, a ureia é transformada em carbonato de amônio, o qual é decomposto rapidamente formando  $\text{NH}_4$ , bicarbonato e hidroxila. A partir desta reação ocorre a conversão de parte do  $\text{NH}_4$  em  $\text{NH}_3$ , o que ocasiona a volatilização caso não haja barreiras físicas (coluna de solo) para a contenção deste gás. Por isto a recomendação de incorporação no solo da ureia aplicada, que remete menores perdas por volatilização.

As perdas de N por volatilização estão relacionadas à natureza do fertilizante e condições edafoclimáticas locais. Fertilizantes de base nítrica tendem, devido sua formulação química, cujo pH é ácido tendem a menores perdas, entretanto fontes amoniacais de nitrogênio, devido maior pH favorecem tais perdas.



## 2.4.Enxofre

O enxofre, nutriente indispensável ao crescimento vegetal, é estimado como o nono elemento em maior abundância no planeta, normalmente é encontrado nas formas de sulfeto, sulfato e como S elementar. Seu consumo nacional beira 1,6 milhões de toneladas, sendo 90% deste montante importado devido à baixa produção brasileira. A agricultura é responsável pelo uso de 53% da produção nacional, o restante é destinado à indústria química (STIPP & CASARIN, 2010).

Na cotonicultura o enxofre está relacionado ao incremento do peso das sementes assim como melhora no índice micronaire (complexo finura + maturidade) do algodão, atua também em conjunto com o nitrogênio como importante mecanismo de defesa contra pragas e doenças, devido grande variedade de metabolitos secundários contidos em tais nutrientes. As principais formas de entrada de enxofre em solos agrícolas se dão através de intemperismo de minerais, chuvas e irrigação, deposição atmosférica, resíduos vegetais e animais, pesticidas, assim como através de fertilizantes minerais ou orgânicos (STIPP & CASARIN, 2010).

Processos bióticos como, mineralização, imobilização, oxirredução e assimilação e abióticos como adsorção, dessorção, precipitação e dissolução, regem a dinâmica do enxofre no solo. Fatores edafoclimáticos como temperatura do solo, pH, umidade e características físico-químicas afetam a velocidade de tais reações (NORMAN et al., 2012)

Em solos arenosos os teores de matéria orgânica tendem a ser menores em contrapartida a solos argilosos com altos teores de óxidos de ferro, o que acarreta em menores reservas de enxofre orgânico, além disto, a movimentação de enxofre no perfil do solo tendencialmente é maior, o que pode ocasionar maior perda por percolação (STIPP & CASARIN, 2010).

Na agricultura atual, devido altos rendimentos esperados, redução das quantidades de S atmosférico oriundos da chuva, redução das reservas de tal nutriente no solo devido perdas de matéria orgânica por mineralização e erosão e diminuição no consumo de pesticidas com S em sua formulação vem fazendo com que o enxofre (S) torne-se limitante para produção agrícola (SALES, 2007).

Entretanto o enxofre pode atuar como inibidores da uréase, devido sua conformação semelhante à da ureia, compete pelos mesmos sítios de troca, e assim, induz reduções nas taxas de uréase, o que aumenta conseqüentemente, a eficiência do fertilizante nitrogenado (BENINI et al., 2004).

Devido menor solubilidade e apresentar alta concentração de S ( $> 85\%$ ), o enxofre elementar vem sendo avaliado nas condições brasileiras, no entanto não é uma fonte de S prontamente disponível, sendo necessária a ação de microorganismos do solo para sua posterior utilização para as plantas. Outra vantagem do S elementar é baixo custo, além do maior teor de S em comparação ao sulfato de amônio e superfosfato simples, cujos teores de S são 61% e 73% menores, respectivamente (CANTARELLA et al., 2007).

No entanto, o enxofre elementar para uso agrícola requer que sua formulação seja constituída de partículas com dimensões finas, visando melhor atuação dos microrganismos do solo, podendo assim ser usado para recobrir fertilizantes (HOROWITZ, 2003). Segundo Stipp & Casarin (2010) existem poucas pesquisas sobre seu uso na agricultura, sendo de extrema importância para a produção de fertilizantes de altas concentrações de nutrientes.

**CAPITULO I: MODELAGEM DO CRESCIMENTO E  
PRODUTIVIDADE DO ALGODÃO (*Gossypium hirsutum*)  
SUBMETIDO A DIFERENTES FONTES DE NITROGÊNIO COM O  
MODELO SWAP-WOFOST**

## RESUMO

Bender, Eduardo Pires. **Modelagem do crescimento e produtividade do algodão (*Gossypium hirsutum*) submetido a diferentes fontes de nitrogênio com o modelo SWAP-WOFOST**. 68f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental). Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

A modelagem do crescimento das culturas pode proporcionar valores e coeficientes extremamente importantes para o melhor entendimento das diferentes etapas do crescimento e desenvolvimento vegetal. Uma vez que adequadamente calibrados, experimentos de campo complexos podem ser substituídos por simulações computacionais, auxiliando no planejamento agrícola. Haja vista a importância da cotonicultura no cenário agrícola nacional a modelagem agrícola pode ser uma ferramenta de suma importância na mitigação de impactos ambientais e econômicos, já que tal cultura é extremamente exigente quanto a nutrição e demais práticas culturais para a obtenção dos rendimentos esperados. O experimento foi desenvolvido no extremo oeste baiano, município de Luís Eduardo Magalhães, os objetivos gerais foram mensurar experimentalmente alguns coeficientes para subsidio a modelagem de água no solo, crescimento e produção de algodão submetido a diferentes fontes amoniacais de fertilizantes nitrogenados. A fertilização nitrogenada foi realizada de forma manual e a dose de aplicação de 200 kg ha<sup>-1</sup>, foram realizadas simulações de crescimento com o modelo logístico ajustado em função dos GDA e também simulações com o modelo SWAP-WOFOST. O modelo logístico apresentou resultados satisfatórios para todos os parâmetros avaliados, com coeficiente de regressão ( $R^2_{ajs}$ ) de 0,99 para altura em todos os tratamentos avaliados, o  $R^2_{ajs}$  para BT variou entre 0,99 (UP) e 0,98 (Sulf e T), para BC o  $R^2_{ajs}$  oscilou entre 0,99 (UP) e 0,95 (T), a BFe o IAF apresentaram o  $R^2_{ajs}$  dentre 0,92 (T e Sulf) e 0,88 (UP), para BER o  $R^2_{ajs}$  variou entre 0,99 (UP e T) e 0,98 (Sulf). As simulações de água no solo com o SWAP apresentaram  $R^2_{ajs}$  variando entre 0,58 (Sulf) e 0,39 (T), o índice “d” oscilou entre 0,67 (Sulf) e 0,65 (T), o índice “c” variou entre 0,52 (Sulf) e 0,42 (T), sendo considerado sofrível e mau, respectivamente. Quanto as simulações de crescimento com WOFOST, o  $R^2_{ajs}$  para IAF variou entre 0,99 (UP) e 0,97 (Sulf), o índice “d” foi de 0,99 em todos os tratamentos, a BER apresentou  $R^2_{ajs}$  dentre 0,94 (T) e 0,87 (Sulf), o índice “d” variou entre 0,98 (UP) e 0,96 (T), as simulações de BT apresentaram  $R^2_{ajs}$  dentre 0,99 (UP) e 0,97 (T e Sulf), o índice “d” variou de 0,99 (UP) a 0,96 (T), o índice “c” foi considerado ótimo em todas as variáveis e tratamentos avaliados.

**Termos para indexação:** Modelos de crescimento de cultura, conteúdo de água no solo, partição de biomassa, cerrado brasileiro, matéria seca, modelo logístico.

## ABSTRACT

Bender, Eduardo Pires. **Modeling growth and yield of cotton (*Gossypium hirsutum*) submitted to different nitrogen sources with the SWAP / WOFOST model.** 68f. Dissertation (Master of Agricultural and Environmental Engineering). Institute of Technology, Department of Engineering, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

The crop growth modeling can provide values and coefficients extremely important to better understand the different stages of plant growth and development. Once calibrated, complex field experiments can be replaced with computer simulations, as well as assisting in agricultural planning. Given the importance of the cotton industry, landscape agricultural modeling can be a most important tool in mitigating environmental and economic impacts, as this culture is extremely picky about nutrition and other cultural practices to the achievement of expected income. The experiment was developed in Bahia far west, the municipality of Luis Eduardo Magalhães, the overall objectives were experimentally measure some coefficients to subsidize water modeling in the soil, growth and yield of cotton under different ammonia sources of nitrogen fertilizers. The nitrogen fertilization was performed manually and application rate of 200 kg N ha<sup>-1</sup>, evaluated fertilizers were Urea (49% N) and Sulfammo (29% N), the Test treatment there was no application of nitrogen fertilizer, but the other cultural practices were the same in all three treatments. Growth simulations were performed with the adjusted logistic model according to the degree days accumulated, and the simulations, with the SWAP (*Soil-Water-Plant-Atmosphere*) and WOFOST (*WO*rd *FO*od *ST*udies) models. The logistic model showed satisfactory results for all parameters, with regression coefficient ( $R_{2ads}$ ) for crop height of 0.99 in all the treatments. The  $R_{2ads}$  to total biomass ranged from 0.99 (Urea) and 0.98 (Sulfammo and Test), for the stems biomass  $R_{2ads}$  ranged from 0.99 (Urea) and 0.95 (Test), leaf biomass and leaf area index had from the  $R_{2ads}$  0.92 (Test and Sulfammo) and 0.88 (Urea), to reproductive structures biomass the  $R_{2ads}$  ranged from 0.99 (Urea and Test) and 0.98 (Sulfammo). Water simulations on the ground with the SWAP showed  $R_{2ads}$  ranging from 0.58 (Sulfammo) and 0.39 (Test), the index "d" ranged from 0.67 (Sulfammo) and 0.65 (Test), the index "c" ranged from 0.52 (Sulfammo) and 0.42 (Test), considered tolerable and bad, respectively. The growth simulations with WOFOST presented  $R_{2ads}$  to leaf area index ranged from 0.99 (Urea) and 0.97 (Sulfammo), the index "d" was 0.99 in all treatments. The reproductive structures biomass presented  $R_{2ads}$  from 0.94 (Test) and 0.87 (Sulfammo), subscript "d" ranged from 0.98 (Urea) and 0.96 (Test). Total biomass simulations presented among  $R_{2ads}$  0.99 (Urea) and 0.97 (Test and Sulfammo), the "d" index ranged from 0.99 (Urea) to 0.96 (Test), the index "c" was very good in all the variables and evaluated treatments.

**Keywords:** Crop growth models, soil water content, biomass partition, Brazilian savannah, dry matter.

### 3. INTRODUÇÃO

O entendimento do crescimento e desenvolvimento do algodão permite que novas técnicas de manejo para obtenção de elevados rendimentos sejam implantadas, uma vez que estas variáveis são sensíveis as tais técnicas e condições ambientais (MONTEIRO, et al., 2005).

Diversos fatores do sistema produtivo podem ser melhor compreendidos e também mitigados utilizando-se de simulações realizadas por modelos baseados em processos. Esses modelos sintetizados a partir de conhecimentos de processos biofísicos no sistema solo, planta e atmosfera, e expressos na forma de algoritmos, podem ser usados para simulações de processos essenciais para as plantas como, evapotranspiração, a redistribuição da água no solo, dinâmica de nutrientes, transferência de energia, crescimento, desenvolvimento e produção das culturas (THORP et al., 2014).

Em síntese, a modelagem representa processos físicos e bioquímicos, decorrentes de interações ecológicas do sistema solo-planta-atmosfera por meio de funções físico-matemáticas (LYRA et al., 2003). Pode ser utilizada com eficiência para a realização simulações agrícolas, em contrapartida a realização de experimentos de campo, quando devidamente, ajustados e testados as características de variedades, edáficas, épocas de plantio, práticas de manejo, entre outras.

O uso de modelos empíricos, semi-empíricos e biológicos, normalmente ajustados a partir de medidas biométricas obtidas em experimentos de campo, é fundamental para simulações de cenários agrícolas (LYRA, et al., 2008). No entanto, em áreas com forte variabilidade vertical de propriedades físicas do solo, modelos mecanísticos baseados em processos, como por exemplo, o SWAP (*Soil-Water-Atmosphere-Plant*), deve ser preconizado caso haja dados de entrada suficiente, uma vez que, a abordagem do fluxo de água no solo em multicamadas ou pela lei de Darcy permite estimativas mais sofisticadas para o crescimento radicular e extração de água do solo, o que tende a melhorar o desempenho em comparação com modelos de diferentes abordagens (EITZINGER, et al., 2004).

O objetivo geral do trabalho foi avaliar a modelagem do crescimento e produção da cultura do algodão submetida a diferentes fontes de nitrogênio via modelo SWAP. Visando alcançar tal demanda os objetivos específicos foram: (i) determinar experimentalmente coeficientes e parâmetros do solo, vegetação e atmosfera do modelo

agrohidrológico SWAP (*Soil-Water-Atmosphere-Plant*) para simulação do crescimento e produção em cultivos de algodão submetidos a diferentes fontes de nitrogênio no cerrado baiano; (ii) ajustar e testar o modelo SWAP para simular o crescimento e produção em cultivos de algodão; (iii) determinar experimentalmente a produtividade e a influência das diferentes fontes de nitrogênio para o algodão nas condições do cerrado baiano.

## **4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1. Modelagem**

Modelos matemáticos são representações de sistemas reais e suas modificações, sendo aplicados em diversas situações, desde econômicas, ambientais, agrícolas, assim como, para a resolução de problemas de engenharia. Consiste de uma série de equações pré-estabelecidas durante sua formulação, as quais devem ser amparadas com base no sistema real, e que permitam a comparação entre dados observados e estimados (SODRÉ, 2007).

Segundo Aris (1994) modelos numéricos são formados por equações matemáticas, cuja finalidade é a representação de fenômenos físicos, químicos, biológicos, sociais ou conceituais. Os modelos se destacam como ferramenta para a predição do desempenho de um sistema, através de simulações reais ou fictícias.

Um dos precursores da modelagem de processos agrícolas foi de Wit (1965), que em seu trabalho em 1965 introduziu a teoria de sistemas e as técnicas de simulação para a predição de processos na agricultura (THORP, 2014). Modelos de sistemas agrícolas abordam e integram diversas áreas da ciência, cuja finalidade é sintetizar dados de um ou mais experimentos e, assim, melhorar o montante de dados e a confiabilidade dos resultados. Podem ser utilizados em diversos segmentos, como por exemplo, simulações de características genéticas; crescimento da cultura; rendimento e quebra de safra; densidade de plantio e outras técnicas de manejo; gases de efeito estufa e variabilidade e mudanças climáticas, com a ressalva de diminuir os gastos com experimentos de campo (van ITTERSUM et al., 2003) e auxiliar os processos de comercialização e estoque do produto agrícola através de predições no potencial produtivo (SUGUITANI, 2006).

Diversas escalas são abordadas em modelos agrícolas, que vão desde a escala global até uma bacia hidrográfica, lavoura ou até mesmo a nível celular. Independente da escala ou objetivo do modelador, os modelos auxiliam na tomada de decisões com

complexidade correspondente ao seu nível de detalhamento. Muitos dos intempéries enfrentados pela indústria do algodão poderiam ser mitigados com o uso de modelos baseados em processos para simulações de seus sistemas de cultivo (THORP, 2014).

Modelos de longo prazo e de grandes dimensões são baseados na sua maioria em dados empíricos obtidos através de regressão entre rendimento da cultura e fatores como precipitação pluvial, irrigação ou capacidade de armazenamento de água no solo, no caso de simulações de planejamento nacional de safra (ARGENTON, 2006). No entanto modelos como o WOFOST (*World Food Studies*) são baseados em dados provenientes de processos que ocorrem ao nível de dossel vegetal e em escala diária.

Os principais modelos utilizados são baseados em princípios empíricos (e.g. regressão) ou mecânicos e em processos determinísticos ou estocásticos, e podem ser empregados em distintos níveis de complexidade, cujo fator limitante em sua escolha é a disponibilidade de dados e o conhecimento do processo em estudo.

Modelos empíricos utilizam-se de dados, variáveis ou constantes confiáveis, usuais no meio científico para a idealização de equações (regressões) que se ajustam ao modelo, e podem ser de forma matemática ou até mesmo intuitiva (SODRÉ, 2007). Neste tipo de modelo o objeto de estudo é descrever primariamente a resposta de um sistema e não detalhar tal resposta. Tais modelos se corretamente aplicados, podem

Os modelos mecânicos descrevem o comportamento ou padrões do sistema em sua totalidade, com base na representação dos mecanismos físicos, químicos e biológicos. São elaborados por meio da divisão do sistema, que é particionado em diversos componentes para a melhor compreensão dos componentes individuais e suas inter-relações (van DAM, 2000; SODRÉ, 2007).

Modelos estocásticos tem a finalidade de estimar as distribuições da probabilidade dos resultados potenciais, sendo a variação aleatória permitida e baseada nas flutuações observadas em dados históricos (CHEEROO-NAYAMUTH, 1999). Quando determinísticos os modelos não contabilizam eventos aleatórios, através da definição do sistema físico nele inserido, ou seja, as saídas são equivalentes aos dados de entrada (CHOW, 1988).

Modelos semi-empíricos simples, baseados em parâmetros biológicos, podem proporcionar boas informações e estimativas para avaliação do crescimento vegetal (RICHARDS, 1959). Tais modelos incluem a função exponencial de GOUDRIAAN & MONTHEITH (1990), em que se toma como base a radiação como força motriz para a



taxa de crescimento das culturas, sendo esta taxa proporcional à energia radiante interceptada, exponencial quando não sombreadas e linear após o cobrimento do dossel (COSTA et al., 1999).

#### **4.1.1. 4.1.1. Modelagem com o SWAP (Soil-Water-Atmosphere-Plant)**

O SWAP é um modelo ecoagrohidrológico, que se utiliza da equação de Richards em conjunto com informações de dinâmica hídrica das regiões influenciadas pelas zonas radiculares, sendo fundamentado na modelagem do fluxo vertical de água na zona saturada e/ou insaturada do solo. Para melhor compreensão das relações entre solo, água, planta e atmosfera a simulação agrohidrológica requer dados meteorológicos para avaliações das dinâmicas gasosas e hídricas inerentes destes processos. São necessários também dados de crescimento, desenvolvimento e produtividade, além das características físico-hídricas edáficas locais. Submodelos como WOFOST, ANIMO e PEARL podem ser acoplados ao SWAP para atender demandas específicas, que podem ser direcionados, respectivamente, para estudos detalhados de crescimento e produtividade, dinâmicas de volatilização e transporte de defensivos agrícolas e nutrientes no solo (KROES et al., 2008).

Ao contrário do módulo simples, que descreve o desenvolvimento da cultura independente de fatores externos (SINGH et al., 2006), o módulo detalhado (WOFOST) permite simulações das dinâmicas inerentes nos processos de crescimento e desenvolvimento vegetal, desde a emergência até a maturação com base nas propriedades genéticas e condições ambientais (EITZINGER et al., 2004).

O módulo detalhado (WOFOST) é capaz de realizar simulações do crescimento potencial e real das culturas, bem como a produtividade. Taxas de crescimento da matéria seca são simuladas computando a assimilação bruta de dióxido de carbono de uma cultura sob ótimas condições de absorção de radiação fotossinteticamente ativa pelo dossel, baseando-se, portanto, nas características fotossintéticas das plantas (VAZIFEDOUST et al., 2008; KROES et al., 2008).

Para a aplicação do modelo para a predição de crescimento da cultura (WOFOST) são necessárias informações de desenvolvimento (fenologia), capacidade de interceptação da radiação solar pelo dossel vegetal, taxas de assimilação de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), acúmulo de biomassa por órgãos da planta, índices de senescência e área de atividade radicular. No caso de simulações de produtividade, avaliações de

índice de área foliar, altura da planta e profundidade radicular devem ser realizadas com base no ciclo fenológico da cultura (KROES et al., 2008).

Tanto o módulo detalhado de crescimento das culturas (WOFOST), quanto o simples, baseado em Doorembos e Kassam (1978), tem sido aplicado como importante ferramenta para o planejamento e avaliações de desempenho para o manejo de sistemas de irrigação. Sua aplicação pode proporcionar o entendimento dos diferentes manejos de irrigação para obtenção de incremento no rendimento e consequente sustentabilidade do sistema agrícola (MANDARE et al., 2008).

Bezerra (2011) obteve resultados satisfatórios de evapotranspiração para avaliações do manejo de lâminas de irrigação na cultura do algodão no Rio Grande do Norte em clima semiárido e Cambissolo Eutrófico Franco-Argilo-Arenoso através o modelo SWAP, em contrapartida a metodologia conhecida como razão de Bowen, no entanto, recomenda-se o teste em outras cultivares e ambientes.

O SWAP pode também ser aplicado para a avaliação do impacto de eventos naturais, ambientais e antrópicos no crescimento de culturas agrícolas. O impacto do uso de águas subterrâneas e de canais advindos de represas no crescimento e desenvolvimento de trigo, assim como o efeito do uso contínuo de água salina no acúmulo de sal no perfil do solo (MANDARE et al., 2008). Outros estudos, como o de Droogers et al. (2008) e Utset et al. (2006) enfocaram em mudanças climáticas, na agricultura irrigada e eventos climáticos extremos, respectivamente.

Outras finalidades como a integração do modelo SWAP com sistemas de informação geográfica e dados de sensoriamento remoto também vem sendo aplicados para simulações de teor de água na zona radicular e, combinam estimativas de IAF obtidas com imagens de alta resolução (DAAS et al., 2008), predição de produção total de trigo através de dados de IAF de sensores remotos de baixa precisão (VAZIFEDOUST et al., 2009).

## **5. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **5.1. Caracterização da Área experimental**

O experimento foi conduzido na fazenda Novo Milênio (Figura 1), localizada no município de Luís Eduardo Magalhães-BA (12° 05' 3'' S e 45° 48' 18'' W e 778 m de altitude). O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho-

Amarelo, com relevo suave a plano, intrínsecos do bioma de cerrado regional, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013).



**Figura 1:** Área experimental, município de Luís Eduardo Magalhães, localidade novo Paraná, Bahia, Brasil.

O município localiza-se no extremo oeste baiano, fronteira com o estado do Tocantins, na região da bacia do Rio Grande. A bacia apresenta regime de chuvas caracterizado por dois períodos distintos, um chuvoso, entre os meses de outubro a abril, com ápice em dezembro, e o seco entre maio e setembro (MOREIRA, 2010).

Pela classificação climática de Köppen, o clima da região é Tropical Estacional (Aw), com temperatura do ar média anual de 24 °C e precipitação média anual de 1.200 mm, concentradas, principalmente, entre os meses de novembro a março.

## 5.2. Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, sendo avaliadas duas fontes amoniacais de fertilizantes nitrogenados (UP e Sulf) e duas doses (0 Kg ha<sup>-1</sup> e 200 Kg ha<sup>-1</sup>) em quatro blocos experimentais, caracterizado assim como sistema fatorial 2 x 2 x 4. Os fertilizantes testados foram Sulfammo 29 (29 % N) e Ureia Perolada (45,9 % N).

O complexo nutricional Sulfammo Meta 29<sup>®</sup> apresenta pH de 8,0 (solução a 10 %) sendo constituído de 29 % de N, 9 % de S, 2 % Mg, 5 % de Ca e 0,3 % de B. Sua formulação com uma matriz mineral e uma orgânica formam duas membranas de proteção do grânulo, que permite maior aproveitamento pela planta do N aplicado, pois o nutriente é liberado gradativamente. Isso acarreta, possivelmente, menores perdas por

lixiviação e volatilização, além de fornecer outros nutrientes indispensáveis para o crescimento vegetal (TIMAC AGRO, 2012).

Cada unidade experimental foi constituída de seis linhas de plantio, com espaçamento de 0,76 metros entre plantas e seis metros de comprimento, o que totalizou 27,4 m<sup>2</sup> de área por parcela. O experimento foi demarcado após plantio mecanizado, conforme Figura 2:



**Figura 2:** Delimitação da área experimental após plantio mecanizado.

### **5.3. Medidas meteorológicas**

Durante o período experimental, os seguintes elementos meteorológicos e do solo foram medidos: temperatura e umidade do ar (modelo EHT, *Decagon Devices*, Washington, USA) e velocidade e direção do vento (anemômetro Davis, modelo *DW-6410*, Califórnia, USA), instalados a 2 m acima da superfície; radiação solar global (modelo *PYR Solar Radiation*, *Decagon Devices*, Washington, USA), instalado a 1,5 m de altura; conteúdo volumétrico de água no solo e temperatura do solo (modelo *5TE*, *Decagon Devices*, Washington, USA) a 8 cm de profundidade, além das medidas de precipitação (pluviômetro Davis, modelo *DS7852*, Califórnia, USA) à 1,5 m acima da superfície. Os sensores estavam conectados a um sistema automático de aquisição de dados (*datalogger Em50*, *Decagon Devices*, Washington, USA), compondo uma estação meteorológica automática (EMA). O sistema foi programado para realizar medidas a cada 5 minutos e armazenar as médias e o acumulado da chuva a cada 5 minutos.

A estação meteorológica (Figura 3) estava localizada a aproximadamente 100 metros do centro do experimento, instalada acima de uma superfície com cobertura predominante de gramíneas.



**Figura 3:** Estação Meteorológica instalada em frente à área experimental.

#### **5.4. Caracterização química e físico-hídrica do solo**

Foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-10 cm; 10-20 cm; 20-40 cm e 40-60 cm, sendo a amostragem realizada de forma composta de seis pontos aleatórios dentro da área experimental (Tabela 1).

**Tabela 1:** Análise química do Latossolo Vermelho-Amarelo do local de estudo, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm.

Profundidade (cm)	C (%)	Al ----- ( $cmol_c d^{-3}$ )	Ca	H + Al	K	Mg	N (%)	P ( $mg L^{-1}$ )	pH ( <i>unid.</i> )
0-10	0,62	0,00	2,50	1,48	73,86	1,04	0,07	48,68	6,46
10-20	0,51	0,00	1,86	1,29	51,86	0,76	0,04	38,06	6,40
20-40	0,30	0,00	0,93	1,58	21,63	0,48	0,02	24,51	5,96
40-60	0,28	0,00	0,57	1,37	17,60	0,34	0,02	8,44	5,54
Método	Walke & Black	Titulaçã o	Abs. atomic a	Titulaçã o	Fotomet . de chama	Abs. atomic a	Kjedah l	Colorimétric o	Potenciometria

Foi realizada também a caracterização físico-hídrica (Tabelas 2 e 3) a fim de determinar experimentalmente a capacidade de campo, ponto de murcha permanente, curva de retenção de água no solo, densidade e a condutividade hidráulica do solo saturado. Essas caracterizações foram realizadas a partir de amostras indeformadas de solo obtidas a cada 10 cm, da superfície até a 110 cm de profundidade (Figura 4).

Para a determinação dos teores de umidade do solo foram coletadas amostras compostas de solo de cinco pontos aleatórios, localizados na área experimental, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 40-60 cm, cuja frequência semanal.



**Figura 4:** Coleta de amostras de terra indeformadas em diferentes profundidades para avaliação físico-hídrica (esquerda). Equipamento utilizado para coleta de amostras de terra deformadas em diferentes profundidades (direita).

**Tabela 2:**Resultado da análise física do Latossolo Vermelho-Amarelo do local de estudo, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90, 90-100 e 100-110 cm.

Profundidade (cm)	Areia grossa kg kg <sup>-1</sup>	Areia fina kg kg <sup>-1</sup>	Silte kg kg <sup>-1</sup>	Argila kg kg <sup>-1</sup>	Ds g cm <sup>-3</sup>	Classificação textural (*)	Tipo de solo (**)
0-10	0,552	0,313	0,0060	0,129	1,69	Areia franca	1
10-20	0,545	0,323	0,0100	0,122	1,74	Areia franca	1
20-30	0,466	0,331	0,0090	0,193	1,68	Franco arenoso Franco argilo	1
30-40	0,475	0,291	0,0180	0,216	1,63	arenoso Franco argilo	1
40-50	0,459	0,277	0,0280	0,236	1,63	arenoso Franco argilo	1
50-60	0,448	0,304	0,0190	0,229	1,76	arenoso Franco argilo	1
60-70	0,471	0,303	0,0240	0,203	1,73	arenoso Franco argilo	1
70-80	0,470	0,278	0,0160	0,236	1,69	arenoso Franco argilo	1
80-90	0,444	0,268	0,0150	0,253	1,57	arenoso Franco argilo	2
90-100	0,422	0,309	0,0260	0,242	1,72	arenoso Franco argilo	2
100-110	0,415	0,291	0,0290	0,265	1,48	arenoso	2

(\*) SBCS

(\*\*)SPA/MAPA

Ds (Densidade do solo)

**Tabela 3:**Resultado da análise físico hídrica do Latossolo Vermelho-Amarelo do local de estudo, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90, 90-100 e 100-110 cm.

Profundidade (cm)	Potencial (kPa)							Cond. Hidráulica (cm h <sup>-1</sup> )
	-4	-6	-10	-30	-100	-500	-1500	
0-10	0,136	0,109	0,078	0,068	0,059	0,047	0,033	6,669
10-20	0,129	0,099	0,081	0,071	0,060	0,048	0,033	4,492
20-30	0,154	0,134	0,093	0,081	0,076	0,065	0,053	5,397
30-40	0,157	0,136	0,100	0,083	0,077	0,068	0,060	6,549
40-50	0,152	0,134	0,104	0,092	0,083	0,076	0,064	4,384
50-60	0,166	0,136	0,107	0,090	0,081	0,079	0,063	4,393
60-70	0,154	0,140	0,104	0,091	0,083	0,069	0,058	5,879
70-80	0,157	0,139	0,104	0,090	0,079	0,070	0,063	8,787
80-90	0,175	0,156	0,118	0,103	0,091	0,078	0,066	7,345
90-100	0,160	0,150	0,116	0,105	0,095	0,075	0,064	4,407
100-110	0,175	0,160	0,122	0,112	0,099	0,087	0,067	7,232

## 5.5. Práticas culturais

O preparo do solo foi conduzido em sistema de plantio direto, sendo a semeadura realizada dia 30/11/2014 de forma mecanizada. A sucessão de culturas na área experimental foi soja-milho-algodão.

A cultivar utilizada foi FiberMax 975 *Wild Strike*, variedade de algodão resistente a insetos-alvo que atacam as lavouras do algodoeiro, pela expressão das proteínas Cry1Ac e Cry1F, derivadas de *Bacillus thuringiensis* (Bt). A cultivar possui também tolerância a herbicidas a base de glifosato, cujo ciclo tardio, espaçamento recomendado de 76-96 cm, com plantas apresentando porte médio para alto, sendo a altura ideal entre 110-130 cm. As características genéticas expressam a antese entre 52-60 Dias Após a Emergência (DAE) e rendimento de fibra esperado de 40-41 % (Bayer®).

Em pré-plantio, no dia 28/11/2014 foram aplicados 63 kg de  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>, na forma de Superfosfato Simples (SS) com adubadeira de linha. Em cobertura superficial nos 28 Dias Após o Plantio (DAP) foram aplicados 162 kg de  $K_2O$  ha<sup>-1</sup>, na forma de Cloreto de Potássio (KCl) com adubadeira a lança. As aplicações dos fertilizantes nitrogenados testados foram realizadas em cobertura de forma manual aos 40 DAP.

Foram realizadas aplicações de reguladores de crescimento com produtos comerciais à base de cloreto de mepiquat nos dias 23/03 (1098 Graus Dias Acumulados - GDA); 04/04 (1223 GDA) e 15/05 (1585 GDA). O ponto de colheita foi determinado através de observações visuais, seguindo o padrão da fazenda, a qual realizou a desfolha química dia 08/07, sendo a colheita manual realizada 12 dias depois, antecedendo a colheita mecanizada.

O manejo fitossanitário da cultura foi realizado com aplicador mecanizado, sendo utilizado também implemento agrícola de jato dirigido para o controle de plantas daninhas. O quadro de aplicações e demais práticas culturais segue no anexo.

## 5.6. Crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura

As amostras para análises de biomassa da parte aérea das plantas foram realizadas nove datas. As primeiras três coletas (5, 7 e 14 DAP) foram realizadas de maneira aleatória dentro da área experimental, haja vista que os tratamentos ainda não haviam sido aplicados, sendo coletadas oito plantas por campanha amostral. Nas campanhas seguintes (38, 52, 79, 114, 179 e 232 DAP) coletou-se uma planta por



tratamento de cada bloco experimental, a qual visualmente fosse representativa, quanto às demais plantas da parcela, o que totalizou quatro plantas por tratamento.

Na determinação da massa seca da parte aérea, a planta foi particionada em caule, galhos, folhas, estruturas reprodutivas (flores, brácteas, botões florais e capulhos inviáveis) e capulhos viáveis (Figura 5). As amostras foram acondicionadas em estufa de ventilação forçada, aquecida por sistema de luzes incandescentes à temperatura de 55 °C por cinco dias, ou até atingirem massa constante. Após esse período a massa seca foi quantificada com auxílio de balança de precisão (modelo VX420H, Marte, MG, Brasil).



**Figura 5:** Identificação das plantas para aferição de dados de crescimento (a). Balança utilizada para pesagem (b); Segregação de compartimentos vegetais (c).

A altura de plantas foi medida com régua graduada nas datas: 5, 7, 9, 11, 14, 18, 19, 24, 38, 51, 78, 96, 114, 179 e 232 DAP, em três plantas por parcela de cada bloco experimental, o que totalizou 12 plantas por tratamento. As plantas foram identificadas no início do experimento, o que permitiu avaliação da altura das mesmas plantas durante todo o ciclo.

O índice de área foliar foi determinado pela relação entre área foliar total por planta ( $AF_T$ ) e a área de superfície disponível para a mesma (AS). A área foliar foi

determinada pelo método da área foliar específica ( $AF = MS_f / AFE$ ), em que  $MS_f$  é a massa seca de folhas e  $AFE$  é a área foliar específica (MONTEIRO et al., 2005).  $AFE$  foi mensurada para os três tipos de folhas do algodão, cujos valores foram: 118,3; 136,6 e 133,4  $cm^2 g^{-1}$ , para folhas cotiledonares, cordiformes e lobadas, respectivamente.

Os estádios foram classificados em vegetativo (V1, V2, V3, V4 e V5) e reprodutivo, sendo este último subdividido em botões florais (B1, B3, B5 e B7), flores (F1, F3 e F5) e capulhos (C1 e C5) (MARUR, 2004). Para a definição dos estádios fenológicos foram amostradas 10 plantas da unidade experimental escolhidas de forma aleatória, com regularidade diária durante as fases iniciais de desenvolvimento, e na escala semanal e por fim quinzenal com o decorrer do experimento, através de observações das características morfológicas que determinam cada fase de desenvolvimento da cultura.

O desenvolvimento vegetal é linearmente relacionado ao acúmulo de temperatura do ar entre uma faixa de temperatura considerado ótima, sendo esse acúmulo denominado graus-dias (GD) ou tempo térmico. Essa faixa é definida pelas temperaturas basal superior ( $T_B$ ) e inferior ( $T_b$ ). Nas condições de cultivo da região temperaturas superiores a  $T_B$  não ocorrem, sendo considerado nesse estudo apenas  $T_b$ , que para o algodão foi 15,6 °C (BELTRAO, 2008). Assim, os GD Acumulados (GDA) foram obtidos pela diferença entre a temperatura média diária e a temperatura de base referida (RITCHIE et al., 2003; LYRA et al., 2008), conforme a equação abaixo:

$$GDA = \sum_{i=1}^n (T_{m,i} - T_b) \quad (01)$$

em que, GDA ( $^{\circ}C d^{-1}$ ) representa os graus-dia acumulados;  $T_{m,i}$  ( $^{\circ}C$ ) é a temperatura do ar média diária do dia  $i$ , com  $i$  variando de 1 (data de plantio), até  $n$  dias (dias) e  $T_b$  ( $^{\circ}C$ ) é a temperatura basal.  $T_m$  foi determinada pelos extremos diários de temperatura do ar, pela relação  $(T_x + T_n)/2$ , em que  $T_x$  e  $T_n$  ( $^{\circ}C$ ) são, respectivamente, a temperatura do ar máxima e mínima diária.

A colheita foi realizada dia 20/07/2015 nos 232 DAP, de forma manual. Foram colhidos três metros lineares das duas linhas centrais de cada parcela, além das três plantas designadas para a avaliação individual de crescimento, de maneira que todos os capulhos foram retirados, ensacados e encaminhados para posterior determinação das

suas massas, enquanto as três plantas para análise de crescimento foram retiradas por completo e sua pesagem segregada por compartimento vegetal.

Para estimativa da produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), o valor obtido através do produto da média de produção por planta de cada tratamento pela estimativa de plantas  $\text{ha}^{-1}$ , sendo o último, aferido após contagem do número de plantas colhidas nos e metros lineares destinados à colheita do experimento do Capítulo 2. Foram também, coletados 30 capulhos por parcela do terço médio de plantas, posicionadas nas duas linhas laterais, para posterior descaroçamento e avaliação de rendimento de pluma.

### 5.7. Modelos de crescimento semi-empíricos

O modelo logístico (eq. 2) foi ajustado as seguintes variáveis de crescimento, altura da planta (cm), biomassa de caule (g), folhas (g) e estruturas reprodutivas (g), em função dos graus-dias acumulados (GDA) (LYRA et al., 2003; LYRA et al.; 2008).

$$W = \frac{W_f}{\left[1 + \left(\frac{W_f}{W_o} - 1\right) \exp(-rX)\right]} \quad (02)$$

em que, W a varável de crescimento (cm ou g); X representa os graus dias acumulados;  $W_o$  e  $W_f$  são os valores do crescimento inicial e final do ciclo, respectivamente (cm ou g); e r é a taxa máxima de crescimento relativo ( $\text{g g}^{-1}\text{°C}^{-1}$  ou  $\text{cm cm}^{-1}\text{°C}^{-1}$ ).

Modelos podem ser ajustados também em função dos Dias Após a Emergência (DAE) ou Dias Após o Plantio (DAP), no entanto espera-se maior coerência quando ajustados em função dos graus dias acumulados, pois este representa as variações no aporte de energia térmica no ambiente (LYRA, et al., 2008).

No caso do IAF, o modelo exponencial (LIMA, 1995; LYRA et al., 2008) foi ajustado em função dos graus dias acumulados (GDA), conforme equação a seguir:

$$IAF = e^{(a_0 + a_1 \cdot D_r + a_2 \sqrt{GDA})} \quad (03)$$

em que, IAF o índice de área foliar ( $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ ) e  $a_0$ ,  $a_1$  e  $a_2$  são coeficientes de ajuste da equação

## 5.8.Operacionalização do modelo SWAP

### 5.8.1. Fluxo de água no solo

O SWAP estima o movimento de água no solo com base na equação de Richard, obtida da combinação da equação de Darcy e a equação da continuidade, conceitos básicos e equações serão brevemente discutidos a seguir:

Os gradientes de potencial de água no solo induzem ao movimento de água. A equação de Darcy é utilizada comumente para a quantificação de tais fluxos, exclusivamente na vertical (KROES et al., 2008). Conforme descrito na equação abaixo:

$$q = -K(h) \frac{\partial(h + z)}{\partial z} \quad (04)$$

em que,  $q$  é a densidade de fluxo de água no solo ( $\text{cm dm}^{-1}$ ),  $K(h)$  a condutividade hidráulica ( $\text{cm dm}^{-1}$ ),  $h$  é o potencial de água no solo (cm) e  $z$  é a coordenada vertical (cm).

Na calibração do modelo (SWAP) o solo foi dividido em 11 camadas, de 0 a 110 cm, cujo intervalo de 10 cm entre camadas. Os valores de  $K(h)$  serão posteriormente citados na Tabela 12 que apresenta a Análise Físico-hídrica. Os valores de  $h$  foram obtidos após ajuste dos dados a curva de van Genuchten.

Considerações do balanço de água em um volume de solo infinitesimalmente pequeno resultou na equação da continuidade para água no solo (KROES et al., 2008):

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial q}{\partial z} - Sa - Sd(h) - Sm(h) \quad (05)$$

em que,  $\theta$  é o conteúdo volumétrico de água no solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $t$  o tempo (d),  $Sa(h)$  taxa de extração de água do solo pelas raízes das plantas ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3} \text{d}^{-1}$ );  $Sd(h)$  é a taxa de extração por drenagem de água na zona saturada ( $\text{d}^{-1}$ ) e  $Sm(h)$  a taxa de troca com os macro poros ( $\text{d}^{-1}$ ).

A equação de Richards combina as equações anteriores, e assim, resulta na equação geral de fluxo de água no solo para diversos solos saturados (KROES et al., 2008), conforme descrita abaixo:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial [K(h) \left( \frac{\partial q}{\partial z} + 1 \right)]}{\partial z} - Sa - Sd(h) - Sm(h) \quad (06)$$

Para a solução da eq. de Richard, o SWAP implementa a função de Mualem-van Genuchten, propondo um  $\theta(h)$  analítico (KROES et al., 2008), conforme apresentado a seguir:

$$\theta = \theta_{res} + (\theta_{sat} - \theta_{res})(1 + |\alpha h|^n)^{-m} \quad (07)$$

em que,  $\theta_{sat}$  é a conteúdo de saturação por água ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ );  $\theta_{res}$  é o conteúdo de água residual após secagem do solo ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) e  $\alpha$  ( $\text{cm}^{-1}$ ),  $n$  e  $m$  (adimensionais) são fatores empíricos de forma. Não considerando muita flexibilidade de perda,  $m$  pode ser obtido pela relação (KROES et al., 2008):

$$m = 1 - \frac{1}{n} \quad (08)$$

Considerando as relações de  $\theta(h)$  apresentadas anteriormente e aplicando a teoria da condutividade hidráulica em solos insaturados, proposto por Mualem, obtém-se a função  $K(\theta)$  (KROES et al., 2008), que segue descrita a seguir:

$$K = K_{sat} > S_e^\lambda \left[ 1 - \left( 1 - S_e^{\frac{1}{m}} \right)^m \right]^2 \quad (09)$$

em que,  $K(h)$  é a condutividade de saturação ( $\text{cm d}^{-1}$ );  $\lambda$  é o fator de forma (adimensional) dependente de  $\partial K / \partial h$ , e  $S_e$  é a saturação relativa (KROES et al., 2008), sendo definida como:

$$S_e = \frac{\theta - \theta_{res}}{\theta_{sat} - \theta_{res}} \quad (10)$$

A solução numérica da equação de Richard requer uma aproximação do diferencial da capacidade de água  $C$  (cm d<sup>-1</sup>). A expressão para tal obtenção se dá através da derivação de  $\theta$  para  $h$  (KROES et al., 2008), conforme abaixo:

$$C = \frac{\partial \theta}{\partial h} = \alpha m n |ah|^{n-1} (\theta_{sat} - \theta_{res}) (1 + |ah|^n)^{-(m+1)} \quad (11)$$

Foi implementado no modelo SWAP uma modificação da função de Mualem-van Genuchten (Schaap & van Genuchten, 2006), que introduz a altura mínima de capilaridade  $h_c$  e  $S_c$ , respectivo a saturação do solo no ponto  $h_e$ , obtido através do modelo clássico proposto por van Genuchten, o que causa menores alterações na curva de retenção (VOGEL et al. 2001). Obtêm-se então a condutividade hidráulica para qualquer condição de umidade do solo, por meio de (KROES et al., 2008):

$$\left\{ \begin{array}{l} K_{sat} (S_e)^\lambda \left[ \frac{1 - (1 - (S_e S_c)^{\frac{1}{m}})^m}{1 - (1 - (S_c)^{\frac{1}{m}})^m} \right]^{2m} S_{e < 1} \\ S_{e > 1} \end{array} \right. \quad (12)$$

### 5.8.2. Evapotranspiração e interceptação da chuva pelo dossel vegetal

SWAP calcula distintamente, devido diferenças nos padrões físicos, os fluxos de evaporação e transpiração a partir dos dados meteorológicos e da cultura fornecidos na calibração do modelo (KROES et al., 2008).

A infiltração de água e os fluxos de água na camada subsuperficial do solo são determinados através do balanço entre a entrada de água no sistema, seja por precipitação ou irrigação, e as principais saídas, transpiração, evaporação e interceptação de água pelo dossel da cultura. O modelo assume que a extração de água pelas raízes corresponde a transpiração vegetal, devido na maioria dos casos os fluxos diários de água que ultrapassam o dossel e incidem no solo serem superior ao montante armazenado no próprio dossel (KROES et al., 2008).

A extração de água pelas raízes ocorre predominantemente na zona de abrangência radicular, a qual varia drasticamente em relação a cultura em estudo. No entanto, a evaporação se limita apenas a camada de interface solo-atmosfera, o que

resulta em distintas abordagens físico-fisiológicas para sua adequada determinação. Este fato causa consequências em condições de seco principalmente, o que acarreta em maiores reduções nas taxas de evaporação do que na transpiração, sendo então optado pelo modelo a distinção nos cálculos de ambos os processos (KROES et al., 2008).

O cálculo de interceptação de culturas agrícolas utilizado pelo SWAP segue o estabelecido por vonHoyningen-Hune (1983) e Braden (1985), conforme relação abaixo:

$$P_i = a * LAI \left( 1 - \frac{1}{1 + \frac{b * P_{gross}}{a * IAF}} \right) \quad (13)$$

em que,  $P_i$  é a interceptação da água pelo dossel ( $\text{cm d}^{-1}$ );  $IAF$  é o índice de área foliar;  $P_{gross}$  é a precipitação bruta ( $\text{cm d}^{-1}$ );  $a$  é um coeficiente empírico ( $\text{cm d}^{-1}$ ) e  $b$  a fração de cobertura do solo (-). O valor de  $a$  pode ser obtido experimentalmente, no entanto para culturas agrícolas pode ser assumido o valor de  $a = 0,025$ ; o coeficiente  $b$  é estimado pelo SWAP através de  $b = IAF/3$ .

#### 5.8.2.1. Evapotranspiração potencial de superfícies uniformes

Evapotranspiração potencial refere-se ao somatório da evaporação de água interceptada pelo dossel vegetal e do solo mais a transpiração vegetal em condições ideais de crescimento. Apenas as condições atmosféricas e as características da cultura determinam a taxa evapotranspirativa, nesta abordagem. O modelo SWAP utiliza-se do método Penman-Monteith (MONTEITH, 1965, 1981), descrito abaixo:

$$ET_p = \frac{\frac{\Delta_v}{\lambda_w} (R_n - G) + \frac{p_1 \rho_{ar} C_{par} (e_s - e_a)}{\lambda_w r_a}}{\Delta_v + \gamma_{ar} \left( 1 + \frac{r_c}{r_a} \right)} \quad (14)$$

em,  $ET$  é a evapotranspiração ( $\text{mm d}^{-1}$ );  $\Delta_v$  refere-se a inclinação da curva de vapor d'água do ar ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ );  $R_n$  o saldo de radiação à superfície ( $\text{J m}^{-2} \text{d}^{-1}$ );  $\lambda_w$  o calor latente de vaporização ( $\text{J kg}^{-1}$ );  $G$  o fluxo de calor no solo ( $\text{J m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ),  $p_1$  coeficiente para conversão de unidade de tempo ( $= 86400 \text{ s d}^{-1}$ );  $\rho_{ar}$  a densidade do ar ( $\text{kg m}^{-3}$ );  $C_{par}$

calor específico do ar a pressão constante ( $J\ kg\ ^\circ C^{-1}$ );  $e_s$  a pressão de saturação de vapor (kPa);  $e_a$  a pressão real de vapor;  $\gamma_{ar}$  a constante psicométrica ( $kPa\ ^\circ C^{-1}$ );  $r_c$  a resistência da cultura ( $s\ m^{-1}$ ); e  $r_a$  a resistência aerodinâmica ( $s\ m^{-1}$ )

#### 5.8.2.2. Transpiração potencial e fluxos de evaporação em solos parcialmente cobertos

O SWAP baseia-se no IAF ou na fração de cobertura do solo (adimensional) para as estimativas das taxas de transpiração e evaporação potencial em condições de cobertura parcial. Para as simulações em questão foram considerados os dados de IAF obtidos no experimento para subsídio ao modelo.

Os termos aerodinâmicos, devido baixa contribuição nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura não foram utilizados pelo SWAP para o cálculo da evaporação potencial do solo. Assumindo que a radiação dentro do dossel decresce exponencialmente e o fluxo de calor no solo pode ser negligenciado. A equação foi derivada da seguinte maneira:

$$E_p = E_{p0} e^{-k_{gr}LAI} \quad (18)$$

em que,  $k_{gr}$  (adimensional) o coeficiente de extinção de a luz solar. Para culturas comuns Richie (1972) e Feddes (1978) adotaram  $k_{gr} = 0,39$ . No entanto pode ser obtido através do produto entre o coeficiente de luz difusa ( $k_{dif}$ , adimensional) e o coeficiente de luz direta ( $k_{dir}$ , adimensional).

Para a estimativa da evaporação da água interceptada pelo dossel da cultura, SWAP adota o valor da evapotranspiração potencial em condições de superfície úmida ( $ET_{w0}$ ), anteriormente relatada. A fração de água interceptada durante os períodos do dia em tais condições é calculada conforme equação a seguir:

$$W_{frac} = \frac{P_i}{ET_{w0}} \quad se\ W_{frac} \leq 1,0 \quad (19)$$

Durante a evaporação da água interceptada pelo dossel, a transpiração não é considerada pelo SWAP, na medida em que o dossel seca, a transpiração reinicia a ser contabilizada, com os valores da evapotranspiração potencial ( $ET_{p0}$ ). A média diária da



transpiração potencial é calculada de forma fracionada durante a evaporação da água interceptada, conforme equação abaixo:

$$T_p = (1,0 - W_{frac})ET_{p0} - E_p \quad \text{se } T_p \geq 0 \quad (20)$$

### 5.8.2.3. Transpiração real da cultura

Estimativas de evapotranspiração real e da cultura podem ser obtidas através da equação de Penman-Monteith, considerando a resistência da cultura à transferência de vapor d'água. Mas conforme discutido anteriormente, estes valores não são facilmente encontrados para as diversas culturas agrícolas. O SWAP calcula através de duas etapas, a primeira baseia-se no cálculo da evapotranspiração da cultura considerando os valores mínimos para as resistências da cultura e do ar supracitadas, e a segunda estima a evapotranspiração real considerando a redução da retirada de água pelas raízes, devido salinidade ou baixa disponibilidade hídrica, e a redução na evaporação com a secagem da camada subsuperficial do solo.

A quantidade máxima de água extraída pelas raízes, assim como sua integração com a profundidade radicular é considerada pelo SWAP igual a transpiração potencial ( $T_p$ ).  $T_p$  é relacionada unicamente com as condições meteorológicas e características da cultura. Considerando a densidade de distribuição das raízes, seu potencial de extração de água,  $S_p(z)$  ( $d^{-1}$ ) é obtido pelo SWAP através da equação a seguir:

$$S_p(z) = \frac{l_{raiz}}{\int_{D_{raiz}}^0 l_{raiz}(z) dz} T_p \quad (21)$$

em que,  $D_{raiz}$  a espessura da camada radicular.

Portanto, tanto estresses relacionados à umidade do solo e, ou a salinidade penalizam a extração de água pelas raízes. O estresse hídrico é descrito pelo SWAP segundo a função proposta por Feddes et al. (1978).

#### 5.8.2.4. Evaporação real de água do solo

Em condições de umidade a evaporação real é igualizada a evaporação potencial ( $E_p$ ). No caso de condições de acúmulo de água, o SWAP acrescenta ao valor de  $E_p$  a evaporação da água interceptada. À medida que o solo seca, sua condutividade hidráulica diminui, o que induz a redução na taxa de  $E_p$  a taxa  $E_a$  ( $\text{cm d}^{-1}$ ). A evaporação máxima que o solo pode sustentar é calculada pelo SWAP de acordo com a Lei de Darcy, descrito abaixo:

$$E_{max} = K_{\frac{1}{2}} \left( \frac{h_{atm} - h_1 - z_1}{z_1} \right) \quad (22)$$

em que,  $K_{1/2}$  a condutividade hidráulica média ( $\text{cm d}^{-1}$ ) entre a superfície e a primeira camada do solo;  $h_{atm}$  é a pressão (cm) em equilíbrio entre o ar e a umidade relativa;  $h_1$  é o potencial matricial (cm) da primeira camada; e  $z_1$  a profundidade do solo no nó da primeira camada. Observam-se em tal equação que os valores de  $E_{max}$  dependem da espessura dos compartimentos do solo, aumentos na espessura do compartimento geralmente resultam em menores valores de  $E_{max}$ , devido à redução nos gradientes matriciais hidráulicos. Assim, sugere-se para melhor acurácia das simulações em condições hidrológicas extremas, que as primeiras camadas de solo não sejam maiores do que 1 cm.

Como  $E_{max}$  é diretamente relacionado às funções hidráulicas do solo, conforme anteriormente relatado condições extremas causam sérias limitações para suas corretas estimativas de  $E_{max}$ . Portanto uma função de evaporação empírica pode ser usada, no entanto esta função é dependente de parâmetros de calibração para o clima local, solo, sistema de cultivo e drenagem. Para as simulações em questão a equação empírica de Black (1969) foi a escolhida.

#### 5.8.2.5. Redução da evaporação do solo de acordo com Black

A equação abaixo proposta por Black (1969) calcula a evaporação real acumulada durante o ciclo de seca:

$$\sum E_a = \beta t_{seca}^{\frac{1}{2}} \quad (23)$$

em que,  $\beta_1$  parâmetro específico do solo ( $\text{cm d}^{-0,5}$ ), que caracteriza o processo de evaporação;  $t_{seca}$  é o tempo (d) depois de uma precipitação significativa;  $P_{min}$ . SWAP zera  $t_{seca}$  quando a precipitação líquida excede a precipitação mínima ( $P_{min}$ )

### 5.8.3. Crescimento da cultura

SWAP contém três possíveis metodologias para as simulações de crescimento das culturas, os modelos simples e detalhado para diversas culturas e um modelo detalhado para crescimento de grama. Para o estudo em questão será utilizado o modelo detalhado (WOFOST), conforme detalhado a seguir:

#### 5.8.3.1. Modelo detalhado de crescimento da cultura (WOFOST)

O modelo detalhado distingue o crescimento da cultura em três grupos de fatores, os quais afetam em nível hierárquico o rendimento da cultura, sendo estes, os fatores de definição, fatores limitantes e fatores de redução.

Fatores de definição são relacionados ao ambiente físico (dióxido de carbono -  $\text{CO}_2$ , radiação e temperatura) e características da cultura (fisiologia, fenologia e estrutura do dossel), define a produtividade potencial da cultura, fatores limitantes são referentes ao aporte de água e nutrientes para que a cultura atinja a produtividade potencial e os fatores de redução indicam perdas na produtividade potencial em decorrência de pragas, pestes, doenças e poluentes. A combinação dos fatores supracitados, obtidos através das relações entre os dados de entrada do modelo, define a produtividade atual da cultura.

O modelo WOFOST foi desenvolvido para simulações da produção potencial penalizadas por estresse de água e, ou por excesso salino. Interpreta que a radiação solar absorvida pelo dossel é função da entrada de energia solar no sistema e da área foliar da

cultura para o cálculo da fotossíntese bruta potencial e posterior redução nas taxas de transpiração relativa e fotossíntese atual.

Os carboidratos produzidos são usados para prover energia de manutenção, na respiração de manutenção, sendo o remanescente destinado para a produção de biomassa estrutural. A matéria seca produzida é particionada para as raízes, folhas, caules e órgãos de reserva.

A Intercepção de luz e a assimilação de CO<sub>2</sub> são consideradas os principais fatores que potencializam o crescimento vegetal. O modelo baseia-se nos dados de matéria seca das folhas para a determinação do crescimento do IAF e na dinâmica da intercepção de luz pelo dossel da cultura. Processos como a partição dos assimilados e deterioração de tecidos vegetais são função do DVS.

A quantificação dos estádios fenológicos é fundamental para qualquer modelo de crescimento vegetal, pois diversos processos fisiológicos e morfológicos são geridos por tais eventos. Estádios fenológicos são regidos pelo acúmulo térmico no caso da cultura e questão e/ou pela variação sazonal de luz solar. Antes da antese as taxas de desenvolvimento são controladas pela duração do dia e pela temperatura do ar, sendo que após apenas pela temperatura do ar. Temperaturas do ar elevadas aceleram o desenvolvimento e reduzem os períodos de crescimento, com ressalvas.

### **5.9. Avaliações dos modelos e análises estatísticas**

Os ajustes dos modelos de crescimento semi-empíricos foram avaliados através do coeficiente de regressão ( $R^2$ ) e o erro padrão da estimativa (EPE). O EPE fornece o desvio médio entre os valores observados e estimados. A determinação dos valores iniciais ( $w_0$ ), finais ( $w_f$ ) e as taxas de crescimento relativo ( $r$ ) foram baseadas na metodologia utilizada por Lyra *et al.* (2003). As diferenças significativas entre os dados observados e estimados de cada tratamento em função das variáveis de valores iniciais ( $w_0$ ), finais ( $w_f$ ) e taxa de crescimento relativo ( $r$ ) foram submetidas ao teste t a 5% de significância.

As avaliações do modelo SWAP foram através do coeficiente de determinação ( $R^2_{ajs}$ ) da regressão linear entre os valores simulados (massa seca total da parte aérea, massa seca de órgãos reprodutivos, índice de área foliar e umidade volumétrica do solo) e observados, a Raiz do Quadrado Médio do Erro (RQME) e o Erro Padrão de Estimativa (EPE) em função da fonte de fertilizante nitrogenado. Além destes valores

são apresentados os gráficos de dispersão com a regressão linear ajustada ( $Y = b X$ ), em que  $Y$ , é o valor estimado e  $X$  é o observado,  $a$  é o intercepto e  $b$  é a inclinação.

$$RMSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (D_i - D_{oi})^2}{n} \right]^{1/2} \quad (24)$$

em que,  $RMSE$  é a Raiz do Quadrado Médio do Erro;  $D_i$  refere-se ao dado estimado no  $i$ -ésimo dia;  $D_{oi}$  é o dado observado no  $i$ -ésimo dia; e  $n$  o numero de dados em comparação.

Na aproximação entre os dados observados e os estimados com o SWAP, aplicou-se o índice de concordância ( $d$ ) e o Índice de Eficiência de Modelagem (IEM), proposto por Willmott (1985) e Willmott (1982), Eq. 25 e 26, que variam de 0 a 1, sendo que, quanto mais próximo de 1 maior a concordância entre os dados observados e os estimados, em função da fonte de fertilizante. Tais índices referem-se a precisão da simulação, sendo que remetem o grau de aproximação do modelo em relação aos dados observados.

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (D_i - D_{oi})^2}{\sum_{i=1}^n (|D_i - \bar{D}_o| + |D_{oi} - \bar{D}_o|)^2} \right] \quad (25)$$

em que,  $d$  é o índice de concordância de WILMOTT et al (1985);  $D_i$  refere-se ao dado estimado no  $i$ -ésimo dia;  $D_{oi}$  é o dado observado no  $i$ -ésimo dia; e  $\bar{\phantom{x}}$  é a média do dado observado durante o período considerado.

$$IEM = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (D_i - D_{oi})^2}{\sum_{i=1}^n |D_i - D_{i-média}| |D_{oi} - D_{oi-média}|} \right] \quad (26)$$

em que,  $IEM$  é Índice de Eficiência do Modelo.

Foi também aplicado o índice de desempenho “c” adotado por CAMARGO & SENTELHAS (1997) para a comparação dos dados observados e estimados, conforme equação a seguir:

$$c = |R * d|$$

em que,  $c$  é o índice adimensional de desempenho proposto por CAMARGO & SENTELHAS (1997);  $r$  refere-se ao coeficiente de correlação de Pearson (adimensional) obtido na regressão linear;  $d$  é o índice de concordância de WILMOTT et al (1985).

A interpretação do índice “ $c$ ” segue o seguinte critério: ótimo (“ $c$ ” > 0,85); muito bom ( $0,75 \leq “c” < 0,85$ ); bom ( $0,65 \leq “c” < 0,75$ ); mediano ( $0,60 \leq “c” < 0,65$ ); sofrível ( $0,50 \leq “c” < 0,60$ ); mau ( $0,40 \leq “c” < 0,50$ ); e péssimo (“ $c$ ” < 0,40).

Os dados de números de entrenós, produção de algodão em caroço e estruturas reprodutivas na colheita, em função da dose e tipo de fertilizante foram submetidos à análise de variância e os tratamentos cujas interações significativas ( $p < 0,05$ ) foram submetidas ao teste Tukey a 5 % de probabilidade.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

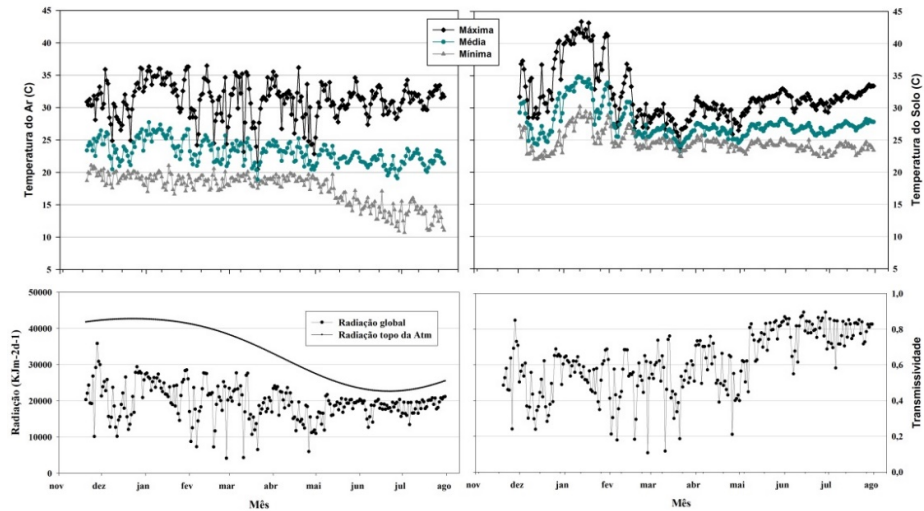
### 6.1. Variáveis Meteorológicas

Segundo Reddy et al. (1991) a temperatura do ar é um dos fatores mais determinantes para o adequado desenvolvimento do algodão, e causa penalização na expansão foliar, alongação dos entrenós, produção de biomassa e partição de assimilados, quando seus valores estão fora da faixa ideal, a qual situa-se entre 20 e 30 °C. As médias das temperaturas do ar máximas, médias e mínimas durante os meses de dezembro de 2014 a julho de 2015 foram de  $31,1 (\pm 3,0)$ ,  $23,1 (\pm 1,8)$  e  $17,5 (\pm 2,3)$  °C, respectivamente (Figura 6). Com temperatura máxima diária de 36,5 °C no dia 13 de fevereiro e mínima diária de 10,7 °C no dia 3 julho. O valor máximo médio mensal foi observado em janeiro ( $34,1 \pm 1,9$ °C), enquanto o mínimo médio mensal ocorreu nos meses de junho ( $13,9 \pm 1,4$ °C) e julho ( $13,9 \pm 1,5$ °C). Com o advento do mês de maio, início do período seco, as temperaturas do ar mínimas apresentaram tendência de diminuição, ocasionada pela maior transmissividade global atmosférica, representada pela razão entre a radiação solar global e radiação solar no topo da atmosfera. A maior transmissividade permite maior emissão de radiação de ondas longas do solo para a atmosfera durante o período noturno. Para a temperatura máxima a tendência de

diminuição não foi observada, devido possivelmente a maior incidência de radiação solar na superfície em ocasião da menor transmissividade global.

As médias de temperatura máxima, média e mínima do solo no decorrer do experimento foram de  $31,9 (\pm 4,1)$ ,  $27,6 (\pm 2,5)$  e  $24,6 (\pm 1,6)$  °C, respectivamente (Figura 6). A temperatura do solo apresentou o valor extremo máximo diário dia 13 de janeiro ( $43,4$  °C) e extremo mínimo diário nos dias 12, 13 e 14 de dezembro ( $22,0$  °C), respectivamente. As médias máximas mensais foram observadas também em janeiro ( $40,0 \pm 2,6$  °C), o qual apresentou cerca de 70 % dos dias temperaturas do solo média das máximas diárias acima de  $40$  °C, enquanto as mínimas médias mensais em junho ( $23,6 \pm 0,7$ °C). As maiores temperaturas do solo médias das máximas diárias, assim como o valor absoluto máximo observado em janeiro, podem ser decorrentes da elevada transmissividade global da atmosfera observada neste mês, o qual foi caracterizado por um período seco conhecido como “veranico”, o que tende de ocasionar aumento no aporte de energia solar no solo. A temperatura mínima absoluta, observada em dezembro pode ser explicada pela elevada precipitação nos dias em que o ocorrido foi verificado, cujo montante de chuva foi superior a 35 mm de chuva acumulados ocasionando menor transmissividade atmosférica, o que reflete em menor aporte de energia solar na superfície. As médias mensais mínimas observadas em junho ( $23,6 \pm 0,7$ °C) e julho ( $23,7 \pm 0,7$ °C) podem ser explicadas devido à maior transmissividade atmosférica, que ocasiona maiores perdas de energia na forma de radiação de ondas longas, pois as máximas médias mensais não seguiram a mesma tendência de diminuição.

Maiores níveis de transmissividade atmosférica indicam maior densidade de fluxo de radiação solar à superfície terrestre. De acordo com Reddy et al. (1991), para que o algodão atinja a produção máxima a cobertura de nuvens deve ser inferior a 50 % e não deve ocorrer inversão térmica. Maiores entradas de energia solar tendem a incrementos nos processos de absorção de energia pelo solo, reflexão (albedo), fluxos de calor sensível e calor latente, o que resulta em aumento da temperatura do ar e do solo e nas taxas de evaporação e transpiração, quando a vegetação não está em condições de estresse de água.



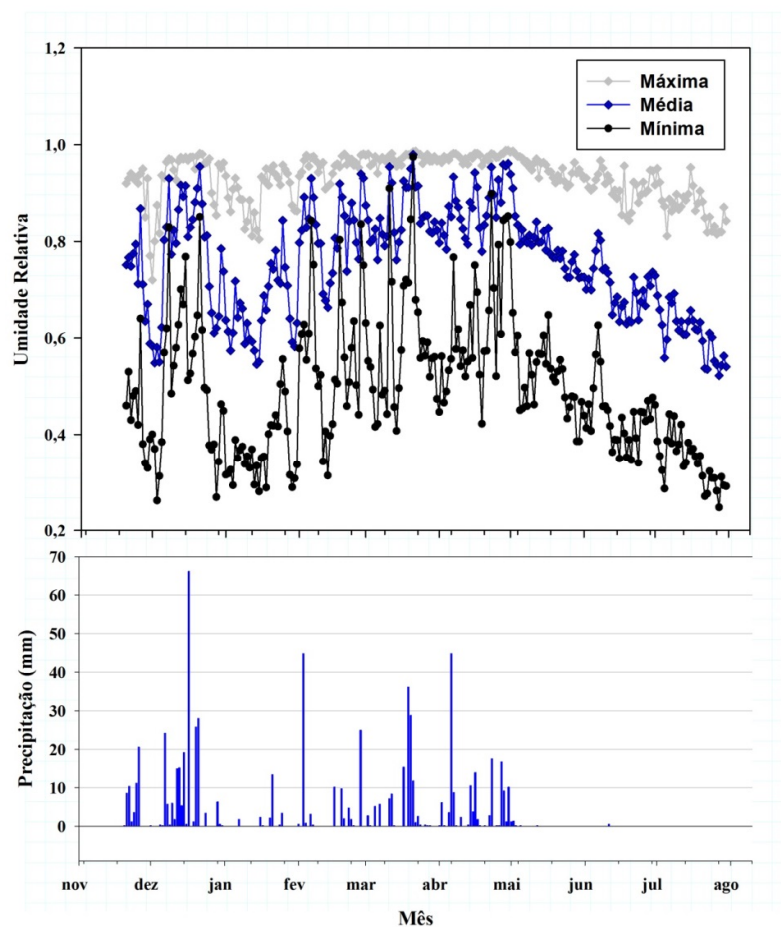
**Figura 6:** Variação das temperaturas do ar (a) e do solo (b) máximas, médias, mínimas diárias, radiação solar global e no topo da atmosfera (c) e a transmissividade (d) no período de novembro de 2014 a julho de 2015, Luiz Eduardo Magalhães, BA.

A radiação solar total incidente na superfície (Figura 6) durante o período experimental foi de  $81,41 \times 10^6 \text{ KJ m}^{-2}$ , com média de  $5,85 \times 10^5 \text{ KJ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  por mês. O ápice da incidência de radiação na superfície foi observado em janeiro, com  $7,37 \times 10^5 \text{ KJ m}^{-2}$ , o mínimo mensal ocorreu em junho com  $5,46 \times 10^5 \text{ KJ m}^{-2}$ . A radiação solar no topo da atmosfera, estimada a partir da latitude e a declinação solar, demonstrou declínio esperado, em decorrência da transição entre estações do ano, com decréscimo a partir do equinócio de outono (22/03) e, mínimo no solstício de inverno do Hemisfério Sul (21/06). Flutuações mais abruptas no aporte de radiação solar na superfície podem ser observadas nos meses onde ocorreu maior número de eventos chuvosos (dezembro, fevereiro, março e abril). Pode-se observar que em janeiro, assim como com o adentro de maio, caracterizado pelo início da estação regional de seca, devido à elevada transmissividade atmosférica estas flutuações não foram tão recorrentes.

Ocorreram eventos de chuva (acima de 1,0 mm) em 23 % dos 232 dias do ciclo de cultivo, cuja precipitação acumulada foi de 639,8 mm (Figura 7). O acumulado durante o período de cultivo foi superior ao mínimo exigido pela cultura de algodão (500 mm) (REDDY, et al., 1991). Contudo, a distribuição das chuvas apresentou elevada variabilidade mensal. Dezembro apresentou 21 dias chuvosos, com precipitação total de 226,6 mm, o que proporcionou condições adequadas para o estabelecimento da cultura. No entanto, janeiro, durante os estádios V4, V5, B, até F2, foi caracterizado por

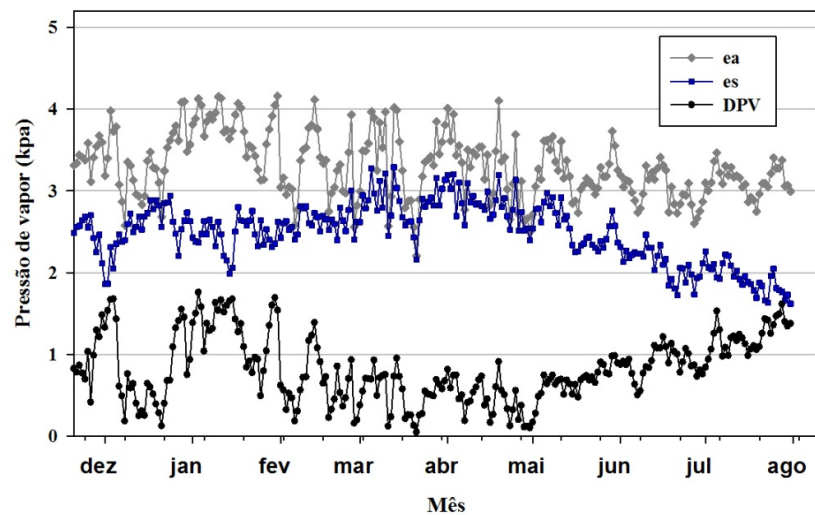


um período seco prolongado, com apenas seis dias chuvosos que, totalizaram 23,8 mm. Entretanto, Beltrão et al. (2008) afirma que embora o algodão requerer condições ótimas de umidade no solo entre a floração e a formação das maçãs, as plantas resistem bem períodos de estresse hídrico, havendo inclusive correlação positiva entre o crescimento vegetal e produção final do algodoeiro, o que pode sugerir que curtos períodos de estresse antes do florescimento podem favorecer a produtividade da cultura. Os totais mensais de chuva (dias chuvosos) em março e abril apresentaram aumento em relação a janeiro, com totais de 126,8 mm (17 dias) e 155,6 mm (23 dias), respectivamente, seguido de diminuição significativa nos totais em maio (3,2 mm em quatro dias chuvosos) e junho (0,6 mm e apenas um evento de chuva).



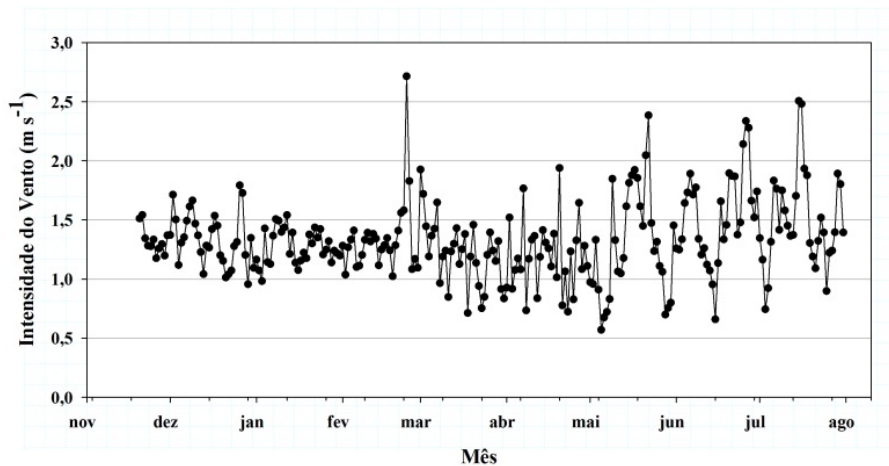
**Figura 7:** Valores relativos máximos, médios e mínimos diários da Umidade relativa do ar. Evolução do conteúdo volumétrico de água no solo e da precipitação com o transcorrer do experimento.

A umidade média relativa do ar em torno de 60 % aumenta a quantidade de maçãs e a produtividade de algodão em caroço, favorecendo a produção de fibras, devido possivelmente a redução na queda das maçãs (REDDY et al., 1991). Em janeiro, observou-se menor umidade relativa, aliado a elevado déficits de pressão saturação do vapor d'água do ar, devido à baixa frequência de precipitação nesse mês. Notou-se também redução pronunciada da umidade relativa a partir de maio (Figura 7), quando ocorreu último evento chuvoso, o que induziu, conseqüentemente, a maiores déficits de pressão de vapor, em função do aumento (Figura 8).



**Figura 8:** Variação da pressão real de vapor (ea), pressão de saturação (es) e déficit de pressão de vapor (DPV), dentre dezembro de 2014 à agosto de 2015, na Fazenda Novo Milênio em Luiz Eduardo Magalhães, BA.

A média de intensidade do vento durante o período experimental foi de  $1,39 \text{ m s}^{-1}$ , sendo que os meses de junho e abril, com  $1,53 \text{ m s}^{-1}$  e  $1,19 \text{ m s}^{-1}$ , foram os que apresentaram maior e menor média mensal de intensidade de vento (Figura 10).



**Figura 9:** Médias diárias da velocidade do vento no decorrer do experimento.

## 6.2. Desenvolvimento, crescimento e produtividade

### 6.2.1. Desenvolvimento

O plantio foi realizado dia 30/11/2016 e a emergência observada aos quatro dias após o plantio (DAP), cuja soma térmica foi 45,9 °GDA (Figura 10). Segundo Beltrão et al. (2008) a faixa de temperatura ideal para a germinação encontra-se entre 18 e 30 °C, cuja mínima de 14 °C e máxima de 40 °C. A média da temperatura do ar registrada durante este período foi de 25,4 °C, com máxima diária de 35,9 °C e mínima diária de 17,9 °C, enquanto a temperatura do solo média observada foi de 30,2 °C, com máxima diária de 37,3 °C e mínima diária de 25,4 °C. Segundo Marur (1993) temperaturas do solo superiores a 20 °C e do ar entre 25 e 30 °C favorecem a emergência e estabelecimento do algodão. Temperatura base para germinação e crescimento de 12 °C e 15,5 °C, respectivamente, foram descritas por Singh et al. (2007). Não houve nenhum evento chuvoso durante o estágio o transcorrer deste estágio fenológico, no entanto, durante o período de 10 dias que antecederam o plantio foram registrados 147,6 mm de chuva acumulada.

Após a emergência é iniciado o desenvolvimento vegetativo do algodoeiro, cuja principal finalidade é a produção de folhas para aumentar a interceptação de luz solar e produção de fotoassimilados (BELTRÃO et al., 2008). Temperatura do ar diurna é ideal para o crescimento inicial do algodão quando acima de 20 °C e não superior a 40 °C, enquanto a noturna entre 12 e 27 °C (DOORENBOS; KASSAN, 1994).

O estágio V0, caracterizado pelo período do plantio até a primeira folha cordiforme (V1) (BELTRÃO et al., 2008), perdurou até os 11 DAP, com soma térmica de 106,2°GDA. A partir deste estágio as novas folhas são oriundas de gemas alternas, sendo o estágio V3, com soma térmica 174,5° GDA, caracterizado pela primeira folha lobada. O estágio vegetativo observado estendeu até V5 nos 40 DAP, com a planta apresentando cinco folhas (duas cordiformes + três lobadas), distribuídas em cinco entre nós alternos. A temperatura média do ar e do solo durante todo o estágio vegetativo (V), ou seja de V1 até V5, foi de, respectivamente, 24,2 °C e 28,7 °C, com máximas médias diárias de 36,3 °C e 41,8 °C e mínimas médias diárias de 17,0 °C e 22,0 °C, respectivamente. Conaty et al. (2012) relata que na faixa de temperatura do ar entre 23 e 32 °C tem-se a atividade metabólica mais eficiente. A precipitação acumulada durante todo o estágio vegetativo (V1 até V5) foi de 228 mm, distribuídos em 15 eventos de chuva, sendo 93,3 % desses eventos ocorrido em dezembro, até os 31 DAP. A partir desta data ocorreu um período seco de oito dias, cessado com um evento de chuva de 1,8 mm, observado nos 40 DAP.

O primeiro botão floral foi observado aos 41 DAP, cuja soma térmica de 410,6 °GDA. De acordo com Baker e Landivar (1991) neste estágio o crescimento em altura, assim como acúmulo de biomassa pela planta são acentuados. Tal estágio perdurou até o aparecimento da primeira flor branca, observado aos 55 DAP, soma térmica de 559,1° GDA. O estágio de botão floral (B) apresentou média da temperatura do ar e do solo de, respectivamente, 25,3 °C e 32,9 °C, com máximas diárias de 36,0 °C e 43,4 °C e mínimas diárias de 16,6 °C e 24,4 °C. Segundo Mauney (1966) médias diárias da temperatura do ar de 25 °C, associado a mínimas superiores a 20 °C estimulam o florescimento. Neste estágio é acentuada a necessidade hídrica pela planta, que pode aumentar de 1 para 4 mm d<sup>-1</sup>. Secas severas podem até cessar o crescimento vegetal (SILVA et al., 2011). A precipitação acumulada durante os 14 dias de estágio foi de 18,2 mm, distribuído em três eventos.

A primeira flor rosa (fecundada) também foi observada aos 55 DAP, a primeira maçã aos 72 DAP, com soma térmica 714,3 GDA, sendo a partir desta, segundo Gridi Papp (1965) a ordem de abertura de flores em espiral, sucessivamente a partir do primeiro nó do primeiro ramo frutífero. Aos 82 DAP, cuja soma térmica de 809,4 GDA, foi observada a primeira maçã expandida. O estágio de florescimento e formação das maçãs (F) perdurou até os 123 DAP, 1183,9 GDA, cuja média da temperatura do ar e do solo foi de, respectivamente, 23,3 °C e 27,2 °C, com máximas diárias de 36,4 e 41,5 e

mínimas diárias de 17,1 °C e 22,4 °C. Temperatura do ar entre 27 e 32 °C favorecem o desenvolvimento e manutenção das maçãs, no entanto acima de 38 °C o rendimento é penalizado (DOORENBOS; KASSAN, 1994).

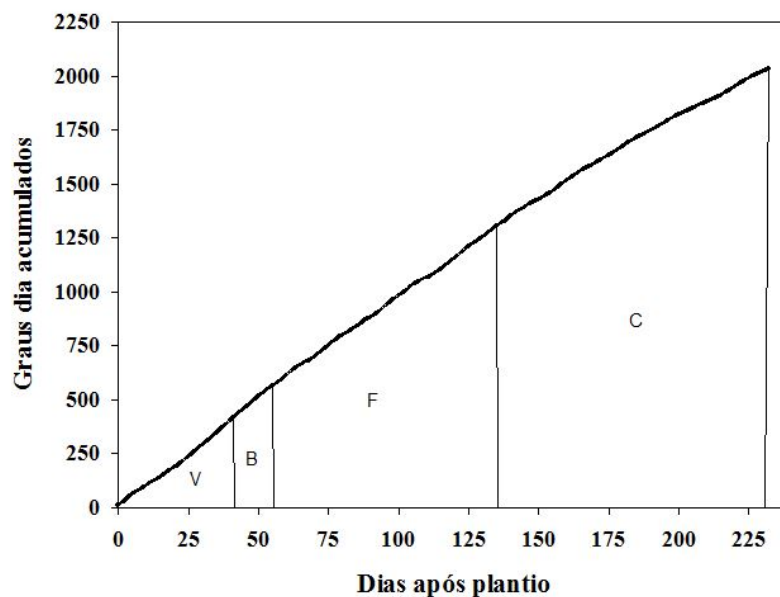
A deficiência hídrica do solo é o principal fator de abscisão no algodoeiro (LUZ et al., 1997; NAPOLES et al., 1999). No entanto, a precipitação acumulada para este estágio foi de 240,6 mm, distribuídos em 20 eventos de chuva. A maior precipitação diária foi observada no dia 03/02 aos 65 DAP, de 44,8 mm, sendo a data limite para o término do maior período seco observado durante o estágio de florescimento, correspondendo a oito dias, respectivamente.

O primeiro capulho foi avistado aos 130 DAP, soma térmica de 1250,4° GDA. Devido hábito de crescimento indeterminado, no estágio de capulhos (C) ocorre ainda o crescimento vegetativo, assim como florescimento, crescimento e maturação dos frutos (OOSTERHUIS, 1999).

Durante o transcorrer do estágio C, a média da temperatura do ar e do solo foi de 22,2 e 26,7 °C, com máximas diárias de 36,2 e 33,0 °C e mínimas diárias de 10,7 e 22,3 °C, respectivamente. Segundo Rosolem (2001), temperatura do ar entre 21 e 26 °C favorece a maturação das maçãs, no entanto apresenta relação de encurtamento em dez dias no período de maturação para temperaturas médias diárias de 30, 26 e 23 °C, sucessivamente, o que pode reduzir a massa das mesmas, que é favorecida por menores temperaturas.

A precipitação acumulada durante o estágio C foi de 153 mm, distribuídos em 16 eventos acima de 1 mm, o evento diário de maior precipitação foi de 44,8 mm, observado em abril, mês que representou 87,5 % dos eventos chuvosos durante este estágio. Foi registrada na estação uma precipitação de 0,6 mm no dia 11/06, no entanto o último evento considerado chuvoso ocorreu dia 03/05 (1,4 mm) aos 154 DAP.

O período de colheita foi estipulado de acordo com o manejo da fazenda onde foi desenvolvido o trabalho, cuja recomendação foi realizá-la ao menos 10 dias após a aplicação de maturador e dessecador, descrito nas práticas culturais e manejo fitossanitário, em anexo. Assim, a colheita foi realizada de forma manual aos 232 DAP, 12 dias após a aplicação supracitada, que contabilizou soma térmica de 2028,6° GDA para o ciclo do algodão. A Figura 10 relaciona os graus dias acumulados e os dias após o plantio com o período dos respectivos estágios fenológicos observados na cultura.



**Figura 10:** Desenvolvimento das plantas de algodão em função dos graus dias acumulados.

#### *Partição x desenvolvimento*

Após a emergência, durante o estágio V0 a porcentagem da biomassa total da parte aérea destinada para caules variou entre 72,3 e 83,6 %, sendo os 27,7 e 16,4 % restantes destinados a biomassa foliar. Com a sequência do desenvolvimento vegetativo esta dinâmica se inverteu, no estágio V1 e V5 foi observada redução na biomassa de caules (42,1 e 26,1 %), cujo destino foi o translocamento para biomassa foliar (57,9 e 73,9 %), respectivamente.

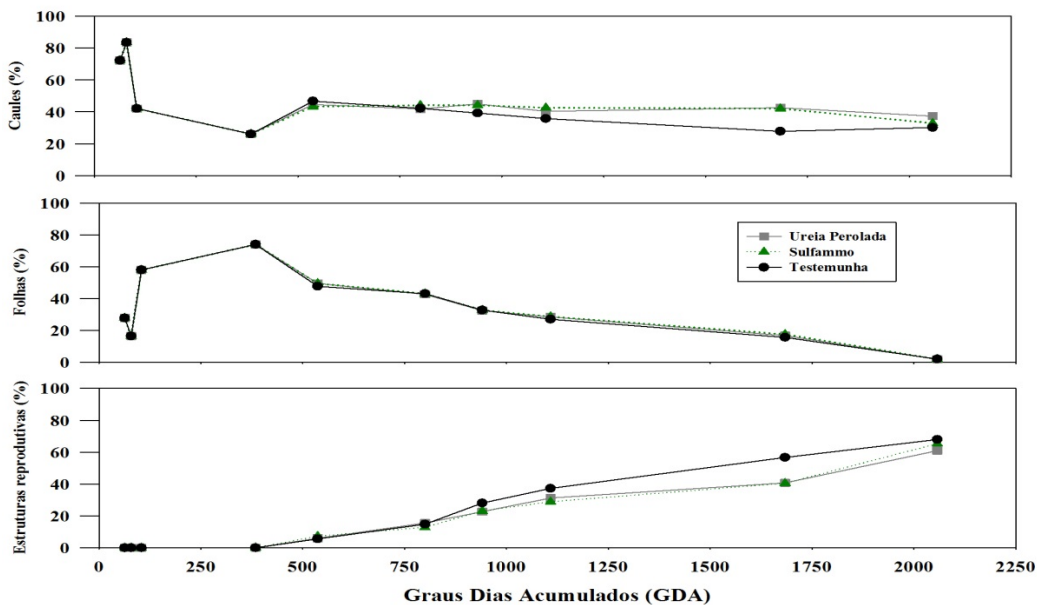
Aos 410,6 °GDA, com o início do estágio de botões florais (B), a biomassa de caules e de folhas se equiparou e estruturas reprodutivas começaram a ser produzidas em todos os tratamentos. O fertilizante Sulf apresentou incremento relativo de 18,7 e 23,3 % em relação ao fertilizante UP e ao tratamento testemunha (T). O fertilizante UP foi o que apresentou maior proporção de folhas, 0,2 e 3,6 % mais do que Sulf e T. A biomassa de caules no estágio de botões florais foi maior no tratamento Testemunha em 7,3 e 4,5 % do Sulf e UP, respectivamente.

Com o transcorrer do estágio de florescimento, a biomassa de estruturas reprodutivas dobra as proporções em todos os tratamentos, passando de 15,5 % da biomassa total no fertilizante UP no início do estágio de florescimento a 31,2 % no final de tal estágio, no fertilizante Sulf a tal variação foi de 12,8 a 28,8 % e para a Testemunha (T) a oscilação foi de 14,8 a 37,3 %. A biomassa foliar manteve-se

crecente até os 799,9 °GDA em todos os tratamentos, no entanto a partir dos 940,6 °GDA observa-se o início da senescência. Neste estágio a biomassa de caules tendeu a redução em todos os tratamentos, no entanto foi tal redução foi maior na Testemunha (T), 15,2 %, do que os 3,4 e 3,6 % de redução nos fertilizantes Sulf e UP.

O estágio de Capulhos (C) foi caracterizado por reduções ainda mais drásticas na biomassa foliar e translocação para biomassa de estruturas reprodutivas. A porcentagem de caules mantém-se relativamente estável até o final do ciclo de cultivo, com leve decréscimo na colheita, devido provavelmente a translocação de energia para a produção de estruturas reprodutivas, e ao período seco que coincide com a época da colheita.

Neste estágio observou-se incremento de 33,2 % na biomassa de estruturas reprodutivas para o fertilizante UP, 38,2 % para o Sulf e de 16,5 % no tratamento testemunha (T). A porcentagem de tal biomassa em relação a biomassa total foi superior no tratamento Testemunha em 10,3 e 4,0 % do que nos fertilizantes UP e Sulf, respectivamente. Na Figura 11 pode-se observar a dinâmica do acúmulo de biomassa nas diferentes partições da planta em função dos GDA.

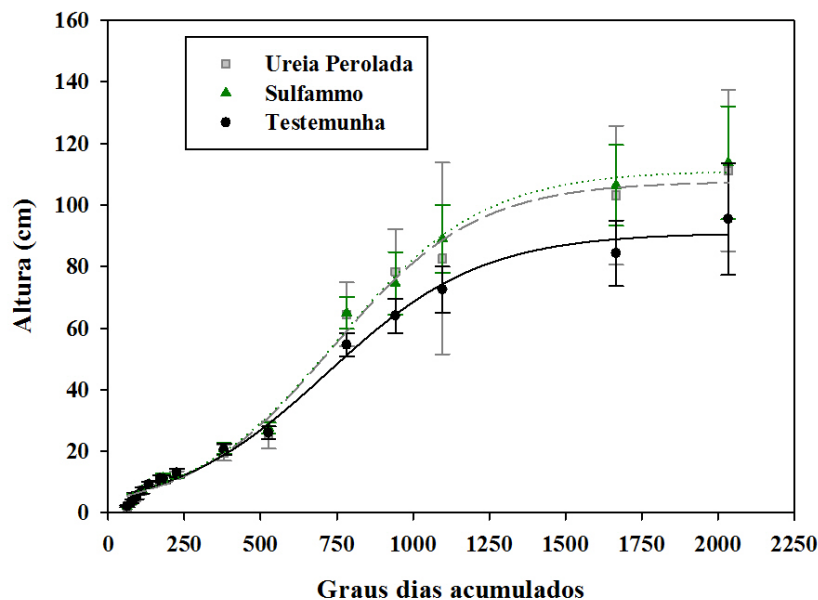


**Figura 11:** Direcionamento da biomassa da parte aérea do algodoeiro em função dos Graus Dias Acumulados (GDA).

## 6.2.2. Crescimento

### 6.2.2.1. Altura das plantas

O tratamento Sulf foi o que apresentou maior altura final observada (Figura 12), com plantas alcançando altura máxima de  $113,7 \pm 18,4$  cm, seguido pela UP ( $111,3 \pm 26,2$  cm) e a T ( $95,4 \pm 18,1$  cm). A cultivar FM 975 WS é caracterizada por plantas de porte médio a alto, cuja altura ideal varia entre 110 a 130 cm, sendo esta regulada mediante a aplicação de fito reguladores (Bayer®). A análise de variância (ANOVA) não apresentou variações ( $p \leq 0,05$ ) entre as médias de altura final de plantas de algodão em relação à aplicação, assim como quanto à fonte de nitrogênio.



**Figura 12:** Evolução da altura das plantas em função dos graus dias acumulados.

A análise de variância do modelo semi-empírico para as variáveis, altura inicial ( $w_0$ ), altura final ( $w_f$ ) e taxa máxima de crescimento relativo ( $r$ ), apresentaram  $p < 0,01$  na comparação entre os dados estimados e observados para todos os tratamentos avaliados (Tabela 4). O ajuste do modelo logístico apresentou coeficiente de regressão ( $R^2_{\text{ajs}}$ ) entre 0,998 (Sulf) e 0,996 (UP e T), que indicou que o modelo explica quase a totalidade a variabilidade da altura da planta em função dos graus-dias acumulados. O Erro Padrão de Estimativa (EPE) foi de 3,66, 2,97 e 3,04 cm para UP, Sulf e T, respectivamente.



O modelo logístico para o ajuste da altura da cultura foi também avaliado também por LYRA et al. (2008) em experimento conduzido em cultivo de milho nos Tabuleiros Costeiros do estado de Alagoas, onde os tratamentos consistiram de diferentes doses de nitrogênio. Os autores observaram ajuste do modelo com  $R^2$  entre 0,989 e 0,994. Andrade Neto et al., (2010) com a cultura do sorgo, também ajustou o modelo logístico, e obteve  $R^2$  entre 0,91 e 0,99.

**Tabela 4:** Valores após ajuste pelo modelo logístico da altura inicial ( $w_0$ , cm), final ( $w_f$ , cm), taxa máxima de crescimento relativo ( $r$ ,  $\text{cm cm}^{-1}\text{C}^{-1}$ ) e os respectivos coeficientes de regressão ( $R^2_{ajs}$ ) para altura da planta de algodão, sendo os graus-dia acumulados (GD) a variável independente para o ajuste do modelo. Valores entre parênteses representam o erro padrão de estimativa dos coeficientes.

Tratamento	Graus-dia acumulados				
	Parâmetros				
	$W_f$	$W_0$	$r$	$R^2_{ajs}$	$EPE$
<b>T</b>	90,98 ( $\pm 2,34$ )*	4,98 ( $\pm 0,70$ ) *	0,0040 ( $\pm 0,0002$ )*	0,991	3,04
<b>Sulf</b>	111,25 ( $\pm 2,27$ )*	4,72 ( $\pm 0,62$ )*	0,0042 ( $\pm 0,0002$ )*	0,995	2,97
<b>UP</b>	107,64 ( $\pm 2,75$ )*	4,40 ( $\pm 0,75$ )*	0,0043 ( $\pm 0,0003$ )*	0,991	3,65

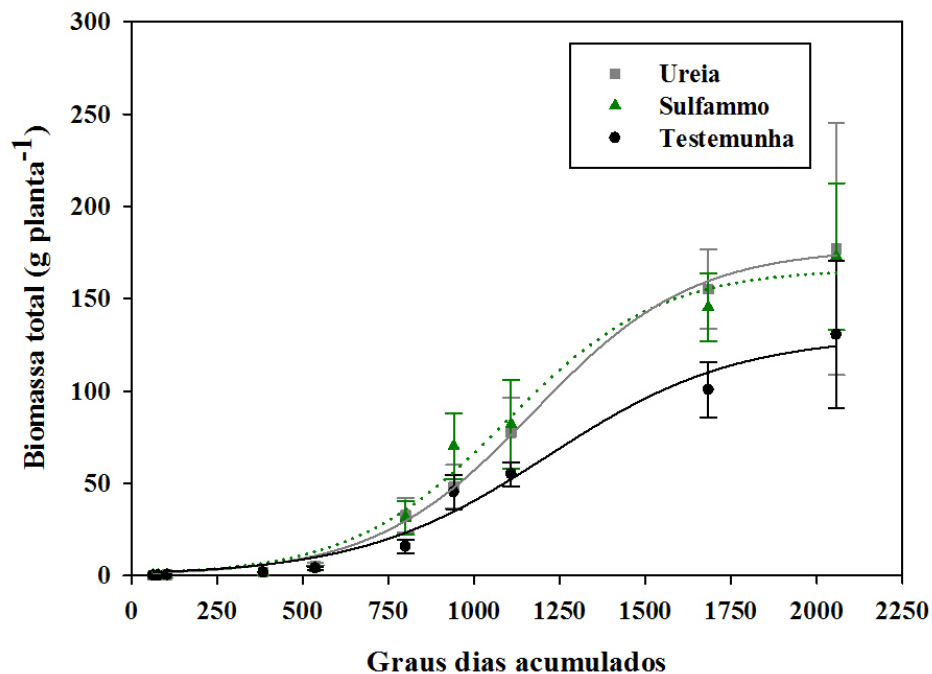
\*significativo a  $p < 0,01$  pelo teste t

A altura da planta estimada pelo modelo semi-empírico representou os padrões dos dados observados, com subestimação da altura final de 2,2, 3,3 e 4,7 %, respectivamente, para os tratamentos Sulf, UP e T. As taxas máximas de crescimento relativo estimadas pelo modelo apresentaram redução de 7,0 e 5,0% do tratamento sem fertilização nitrogenada ( $0,0040 \pm 0,0002$  cm) em relação a UP ( $0,0043 \pm 0,0003$  cm) e Sulf ( $0,0042 \pm 0,0002$  cm), o fertilizante UP apresentou incremento de 2,3 % em relação ao fertilizante Sulfammo.

#### 6.2.2.2. Biomassa Total

As médias observadas de biomassa total da parte aérea foram de 176,9 ( $\pm 68,3$ ), 172,8 ( $\pm 39,8$ ) e 130,6 ( $\pm 39,7$ ) g por planta para UP, Sulf e T, respectivamente (Figura 13). Yang et al. (2012) observou variação de 140 a 180 g na biomassa total de algodão (parte aérea), em experimento realizado na China com o intuito de avaliar a resposta da cultura a frequência de aplicação de N, sendo testadas aplicação em uma, duas e três

vezes, na dose de 120 kg ha<sup>-1</sup>. A análise de variância (ANOVA) não apresentou variações ( $p \leq 0,05$ ) entre as médias de biomassa total final de plantas de algodão em relação à aplicação, assim como quanto à fonte de nitrogênio.



**Figura 13:** Evolução na biomassa total observada a partir da média de plantas em função dos graus dias acumulados.

A análise de variância do modelo semi-empírico (Tabela 5) para a variável biomassa total final ( $w_f$ ) e taxa máxima de crescimento relativo não apresentou diferenças estatísticas significativas ( $p < 0,01$ ) na comparação entre os dados estimados e observados para todos os tratamentos avaliados. No entanto, para a variável biomassa total inicial ( $w_0$ ), apenas o tratamento UP apresentou 5 % de significância, para o Sulf e T as diferenças foram significativas. O ajuste do modelo logístico apresentou coeficiente de regressão ajustado ( $R^2_{aj}$ ) entre 0,998 (Ureia) e 0,976 (Testemunha), que indicou que o modelo explica quase na totalidade a variabilidade da biomassa total em função dos graus-dias acumulados. O Erro Padrão de Estimativa (EPE) foi 56,7 e 15,7 % menor para UP e T em relação ao Sulf, respectivamente.

Lyra et al. (2003) avaliaram o ajuste de modelos expo linear, logísticos e de Gompertz no crescimento de diferentes variedades de alface em cultivo protegido e relataram valores de  $R^2_{aj}$  na ordem de 0,99, sendo melhor ajustado nos modelos expo

lineares e logísticos quando aplicado a variáveis independentes que forneçam informações sobre a influência da temperatura do ar e radiação fotossinteticamente ativa nos processos metabólicos dos vegetais. Também em cultivo de alface, no entanto em condições de campo, TEI et al. (1996) relatou  $R^2_{ajs}$  de 0,9941, quando ajustado com graus dias acumulados como variável independente.

**Tabela 5:** Valores após ajuste pelo modelo logístico da biomassa total inicial ( $w_0$ , g), final ( $w_f$ , g), taxa de crescimento relativo máxima ( $r$ ,  $g\ g^{-1}C^{-1}$ ) e os respectivos coeficientes de regressão ajustado ( $R^2_{ajs}$ ), sendo os graus-dia acumulados (GD) a variável independente para o ajuste do modelo. Valores entre parênteses representam o erro padrão de estimativa dos coeficientes.

Tratamento	Graus-dia acumulados				
	Parâmetros				
	$W_f(g)$	$W_0(g)$	$r(g\ g^{-1}C^{-1})$	$R^2_{ajs}$	$EPE$
<b>T</b>	130,05 ( $\pm 10,66$ )*	1,50 ( $\pm 1,09$ )	0,0037 ( $\pm 0,0008$ )*	0,976	7,22
<b>Sulf</b>	166,38 ( $\pm 8,35$ )*	1,27 ( $\pm 1,28$ )	0,0045 ( $\pm 0,0008$ )*	0,982	8,57
<b>UP</b>	177,38 ( $\pm 4,34$ )*	1,14 ( $\pm 0,39$ )**	0,0043 ( $\pm 0,0003$ )*	0,997	3,21

\*significativo a  $p < 0,01$  pelo teste t, \*\*significativo a  $p < 0,05$  pelo teste t

A biomassa total final ( $w_f$ ) da parte aérea estimada pelo modelo semi-empírico apresentou em comparação ao dado observado, superestimação de 0,3 % para UP e subestimação de 3,7 e 0,5 %, para Sulf e T, no entanto a biomassa inicial, qual não foi significativo a 5% para Sulf e T, ( $w_0$ ) apresentou-se 24,4 e 15,3 % superior a UP e Sulf, respectivamente. As taxas máximas de crescimento relativo estimadas pelo modelo apresentaram diminuição de 13,9 e 17,8% do tratamento sem fertilização nitrogenada ( $0,0040 \pm 0,0002$  cm) em relação a UP ( $0,0043 \pm 0,0003$  cm) e Sulf ( $0,0045 \pm 0,0008$  cm), o fertilizante UP apresentou incremento de 4,4 % em relação ao fertilizante Sulf.

### 6.2.2.3. Biomassa de Caules

As médias observadas de biomassa de caules no final do ciclo foram de 66,0 ( $\pm 26,2$ ), 56,8 ( $\pm 7,5$ ) e 39,4 ( $\pm 15,1$ ) g por planta para UP, Sulf e T, respectivamente (Tabela 6). A análise de variância (ANOVA), cujo coeficiente de variação de 32,0 %, indicou que as médias de biomassa final de caules apresentaram variações ( $p \leq 0,05$ ) entre as médias em relação à aplicação, assim como quanto à fonte de nitrogênio. Sendo

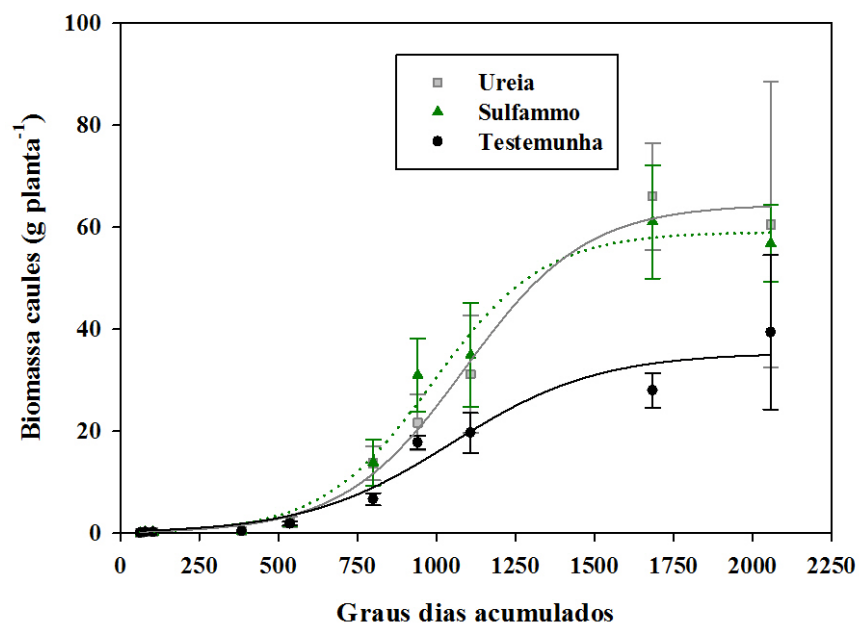
que a superioridade do fertilizante UP em relação aos outros tratamentos incremento de 40,3 (T) e 13,9 (Sulf) %.

**Tabela 6:** Análise de variância (ANOVA) para a variável biomassa final de caules.

Tratamentos	Médias Caules (g)	Resultado do teste
T	39,4 ( $\pm$ 15,1)	a
Sulf	56,8 ( $\pm$ 7,5)	ab
UP	66,0 ( $\pm$ 26,2)	b

Tukey ( $p \leq 0,05$ )

Yang et al. (2012) observou somatório de estruturas vegetativas (caules + folhas) variando entre 60 a 90 g por planta. Esses valores são semelhantes aos observados para cultivares de alto rendimento no cerrado baiano, em que o somatório das respectivas partições oscilou entre 55,1 e 91,9.



**Figura 14:** Evolução da biomassa de caule em função dos graus dias acumulados.

A análise de variância do modelo semi-empírico (Tabela 7) para a variável biomassa final de caules ( $w_f$ ) apresentou significância de 1 % na comparação dos dados

simulados e observados para todos os tratamentos avaliados, a taxa máxima de crescimento relativo apresentou significância de 1 % para Sulf e UP e 5 % para a T, no entanto para a variável biomassa inicial de caules ( $w_0$ ), não apresentou significância entre os dados estimados e observados para nenhum dos tratamentos observados (Tabela 7). O ajuste do modelo logístico apresentou coeficiente de regressão ajustado ( $R^2_{ajs}$ ) entre 0,996 (UP) e 0,946 (T), que indicou que o modelo explica quase na totalidade a variabilidade da altura da planta em função dos graus-dias acumulados. O Erro Padrão de Estimativa (EPE) foi 20,7 e 2,4 % menor para UP e Sulf em relação à T.

**Tabela 7:** Valores após ajuste pelo modelo logístico da biomassa de caules inicial ( $w_0$ , g), final ( $w_f$ , g), taxa máxima de crescimento relativo ( $r$ ,  $g\ g^{-1}\ ^\circ C^{-1}$ ) e os respectivos coeficientes de regressão ( $R^2_{ajs}$ ), sendo os graus-dia acumulados (GDA) a variável independente para o ajuste do modelo. Valores entre parênteses representam o erro padrão de estimativa dos coeficientes.

Tratamento	Graus-dia acumulados				
	Parâmetros				
	$W_f(g)$	$W_0(g)$	$r(g\ g^{-1}\ ^\circ C^{-1})$	$R^2_{ajs}$	$EPE$
<b>T</b>	35,39 ( $\pm 3,06$ )*	0,37 ( $\pm 0,46$ )	0,0043 ( $\pm 0,0013$ )**	0,946	3,28
<b>Sulf</b>	59,04 ( $\pm 2,46$ )*	0,21 ( $\pm 0,20$ )	0,0057 ( $\pm 0,0010$ )*	0,983	3,20
<b>UP</b>	68,14 ( $\pm 1,62$ )*	0,29 ( $\pm 0,13$ )	0,0049 ( $\pm 0,0005$ )*	0,996	1,70

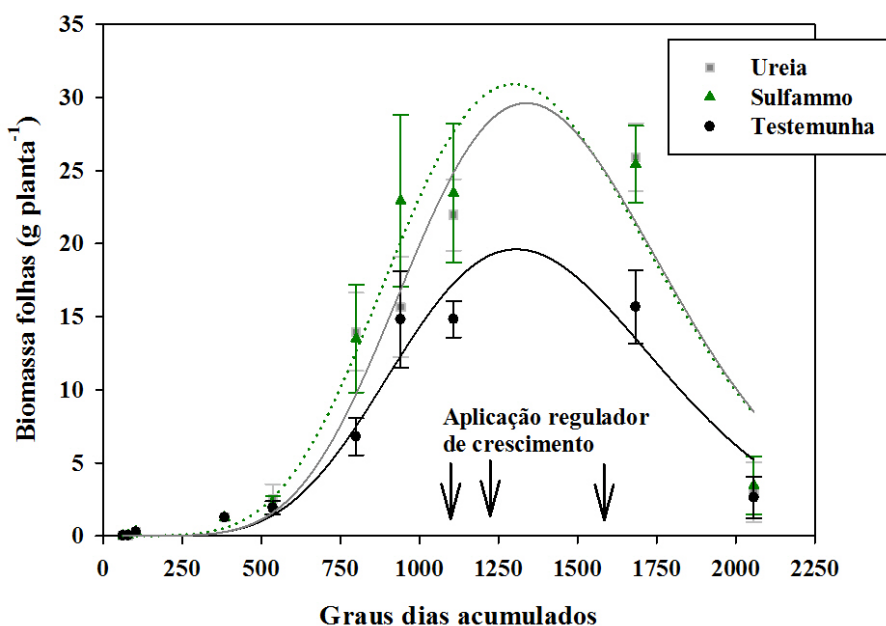
\*significativo a  $p < 0,01$  pelo teste t, \*\*significativo a  $p < 0,05$  pelo teste t

A biomassa final de caules ( $w_f$ ) estimada pelo modelo semi-empírico apresentou superestimação de 3,1 e 3,7 % para UP e Sulf, respectivamente, e subestimação de 10,1 %, para a T, no entanto a biomassa inicial, qual não foi significativo a 5% nenhum dos tratamentos, ( $w_0$ ) apresentou-se 40,5 e 43,2 % superior a UP e Sulf. As taxas máximas de crescimento relativo, estimadas pelo modelo, apresentaram redução de 24,6 e 12,2 % do tratamento T ( $0,0043 \pm 0,0013$  cm) em relação ao Sulf ( $0,0057 \pm 0,0010$  cm) e UP ( $0,0052 \pm 0,0008$  cm), o fertilizante Sulf apresentou incremento de 4,4 % em relação ao fertilizante Sulf.

#### 6.2.2.4. Biomassa de folhas

As médias máximas de biomassa foliar observada foram de 25,9 ( $\pm 2,3$ ), 25,4 ( $\pm 2,6$ ) e 15,7 ( $\pm 2,5$ ) g por planta aos 1683,7 GDA, para UP, Sulf e T, respectivamente (Figura 15). No entanto, o modelo apontou ápice na biomassa de folhas aos 1315,4 GDA, no início da fase de Capulhos, cujos valores foram de 30,9 g por planta para o Sulf, 29,6; 19,5 g por planta para UP e T, tais valores representam em valores relativos incremento na biomassa foliar de 16,2; 8,4 e 20,0 % para os respectivos tratamentos.

A biomassa observada para caules, neste experimento, oscilou entre 66,0 e 39,4 g por planta, portanto o somatório das estruturas vegetativas (caules + folhas) variou entre 91,9 e 55,1 g por planta. Utilizando-se dos dados estimados esta variação passa a ser de 91,4 a 58,9 g por planta, semelhantes aos 90 a 60 g por planta relatados por Yang et al. (2012).



**Figura 15:** Evolução na biomassa foliar em função dos graus dias acumulados.

A análise de variância do modelo semi-empírico (Tabela 8) para biomassa foliar apresentou apenas para o coeficiente  $a$  do tratamento UP significância de 5 %. Para todos os demais coeficientes ( $b$  e  $x_0$ ), de todos os tratamentos, a significância foi de 1 % na comparação dos dados estimados e observados (Tabela 8). O ajuste do modelo logístico apresentou coeficiente de regressão ajustado ( $R^2_{ajs}$ ) entre 0,919 (T) e 0,885

(UP), que indicou que o modelo explica quase na totalidade a variabilidade da biomassa foliar da planta em função dos graus-dias acumulados. O Erro Padrão de Estimativa (EPE) foi 43,3 e 39,2 % superior para Ureia e Sulfammo em relação à Testemunha.

**Tabela 8:** Valores estimados pelo modelo exponencial dos coeficientes (a, b e  $x_0$ ) índice de área foliar e os respectivos coeficientes de regressão ( $R^2_{ajs}$ ) e Erro Padrão de Estimativa (EPE), sendo os graus-dia acumulados (GDA) a variável independente para o ajuste do modelo. Valores entre parênteses representam o erro padrão de estimativa dos coeficientes.

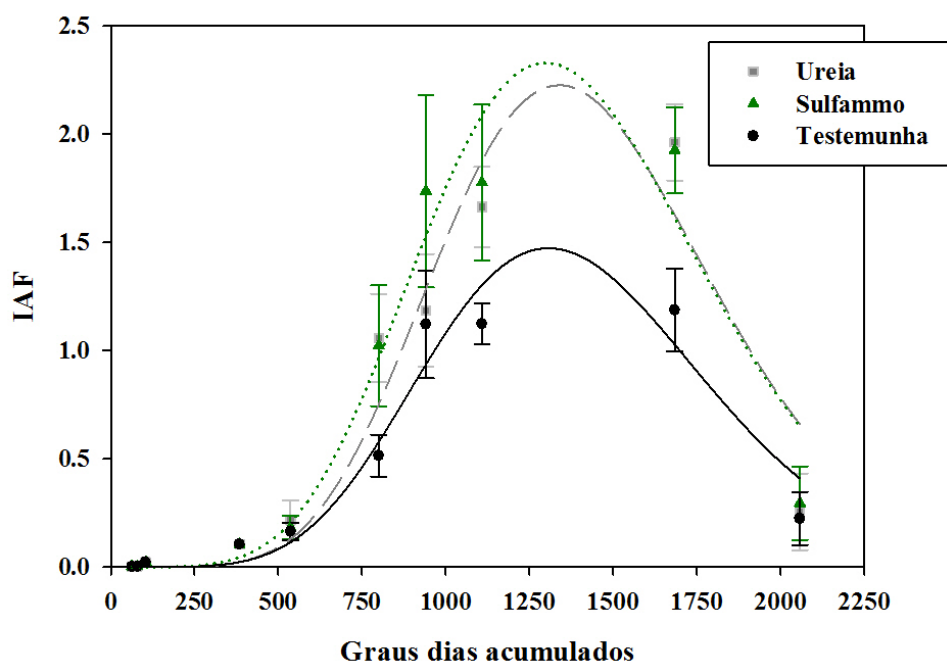
Tratamento	Graus-dia acumulados				
	Parâmetros				
	<i>a</i>	<i>b</i>	$x_0$	$R^2_{ajs}$	EPE
<b>T</b>	-17,38 ( $\pm 4,44$ )*	-32,06 ( $\pm 7,03$ )*	51,09 ( $\pm 11,27$ )*	0,919	1,91
<b>Sulf</b>	-16,01 ( $\pm 4,40$ )*	-30,82 ( $\pm 7,00$ )*	48,95 ( $\pm 11,19$ )*	0,917	3,14
<b>UP</b>	-18,28 ( $\pm 5,69$ )**	-33,31 ( $\pm 8,90$ )*	53,73 ( $\pm 14,35$ )*	0,885	3,37

\*significativo a  $p < 0,01$  pelo teste t; \*\*significativo a  $p < 0,05$ .

#### 6.2.2.5. Área Foliar e Índice de Área Foliar (IAF)

As médias máximas de índice de área foliar foram observadas aos 179 DAP (1683,7 °GDA), cujos valores de  $1,96 \pm 0,18$ (UP),  $1,92 \pm 0,20$  (Sulf)e  $1,18 \pm 0,19$ (T) (Figura 16). O modelo apontou ápice no índice de área foliar aos 136 DAP (1315,4 °GDA), no início do estágio de Capulhos, cujos valores máximos de 2,33(Sulfammo); 2,22 (UP)e 1,48 (T), tais valores representam superestimação dos dados estimados em 17,6 (Sulf); 11,7 (UP) e 20,2 (T) % em relação aos dados observados.

Portanto, o padrão dos dados observados para biomassa foliar e IAF não se manteve como os padrões de biomassa total e de caules, onde os maiores valores observados e estimados foram verificados no fertilizante UP, o modelo semi-empírico apontou maiores biomassa foliar e IAF para o fertilizante Sulf.



**Figura 16:** Evolução do Índice de área foliar durante o ciclo de cultivo em função dos graus dias acumulados (GDA).

Em experimento realizado na Austrália, em clima semiárido, avaliando a influência do regime de temperatura e de radiação na produção de massa seca e nos padrões de maturação dos frutos em duas épocas de plantio e diferentes genótipos de algodão (*Gossypium hirsutum*), relatou-se índice de área foliar oscilando entre 3,5 e 5,0 em duas safras de avaliação (1998/1999 e 2000/2001) (BANGE & MILROY, 2004). No entanto, variações ainda maiores foram relatadas também por Bange & Milroy (2000), onde, em três safras seguidas a partir de 1995/1996 observou IAF oscilando entre 2,5 e 5,0 nos diferentes tempos de maturação e genótipos avaliados.

De acordo com os dados de Hearn (1976), citado por Beltrão et al. (2008), o algodoeiro com IAF de 1,5 apresenta redução na fotossíntese, respiração e aporte de assimilados transcolados para a nutrição dos frutos de 26,2; 39,9 e 16,3 % em relação ao IAF 2,5, que quando comparado com o IAF de 4,0 apresenta redução nas taxas de fotossíntese e respiração de 9,6 e 37,4 %, no entanto o aporte nutricional aos frutos é maior em 24,8 % para o menor IAF. Portanto, com IAF de 4,0, devido ao incremento em massa foliar ocorre redução na taxa de assimilação líquida, aumentando a respiração, o



que pode ocasionar diminuição no aporte de assimilados transcolados para a nutrição dos frutos.

A análise de variância do modelo semi-empírico (Tabela 9) para índice de área foliar apresentou para todos os coeficientes ( $a$ ,  $b$  e  $x_0$ ) de todos os tratamentos significância de 1 % entre os dados estimados e observados (Tabela 9). O ajuste do modelo logístico apresentou coeficiente de regressão ajustado ( $R^2_{ajs}$ ) entre 0,921 (Sulf e T) e 0,889 (UP), que indicou que o modelo explica quase na totalidade a variabilidade do índice de área foliar do algodoeiro em função dos graus-dias acumulados, no entanto observou subestimação de 3,5 % no coeficiente de regressão da Ureia em relação aos demais tratamentos. O Erro Padrão de Estimativa (EPE) foi 43,3 e 39,2 % superior para UP e Sulf em relação à T.

Lyra et al. (2008) avaliando o ajuste estatístico do modelo exponencial para índice de área foliar em função dos graus dias acumulados, na cultura do milho em Latossolo Amarelo Coeso dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas, relatou significância de 1 % para todos os coeficientes do ajuste, o coeficiente de regressão ( $R^2$ ) variou entre 0,97 e 0,86.

**Tabela 9:** Valores estimados pelo modelo exponencial dos coeficientes ( $a$ ,  $b$  e  $x_0$ ) índice de área foliar e os respectivos coeficientes de regressão ( $R^2_{ajs}$ ) e Erro Padrão de Estimativa (EPE), sendo os graus-dia acumulados (GDA) a variável independente para o ajuste do modelo. Valores entre parênteses representam o erro padrão de estimativa dos coeficientes.

Tratamento	Graus-dia acumulados				
	Parâmetros				
	$a$	$b$	$x_0$	$R^2_{ajs}$	EPE
<b>T</b>	-19,35 ( $\pm 4,25$ )*	-31,07 ( $\pm 6,74$ )*	49,53 ( $\pm 10,80$ )*	0,921	0,14
<b>Sulf</b>	-18,18 ( $\pm 4,18$ )*	-30,14 ( $\pm 6,65$ )*	47,88 ( $\pm 10,63$ )*	0,921	0,23
<b>UP</b>	-20,31 ( $\pm 5,46$ )*	-32,45 ( $\pm 8,54$ )*	52,35 ( $\pm 13,77$ )*	0,889	0,25

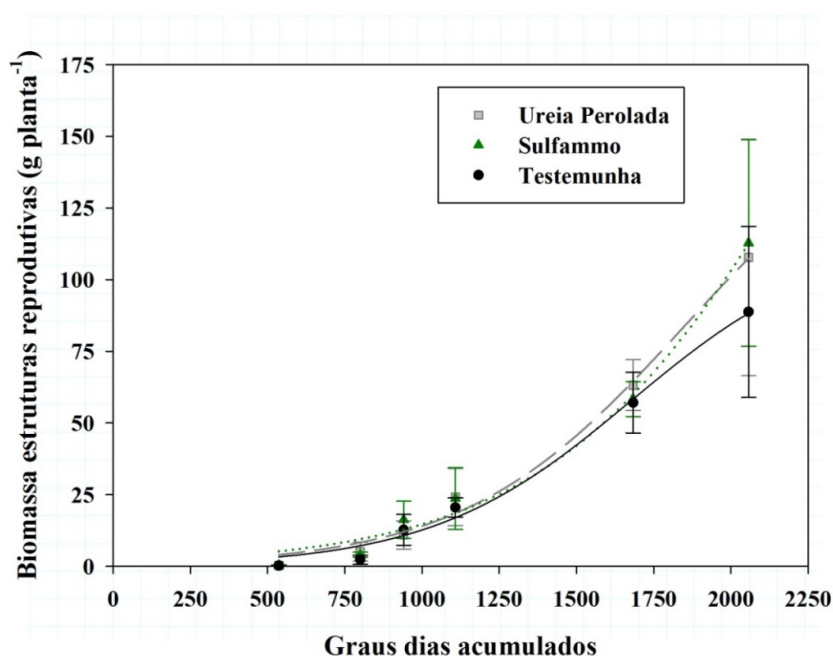
\*significativo a  $p < 0,01$ .

#### 6.2.2.6. Biomassa de Estruturas Reprodutivas

As médias observadas de biomassa de estruturas reprodutivas foram de 112,8 ( $\pm 36,0$ ), 107,7 ( $\pm 41,3$ ) e 88,7 ( $\pm 29,8$ ) g por planta para Sulfammo, UP e T, respectivamente (Figura 17). Estudo desenvolvido na China relatou acúmulo de

biomassa de estruturas reprodutivas entre 80 a 100 g no final do ciclo da cultura (YANG, et al., 2012). A análise de variância (ANOVA) não apresentou variações entre as médias de biomassa final de estruturas reprodutivas de algodão quanto a aplicação, assim como para a fonte de fertilizante nitrogenado.

O ajuste do modelo logístico (Tabela 10) apresentou coeficiente de regressão ajustado ( $R^2_{ajst}$ ) entre 0,989 (UP) e 0,983 (Sulf), que indicou que o modelo explica quase na totalidade a variabilidade das estruturas reprodutivas em função dos graus-dias acumulados. O Erro Padrão de Estimativa (EPE) foi respectivamente, 25,6 e 20,1 % maior para o Sulf em relação à UPe T.



**Figura 17:** Evolução na biomassa de estruturas reprodutivas (flores, maçãs e capulhos viáveis e inviáveis) em função dos graus dias acumulados.

A análise de variância do modelo semi-empírico (Tabela 10) para a variável biomassa final de estruturas reprodutivas ( $w_f$ ) apresentou significância de 5 % entre os dados simulados e observados para os tratamentos UP e T, para o fertilizante Sulf não foi significativo a tal nível, devido provavelmente ao maior crescimento observado dentre as últimas duas coletas de campo, ocasionando em superestimação no valor estimado. O que pode ser decorrente do modelo ajustar a curva de maneira exponencial, devido ao incremento das últimas observações para o Sulf. Portanto, a comparação dos dados observados com os estimados foi realizada através da equação do modelo

logístico (semi-empírico), sendo ajustada para os graus dias acumulados do momento da colheita (2057 GDA).

O algodão é uma planta de crescimento indeterminado e, portanto, tem a maturação determinada pela capacidade da planta de produzir novos órgãos vegetativos, o que pode causar impacto significativo no rendimento (BANGE & MILROY, 2004). O elevado índice pluviométrico observado no mês de abril (155,6 mm) (1191 a 1451 GDA) ocasionou alteração no planejamento da fazenda e consequente atraso na maturação química e colheita, a qual era prevista para junho. Em decorrência deste período chuvoso ocorreram perdas nos capulhos localizados nos dois primeiros nós reprodutivos e atraso em mais de um mês na colheita, no entanto o fertilizante Sulfammo devido apresentar em sua formulação um complexo nutricional pode ter respondido positivamente ao alongamento do ciclo produtivo.

**Tabela 10:** Valores após ajuste pelo modelo logístico da biomassa de estruturas reprodutivas inicial ( $w_0$ , g), final ( $w_f$ , g), taxa máxima de crescimento relativo ( $r$ ,  $g\ g^{-1}C^{-1}$ ) e os respectivos coeficientes de regressão ( $R^2_{ajs}$ ), sendo os graus-dia acumulados (GD) a variável independente para o ajuste do modelo. Valores entre parênteses representam o erro padrão de estimativa dos coeficientes.

Tratamento	Graus-dia acumulados				
	Parâmetros				
	$W_f(g)$	$W_0(g)$	$r(g\ g^{-1}C^{-1})$	$R^2_{ajs}$	<i>EPE</i>
<b>T</b>	115,61 ( $\pm 20,73$ )**	0,64 ( $\pm 0,45$ )	0,0031 ( $\pm 0,0006$ )**	0,986	4,13
<b>Sulf</b>	317,47 ( $\pm 320,58$ )	1,55 ( $\pm 1,13$ )	0,0023 ( $\pm 0,0006$ )**	0,983	5,57
<b>UP</b>	166,13 ( $\pm 45,59$ )**	0,91 ( $\pm 0,58$ )	0,0028 ( $\pm 0,0005$ )**	0,989	4,45

\*significativo a  $p < 0,01$  pelo teste t; \*\*significativo a  $p < 0,05$ ,

A biomassa final de estruturas reprodutivas ( $w_f$ ), estimada pelo modelo semi-empírico (logístico) apresentou subestimação 0,32 (Sulf); 0,33 (UP) e 0,46 (T) % em relação a observada, no entanto a biomassa inicial, qual não foi significativo a 5% nenhum dos tratamentos, ( $w_0$ ) apresentou-se 40,5 e 43,2 % superior no Sulf em 41,3 e 58,7 % em relação a UP e T, em relação a observada. As taxas máximas de crescimento relativo ( $r$ ), estimadas pelo modelo, apresentaram redução de 25,8 e 9,7 % do tratamento T ( $0,0031 \pm 0,0006$  cm) em relação ao Sulf ( $0,0023 \pm 0,0006$  cm) e

UP( $0,0028 \pm 0,0005$  cm), o fertilizante UP apresentou incremento de 17,9 % em relação ao fertilizante Sulf.

### 6.2.3. Produção e produtividade

Parte dos órgãos reprodutivos no momento da colheita era respectivo a capulhos bem formados, mas outra parte era constituída de botões florais, flores e capulhos podres ou mal formados, os quais foram contabilizados separadamente e descritos a seguir.

Os resultados apontaram maior produção de capulhos (algodão em caroço) no fertilizante Sulf, com média de  $82,3 (\pm 29,6)$  g por planta, seguido do fertilizante Ureia Perolada com média de  $71,1 (\pm 25,9)$  g por planta e T com  $60,1 (\pm 20,4)$  g por planta. No entanto, a análise de variância (ANOVA) não indicou diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos (ANEXO I).

Os resultados das outras estruturas reprodutivas não contabilizadas como produção apontaram maiores perdas, no fertilizante UP com média de  $36,6 (\pm 15,6)$  g por planta, seguido do fertilizante Sulf com média de  $30,5 (\pm 6,8)$  g por planta, e T com  $27,9 (\pm 11,3)$  g planta por planta. No entanto, a análise estatística não indicou diferenças significativas entre os tratamentos.

Portanto, em valores relativos, 73,0; 67,8 e 66,0 % do total da biomassa de estruturas reprodutivas dos tratamentos Sulf, T e UP, respectivamente, foram contabilizados como produção de algodão em caroço (pluma + sementes), sendo o restante, estruturas mal ou não completamente formadas.

A produtividade de algodão em caroço foi obtida através do produto da produção ( $\text{kg planta}^{-1}$ ) pelo número médio de plantas  $\text{ha}^{-1}$ , o qual foi de 63.962 plantas  $\text{ha}^{-1}$ , sendo o obtido experimentalmente no momento da colheita da área útil do experimento. Tais valores foram de  $5263,4 (\pm 1891,1)$ ;  $4547,6 (\pm 1686,2)$  e  $3891,5 (\pm 1302,0)$   $\text{kg há}^{-1}$  para Sulf, UP e T, respectivamente, o que representou incremento de 26,1 e 14,4 % dos respectivos fertilizantes em relação ao tratamento sem fertilização nitrogenada (T).

Segundo dos Santos et al. (2008) a elevada produção do tratamento sem fertilização nitrogenada pode indicar possíveis reduções nas doses deste fertilizante a ser aplicado, visando equilíbrio econômico. Em tal estudo, a dose de  $120 \text{ kg N ha}^{-1}$  foi a recomendada, com produtividade acima de  $4500 \text{ kg ha}^{-1}$ . Teixeira et al. (2008) avaliando o efeito de doses de nitrogênio e aplicação de reguladores de crescimento na

produtividade do algodoeiro em Latossolo Vermelho Amarelo no estado de Goiás relata que doses crescentes de nitrogênio tendem a incrementar a produtividade, sendo que o equilíbrio econômico foi encontrado na dose de 131 kg N ha<sup>-1</sup>, cuja produtividade de algodão em caroço de 3633 kg ha<sup>-1</sup>, o tratamento sem fertilização nitrogenada apresentou redução de 7,5 %, deste valor.

Rossato et al. (2012) no estado do Arizona, EUA, utilizando-se de sensores de sensores de refletância e fluorescência para estimar teores de N-NO<sup>3-</sup>, biomassa e produtividade de algodão, sob irrigação, submetido a diferentes doses de nitrogênio em solo franco arenoso, relatou, na dose de 130 kg N ha<sup>-1</sup> e densidade de 122 mil plantas há<sup>-1</sup>, produtividade aproximada de 5000 kg ha<sup>-1</sup>. Dai et al (2015) avaliando componentes de produtividade em cultivares de algodão transgênicos de alto rendimento na China sob condições de irrigação, relata que o rendimento econômico da cultura varia com a densidade de plantas. Foram observados maiores densidade dos capulhos, porcentagem de fibra, produtividade de sementes e de fibras e biomassas totais na densidade de 6,9 plantas m<sup>-2</sup> em comparação a 5,1 plantas m<sup>-2</sup>, entretanto maiores pesos de capulhos e índice de colheita foram relatados para menores densidades. A produtividade observada para tais densidades foi de 7596 kg ha<sup>-1</sup> e 7480 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente.

Outra variável de produtividade observada foi o peso de 30 capulhos, cuja finalidade o posterior descaroçamento e avaliação de rendimento de pluma e peso de sementes (Tabela 11). Os pesos totais (g 30 capulhos<sup>-1</sup>) observados foram 3,2 e 2,3 % maiores nos fertilizantes UP e Sulf, respectivamente, do que no tratamento sem fertilização nitrogenada (Testemunha), o fertilizante de maior peso total (UP) apresentou incremento de 1,1 % em relação ao de menor (Sulf). As médias de peso pluma (g 30 capulhos<sup>-1</sup>) foram 4,5% (UP) e 3,2 % (Sulf) maiores do que o tratamento sem fertilização nitrogenada (Testemunha). O incremento relativo em peso de sementes (g 30 capulhos<sup>-1</sup>) foi de 2,5 e 1,8 % nos fertilizantes, Ureia Perolada e Sulfammo, em relação à Testemunha. (Tabela 10). No entanto, a análise de variância (ANOVA) não apresentou diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos para tais variáveis.

**Tabela 11:** Peso de 30 capulhos (P30), rendimento de pluma e peso de caroços de algodão dos tratamentos avaliados. Valores entre parênteses representam o desvio padrão das respectivas médias. Letras diminutas distintas representam variações estatísticas entre os tratamentos.

Tratamentos	Médias	Médias	Médias
	P30 (g)	Pluma (g)	Caroço (g)
T	177,5 (18,3)a	77,0 (8,1)a	100,5 (10,4)a
Sulf	181,7 (2,8)a	79,4 (0,6)a	102,3 (2,2)a
UP	183,7 (16,4)a	80,6 (8,0)a	103,1 (8,3)a

**Tukey (p ≤ 0,05)**

O maior rendimento de pluma foi observado no tratamento Ureia Perolada, que correspondeu a 43,9 % da sua massa total, seguido de Sulfammo e Testemunha com 43,7 e 43,4 % de pluma, respectivamente. Dai et al (2015) observou rendimento de pluma aproximadamente 42,6 % em cultivares de alto rendimento, sob irrigação, na China. Ferreira et al. (2010) relatou rendimento de fibras médio de fibra de 41,9 ( $\pm 0,2$ ) %, em experimento avaliando influencias de diferentes culturas de cobertura antecessoras ao cultivo de algodão no cerrado goiano.

A produtividade de pluma de algodão foi estimada a partir da razão entre a produtividade de algodão em caroço pela proporção de fibra observada em cada tratamento. Maiores, porém, não estaticamente significativas ( $p \leq 0,05$ ) médias de produtividade de pluma foram observadas no fertilizante Sulf, seguido de UP e T, com 2300,1 ( $\pm 826,4$ ); 1996,4 ( $\pm 727,1$ ) e 1688,9 ( $\pm 565,1$ ) kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. O incremento relativo dos respectivos fertilizantes para o tratamento sem fertilização nitrogenada (T) foi de 26,6 e 16,4 %, entre os fertilizantes, o de maior (Sulf) produtividade de algodão em pluma representou aumento relativo de 13,2 % em relação ao de menor (UP).

Alves et al. (2006), relatou produtividade de algodão em fibra de 2471 kg ha<sup>-1</sup>, em experimento avaliando balanço de nitrogênio utilizando-se de técnica de diluição isotópica. O algodão foi cultivado em sucessão a soja, a adubação nitrogenada (Sulfato de amônio) foi realizada em cobertura, na dose de 115 kg há<sup>-1</sup>. No entanto Mao et al. (2014), avaliando rendimento de fibra em algodão submetido a altas doses de nitrogênio (225 kg há<sup>-1</sup>) oscilando entre 1000 e 1600 kg há<sup>-1</sup>, sob condições irrigadas.

O rendimento de sementes relatado por Ducamp et al. (2012) em experimento conduzido no estado do Mississippi (EUA), avaliando doses crescentes de nitrogênio na cultura do algodão e efeito de resíduos culturais de centeio oscilou entre 1742 e 3800 kg ha<sup>-1</sup>, sendo o maior valor observado na dose de 140 kg N ha<sup>-1</sup>.

#### 6.2.4. Calibração e validação do modelo SWAP / WOFOST

As principais variáveis de calibração do modelo seguem nas Tabelas 12 e 13, sendo que a primeira Tabela consta dados obtidos experimentalmente na área onde o estudo foi conduzido e na Tabela conseguinte os dados são oriundos do exemplo padrão do modelo WOFOST para a cultura do algodão e literatura científica.

**Tabela 12:** Parâmetros do modelo de van Genuchten-Mualem (VGM) e condutividade hidráulica utilizados na calibração do modelo.

Camada solo (cm)	$\Theta_{res}$ ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ )	$\Theta_{sat}$ ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ )	$\alpha$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	n (-)	$K_{sat}$ ( $\text{cm d}^{-1}$ )
0-10	0,037	0,214	0,0518	1,711	160,1
10-20	0,042	0,200	0,0578	1,688	107,8
20-30	0,057	0,239	0,0583	1,695	129,6
30-40	0,061	0,043	0,0487	1,801	157,2
40-50	0,071	0,226	0,0491	1,798	105,1
50-60	0,069	0,246	0,0424	1,913	105,4
60-70	0,067	0,236	0,0492	1,800	141,1
70-80	0,067	0,241	0,0485	1,812	211,0
80-90	0,074	0,273	0,0531	1,755	176,2
90-100	0,073	0,251	0,0678	1,636	105,8
100-110	0,077	0,276	0,0749	1,599	173,5

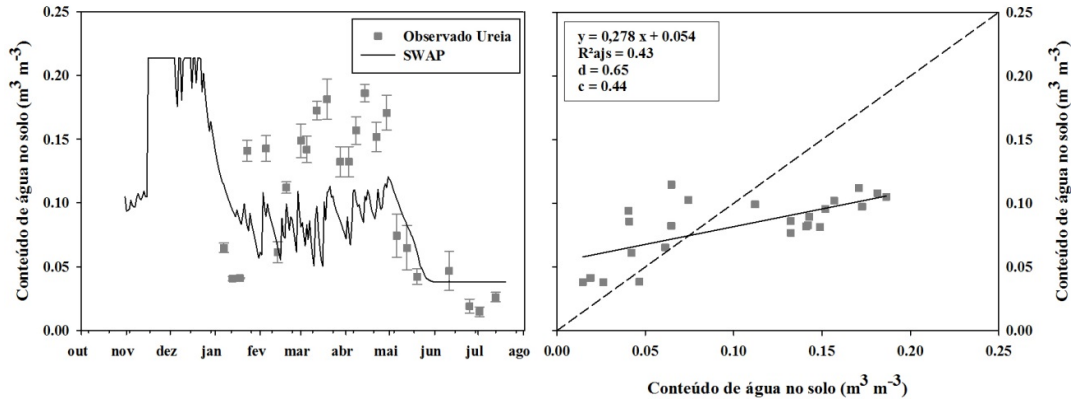
**Tabela 13:** Principais parâmetros da cultura do algodão especificados ao SWAP-WOFOST.

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Fonte</b>
Temperatura basal, Tb (C°)	15,5	Beltrão et al., 2008
Pressão matricial crítica, h (cm)		
h1	-0,1	Default
h2	-30,0	Default
h3h	-1200,0	Default
h3l	-7500,0	Default
h4	-16000,0	Default
Coeficiente de extinção de luz direta, kdir (-)	0,60	
Coeficiente de extinção de luz difusa, kdif (-)	0,75	
Eficiência do uso da luz, EFF (kg CO <sub>2</sub> J <sup>-1</sup> )	0,40	Default
Máxima taxa de assimilação do CO <sub>2</sub> , Amax (kg há <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	50,0	Default
Eficiência de conversão Folhas, CVL (kg kg <sup>-1</sup> )	0,7200	Default
Eficiência de conversão Estr. Rep., CVO (kg kg <sup>-1</sup> )	0,6100	Default
Eficiência de conversão Caules, CVS (kg kg <sup>-1</sup> )	0,6900	Default
Incremento rel. na taxa de resp. devido temperatura, Q10 (C°)	2,0000	Default
Taxa de resp. de manutenção relativa Folhas, (kg CH <sub>2</sub> O kg <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )	0,0300	Default
Taxa de resp. de manutenção relativa Est. Rep., (kg CH <sub>2</sub> O kg <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )	0,0100	Default
Taxa de resp. de manutenção relativa Caules (kg CH <sub>2</sub> O kg <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )	0,0150	Default

#### 6.2.4.1. Conteúdo de água no solo

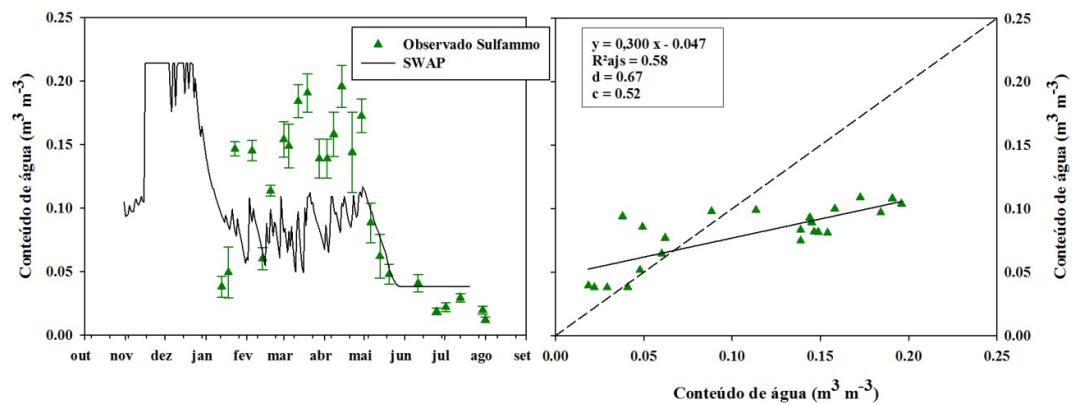
As simulações e as observações do conteúdo volumétrico de água no solo (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) pelo SWAP para o tratamento UP apresentaram coeficiente de determinação ajustado (R<sup>2</sup><sub>ajs</sub>) de 0,43 e índice de concordância “d”, proposto por Willmott (1985), de 0,65, sendo o índice “c” proposto por Camargo & Sentelhas (1997) de 0,44, classificado como mau (Figura 18). O Erro Padrão de Estimativa (EPE) do modelo foi de 40,8 %, a Raiz do Quadrado Médio do Erro (RQME) foi de 0,049 (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) e o Índice de Eficiência de Modelagem (IEM) foi de 0,606.





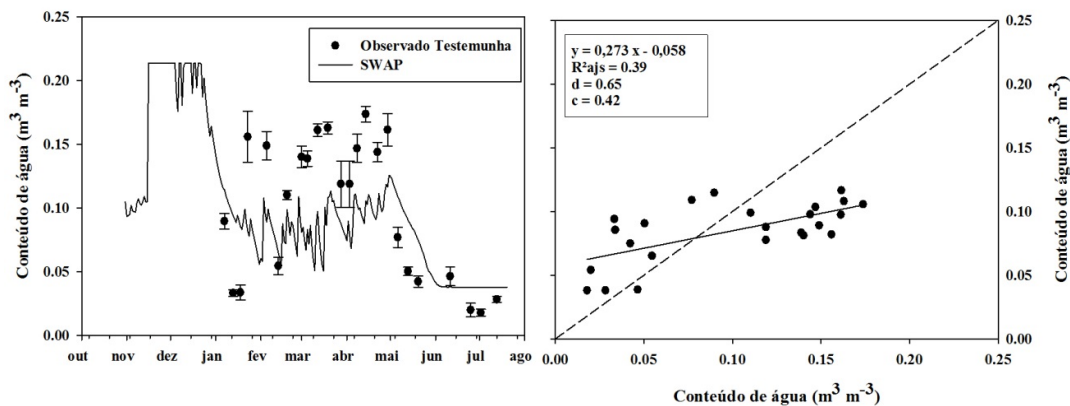
**Figura 18:** Conteúdo volumétrico de água no solo a 0-10 cm observado x simulado (SWAP) (a) durante o período experimental e dispersão dos dados observados x estimados (b) nas parcelas fertilizadas com UP.

As simulações e as observações do conteúdo volumétrico de água no solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) pelo SWAP para o tratamento Sulf apresentaram coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{ajjs}$ ) de 0,58 e índice de concordância “d”, proposto por Willmott (1985), de 0,67, sendo o índice “c” proposto por Camargo & Sentelhas (1997) de 0,52, classificado como sofrível (Figura 19). O Erro Padrão de Estimativa (EPE) do modelo foi de 38,5 %, a Raiz do Quadrado Médio do Erro (RQME) foi de 0,052 ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) e o Índice de Eficiência de Modelagem (IEM) foi de 0,572



**Figura 19:** Conteúdo volumétrico de água no solo a 0-10 cm observado x simulado (SWAP) (a) durante o período experimental e dispersão dos dados observados x estimados (b) nas parcelas fertilizadas com Sulf.

As simulações e as observações do conteúdo volumétrico de água no solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) pelo SWAP para o tratamento Testemunha apresentaram coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{\text{ajst}}$ ) de 0,39 e índice de concordância “d”, proposto por Willmott (1985), de 0,65, sendo o índice “c” proposto por Camargo & Sentelhas (1997) de 0,42, classificado como mau (Figura 20). O Erro Padrão de Estimativa (EPE) do modelo foi de 40,2 %, a Raiz do Quadrado Médio do Erro (RQME) foi de 0,045 ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) e o Índice de Eficiência de Modelagem (IEM) foi de 0,573.



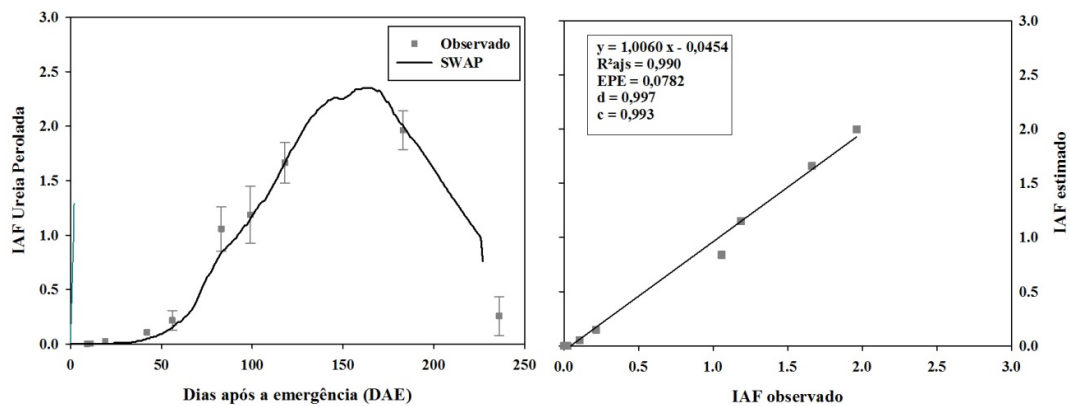
**Figura 20:** Conteúdo volumétrico de água no solo a 0-10 cm observado x simulado (SWAP) (a) durante o período experimental e dispersão dos dados observados x estimados (b) no tratamento T.

As simulações do modelo SWAP para a unidade volumétrica apresentaram melhor desempenho para o fertilizante Sulf em comparação a UP e a T, uma vez que todos os índices estatísticos avaliados foram superiores para tal fertilizante. Experimento avaliando a eficiência dos modelos SWAP, WOFOST e CERES na predição de conteúdo volumétrico de água em diferentes tipos de solo sob cultivo de cevada e trigo, observaram após comparação com dados observados obtidos através de lisímetros em dois anos de experimentação, IEM oscilando entre 0,58 e 0,97 para o SWAP, e IEM entre 0,40 e 0,92 com o WOFOST (EITZINGER et al., 2004).

#### 6.2.4.2. Índice de área foliar (IAF)

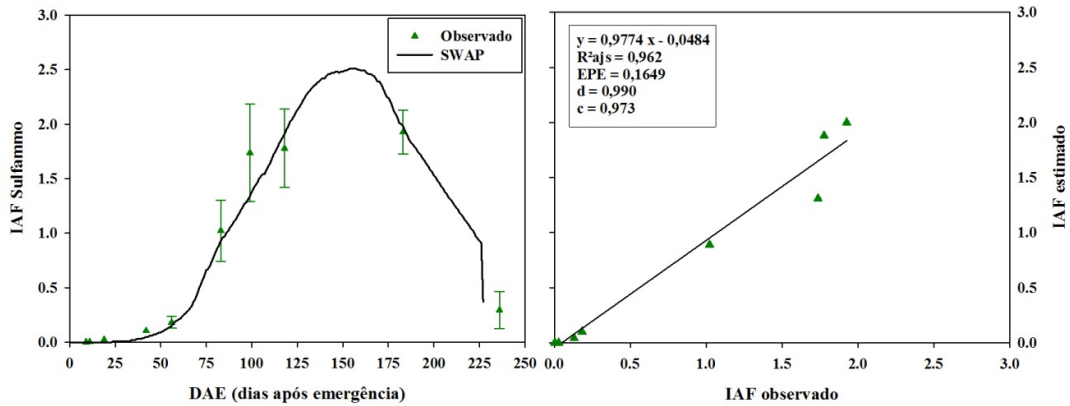
As simulações e as observações do Índice de Área Foliar pelo SWAP (WOFOST) para o tratamento UP apresentaram coeficiente de determinação ajustado

( $R^2_{ajs}$ ) de 0,990 e índice de concordância “d”, proposto por Willmott (1985), de 0,997, sendo o índice “c” proposto por Camargo & Sentelhas (1997) de 0,993, classificado como ótimo (Figura 20). O Erro Padrão de Estimativa (EPE) do modelo foi de 39,4 %, a Raiz do Quadrado Médio do Erro (RQME) foi de 0,080 ( $m^3 m^{-3}$ ) e o Índice de Eficiência de Modelagem (IEM) foi de 0,997.



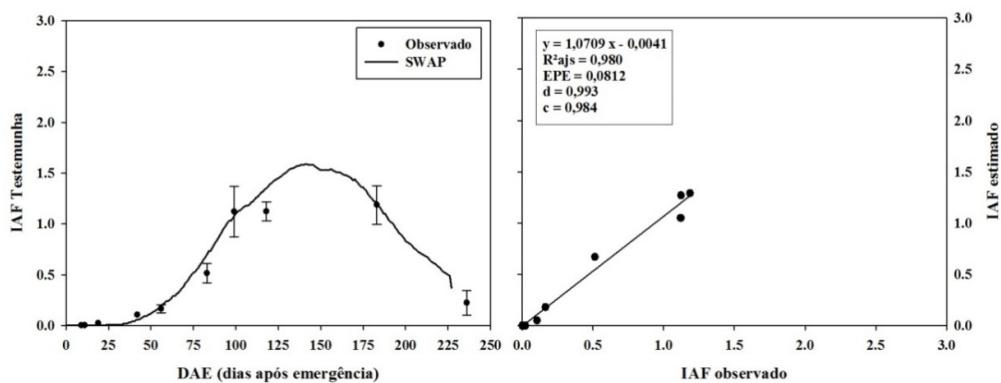
**Figura 21:** Indicie de área foliar observado x simulado (SWAP) (a) durante o período experimental e dispersão dos dados observados x estimados (b) nas parcelas fertilizadas com UP.

As simulações do Índice de Área Foliar pelo SWAP (WOFOST) para o tratamento Sulf apresentaram coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{ajs}$ ) de 0,962 e índice de concordância “d”, proposto por Willmott (1985), de 0,990 sendo o índice “c” proposto por Camargo & Sentelhas (1997) de 0,973, classificado como ótimo (Figura 20). O Erro Padrão de Estimativa (EPE) do modelo foi de 93,1 %, a Raiz do Quadrado Médio do Erro (RQME) foi de 0,161 ( $m^3 m^{-3}$ ) e o Índice de Eficiência de Modelagem (IEM) foi de 0,989 (Figura 22).



**Figura 22:** Índice de área foliar observado x simulado (SWAP) (a) durante o período experimental e dispersão dos dados observados x estimados (b) nas parcelas fertilizadas com Sulf.

As simulações do Índice de Área Foliar pelo SWAP (WOFOST) para o tratamento T apresentaram coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) de 0,980 e índice de concordância “d”, proposto por Willmott (1985), de 0,993 sendo o índice “c” proposto por Camargo & Sentelhas (1997) de 0,984, classificado como ótimo (Figura 20). O Erro Padrão de Estimativa (EPE) do modelo foi de 54,5 %, a Raiz do Quadrado Médio do Erro (RQME) foi de 0,085 ( $m^3 m^{-3}$ ) e o Índice de Eficiência de Modelagem (IEM) foi de 0,993 (Figura 23).



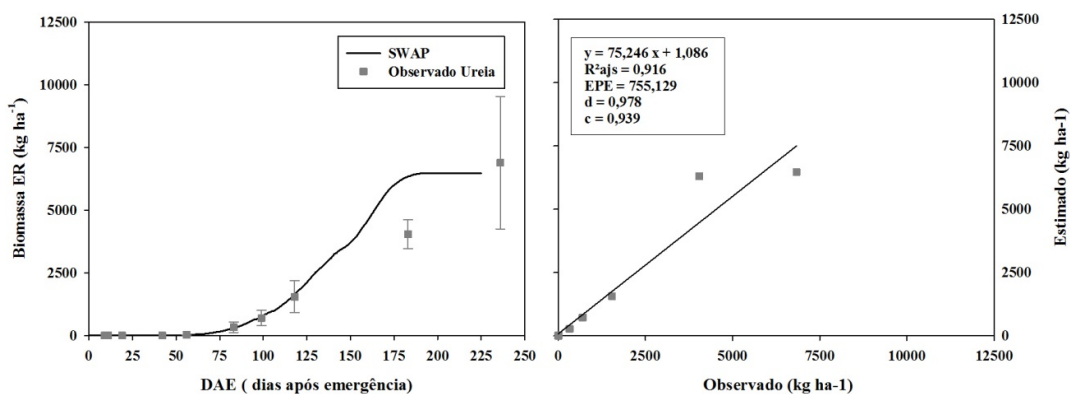
**Figura 23:** Índice de área foliar observado x simulado (SWAP) (a) durante o período experimental e dispersão dos dados observados x estimados (b) no tratamento T.

Portanto, o submodelo WOFOST, acoplado ao SWAP preciso e exato para representar o crescimento do índice de área foliar em cultivos de algodão em condições edafoclimáticos semelhantes. Para todos os tratamentos avaliados os coeficientes de regressão ajustado ( $R^2_{aj.s}$ ) se mantiveram acima de 0,96, o índice “d” foi de 0,99 e o índice “c” considerado ótimo para todas as avaliações.

#### 6.2.4.3. Biomassa de estruturas reprodutivas

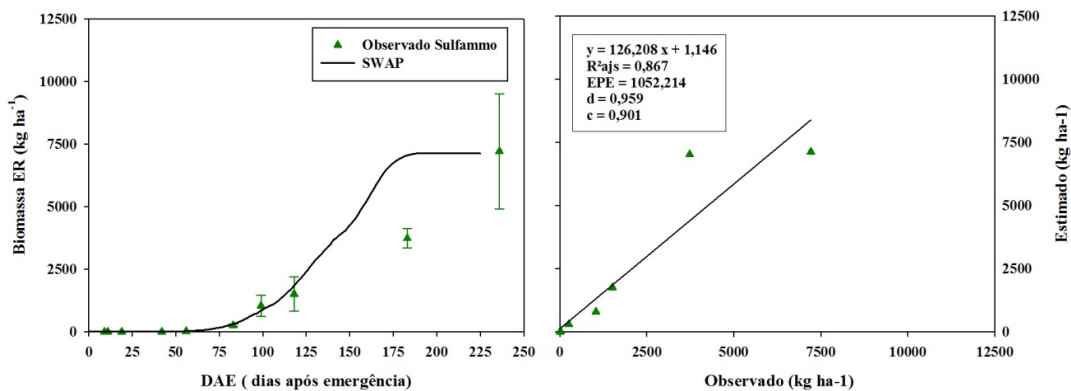
A produtividade de biomassa de estruturas reprodutivas para posterior comparação com o modelo SWAP / WOFOST, foi estimada pelo produto da soma das médias de capulhos (algodão em caroço) e outras estruturas reprodutivas (Flores, maçãs e capulhos malformados) amostradas na colheita pelo *stand* médio (63962 plantas ha<sup>-1</sup>). Os valores para Sulf, UP e T foram 7212,7 ( $\pm$  2300,1); 6889,8 ( $\pm$  2639,9) e 5674,8 ( $\pm$  1908,1) kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. O incremento na biomassa de estruturas reprodutivas dos fertilizantes Sulf e UP em relação ao tratamento sem fertilização (T) foi de 21,3 e 17,6 %. Avaliando as diferenças na produção de algodão em caroço e rendimento de fibras em plantio direto no cerrado goiano em função de diferentes culturas de cobertura antecessoras, Ferreira et al. (2010) observou produtividade média de biomassa reprodutiva de 5245,6 ( $\pm$  344,2)kg ha<sup>-1</sup>.

As simulações e as observações a produção de estruturas reprodutivas pelo SWAP para o tratamento UP apresentaram coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj.s}$ ) de 0,916 e índice de concordância “d” foi de 0,978 e o índice “c” foi de 0,939, classificado como ótimo (Figura 20). A Raiz do Quadrado Médio do Erro (RQME) foi de 729,9 e o Índice de Eficiência de Modelagem (IEM) foi de 0,947 (Figura 24).



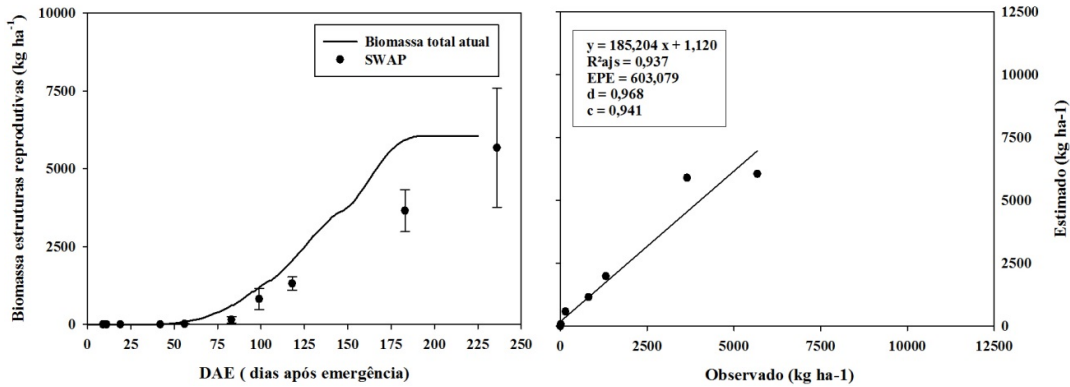
**Figura 24:** Biomassa de estruturas reprodutivas observadas x simulado (SWAP) (a) durante o período experimental e dispersão dos dados observados x estimados (b) nas parcelas fertilizadas com UP.

As simulações e as observações à produção de estruturas reprodutivas pelo SWAP para o tratamento Sulf apresentaram coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{ajst}$ ) de 0,867 e índice de concordância “d”, proposto por Willmott (1985), de 0,959 sendo o índice “c” proposto por Camargo & Sentelhas (1997) de 0,901, classificado como ótimo (Figura 25). A Raiz do Quadrado Médio do Erro (RQME) foi de 1048,5 e o Índice de Eficiência de Modelagem (IEM) foi de 0,900.



**Figura 25:** Biomassa de estruturas reprodutivas observadas x simulado (SWAP) (a) durante o período experimental e dispersão dos dados observados x estimados (b) nas parcelas fertilizadas com Sulf.

As simulações e as observações à produção de estruturas reprodutivas pelo SWAP para o tratamento T apresentaram coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{ajst}$ ) de 0,937 e índice de concordância “d” foi de 0,968 e o índice “c” foi de 0,941, classificado como ótimo (Figura 26). A Raiz do Quadrado Médio do Erro (RQME) foi de 771,5 e o Índice de Eficiência de Modelagem (IEM) foi de 0,930.



**Figura 26:** Biomassa de estruturas reprodutivas observadas x simulado (SWAP) (a) durante o período experimental e dispersão dos dados observados x estimados (b) no tratamento T.

Portanto, o modelo WOFOST, acoplado ao SWAP simula com precisão e exatidão a produção de estruturas reprodutivas em cultivos de algodão em condições edafoclimáticas semelhantes, mas com diferentes doses e fontes de N. O maior  $R^2_{ajis}$  foi observado no tratamento T (0,94), seguido de UP(0,92) e Sulf (0,87). O índice “d” variou de 0,96 a 0,98 e o índice “c” considerado ótimo para todas as avaliações.

#### 6.2.4.4. Biomassa total

A produtividade de biomassa total da parte aérea foi estimada através do produto entre a produção de biomassa total da parte aérea e a densidade média de plantas ( $63962,0 \pm 11446,1$  plantas  $ha^{-1}$ ). Portanto as respectivas produtividades foram de  $11314,8 \pm 43693,2$  (UP),  $11053,2 \pm 2548,3$  (Sulf) e  $8556,6 \pm 2542,5$  (T)  $kg\ ha^{-1}$ , o que representou incremento de 24,4 (UP) e 19,9 (Sulf) % em relação a T, o incremento do fertilizante de maior biomassa (UP) para o de menor (Sulf) foi de 2,3 %.

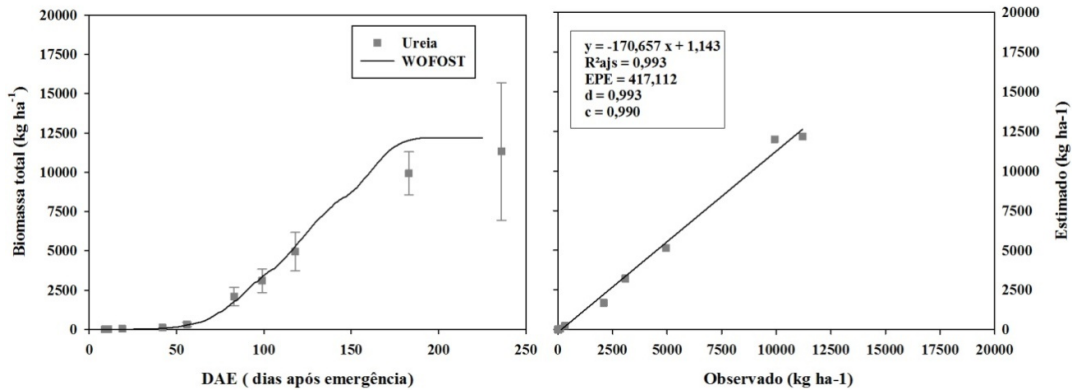
Dados semelhantes foram relatados por Mao et al (2013) em região produtora de algodão (*Yellow River*) na China, avaliando o efeito de diferentes densidades de plantio, na dose de nitrogênio de  $225\ kg\ N\ ha^{-1}$ , os valores observados para a densidade de 6 plantas  $m^{-2}$  oscilaram entre 800 e 1000  $g\ m^{-2}$ , durante os três anos de avaliação. O que representou, na comparação entre os experimentos subestimação de 6,5 e 9,5 % em relação aos valores mínimos e máximos obtidos neste experimento. Também na China, Dai et al. (2015) relata acúmulo de biomassa ao final do ciclo de  $14350\ kg\ ha^{-1}$  na

densidade de 6,9 plantas por  $\text{ha}^{-1}$ , sendo encontrados valores finais oscilando entre 9469 ( $1,5 \text{ pl ha}^{-1}$ ) e 17160 ( $10,5 \text{ pl ha}^{-1}$ ), em função do espaçamento entre plantas.

Avaliando o efeito de diferentes densidades de plantas na produção de biomassa em sistemas de cultivo de algodão de alto rendimento, cuja produtividade de fibra esperada é superior a  $1880 \text{ kg ha}^{-1}$ , Brodrick et al (2012) relatou acúmulo de massa seca total variando entre 2213 e  $2500 \text{ g m}^{-2}$  e massa seca de frutos dentre 1241 e  $1925 \text{ g m}^{-2}$ , nos 3 anos de ciclos de cultivo avaliados. No espaçamento de 25 cm entre as linhas de cultivo as respectivas biomassas oscilaram entre 1835 e 3690 (biomassa total)  $\text{g m}^{-2}$ , 1266 e 1688 (biomassa frutos)  $\text{g m}^{-2}$ , respectivamente.

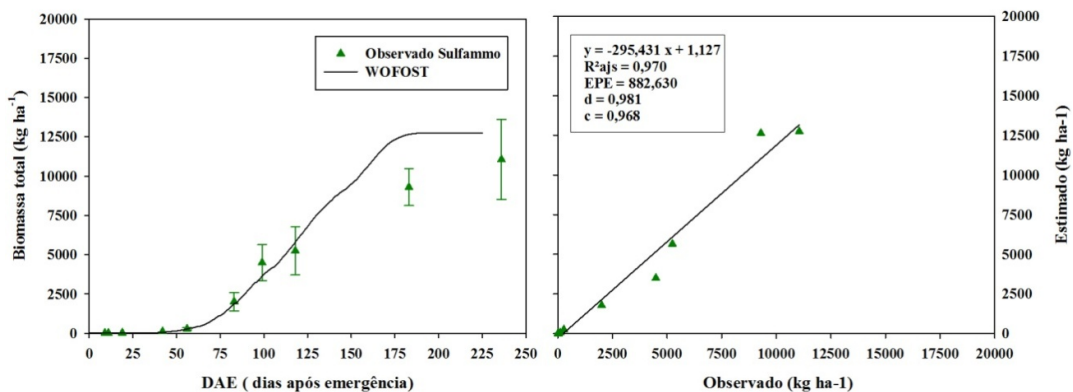
As simulações e as observações à produção de biomassa total pelo SWAP para o tratamento UP apresentaram coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{\text{ajst}}$ ) de 0,993 e índice de concordância “d”, proposto por Willmott (1985), de 0,993 sendo o índice “c” proposto por Camargo & Sentelhas (1997) de 0,950, classificado como ótimo (Figura 27). A Raiz do Quadrado Médio do Erro (RQME) foi de 726,7 e o Índice de Eficiência de Modelagem (IEM) foi de 0,988.





**Figura 27:** Biomassa total observada x simulada (SWAP) (a) durante o período experimental e dispersão dos dados observados x estimados (b) nas parcelas fertilizadas com UP.

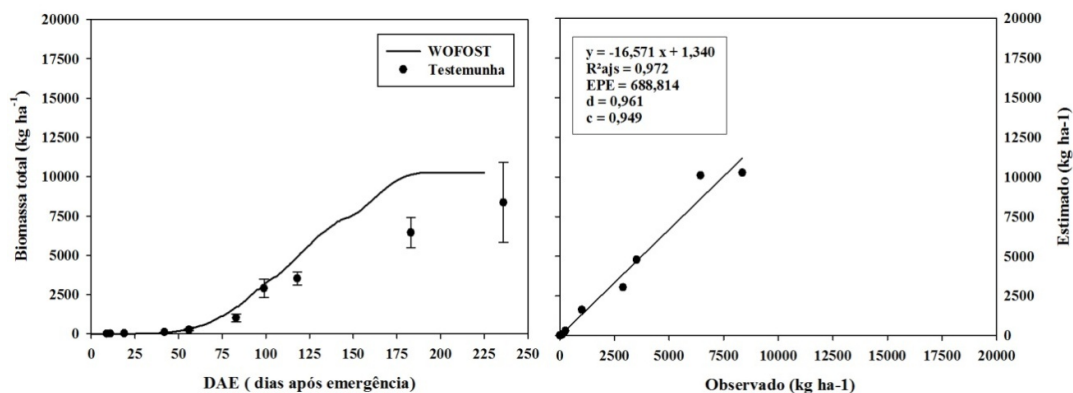
As simulações e as observações à produção de biomassa total pelo SWAP para o tratamento Sulf apresentaram coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{ajs}$ ) de 0,970 e índice de concordância “d”, proposto por Willmott (1985), de 0,981 sendo o índice “c” proposto por Camargo & Sentelhas (1997) de 0,968, classificado como ótimo (Figura 28). A Raiz do Quadrado Médio do Erro (RQME) foi de 1233,1 e o Índice de Eficiência de Modelagem (IEM) foi de 0,968.



**Figura 28:** Biomassa total observada x simulada (SWAP) (a) durante o período experimental e dispersão dos dados observados x estimados (b) nas parcelas fertilizadas com Sulf.

As simulações e as observações à produção de biomassa total pelo SWAP para o tratamento T apresentaram coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{ajs}$ ) de 0,972 e

índice de concordância “d”, proposto por Willmott (1985), de 0,961 sendo o índice “c” proposto por Camargo & Sentelhas (1997) de 0,949, classificado como ótimo (Figura 29). A Raiz do Quadrado Médio do Erro (RQME) foi de 1377,6 e o Índice de Eficiência de Modelagem (IEM) foi de 0,929.



**Figura 29:** Biomassa total observada x simulada (SWAP) (a) durante o período experimental e dispersão dos dados observados x estimados (b) do tratamento T.

Portanto, o modelo WOFOST, acoplado ao SWAP apresentou precisão e exatidão para as simulações de biomassa total em cultivos de algodão em condições edafoclimáticas semelhantes, mas com diferentes fontes ou doses de N. Para todos os tratamentos avaliados os coeficientes de regressão se mantiveram acima de 0,97, o índice “d” acima de 0,96 e o índice “c” considerado ótimo para todas as avaliações.

## 7. CONCLUSÕES

Os modelos de crescimento logísticos e exponenciais utilizados apresentaram ajustes significativos para altura e biomassa de algodão e podem ser utilizados para auxiliar a análise de crescimento vegetal, quando relacionadas aos graus dias acumulados, e para obter coeficientes biométricos utilizados em modelos dinâmicos.

O modelo SWAP apresenta resultados satisfatórios para simulações de conteúdo de água no solo para o fertilizante Sulf, este padrão não foi mantido para os demais tratamentos. O modelo WOFOST acoplado ao modelo SWAP simula com precisão e exatidão o índice de área foliar, biomassa de estruturas reprodutivas e biomassa total de cultivos de algodão em condições edafoclimáticas do cerrado baiano.

As fontes de nitrogênio não proporcionam diferenças estatísticas significativas nas características biométricas (altura, índice de área foliar, biomassa aérea total e da parte aérea e número de entrenós) e na produtividade da cultura do algodão. Quanto a variável produção, a maior massa de estruturas reprodutivas, assim como de capulhos por planta foi observada no fertilizante Sulf, seguido de UP e T. Maiores perdas com estruturas reprodutivas mal formadas ou não aproveitadas na colheita foram observadas na Ureia Perolada, o que pode ter contribuído com a menor produção observada.

**CAPITULO II: AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE  
FERTILIZANTES PASTILHADOS NA CULTURA DO ALGODÃO  
(*Gossypium hirsutum*) NO CERRADO BAIANO.**

## RESUMO

Bender, Eduardo Pires. **Avaliação da eficiência de fertilizantes pastilhados na cultura do algodão (*Gossypium hirsutum*) no cerrado baiano**. 153f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental). Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

O cerrado brasileiro representa grande parte da produção agrícola nacional, tendo em vista condições climáticas favoráveis, aliado a sistemas agrícolas amplamente tecnificados. A cotonicultura nacional ocupa posição de destaque no mercado internacional de produção de fibras, haja vista que os maiores produtores mundiais se baseiam de sistemas irrigados de cultivo, enquanto o cerrado permite altas produtividades com elevado rendimento e qualidade de fibras em sistema de sequeiro. Entretanto, sistemas agrícolas que visam alto rendimento, subsidiado pela aplicação de fertilizantes podem acarretar em impactos ambientais e econômicos, em decorrência dos processos bioquímicos decorrentes de sua aplicação nos solos agrícolas. Portanto, novas tecnologias de fertilizantes, cuja finalidade a mitigação de tais impactos deve ser preconizada, uma vez que grande parte do nitrogênio aplicado pode ser perdido via lixiviação e/ou volatilização, podendo encontrar-se indisponível nos momentos de maior requerimento pela cultura. O experimento foi desenvolvido no extremo oeste baiano, município de Luís Eduardo Magalhães, os objetivos do trabalho foram de, avaliar a eficiência dos fertilizantes nitrogenados através da produção e produtividade de algodão, assim como a quantificação das perdas gasosas de nitrogênio para atmosfera nas formas de amônia e óxido nitroso. A fertilização nitrogenada foi realizada de forma manual aos 40 DAP e a dose de aplicação de 200 kg ha<sup>-1</sup>. As perdas gasosas de nitrogênio foram quantificadas através do sistema de câmaras estáticas e posteriormente analisadas por espectrometria e cromatografia, para amônia e óxido nitroso, respectivamente. A produção de algodão em caroço entre os fertilizantes oscilou de 94,0 ± 22,0 (UPP) a 78,6 ± 22,3 (UPSAeZn), no entanto, a produtividade de algodão em caroço foi superior no tratamento UPSA, oscilando entre 6514,2 ± 396,1 e 5551,0 ± 633,7 (UPSAeZn), este mesmo padrão foi observado na produtividade de algodão em pluma, a qual foi 14,4 % maior no tratamento UPSA do que no UPSAeZn. As perdas de nitrogênio via N<sub>2</sub>O acumuladas dentre os fertilizantes, durante o ciclo produtivo, variaram entre 819,0 (UPSA) e 533,0 (UPSAeZn) g N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, o que representou fatores de emissão entre 0,29 (UPSA) e 0,15% (UPSAeZn). A volatilização da amônia acumulada variou entre 61,7 (UPP) e 45,7 (UPSAeZn) kg N-NH<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup> para os fertilizantes testados, o que representou de 30,8 e 25,9% do total aplicado.

**Termos para indexação:** Algodoeiro, gases de efeito estufa, uréase, desnitrificação, rendimento, solos tropicais.

## ABSTRACT

Bender, Eduardo Pires. **Efficiency evaluation nitrogen fertilizer in cotton (*Gossypium hirsutum*) at the Bahia cerrado.** 79f. Thesis (MSc. in Agricultural and Environmental Engineering). Institute of Technology, Department of Engineering, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016

The Brazilian savannah is much of the national agricultural production, given favorable weather conditions, combined with widely technified agricultural systems. The national cotton industry occupies a prominent position in the international fiber production market, given that the world's leading manufacturers rely irrigated farming systems, while the savannah allows high yields with high yield and quality dry land system in fiber. However, farming systems aimed at high income, subsidized by the application of fertilizers can result in environmental and economic impacts because of biochemical processes of their application to agricultural land. Therefore, new technologies fertilizer, which aims to mitigate such impacts should be recommended, since much of the applied nitrogen can be lost through leaching and / or volatilization, and can be found out at moments of application by culture. The experiment was developed in the extreme western Bahia, municipality of Luis Eduardo Magalhães, the objectives were to evaluate the efficiency of nitrogen fertilizers by cotton production and productivity as well as the quantification of gaseous nitrogen losses to the atmosphere in the forms of ammonia and nitrous oxide. The nitrogen source was manually at 40 DAP and the application dose of 200 kg ha<sup>-1</sup>. Gaseous nitrogen losses were quantified by the static camera system and analyzed by mass spectrometry and chromatography to ammonia and nitrous oxide, respectively. The seed cotton production of fertilizers ranged from 94.0 ± 22.0 (UPP) to 78.6 ± 22.3 (UPSAeZn), however, the cotton yield in seed treatment was superior in UPSA, ranging from 6514.2 ± 396.1 and 5551.0 ± 633.7 (UPSAeZn), the same pattern was seen in cotton lint yield, which was 14.4% higher in UPSA treatment than in UPSAeZn. Nitrogen losses via nitrous oxide accumulated from the fertilizers during the production cycle, ranging from 819.0 (UPSA) and 533.0 (UPSAeZn) g N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, which represents emission factors between 0.29 (UPSA) and 0.15% (UPSAeZn). The volatilization of ammonia accumulated ranged between 61.7 (UPP) and 45.7 (UPSAeZn) kg NH<sub>3</sub>-N ha<sup>-1</sup> for the tested fertilizers, which represented 30.8 and 25.9% of the total applied.

Index terms: Cotton plant, greenhouse gases, urease, denitrification, yield, tropical soils.

## 8. INTRODUÇÃO

Diversas atividades antrópicas tendem a degradação ambiental, podendo causar sérios impactos no sistema climático global. A emissão de gases para atmosfera tem se mostrado um fator de impacto neste cenário, causando variações térmicas na ordem de 0,5 °C durante os últimos 50 anos, com potencial de superar 1°C em 2030 (IPCC, 2013).

O território agrícola nacional representa aproximadamente 550 milhões de hectares, o que corresponde a 36 % da superfície total do país (TURETTA et al., 2009). Devido aos sistemas agrícolas convencionais e a extensa área agrícola, o Brasil é o quarto maior consumidor mundial de fertilizantes, sendo superado apenas pela China, Índia e EUA. No setor de fertilizantes nitrogenados, o país ocupa a 6º posição no consumo global (FAO, 2012).

O bioma de cerrado engloba as regiões Sudeste, Centro-oeste, Norte e Nordeste do Brasil, sendo encontrado em 11 estados brasileiros. Atualmente é de fundamental importância para a economia nacional com a abertura de diversas fronteiras agrícolas, sendo responsável por grande parte da produção de *commodities* agrícolas.

Devido à baixa fertilidade natural, as crescentes produtividades observadas no cerrado se devem a aplicação de elevadas doses de fertilizantes, o que em determinadas situações edafoclimáticas pode resultar em perdas consideráveis no total do fertilizante aplicado. No entanto, condições meteorológicas específicas, aliado a boa drenagem dos solos deste bioma podem resultar em emissões de gases de efeito estufa consideravelmente menor do que as referenciadas pelo IPCC para tais condições, justificando o estudo da dinâmica das emissões de N<sub>2</sub>O, haja vista seu elevado potencial de aquecimento global (MARTINS et al., 2015).

A alta demanda evapotranspirativa, boa drenagem e baixa capacidade de retenção de água no solo deste bioma podem ser fatores determinantes na dinâmica das emissões de N<sub>2</sub>O. Portanto a necessidade de inferência de fatores de emissão nas condições de cerrado, evitando equívocos substanciais nas formulações de inventários de gases de efeito estufa deve ser preconizada (MARTINS et al., 2015).

Estudos direcionados para avaliação desta dinâmica em decorrência de montantes e frequência de aplicação, assim como novas tecnologias de fertilizantes nitrogenados podem representar em fatores de emissão ainda menores. Martins et al. (2015) observou fator de emissão de 0,20% para tais condições, enquanto a recomendação do IPCC para a base de cálculos é de 1,0% do total do N aplicado

perdido para a atmosfera, o que representa superestimação de 80% em inventários de gases de efeito estufa.

Além da formulação do nitrogênio, outras técnicas vêm sendo empregadas visando a redução das perdas via volatilização de  $\text{NH}_3$  e  $\text{N}_2\text{O}$  através da tentativa de estabilizar o nitrogênio e liberá-lo gradativamente com o desenvolvimento das plantas. As principais tecnologias empregadas atualmente incluem o revestimento do grânulo do fertilizante com polímeros, tratamento com inibidores de urease e de nitrificação (HALVORSON et al, 2014). Outras técnicas baseadas no aumento do tamanho do grânulo, como o pastilhamento podem contribuir para a melhor eficiência do fertilizante.

Existem poucos estudos avaliando emissões de gases de efeito estufa de fertilizantes nitrogenados na cultura de algodão, sendo que nenhum avaliou formas de liberação controlada e estabilizada (TIAN et al., 2015). Portanto devem ser avaliadas novas tecnologias de fertilizantes que permitam mitigar as emissões de gases de efeito estufa em sistemas produtivos de algodão.

Visto isto, o objetivo geral do trabalho foi avaliar o efeito de misturas homogêneas na forma pastilhada de ureia com fontes de enxofre (enxofre elementar e sulfato de amônio) e/ou micronutrientes no desempenho agrônomico e ambiental em cultivos de algodão no cerrado baiano. Para atingir tal demanda os objetivos específicos foram: (i) avaliar experimentalmente a produção e produtividade do algodoeiro em tais condições edafoclimáticas; (ii) quantificar as perdas de nitrogênio por volatilização de amônia ( $\text{NH}_3$ ); (iii) quantificar as emissões de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ).

## **9. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **9.1. Emissões de gases de efeito estufa**

Dentre os gases potencialmente causadores de mudanças climáticas, o gás metano ( $\text{CH}_4$ ), originado principalmente da digestão anaeróbia, apresenta potencial de aquecimento global 21 vezes maior que o  $\text{CO}_2$ , enquanto o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) oriundo de processos de nitrificação e desnitrificação possui potencial 298 vezes maior em equivalente de  $\text{CO}_2$  (IPCC, 2006). Concentrações de  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  aumentaram nos últimos 60 anos em cerca de 30 ppb, 600 ppb e 60 ppm respectivamente (IPCC, 2013).



Em 2013 as emissões globais de CO<sub>2</sub> foram estimadas em 396,0 ± 0,1 ppm, de CH<sub>4</sub> 1824 ± 2 ppb e de N<sub>2</sub>O 325,9 ± 0,1 ppb, que representou aumento de 142, 253 e 121 % do pré-industrial (antes de 1750), respectivamente (WMO, 2014).

As emissões de gases de efeito estufa podem ser classificadas em emissões diretas e indiretas (JOLY, 2011; GENTIL et al., 2009). Emissões diretas são relacionadas a emissões de operação, provenientes da queima de combustível e emissões gasosas resultantes da degradação e/ou mineralização da matéria orgânica. Emissões indiretas podem ser classificadas em emissões a montante e a jusante, sendo a primeira ligada ao fornecimento de óleo diesel e gastos com eletricidade, ea segunda relacionada a aplicação do produto final, respectivamente (JOLY, 2011; GENTIL et al., 2009).

### **9.1.1. Forçante radiativa**

Forçante radiativa é caracterizada a partir da diferença da irradiância líquida na tropopausa entre um estado de referência e um estado perturbado por um agente climático. Para sua análise no âmbito das mudanças climáticas usualmente o estado de referência utilizado corresponde à data de início da revolução industrial (IPCC, 2007), mas a referência pode ser qualquer impacto pré-determinado, assim como a ausência de qualquer agente climático (PBMC, 2013) (WMO, 2014).

Dentre os principais agentes climáticos ocorrentes no Brasil os mais significativos são os efeitos radiativos de nuvens, efeitos radiativos de gases de efeito estufa, de mudança do uso do solo e dos aerossóis (PBMC, 2013).

Os maiores valores de forçante radiativa são causados pelo desmatamento da floresta amazônica e pela emissão de aerossóis, decorrentes devido à alteração do albedo de superfície, com valores variando entre  $-7,3 \pm 0,9 \text{ Wm}^{-2}$ , ressalva que o desmatamento possui caráter permanente enquanto os aerossóis possuem vida na atmosfera de poucos dias. Já o aquecimento gerado pelas emissões antrópicas de gases de efeito estufa encontra-se na ordem de  $2 \text{ Wm}^{-2}$  cuja permanência na atmosfera pode resultar em centenas de anos em determinados casos (PBMC, 2013).

Os principais gases de efeito estufa de vida longa de origem antrópica são o gás carbônico, gás metano e óxido nitroso, suas contribuições para o aquecimento global são de aproximadamente  $1,0-1,8 \text{ W m}^{-2}$ ,  $0,4-0,5 \text{ W m}^{-2}$ ,  $0,1-0,2 \text{ W m}^{-2}$ , respectivamente. Cujos somatório varia entre  $1,7-3,0 \text{ W m}^{-2}$  durante o período de 1980 até 2014, estes gases supracitados em conjunto com CFC-12 e CFC-11, são responsáveis por

aproximadamente 96 % da forçante radiativa devido a gases de efeito estufa de vida longa (WMO, 2014).

O índice de gases de efeito estufa de vida longa aferido pelo NOAA para o ano de 2013 foi de 1,34, o que representou 34 % na forçante radiativa relativa ao início da era industrial computados desde 1990, que corresponde em fração molar de equivalente CO<sub>2</sub> em 479 ppm. Valores estes impulsionados pelo aumento em 80% das emissões antrópicas de dióxido de carbono dos últimos 25 anos, que resultaram em elevação da acidez das águas oceânicas em 0,0011-0024 unidades por ano e aumento nas concentrações de CO<sub>2</sub> dissolvido em 1,2-2,8 µatm por ano (WMO, 2014).

### **9.1.2. Emissões agrícolas**

A agricultura é responsável por 10 a 12% de todas as emissões gasosas para a atmosfera, o que a torna a maior fonte antrópica geradora de gases de efeito estufa. Sistemas de manejo inadequados, onde não se preconizam aperfeiçoar as relações naturais entre solo-planta-atmosfera, alteram as reações de organismos inerentes do processo, o que acarreta em perdas de nutrientes para a atmosfera (IPCC, 2014).

Neste segmento as emissões de gases de efeito estufa podem chegar a mais de 5,0 Gt CO<sub>2</sub> eq ano<sup>-1</sup>, sendo que solos agrícolas são responsáveis por mais de 2,0 Gt CO<sub>2</sub> eq ano<sup>-1</sup> (32-40 %), fermentação entérica cerca de 2,0 Gt CO<sub>2</sub> eq ano<sup>-1</sup> (32-40%), seguido por arroz irrigado e sistemas de manejo de resíduos agrícolas, que contribuem com aproximadamente 0,7 (9-11 %) Gt CO<sub>2</sub> eq ano<sup>-1</sup> e 0,5 (7-8 %) Gt CO<sub>2</sub> eq ano<sup>-1</sup>, respectivamente (EPA, 2006; IPCC, 2014).

Fertilizantes sintéticos tiveram acréscimo representativo nas emissões de gases de efeito estufa nos últimos 50 anos, com taxa média de aumento de 3,9 % / ano, sendo Ásia, Américas e Europa os maiores emissores. Devido o aumento gradativo da utilização de fontes sintéticas para a nutrição de plantas, tendências indicam que em menos de 10 anos as emissões originadas destes fertilizantes possivelmente estarão entre as duas maiores fontes de emissões agrícolas (IPCC, 2014).

Em 2010 estimativas apontaram emissões nacionais na ordem de 1,25 Gt CO<sub>2</sub> eq ano<sup>-1</sup>, sendo 35 % destas emissões referentes a setor agropecuário. Sistemas mitigatórios como recuperação de pastagens, aumento do plantio direto, expansão de florestas comerciais, eliminação da queima da cana-de-açúcar para a colheita, uso de aditivos na dieta de bovinos, tratamento adequado de dejetos suínos e redução no uso de

fertilizantes nitrogenados podem acarretar em reduções entre 163,3 e 248,5 Mt CO<sub>2</sub>eq para o ano de 2020 (PBMC, 2013).

#### 9.1.2.1. Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

Atividade antrópicas, principalmente devido à queima de combustíveis fósseis, vem aumentando os teores deste gás na atmosfera, com valores de 380 ppm em 2010, o que representou num acréscimo de 80 ppm nos últimos 60 anos (IPCC, 2013). Sua contribuição para a forçante radiativa por GEE de longa duração é de aproximadamente 65 % (WMO, 2014).

O aumento da distribuição espacial de CO<sub>2</sub> ocasiona reduções nas quantidades de oxigênio atmosférico (O<sub>2</sub>) e na proporção isótopo de carbono <sup>13</sup>C / <sup>12</sup>C, no CO<sub>2</sub> atmosférico. Os oceanos, o solo e as plantas, são os principais sumidouros deste carbono atmosférico oriundo da queima de combustíveis fósseis, cujas tendências de aumento de sua concentração resultam na acidificação dos oceanos, alterando consequentemente a dinâmica do equilíbrio global (WMO, 2014).

Dentre estes gases emitidos o CO<sub>2</sub> torna-se praticamente neutro no setor agrícola, devido principalmente à fixação de carbono e oxidação do processo de fotossíntese. Entretanto o gás metano e óxido nitroso representam 56 % das emissões atmosféricas globais (IPCC, 2014).

#### 9.1.2.2. Metano (CH<sub>4</sub>)

As emissões de gás metano em sua grande parte provêm de sistemas agropecuários, mas reações bioquímicas de solos agrícolas, assim como tratamento inadequado de resíduos orgânicos acarretaram no aumento de suas concentrações atmosféricas na ordem de 1000 ppb para 1800 ppb nos últimos 60 anos. (IPCC, 2013)

Contribuindo com aproximadamente 17 % para forçante radiativa por GEE de longa duração, cerca de 40% das emissões globais de metano são referentes de fontes naturais, como zonas húmidas e cupinzeiros. Os 60% restantes são provenientes de ações antrópicas, devido sistemas agropecuários, exploração de combustíveis fósseis, tratamento inadequado de resíduos e queima de biomassa (WMO, 2014).

Fertilizantes nitrogenados podem contribuir para emissões de CH<sub>4</sub>, mesmo que seja indiretamente. Segundo Wilson et al (1995) inibidores de urease apresentou efeito inibitório sobre a oxidação de CH<sub>4</sub> no solo, acarretando em incremento nas perdas

atmosféricas, Bronson e Moiser (1994) relataram inibição de até 83% em solos argilosos e 60% em solos arenosos.

#### *9.1.2.3. Óxido Nitroso ( $N_2O$ )*

A agricultura em decorrência do aumento da demanda global por alimentos, adjunto da tecnificação de sistemas agrícolas, corresponde a maior fonte das emissões antrópicas de  $N_2O$ . Este gás com potencial de aquecimento estufa 298 vezes maior que o  $CO_2$ , cuja origem advém principalmente de reações bioquímicas do solo, como, do uso de fertilizantes nitrogenados, aumentou suas taxas atmosféricas de 290 ppb para 320 ppb nos últimos 60 anos (IPCC, 2013) (WMO, 2014).

Sua contribuição para a forçante radiativa global aproxima-se a 6 %, sendo o terceiro maior contribuinte dentre os GEE para a destruição do ozônio estratosférico ( $O_3$ ). Emissões antrópicas decorrentes do uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos, queima de combustíveis fósseis, queima de biomassa representam 40 % do total de  $N_2O$  emitido para atmosfera (WMO, 2014).

#### *9.1.2.4. Dinâmica de Óxido Nitroso ( $N_2O$ ) em solos agrícolas*

Processos bioquímicos regem a dinâmica de formação do óxido nitroso nos solos, sendo dois os principais processos responsáveis por sua formação. O mais conhecido e que gera maiores quantidades é o de redução, em que microorganismos anaeróbios desnitrificantes transformam nitrato ( $NO_3$ ) em óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ). Estes processos, de origem natural, são controlados pela disponibilidade de N inorgânico nos solos, sofrendo conseqüentemente variações em decorrência atividades humanas, assim como fenômenos naturais (IPCC, 2006).

O outro processo é regido por reações de oxidação, onde microorganismos aeróbios nitrificantes transformam amônio ( $NH_4$ ) em nitrato ( $NO_3$ ) e parte em óxido de nitrogênio. A nitrificação é um processo estritamente aeróbio, sendo afetado por fatores abióticos como pH, teor de MO, relação C/N, temperatura e densidade do solo, enquanto a desnitrificação, processo geralmente anaeróbio, é influenciado pela umidade e/ou espaços porosos do solo (BREMNER, 1997). Considerando-se as emissões diretas, as principais fontes que aumentam e catalisam os processos de nitrificação são decorrentes de aplicação de fertilizantes sintéticos e orgânicos, excrementos de animais, restos de culturas na superfície e incorporados em solos agrícolas, mudança do uso da terra e manejo de solos orgânicos (IPCC, 2006).

As emissões de  $N_2O$  do solo para a atmosfera ocorrem de maneira em que o nitrogênio é perdido diretamente para a atmosfera através das relações de desnitrificação previamente discutidas. E indiretamente, pelas perdas para atmosfera de N em formas de vida curta duração, o que ocorre através da volatilização de amônia ( $NH_3$ ) e de outros óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ), provenientes de solos agrícolas e combustão fóssil e de biomassa, como também nas formas minerais em deposição no solo ( $NH_3$  e  $NH_4$ ), podendo estes sofrerem processos de escomeamento lateral, bem como lixiviação (IPCC, 2006).

## **9.2. Amônia ( $NH_3$ )**

A volatilização de amônia, ocasionada através da hidrólise da ureia, gera impacto econômico e na capacidade produtiva das plantas (RODRIGUES & KIEHL, 1992). As perdas por este processo podem ser muito representativas, cujas proporções podem ser superiores a 50 % do nitrogênio aplicado (LARA-CABEZAS et al., 2000; SANGOI et al., 2003; ROCHETTE et al., 2009a). O processo de volatilização é resultante da elevação do pH dos micro sítios do solo em decorrência da aplicação de ureia. Devido o processo de hidrólise que ocorre na camada próxima ao grão do fertilizante, as áreas próximas sofrem aumento no pH de 6,9 para 8,7, reduzindo a conversão de amônia em amônio, elevando conseqüentemente a probabilidade de perdas por volatilização (RODRIGUES & KIEHL, 1992).

### **9.2.1. Técnicas para quantificação das emissões de N- $N_2O$ e volatilização de N- $NH_3$**

Atualmente distintas abordagens podem ser escolhidas para a mensuração dos fluxos de óxido nitroso ( $N_2O$ ) e amônia ( $NH_3$ ) em solos agrícolas. Para amônia, os mais comuns são os métodos de câmaras estáticas (ARAUJO, 2009); técnicas micrometeorológicas, bem como túneis de vento (HARRISON E WEBB, 2001); método de balanço de massa (DENMEAD, 1995; LAUBACH et al., 2013, 2012); método de fluxo de gradiente aerodinâmico (SPIRIG et al., 2010), modelos de dispersão inversa (BAI et al, 2014) (FLESCHE et al., 1995; MCGINN et al., 2007); fluxo horizontal integrado (WILSON, 1983) e métodos de Foucault fluxo (ZHU et al., 2000).

Bai et al. (2014) obteve resultados satisfatórios utilizando a combinação dos métodos de espectroscopia (OP-FTIR) e modelagem de dispersão inversa (WindTrax)

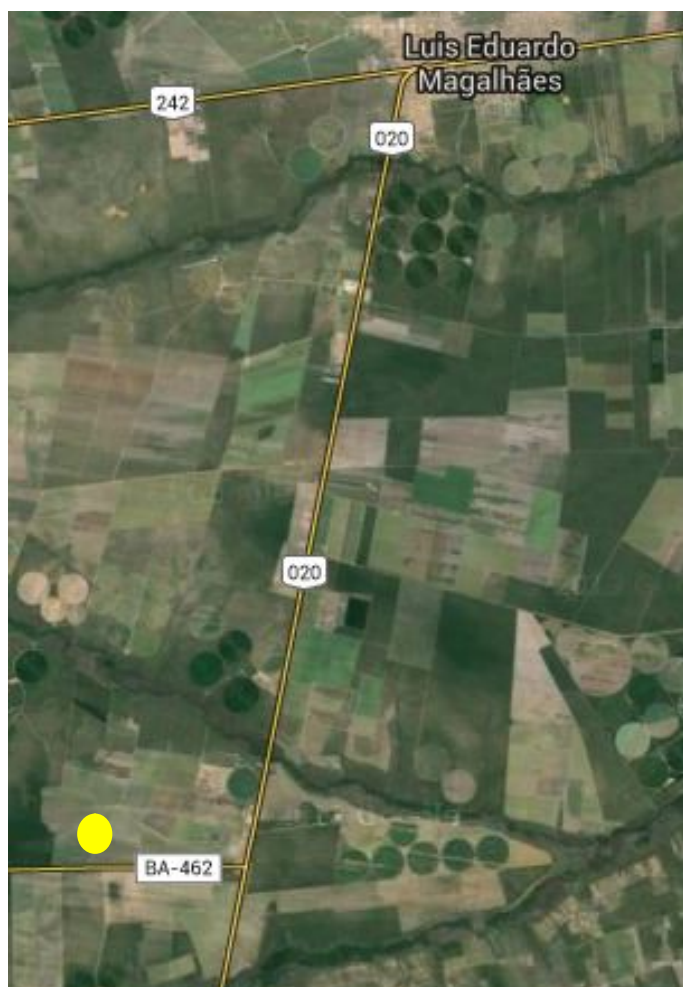
para a medição simultânea dos fluxos de  $N_2O$  e  $NH_3$  após aplicação de fertilizantes nitrogenados, com sensibilidade de 1,0 ppb. Vantagens destes métodos são as medições automatizadas, em intervalos de tempo curtos, além de não causar perturbação do solo no local do experimento. Maiores fluxos de  $N-N_2O$  e  $N-NH_3^-$  tendem a ocorrer no período diurno, em decorrência da elevação da temperatura ambiente, com ápice próximo as 12h00min.

Apesar de métodos mais automatizados estarem disponíveis para medição de  $N_2O$ , os mesmos ainda possuem um investimento elevado e em alguns casos podem ser aplicados apenas em grandes áreas. Assim, os métodos de câmaras estáticas são alternativas relativamente mais baratas e permitem aferições com considerável precisão e exatidão, e em experimentos agrônômicos são úteis para avaliação de diferentes parâmetros que exigem um grande número de tratamentos e repetições, como fontes de Nitrogênio ou de sistemas de manejo do solo e planta. No entanto é necessário contar com uma equipe treinada na utilização dos materiais envolvidos na coleta. Alves et al. (2012) relata que para aferição dos fluxos médios diários de  $N-N_2O$  no sistema de câmaras estáticas recomenda-se realizar a amostragem de manhã (9:00 e 10:00) ou a noite (21:00 e 22:00). No entanto o período matutino pode ser mais adequado devido condições práticas da campanha experimental.

## **10. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **10.1. Caracterização da Área experimental**

O experimento foi conduzido no município de Luís Eduardo Magalhães, BA, coordenadas  $12^{\circ}05' 31''$  S e  $45^{\circ}48' 18''$  W e 778 m de altitude. Município localizado no extremo oeste Baiano, caracterizada por possuir alta aptidão para grandes cultivos. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, com relevo suave a plano, intrínsecos do bioma de cerrado regional (Figura 30).



**Figura 30:** Área experimental, município de Luís Eduardo Magalhães localidade Novo Paraná, Bahia, Brasil. O círculo amarelo representa o local do experimento.

## 10.2. Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, sendo testadas quatro fontes de fertilizantes nitrogenados, duas doses ( $0 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $200 \text{ kg ha}^{-1}$ ) em quatro blocos experimentais, caracterizado assim como sistema fatorial  $4 \times 2 \times 4$ . Os fertilizantes avaliados foram Ureia Pastilhada Pura (44,9% N); Ureia Pastilhada com 7 % de S (100 % Sulfato de Amônio) (37,2 % N); Ureia Pastilhada com 7 % S (100 %  $S_{\text{elementar}}$ ) (44,3 % N) e Ureia Pastilhada com 7 % S (100 % de Sulfato de Amônio) e Zn (35 % N).

A tecnologia de pastilhamento de fertilizantes consiste em aumentar o tamanho de seu grânulo de 1,6 mm para 3,0 mm, cuja finalidade retardar a ação da uréase, devido menor área de contato do grânulo com o solo e maior resistência física. Além disto, o aumento do grânulo possibilita a produção de formulações de fertilizantes mistos, ou

seja, compostos contendo diversos nutrientes. A principal vantagem da tecnologia supracitada condiz na possibilidade da produção de formulações especiais contendo diversas fontes nutricionais, como sulfato de amônio, cloreto de potássio, óxido de zinco, enxofre e outros e, busca atender as necessidades específicas da cultura em questão.

Outras vantagens do pastilhamento são, maior uniformidade no tamanho das partículas, maior resistência à quebra, menor emissão de pó durante o seu manuseio, não requer normalmente a adição de formaldeído durante a sua produção para melhoria da resistência mecânica. Em relação aos aspectos ambientais, a demanda energética do pastilhamento é menor, além de reduzir as emissões de material particulado e amônia, devido menor ação da enzima uréase no solo.

Cada unidade experimental foi constituída de seis linhas de plantio, com espaçamento de 0,76 metros entre plantas e 6 metros de comprimento, o que totaliza 27,4 m<sup>2</sup> de área por parcela. Sendo o experimento demarcado após plantio mecanizado.

### **10.3. Medidas meteorológicas**

Vide capítulo I.

Medidas meteorológicas pg.20

### **10.4. Caracterização química e físico-hídrica do solo**

Idem capítulo I.

Caracterização química e físico-hídrica do solo

### **10.5. Práticas culturais**

Vide capítulo I. Práticas culturais

### **10.6. Fertilização Nitrogenada**

As aplicações dos fertilizantes nitrogenados testados foram realizadas em cobertura de forma manual, 40 dias após o plantio (DAP), o qual foi realizado dia 30/11/2014.



Foram realizadas em complemento a adubação de cobertura, conforme manejo da fazenda, 3 aplicações foliares de produtos com nitrogênio em sua formulação, sendo todas realizadas na forma líquida, com o pulverizador STARA 2000. A primeira aplicação foi dia 23/02 na forma de ureia, dose 3,0 kg ha<sup>-1</sup> e nitrato, dose 0,75 kg ha<sup>-1</sup>. A segunda foi observada dia 13/03 na forma de Macrofol NP 1030 na dose de 1,5 L ha<sup>-1</sup>, consorciada a Glutamin Extra (1,5 L ha<sup>-1</sup>) e Manganês (1,5 L ha<sup>-1</sup>).

O fertilizante foliar Macrofol, cuja forma de solução verdadeira, contém os nutrientes Nitrogênio (8%N) e Fósforo (23,0% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Devido a seu pH ácido, pode ser utilizado também para reduzir o pH das caldas. Glutamin Extra é um fertilizante foliar, na forma de suspensão homogênea, contendo uma relação balanceada de macros e micronutrientes, associados ao aminoácido Ácido L-Glutâmico, obtido através de fermentação biológica. O Ácido L-Glutâmico participa no processo de assimilação do Nitrogênio, acarretando em maior produção de clorofila e conseqüentemente, energia disponível às plantas (MICROQUÍMICA).

A terceira aplicação foliar foi observada dia 14/04 cujo composto da calda era constituído de Ager Magnésio (8% Mg e 0,1 % Mn) dose 1,0 l ha<sup>-1</sup>, Macrofol, dose 1,0 l ha<sup>-1</sup>, Glutamin Extra, 1,0 l ha<sup>-1</sup> e Glutamin K-Libre, 1,5 l ha<sup>-1</sup>. Glutamin K-Libre é um fertilizante foliar, de pH neutro, contendo Potássio, associado ao aminoácido Ácido L-Glutâmico, obtido através de fermentação biológica (marca MICROQUÍMICA).

### **10.7. Determinação da biomassa e Produção**

As avaliações no crescimento do algodão foram realizadas através de coleta de biomassa vegetal na antese, sendo colhidas quatro plantas por parcela experimental para posterior secagem em estufa e pesagem do material.

Para estimativa da produção de algodão em caroço (g planta<sup>-1</sup>) foram colhidos 3 metros lineares das duas linhas centrais de cada parcela e realizada a contagem do número de plantas colhidas. A produtividade (kg ha<sup>-1</sup>) de algodão em caroço (pluma + semente) foi estimada através do produto entre a produção (g planta<sup>-1</sup>) pela população de plantas, estimada a partir do número de plantas colhidas nos 6 metros lineares de área útil de cada parcela experimental. A colheita foi realizada dia 30/07/2015 nos 244 DAP, de forma manual. As linhas centrais foram colhidas de forma que todos os capulhos foram retirados, ensacados e encaminhados para posterior pesagem com balança de precisão.

Foram coletados 30 capulhos por parcela do terço médio de plantas, posicionadas nas 2 linhas laterais, para posterior descaroçamento e então avaliação de rendimento de pluma. Por conseguinte, através da relação relativa entre a quantidade de pluma e sementes, foi estimada a produtividade de pluma de algodão ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

#### **10.8. Análise de nitrato e amônio do solo**

Foram coletas amostras deformadas de terra de 0-10cm para aferição de teores de nitrato e amônio no solo, com frequência semanal durante a maior parte do experimento, passando então para quinzenal nas coletas finais.

Os teores de N-Mineral no solo foram quantificados através de espectrometria de UV. As faixas de detecção consideradas para o  $\text{NO}_3^-$  foram de 220-275 nm. Para a determinação do  $\text{NH}_4^+$  foi utilizado o procedimento de hipoclorito-salicilato.

Desta mesma amostra fora retirada uma alíquota de 10 mL para aferição dos teores de umidade no solo. Ao final do experimento foram coletadas amostras para a determinação da densidade do solo nas parcelas experimentais, a porosidade do solo foi estimada adotando o valor de  $2,68 \text{ kg dm}^{-3}$  (KIEHL, 1979). Os espaços porosos saturados por água foram calculados com base nos valores de umidade no solo, densidade real e densidade das partículas do solo (JANTALIA, et al. 2008).

#### **10.9. Coletas Óxido Nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ )**

As emissões de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) foram quantificadas de forma manual em todos tratamentos testados. Para avaliar tais emissões foi utilizada uma câmara estática fechada por parcela, posicionada entre as linhas de plantio do algodão.

O sistema de câmaras utilizado é composto por uma base metálica de 40x60cm de diâmetro e 7,5 cm de altura, produzida com calhas, de maneira a servir de encaixe para a parte superior da câmara e preenchimento com água para melhor vedação do sistema, a qual fica inserida no solo até a calha, a qual foi preenchida com água no momento das coletas, para mitigar as perdas indevidas.

A parte superior é constituída de uma bandeja plástica de 12 cm de altura, revestidas com manta asfáltica e espumas, visando maior albedo e menores flutuações térmicas, respectivamente. As bandejas forma equipadas com válvulas 'luer lock' posicionadas no centro da câmara para a retirada das amostras de gás. No interior da bandeja a saída de ar foi dividida em quatro pontos, de forma que a amostra represente ao máximo o ambiente de amostragem.

A amostragem foi realizada diariamente após a aplicação dos fertilizantes nitrogenados em cobertura por 15 dias. Após o período inicial, as amostragens passaram a ser realizadas três vezes por semana, por mais 45 dias, passando para semanal e quinzenal com o decorrer do experimento. A exceção ocorreu em períodos com elevados índices pluviométricos, quando as amostragens foram feitas todos os dias até 3 dias após a chuva.

As coletas de óxido nitroso foram amostradas preferencialmente no horário da manhã, entre as 9:00 e 10:00 horas para a determinação da concentração inicial de N<sub>2</sub>O do ar, considerado o tempo zero, e após 20 e 40 minutos. A amostragem de ar do interior das câmaras foi realizada com seringas graduadas, equipadas com válvulas “luer lock” sendo as amostras transferidas posteriormente para frascos de vidro (20 ml) lacrados com borracha butírica presas com lacres de alumínio, utilizados para o acondicionamento e sequencial análise cromatográfica.

Com as seringas graduadas foi coletado cerca de 50 ml de ar acumulado por amostragem. A retirada do ar e de possíveis impurezas presente no interior dos frascos de vidro foi garantida através de uma bomba de vácuo manual, sendo a transferência realizada após pressão negativa de 80 kPa. Em cada dia de coleta foi determinada a temperatura do ar e do solo no início e no final das coletas.

A análise da concentração de N<sub>2</sub>O foi realizada através de um cromatógrafo a gás equipado com um detector de captura de elétrons (ECD) e um sistema de “back-flush” (JANTALIA et al., 2012). Antes de cada conjunto de análises, foram injetados padrões para o cálculo das concentrações de N<sub>2</sub>O. Os padrões utilizados foram de 352 ppb, 800 ppb e 1200 ppb (ou 10000 ppb) de N<sub>2</sub>O.

Os fluxos de N<sub>2</sub>O se baseiam na diferença entre a concentração inicial e final de cada período de incubação, sendo calculados pela equação  $FN_2O = dC/dt (V/A)M/Vm$ , onde  $dC/dt$  é a mudança de concentração de N<sub>2</sub>O na câmara no intervalo de incubação;  $V$  e  $A$  correspondem ao volume da câmara e a área de solo coberta pela câmara, respectivamente;  $M$  é o peso molecular de N<sub>2</sub>O e  $Vm$  o volume molecular na temperatura de amostragem. Sendo os fluxos expressos em  $\mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ . Após o cálculo dos fluxos, foram estimadas as emissões para o período de dias avaliados.

O fator de emissão (FE) para as perdas de N-N<sub>2</sub>O durante o ciclo de crescimento da cultura foi calculado através da seguinte fórmula:

$$FE = \frac{\sum N_2O - N_{fonte} - \sum N_2O - N_{testemunha}}{Taxa\ de\ aplicação\ N_{fonte}} \times 100 \quad (28)$$

Em que,  $N-N_2O_{fonte}$  representa o total das emissões do fertilizante analisado;  $N-N_2O_{testemunha}$  é a emissão do tratamento sem fertilização nitrogenada; quantidade aplicada de  $N_{fonte}$  representa a taxa de aplicação do fertilizante em questão; EF para o  $NH_3$  foi calculado de forma semelhante.

#### 10.10. Coleta da Amônia ( $NH_3^-$ ) volatilizada

As perdas de amônia ( $N-NH_3^-$ ) por volatilização foram quantificadas na linha de cultivo, ou seja, entre duas plantas de algodão posicionadas na mesma linha e entre as linhas de plantio, abrangendo 0,008 m<sup>2</sup> de superfície. O sistema adotado foi o SALE, amplamente discutido por Araújo et al (2009).

A câmara em questão foi confeccionada a partir de uma garrafa PET de 2 litros, sendo seu fundo retirado e utilizado como cobertura, formando uma espécie de campânula, que impede a contaminação da amostra com água da chuva e impurezas. No interior da garrafa um arame foi posicionado de maneira a funcionar como suporte para o pote plástico de 80 mL, utilizado para o acondicionamento da amostra e para suporte da espuma de poliuretano usada para trapear o nitrogênio volatilizado. A espuma de 1,0 mm de espessura, 2,5 cm de largura e 25 cm de comprimento fora previamente banhado com solução de 20 mL de  $H_2SO_4$  1 mol L<sup>-1</sup> + glicerina 2% (v/v).

As amostras de  $N-NH_3^-$  volatilizado foram coletadas em intervalos de 24 horas do 1° ao 6° dia após a adubação (6 coletas), 48 horas do 6° ao 10° dia após a adubação (2 coletas), 72 horas até 13° dia, 120 horas até 18° dia, encerrando-se as coletas ao 24° dia após a adubação, 144 horas após a penúltima coleta (18 DAF). O posicionamento das câmaras foi alterado a cada coleta.

A análise da amônia volatilizada e capturada pelas lâminas de espuma foi realizada segundo Araújo et al., (2009). Transferiu-se a espuma com a solução ácida remanescente no frasco de 80 mL para um erlenmeyer de 250 mL, onde se adiciona 50 mL de água destilada. O erlenmeyer com a solução diluída foi agitado a 250 RPM por 15 minutos em agitador horizontal. Após a agitação, uma alíquota de 5 mL foi transferida para tubo de digestão, sendo destilada em sistema semi-micro Kjeldhal e titulada com ácido sulfúrico 0,015 N.

Uma alíquota de 10 mL da solução foi usada para análise de  $\text{NH}_4^+$  através do método de destilação a vapor (KEENEY E NELSON, 1982). O montante de N recuperado nesta análise foi multiplicado pelo fator de eficiência das câmaras (1,47), sendo este, calibrado com a técnica de 15N (JANTALIA et al., 2012).

#### **10.11. Análises estatísticas**

Os dados de biomassa e produção foram submetidos à análise de variância e caso diferenciem-se entre si, fora aplicado o teste Tukey em nível de 5% de probabilidade para o fator qualitativo (fertilizante) utilizando o programa estatístico SISVAR 5.6.

Para os dados de crescimento, produção e produtividade a medida de dispersão utilizada foi o desvio padrão. No entanto os valores de nitrato, amônio, óxido nitroso e amônia, são acompanhados dos respectivos valores de erro padrão da média, sendo este, obtido através da razão entre o desvio padrão pela raiz quadrada do número de amostras.

## 11. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 11.1. Biomassa e produção de algodão

A maior biomassa observada na antese foi encontrada no tratamento UPSAeZn, seguido de UPSA, UP, UPS e T, o incremento relativo dos fertilizantes em relação à T foi de 39,5; 36,0; 29,0 e 17,3 %, respectivamente (Tabela 14).

**Tabela 14:** Biomassa aérea total de plantas de algodão para os tratamentos avaliados, na antese.

Tratamento	Biomassa antese (g 4 plantas <sup>-1</sup> )	CV %
T	18,1a	20.4
UPSAeZn	29,9a	46.5
UPS	21,9a	4.6
UPSA	28,3a	33.4
UPP	25,5a	20.9

Tukey p>0,05

A maior produção de algodão em caroço foi observada no tratamento UPP, com aproximadamente 94,0 ( $\pm$  22,0) g de capulho por planta, seguido pela UPSA com 85,0 ( $\pm$  9,8), UPS com 83,9 ( $\pm$  6,9), UPSAeZn com 78,6 ( $\pm$  22,3) e T cuja produção foi de 76,6 ( $\pm$  9,2) g por planta (Tabela 15), o que em valores relativos representou incremento de 18,5 (UPP); 9,9 (UPSA); 8,7 (UPS) e 2,5 (UPSAeZn) % aos fertilizantes em relação à T, o fertilizante de maior produção (UPP) incrementou em 16,4 % a produção de algodão em caroço em relação ao de menor (UPSAeZn). No entanto, a análise de variância não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 14).

A produtividade foi estimada através do produto dos valores de produção pela população de plantas observada para cada parcela experimental, extrapolada para hectares. O tratamento UPSA com 6514,2 ( $\pm$  396,1) foi o que apresentou maior produtividade, seguido de UPP com 5664,5 ( $\pm$  338,1), UPS com 5584,4 ( $\pm$  382,6), UPSAeZn com 5551,0 ( $\pm$  663,7) e T com 5065,8 ( $\pm$  323,1) kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 15), cujas produtividades representaram aos respectivos fertilizantes incremento relativo de algodão em caroço de 22,3; 10,6; 9,3 e 8,7 % em relação ao tratamento T, o fertilizante de maior produtividade (UPSA) apresentou incremento de 14,8 % em relação ao de

menor (UPSAeZn). De acordo com dos Santos et al. (2008) a elevada produção do tratamento testemunha pode indicar possíveis reduções nas doses deste fertilizante a ser aplicado visando equilíbrio econômico, em tal estudo a dose de 120 kg N há<sup>-1</sup> foi a recomendada, atingindo produtividades acima de 4500 kg ha<sup>-1</sup>.

A análise estatística (Tabela 15) apresentou diferenças significativas entre os tratamentos para a variável produtividade, sendo o fertilizante UPSA o de maior produtividade estimada e estatisticamente diferenciado dos demais. O coeficiente de variação foi de 7,57 % e média geral de todos os tratamentos de 5676 kg ha<sup>-1</sup>. A análise completa está disponível nos anexos.

**Tabela 15:** Análise de variância para produtividade de algodão em caroço nos tratamentos avaliados e densidade de plantas. Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tratamento	Produção (g planta <sup>-1</sup> )	CV %	População (plantas ha <sup>-1</sup> )	CV %	Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )	CV %
T	76.6a	9.2	66886a	14.5	5065,8b	6.4
UPSAeZn	78.6a	22.3	72917a	15.8	5551,0 b	11.4
UPS	83.9a	6.9	66886a	9.8	5584,4 ab	6.9
UPP	94.0a	22.0	61952a	16.2	5664,5 ab	6.0
UPSA	85.0a	9.9	77303a	11.2	6514,2 a	6.1
<b>Tukey (p&gt;0,05)</b>						

As diferenças entre os resultados de produção e produtividade podem estar relacionadas ao diferente stand de plantas observado na colheita, em que os maiores valores também foram observados no tratamento UPSA, aproximadamente 20% a mais do que o tratamento UPP, o qual foi observado a maior produção.

De acordo com Ferrari et al. (2008), maior espaçamento entre plantas tende a responder em maior quantidade de ramos reprodutivos, massa de 20 capulhos e 55 % mais capulhos por planta em comparação a sistemas mais adensados de cultivo, justificado pela maior competição por luz e nutrientes (FERRARI et al., 2008).

O tratamento UPSA (77302,6 plantas há<sup>-1</sup>) apresentou cerca de 20 % a mais do que o tratamento de maior produção, a UPP (61951,7 plantas há<sup>-1</sup>), vide Tabela 15, o que se aparenta como determinante para maiores produtividades, não sendo superado pelo incremento produtivo da menor competição por luz e nutrientes. Ressalva que estas

variações estão relacionadas a falhas no plantio e intempéries no decorrer do ciclo, não de espaçamentos previamente estipulados. Os outros tratamentos apresentaram população de plantas, amostradas experimentalmente no momento da colheita de 72916,7 plantas ha<sup>-1</sup> (UPSAeZn) e 66886,0 plantas ha<sup>-1</sup> (UPS e T). No entanto a análise variância não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos quanto à densidade de plantas. O coeficiente de variação foi de 13,6 % e média geral de todos os tratamentos de 69188,59 kg ha<sup>-1</sup>.

No entanto, Brodrick et al. (2012) avaliando o efeito de diferentes densidades de plantio em sistemas de cultivo de algodão de alto rendimento, observou que em espaçamento 75 % menor do que o usual na Austrália (100 cm entre linhas), apesar de apresentar maior acúmulo de biomassa no início do ciclo não incrementou a biomassa final, sendo significativamente menor do que no espaçamento convencional. O que caracteriza como fatores determinantes do processo de acúmulo de biomassa a disponibilidade de água e nitrogênio, uma vez que estes montantes foram iguais para ambos os espaçamentos.

Outra variável de produtividade observada foi o peso de 30 capulhos, cuja finalidade o posterior descarocamento e avaliação de rendimento de pluma e peso de sementes. Os pesos totais (g 30 capulhos<sup>-1</sup>) observados variaram entre 190,9 ± 8,4 (UPSAeZn) e 177,5 ± 18,3 (T), vide Tabela 16, o que representou incremento aos fertilizantes de 7,0 (UPSAeZn); 6,6 (UPP); 5,1 (UPSA); e 4,9 (UPS), entre os fertilizantes o de maior (UPSAeZn) incrementou 2,2 % em relação ao de menor (UPS) peso de 30 capulhos.

As médias de peso pluma (g 30 capulhos<sup>-1</sup>) oscilaram entre 84,0 ± 5,3 (UPSAeZn) e também UPP e 77,0 ± 8,0 (T) (Tabela 16). O incremento relativo em peso de pluma (g 30 capulhos<sup>-1</sup>) dos fertilizantes foi de 8,3 (UPSAeZn e UPP); 6,2 (UPS) e 6,0 (UPSA) % em relação à T. (Tabela 13), os fertilizantes de maior (UPSAeZn e UPP) peso de pluma foram em 2,5 % superiores ao de menor (UPSA)

As médias de peso de sementes de algodão variaram entre 106,6 ± 3,4 (UPSAeZn) e 100,5 ± 10,4 (T), o incremento relativo aos fertilizantes em relação a Testemunha foi de 6,0 (UPSAeZn); 5,4 (UPP); 4,5 (UPSA) e 3,8 (UPS) %, entre os fertilizantes o de maior (UPSAeZn) peso de sementes foi superior em 2,2 % quanto ao de menor (UPS) peso de sementes. No entanto, a análise de variância não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos para as variáveis, peso de 30 capulhos, peso de pluma e peso de sementes.



Portanto, o maior rendimento de pluma foi observado no do tratamento U.P. Pura, correspondendo a 44,2 % de seu peso total, seguido de UPSAeZn e UPS, com 44,0 %, UPSA com 43,8 % e da T com e 43,4 % de pluma. A maior proporção de peso de sementes foi observada no tratamento Testemunha, cujo corresponde a 56,6 % do peso total de 30 capulhos, que representou aumento de 1,4 (UPP); 1,1 (UPSAeZn e UPS) e 0,7 (UPSA) % em relação aos fertilizantes. Dai et al (2015) observou rendimento de pluma aproximadamente 42,6 % em cultivares de alto rendimento, sob irrigação, na China. Ferreira et al. (2010) relatou rendimento de fibras médio de fibra de 41,9 ( $\pm 0,2$ ) %, em experimento avaliando influencias de diferentes culturas de cobertura antecessoras ao cultivo de algodão no cerrado goiano.

A produtividade de pluma de algodão foi estimada a partir do produto entre a produtividade de algodão em caroço pela proporção de fibra observada em cada tratamento. Maiores médias de produtividade de pluma, porém não significativas (Tukey  $p > 0,05$ ) foram observadas no fertilizante UPSA ( $2851,7 \pm 173,4$ ), seguido de UPP ( $2501,6 \pm 149,3$ ), UPS ( $2456,7 \pm 168,3$ ), UPSAeZn ( $2441,6 \pm 278,7$ ) e T ( $2197,0 \pm 140,1$ ), vide Tabela 16. O incremento relativo dos respectivos fertilizantes para com o tratamento Testemunha foi de 23,0 (UPSA); 12,2 (UPP); 10,6 (UPS) e 10,0 (UPSAeZn) %, entre os fertilizantes o de maior (UPSA) produtividade de algodão em pluma foi superior em 14,4 % em relação ao de menor (UPSAeZn).

**Tabela 16:** Peso médio de 30 capulhos (P30), rendimento médio de pluma e peso médio de caroços de algodão dos tratamentos avaliados. Médias seguidas de letras distintas, minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Números entre parênteses acompanhando as médias são os respectivos desvios padrões. Letras diminutas distintas representam variações estatísticas entre os tratamentos.

<b>Tratamento</b>	<b>Médias P30 (g)</b>	<b>Médias Pluma (g)</b>	<b>Médias Caroço (g)</b>	<b>Produtividade pluma (kg ha-1)</b>	<b>CV %</b>
T	177,5 (18,3)a	77.0 (8.0)a	100.5 (10,4)a	2197.0a	6.4
UPS AeZn	190,9 (8,4)a	84,0 (5,3)a	106.9 (3,4)a	2441.6ab	11.4
UPS	186,6 (10,1)a	82,1 (5,8)a	104.5 (4,3)a	2456.7ab	6.9
UPP	190,1 (1,5)a	84,0 (1,2)a	10.6 (0,4)a	2501.6ab	6,0
UPSA	187,1 (3,6)a	81,9 (3,1)a	105.2 (1,4)a	2851.7b	6.1

Tukey (p>0,05)

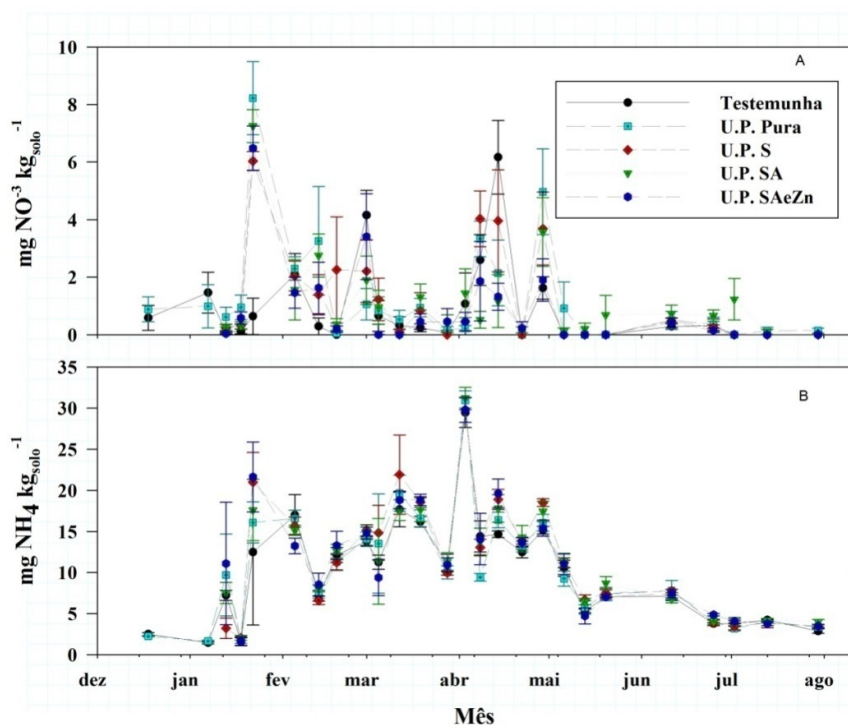
Alves et al. (2006), relatou produtividade de algodão em fibra de 2471 kg há<sup>-1</sup>, em experimento avaliando balanço de nitrogênio utilizando-se de técnica de diluição isotópica. O algodão foi cultivado em sucessão a soja, a adubação nitrogenada (Sulfato de amônio) foi realizada em cobertura, na dose de 115 kg há<sup>-1</sup>. No entanto Mao et al. (2014), avaliando rendimento de fibra em algodão submetido a altas doses de nitrogênio (225 kg ha<sup>-1</sup>) em solo franco arenoso, sob condições irrigadas, na densidade de 6 plantas m<sup>-2</sup>, oscilando entre 1000 e 1600 kg ha<sup>-1</sup>, na densidade de 7,5 plantas ha<sup>-1</sup>, a produtividade de fibras oscilou entre 1100 e 1650 kg ha<sup>-1</sup>, tal aumento em relação a densidade de plantas representou incremento de 9,1 e 3,0 % em relação aos valores mínimos e máximos, respectivamente.

A produtividade de sementes variou entre 2868,8 ± 183,0 (T) e 36662,6 ± 355,0 (UPSA), o que representou em incremento de 21,7 (UPSA), 9,3 (UPP), 8,3 (UPS) e 7,7 (UPS AeZn) % aos fertilizantes em relação a Testemunha (T). O fertilizante de maior produtividade de sementes (UPSA) representou incremento de 15,1 % em relação ao de menor (UPS AeZn).

O rendimento de sementes relatado por Ducamp et al. (2012) em experimento conduzido no estado do Mississippi (EUA), avaliando doses de nitrogênio na cultura do algodão e efeito de resíduos culturais de centeio oscilou entre 1742 e 3800 kg há<sup>-1</sup>, sendo o maior valor observado na dose de 140 kg N há<sup>-1</sup>.

## 11.2. Teores no solo de Nitrato ( $\text{NO}_3$ ) e Amônio ( $\text{NH}_4$ )

O teor médio de nitrato amostrado no período anterior a fertilização foi de  $0,8 \pm 0,2 \text{ mg NO}_3^- \text{ kg}_{\text{solo}}^{-1}$ . No período que compreendeu a fertilização até os 34 DAF os teores médios foram de  $3,1 \pm 1,4$  (UPP),  $2,4 \pm 1,3$  (UPSA),  $2,0 \pm 1,1$  (UPS e UPSAeZn) e  $0,6 \pm 0,4$  (T)  $\text{mg NO}_3^- \text{ kg}_{\text{solo}}^{-1}$ , o que representou aos respectivos fertilizantes incremento de 74,2, 66,7, 60,0 % em relação aos teores observados antes da fertilização e incremento de 80,6, 75,0 e 70 % nos respectivos teores de nitrato no período da fertilização até os 34 DAF em relação à Testemunha (Figura 31).



**Figura 31:** Teores de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) do solo (A) e teores de amônio ( $\text{NH}_4$ ) (B) em cultivo de algodão submetido a diferentes fertilizantes pastilhados sob SPD, Safra 2014/2015. As barras nos gráficos representam o erro padrão da média.

Dois dias antes da fertilização nitrogenada (09/01/2014), a qual foi realizada aos 40 DAP (Dias Após o Plantio), o teor médio de nitrato no solo foi de  $1,2 (\pm 0,7) \text{ mg kg}_{\text{solo}}^{-1}$ , coincidindo com o evento de 1,8 mm de precipitação deste dia (Figura 31). O maior pico nos teores de nitrato no solo de todos os fertilizantes ocorreu aos 12 DAF (Dias Após a Fertilização), sendo o maior de  $8,2 (\pm 1,3) \text{ mg kg}_{\text{solo}}^{-1}$ , observado no fertilizante UPP, superior em 12,2 (UPSA); 20,7 (UPSAeZn) e 26,9 (UPS) % dos demais fertilizantes. Neste dia também foi observado evento chuvoso de 13,4 mm, o

que, aliado a disponibilidade do nutriente no solo, pode ter acarretado esta tendência de elevação em tais teores. Dinâmicas distintas podem ser observadas nesta data para os fertilizantes nitrogenados em contrapartida a Testemunha, a qual não respondeu a este pico nas concentrações de  $\text{NO}_3^-$ .

Teores máximos de  $20 \text{ mg N-NO}_3 \text{ kg}_{\text{solo}}^{-1}$  aos 21 Dias Após a Fertilização (DAF) foram observados em ensaio com ureia perolada e sulfato de amônio (MARTINS, 2015), que, possivelmente ocorreram com este atraso devido baixa disponibilidade de água após a fertilização nitrogenada.

Outra tendência de aumento nos teores de  $\text{NO}_3^-$ , no entanto, de magnitude 51,2 % inferior ao primeiro pico previamente reportado ( $8,2 \pm 1,3$ ), foi observado no dia 01/03 (51 DAF)(Figura 31), qual talvez seja em função do manejo da fazenda, em que foi aplicado fertilizante foliar na forma de Ureia e Nitrato (23/02 (45 DAF)), em conjunto com os 25 mm de chuva do dia anterior, o diferencial deste aumento refere-se devido ele ser observado em maior concentração no tratamento T ( $4,2 \pm 0,9$ ), o qual representou incremento relativo nos teores de nitrato amostrados em 84,0; 54,8; 47,6 e 19 % em contrapartida aos fertilizantes UPP, ( $1,1 \pm 0,5$ ) UPSA ( $1,9 \pm 0,8$ ); UPS ( $2,2 \pm 1,1$ ) e UPSAeZn ( $3,4 \pm 1,5 \text{ mg NO}_3^- \text{ kg}_{\text{solo}}^{-1}$ ), respectivamente. Outro leve pico no mês de março, foi observado dia 19/03 (69 DAF) devido provavelmente aos mais de 60 mm de chuva registradas no dia e no dia anterior, bem como a aplicação do fertilizante foliar Macrofol e Glutamin, ambos na dose de  $1,5 \text{ L ha}^{-1}$ , o indicativo de influência da aplicação foliar nos teores observados de nitrato é devido a elevação verificada no tratamento Testemunha, o qual foi superior aos demais tratamentos, mas no entanto, devido a baixa dosagem de aplicação provavelmente não acarretaria em tais aumentos, o que pode ter ocorrido principalmente em função da elevada umidade do solo.

Outros três picos nos teores de  $\text{N-NO}_3^-$  consideráveis foram observados no mês de abril nos dias 08/04 (89 DAF), 14/04 (95 DAF) e 29/04 (110 DAF). Sendo que, o primeiro (89 DAF) ocorreu possivelmente em decorrência de elevados índices de precipitação pluviométrica nos dois dias anteriores (53,6 mm), o segundo (95 DAF) foi caracterizado pela segunda dose ( $1,0 \text{ l ha}^{-1}$ ) de Macrofol e Glutamin Extra e Glutamin K-Libre, aliado a 10,6 mm de chuva e o terceiro pico (110 DAF) possivelmente, em decorrência da elevada umidade do solo, ocasionada pelo acúmulo de 46,2 mm de chuvas, distribuídos nos seis dias anteriores à observação e ao remanescente nitrogênio do solo. Em tal mês os teores médios foram de  $2,9 \pm 1,0$  (UPS);  $2,6 \pm 1,0$  (UPP);  $2,6 \pm 1,3$  (T);  $1,4 \pm 0,8$  (UPSA) e  $1,3 \pm 0,4$  (UPSAeZn)  $\text{mg NO}_3^- \text{ kg}_{\text{solo}}^{-1}$ .

Importante observar na dinâmica de concentrações de nitrato nas parcelas Testemunhas, que a mesma se mantém predominantemente inferior aos demais tratamentos, até a primeira fertilização foliar (45 DAF), onde as parcelas sem nitrogênio responderam mais do que as demais na disponibilidade de  $\text{NO}_3\text{-N}$ , retornando gradativamente ao limite inferior até a terceira fertilização foliar (89 DAF), onde ocorreu um novo ápice, após estes eventos. Com o adentro do mês de maio até o final do ciclo de cultivo (30/07), os teores de nitrato demonstraram decréscimo gradativo, cujas concentrações médias de  $0,47 \pm 0,15$  (UPSA);  $0,26 \pm 0,11$  (UPP);  $0,09 \pm 0,06$  (UPS);  $0,08 \pm 0,05$  (T) e  $0,07 \pm 0,05$  (UPSAeZn)  $\text{mg NO}^{-3} \text{ kg solo}^{-1}$ , provavelmente decorrente da diminuição da disponibilidade de nitrogênio no solo, aliada aos baixos teores de umidade no solo.

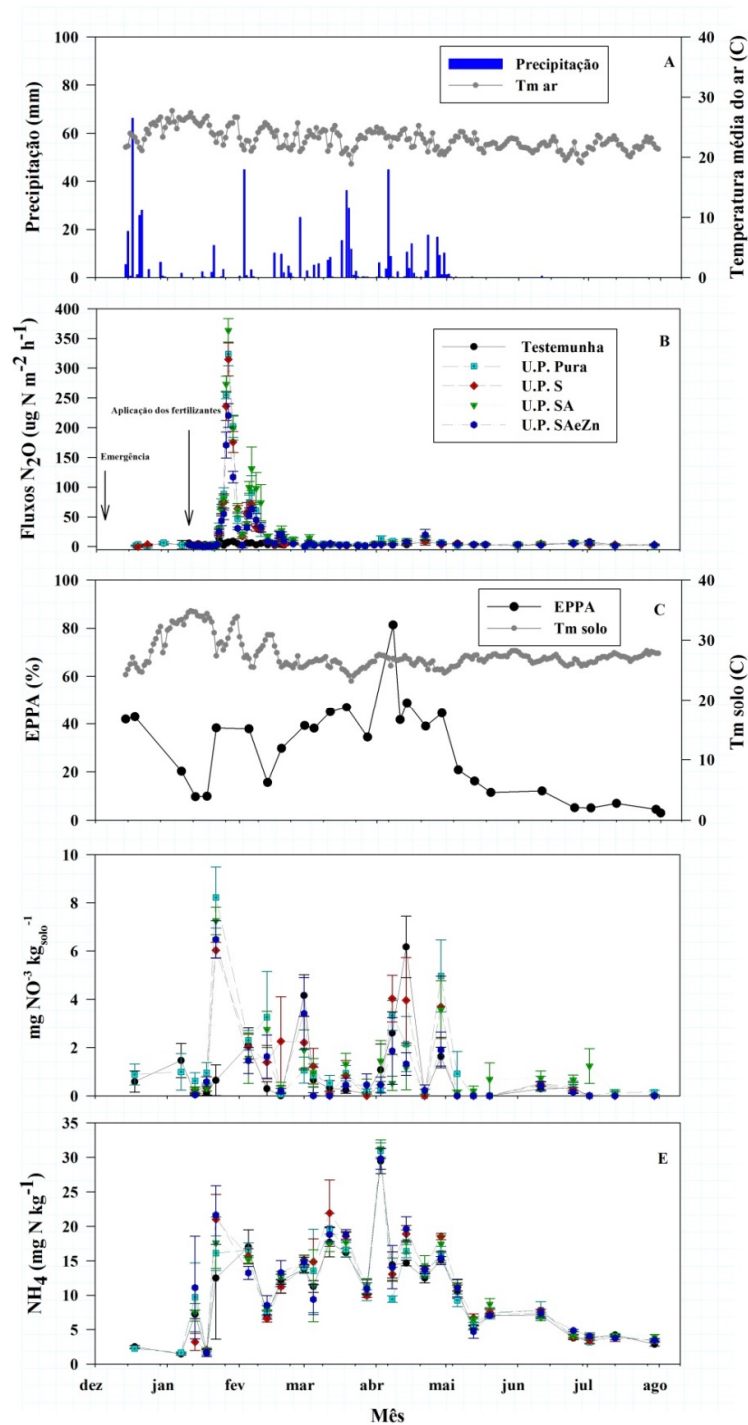
Os teores médios de nitrato amostrados durante todo o período experimental foi de  $1,32 \pm 0,40$  (UPP);  $1,15 \pm 0,32$  (UPSA);  $1,23 \pm 0,347$  (UPS);  $0,88 \pm 0,30$  (UPSAeZn) e  $0,86 \pm 0,31$  (T)  $\text{mg NO}^{-3} \text{ kg solo}^{-1}$ , o que representou incremento nas concentrações médias relativas de 34,9; 25,2; 30,1 e 2,3 % aos respectivos fertilizantes em relação ao tratamento T, devido provavelmente a maior disponibilidade de N mineral oriunda da aplicação dos fertilizantes nitrogenados.

Os maiores picos nos teores de  $\text{N-NH}_4$  na camada de 0-10 cm do solo foram observados no dia 03/04 (84 DAF) com valores entre  $31,2 \pm 1,1$  (UPP) e  $29,4 \pm 1,8$  (T)  $\text{mg NO}^{-3} \text{ kg solo}^{-1}$ , outras tendências de elevação nas concentrações de amônio no solo foram observadas nos dias 22/01 (13 DAF), a qual variou entre  $21,6 \pm 4,2$  (UPSAeZn) e  $12,5 \pm 8,9$  (T), o que representou aos fertilizantes incremento relativo de 42,1 (UPSAeZn); 40,5 (UPS); 29,0 (UPSA) e 22,3 (UPP); 12/03, em relação a Testemunha (T), dentre os fertilizantes o de maior pico (UPSAeZn) representou incremento de 47 % em relação ao de menor (UPP), outros ápices puderam ser observados nos dias 12/03 (62 DAF), 14/04 (95 DAF) e 29/04 (110 DAF), sendo que, estes dois últimos (95 e 110 DAF) coincidem com ápices observados nos teores de nitrato no solo, conforme Figura.

Valores semelhantes foram relatados por Martins et al. (2015), cujo pico nos teores de  $\text{N-NH}_4$  no solo nas parcelas fertilizadas com Ureia Perolada foi de aproximadamente  $28 \text{ mg N-NH}_4 \text{ kg solo}^{-1}$ , dividido em dois picos, os quais ocorreram 7 e 14 DAF, entretanto nas parcelas fertilizadas com sulfato de amônio o pico foi 44% maior e teve sua dinâmica retardada, ocorrendo apenas aos 21 DAF.

### **11.3. Espaço Poroso Preenchido por Água e Emissões de Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O)**

De acordo com Davidson et al. (2000) variáveis edafoclimáticas, como umidade e aeração do solo, assim como a temperatura podem, ou não, catalisar o efeito da aplicação do nitrogênio. O espaço poroso preenchido por água (EPPA) apresentou os maiores valores dia 08/04/2015 (89 DAF), com mais de 81 % dos EPPA, devido possivelmente aos 53,6 mm de chuva dos dois dias anteriores (Figura 32). Valores acima de 40 % foram observados nos meses de dezembro, março e abril acompanhando eventos chuvosos anteriormente discutidos. Menos de 10 % de EPPA foram observados no “verânico” do mês de janeiro, período qual se estendeu dos quatro aos nove DAF (Dias Após a Fertilização), sendo cessado aos 13 DAF com os EPPA atingindo 38 %.



**Figura 32:** Precipitação e temperatura média do ar (A), emissões de N<sub>2</sub>O (B), Espaço Poroso Saturado Preenchido por Água (EPPA) e Temperatura média do solo (C), Teores de nitrato (NO<sup>3-</sup>) do solo (D) e teores de amônio (NH<sub>4</sub>) (E) em cultivo de algodão submetido a diferentes fertilizantes pastilhados sob SPD, Safra 2014/2015. As barras nos gráficos representam o erro padrão da média.

O ápice nos fluxos diários de N-N<sub>2</sub>O foi observado no dia 27/01 (18 DAF) (Figura 32), com valores oscilando de 220,4± 20,0 (UPSAeZn) a 363,5± 19,8 (UPSA) ug N m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup> entre os fertilizantes, o que representou em valores relativos aumento de 39,4 % do de menor (UPSAeZn) para o de maior (UPSA) concentração de N<sub>2</sub>O na atmosfera, em relação ao tratamento sem fertilização o incremento neste pico relativo aos fertilizantes foi de 99,8 (UPSA); 96,8 (UPP); 97,6 (UPS) e 96,5 (UPSAeZn) %. A temperatura média deste dia foi de 25,2 ± 4,18 (ar) °C e 30,3 ± 3,3 (solo)°C, a umidade relativa média do ar foi de 71,1 ± 17,3 %, e conteúdo volumétrico de água médio de 0,079 ± 0,005 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>.

A tendência de aumento até este ápice (27/01) (18DAF) pode ser observado a partir do dia 23/01 (14 DAF), devido possivelmente os 13,4 mm de chuva registrada no dia 21/01 e os 3,4 mm do dia 25/01, com o encerramento do pico dia 31/01 (21 DAF). O EPPA durante este período se manteve em 38%. Durante este período (22 a 31/01) os fluxos médios dos tratamentos foram de 134,2 ± 48,3 (UPSA); 127,5 ± 43,4 (UPP); 119,2 ± 48,3 (UPS); 83,2 ± 28,9 (UPSAeZn) e 7,0 ± 1,4 (T) ug N m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, o que representou aos respectivos fertilizantes incremento no fluxo de 94,8; 94,5; 94,1 e 91,5 % em relação a Testemunha (T), entre os fertilizantes o de maior (UPSA) foi 38 % superior ao de menor (UPSAeZn) emissão. Durante este período (21/01 a 26/01), que antecedeu o ápice das emissões observadas, a temperatura média foi de 23,2 ± 4,0 (ar) °C e 29,2 (solo) °C, a máxima observada foi de 33,7 (ar) °C e 41,2 (solo) °C e mínima de 16,6 (ar) °C e 24,4 (solo) °C, a umidade relativa média foi de 75,7 ± 15,2 %, o conteúdo volumétrico de água oscilou entre 0,180 a 0,048 com média de 0,091 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, a precipitação total foi de 17,2 mm, sendo 75 % deste montante proveniente do evento chuvoso do dia 21/01 (12 DAF).

Um segundo período de emissões mais intensas, mas 64 % menor ao período anterior (18 DAF) foi observado em todos os fertilizantes no dia 06/02 (28 DAF), subsidiado pelos 44,8 mm de chuva que ocorreram dia 03/02 (25 DAF). Este fluxo observado nos fertilizantes, no dia (06/02) variaram entre 63,2 ± 5,9 (UPSAeZn) a 130,9 ± 1,4(UPSA) ug N m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>. Esta tendência de aumento se deu início dia 04/02 (26 DAF) e fim dia 10/02 (32 DAF), os fluxos médios observados neste período foram de 88,1 ± 15,3 (UPSA); 61,5 ± 10,5 (UPP); 50,0 ± 8,2 (UPS); 45,0 ± 5,9 (UPSAeZn) e 5,1 ± 0,6 (T) ug N m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, o que representou incremento relativo de 94,2; 91,7; 89,8 e 88,7 % aos respectivos fertilizantes em relação a Testemunha (T). O incremento relativo ao



fertilizante de maior (UPSA) emissão em relação ao de menor (UPSAeZn) foi de 48,9 % (Figura).

Uma terceira tendência de aumento, porém de magnitude 92,6 % menor que primeiro (18 DAF), ocorreu dia 19/02 (41 DAF), com fluxos variando de  $9,8 \pm 4,6$  (UPP) a  $27,0 \pm 7,5$  (UPS)  $\text{ug N m}^{-2}\text{h}^{-1}$ , provavelmente acarretado pelos 10,4 mm de chuva do dia 16/02 (38 DAF). Neste dia o incremento dos fertilizantes em relação ao tratamento Testemunha (T) foi de 88,1 (UPSA); 84,5 (UPSAeZn); 74,8 (UPS) e 67,3 (UPP).

Martins et al. (2015) em condições edafoclimáticas semelhantes, avaliando emissões diretas e indiretas de  $\text{N}_2\text{O}$  através dos mesmos métodos de coleta e análise deste experimento, observou, na cultura do milho, fluxos de  $\text{N}_2\text{O}$  de aproximadamente  $300 \text{ ug m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  decorrente de desnitrificação apenas 36 dias após a fertilização nitrogenada.

Após esta terceira tendência de aumento, observada no final do mês de fevereiro (41 DAF), nenhum outro ápice, de magnitude igual ou superior as previamente discutidas foi verificado experimentalmente. Os fluxos médios durante toda a campanha experimental foram de  $31,7 \pm 67,1$  (UPSA);  $25,6 \pm 59,1$  (UPP);  $23,8 \pm 56,5$  (UPS);  $19,3 \pm 40,4$  (UPSAeZn) e  $3,7 \pm 2,5$  (T)  $\text{ug m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , o que representou aumento nas emissões dos respectivos fertilizantes em 89,9; 85,5; 84,5 e 80,8 % em relação à Testemunha (T), entre os fertilizantes o de maior fluxo médio horário (UPSA) representou incremento de 39,1 %

Aos 18 DAF, ápice das emissões amostradas, as concentrações médias diárias dos fertilizantes oscilaram entre 5,3 (UPSAeZn) e 8,7 (UPSA)  $\text{mg m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , cujos valores máximos ( $8,7 \text{ mg m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) representaram 65,5 % das emissões máximas ( $24,5 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) relatadas por Tian et al. (2015), avaliando emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  de fertilizantes de liberação lenta no algodão, o qual relatou picos em ocasião de alta umidade no solo de 24,5 e 22,3  $\text{mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , ocorrendo aos 17 e 30 DAF, respectivamente. Após os 60 DAF as emissões se reduziram ao nível do tratamento controle. No entanto no ano seguinte do experimento picos foram observados aos quatro DAF, subsidiado a elevados teores de umidade do solo, com redução ao nível do controle aos 40 DAF. Para ambos os anos o fertilizante Ureia apresentou emissão de  $\text{N-N}_2\text{O}$  significativamente maior do que os tratamentos com liberação lenta.

As emissões médias diárias durante todo o ciclo de amostragens foram de 0,7  $\text{mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  para UPSA, 0,6  $\text{mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  para UPP, 0,5  $\text{mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  para UPS, 0,4  $\text{mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$

<sup>1</sup> para UPSAeZn e  $0,1 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  para a T. Tian et al. (2015) avaliando perdas de  $\text{N}_2\text{O}$  de fertilizantes de liberação lenta como Ureia revestida com ESN, Ureia com NBPT e Ureia com DCD apresentaram emissões médias diárias de  $\text{N}_2\text{O}$  de 5,1, 7,7 e  $0,9 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , no ano seguinte da avaliação as emissões foram de 3,8, 2,2,  $3,1 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . Estes fertilizantes apresentaram redução de 52, 52 e 75% em relação à Ureia sem revestimento.

A correlação entre os dados deste mesmo período (4 – 35 DAF) entre os dados de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e nitrato ( $\text{NO}^{-3}$ ), apresentou coeficientes de regressão ( $R^2$ ) inferiores a 0,02 em todos os fertilizantes, no entanto no tratamento Testemunha o  $R^2$  foi de 0,67. Os coeficientes de concordância (d), entre os dados foram de 0,44 (UPP); 0,41 (UPSA e UPS); 0,40 (UPSAeZn) e 0,47 (T). Portanto a dinâmica de nitrato no solo no tratamento Testemunha representou com precisão de 67 % as emissões de óxido nitroso deste tratamento, o qual também foi observado a maior concordância entre os dados.

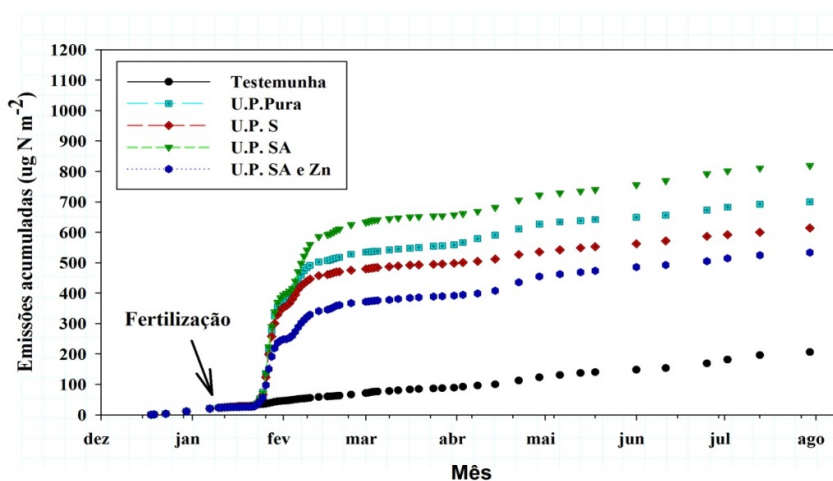
A correlação entre os dados amostrados de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e amônio ( $\text{NH}_4$ ), durante o período de maior emissão (4 – 35 DAF), apresentou coeficiente de regressão ( $R^2$ ) de 0,55 (UPP); 0,20 (UPSA); 0,18 (UPS); 0,03 (UPSAeZn) e 0,38 (T) %. Os respectivos coeficientes de concordância (d), entre os dados foram de 0,48; 0,40; 0,41; 0,29 e 0,35. Portanto os teores de amônio no solo relacionaram-se razoavelmente com as emissões de óxido nitroso no tratamento UPP, nos demais a correlação foi inferior a 50 %.

De acordo com Martins et al. (2015), as cargas positivas de  $\text{N-NH}_4$  originadas pelo sulfato de amônio podem aumentar a sua probabilidade de ser adsorvido durante mais tempo no solo, aumentando, conseqüentemente, a possibilidade de conversão para o  $\text{N-N}_2\text{O}$ , as perdas acumuladas relatadas variaram entre 113 (Sulfato de amônio) e 64 (Controle)  $\text{mg m}^{-2}$ , a Ureia acumulou emissão de  $81 \text{ mg N-N}_2\text{O m}^{-2}$ .

As perdas de  $\text{N}_2\text{O-N}$  acumuladas foram de 819,1; 700,1; 614,0 e 533,4  $\text{g N-N}_2\text{O há}^{-1}$  para os tratamentos UPSA, UPP, UPS e UPSAeZn, sequencialmente (Figura 33). O acúmulo observado pela testemunha (T) foi de  $236,0 \text{ g N há}^{-1}$ , o que representa 28,8% do fertilizante de maior emissão e 44,3% do de menor. O fertilizante de menor emissão (UPSAeZn) apresentou redução de 34,9% do total emitido pelo de maior emissão (UPSA).

Convertendo para a unidade de  $\text{g há}^{-1}$ , os resultados relatados por Martins et al. (2015) para a Ureia Perolada ( $810 \text{ g N-N}_2\text{O há}^{-1}$ ) em condições edafoclimáticas semelhantes, corroboram com os apresentados no presente trabalho, com subestimação

de 1,1 % em relação ao montante observado no fertilizante U.P. SA, e superestimação em 13,6 (UPP), 24,2 (UPS) e 34,2 (UPS Ae Zn) %, nas emissões acumuladas de óxido nitroso.



**Figura 33:** Emissões acumuladas de N<sub>2</sub>O-N durante o ciclo produtivo.

Os fatores de emissão dos fertilizantes pastilhados avaliados foram de 0,29 (UPP); 0,23 (UPSA); 0,19 (UPS) e 0,15 (UPS Ae Zn) %. As emissões de óxido nitroso são variáveis em relação às diferentes condições climáticas e das regiões de estudo, uma vez que em campos de algodão na Austrália foi relatado por Scheer et al (2012) fator de emissão entre 0,4% e 0,53, e no norte da China, Liu et al (2010) relatou fator de emissão de 0,95%.

Os fatores de emissão relatados por Tian et al. (2015) para Ureia, Ureia com DCD, ESN e NBPT para a cultura do algodão em clima semiárido e solo argiloso no Delta do Mississipi (EUA) foram de 8,3, 1,0, 3,4, 3,9%. As perdas de N-N<sub>2</sub>O observadas foram significativamente maiores do que de N-NH<sub>3</sub>, sendo também os fatores de emissão observados significativamente mais baixos do que relatados em outros estudos, o que pode refletir as características de perda de N da ureia nestas condições edafoclimáticas.

Portanto, nas condições edafoclimáticas aqui avaliadas, os fatores de emissão em cultivos de alto rendimento de algodão foram inferiores a 0,5 % para todos os fertilizantes pastilhados. Valor este consideravelmente inferior aos aqui apresentados em cultivos de algodão e também menor do que o índice proposto pelo IPCC (1 %) para a base de cálculos de inventários de gases de efeito estufa no cerrado brasileiro (Martins, et al., 2015).

Segundo Davidson et al. (2000), baixas emissões de N<sub>2</sub>O podem indicar que o processo dominante tenha sido a nitrificação, ocasionando em elevada emissão de NO logo após a aplicação do fertilizante, uma vez que o N<sub>2</sub>O é formado principalmente via desnitrificação (DAVIDSON et al., 1993). De acordo com Carvalho et al. (2006) solos adequadamente aerados e disponibilidade de nitrogênio na forma amoniacal, favorecem a emissão de NO em contrapartida a N<sub>2</sub>O.

#### **11.4. Perdas por volatilização de amônia (NH<sub>3</sub>)**

Durante o período de amostragem, que perdurou até os 23 DAF, as temperaturas máximas diárias do ar variaram entre 36,3 e 28,5°C, com média máxima de 33,4 (± 2,4) °C. As temperaturas médias diárias oscilaram entre 27,4 e 22,0°C, com média de 25,1 (± 1,6) °C. Os valores mínimos diários estiveram entre 21,0 e 16,6°C, com média de 18,8 (± 1,1) °C.

A precipitação total durante a campanha experimental foi de 22,6 mm, distribuídos em quatro eventos chuvosos, a maior precipitação foi observada aos 12 DAF (21/01/2015) contribuindo com 59,3% do montante.

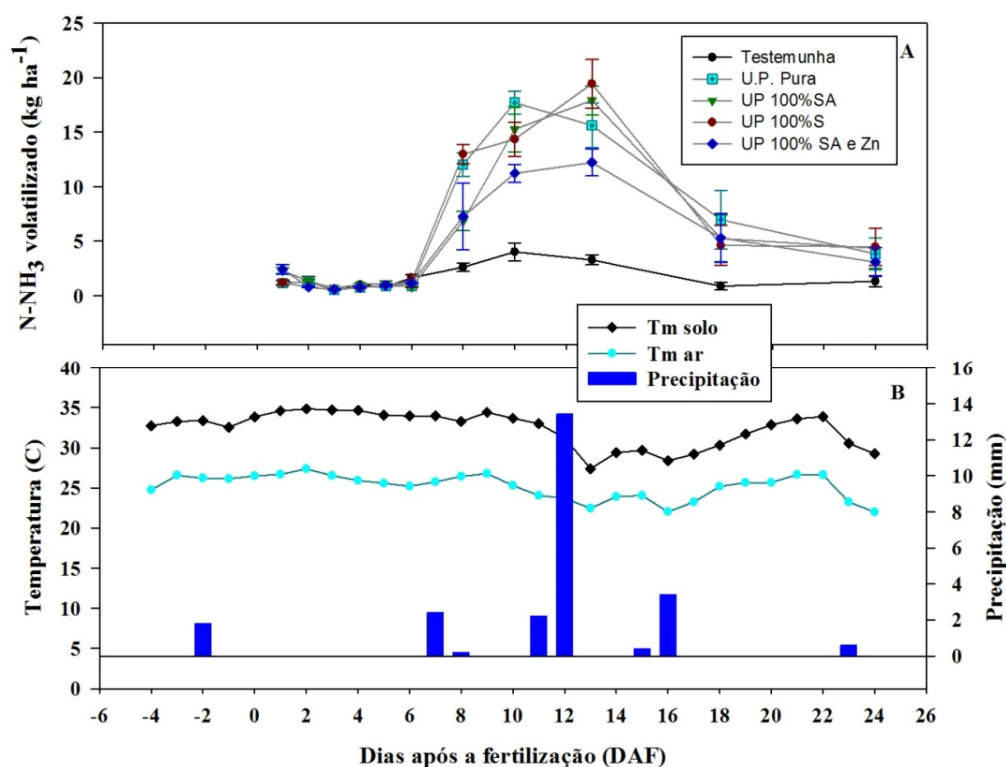
A primeira tendência de elevação nas perdas de N por volatilização foi observada aos oito DAF (17/01), subsidiado pelos 2,4 mm de chuva do dia anterior, outros dois ápices ainda mais significativos com padrão de crescimento foram observados aos 10 e 13 DAF, eventos chuvosos de 2,2 mm e 13,4 mm ocorreram aos 11 (20/01/2015) e 12 DAF. Nas amostragens seguintes o padrão de volatilização foi alterado de maneira decrescente mesmo com os 3,4 mm de chuva do dia 16 DAF (25/01/2015).

As perdas observadas aos oito DAF (17/01) foram de 13,0 ± 0,8 (UPS); 12,0 ± 1,1 (UPP); 7,3 ± 3,0 (UPSAeZn) e 6,8 ± 0,9 (UPSA) kg N-NH<sub>3</sub> há<sup>-1</sup>. Aos 10 DAF (19/01) foram também observados picos consideráveis oscilando entre 17,7 ± 1,1 (UPP) e 11,2 ± 0,8 (UPSAeZn) kg N-NH<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup>, dentre os fertilizantes. Durante este período (8 a 10 DAF) a temperatura média foi de 26,2 ± 4,4 (ar) °C e 33,8 (solo)°C, a umidade relativa média do ar foi de 68,4 ± 19,1 %, o conteúdo volumétrico de água no solo médio foi de 0,054 ± 0,003 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>.

O ápice observado nas perdas de N-NH<sub>3</sub> volatilizado ocorreu aos 13 DAF (22/01) em todos os fertilizantes, com perdas dentre 19,4 ± 2,2(UPS) e 12,2 ± 1,2 (UPSAeZn) kg N-NH<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup>. A temperatura do ar neste dia (22/01) oscilou entre 32,8 e 18,0 °C, com média de 22,4 ± 4,1, a temperatura do solo variou entre 32,9 e 24,5 °C,

com média de  $27,4 \pm 2,6$  °C, a umidade relativa média foi de  $78,2 \pm 13,7$  %, o conteúdo volumétrico de água no solo esteve dentre  $0,125$  e  $0,099$   $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ , com média de  $0,110 \pm 0,006$   $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ .

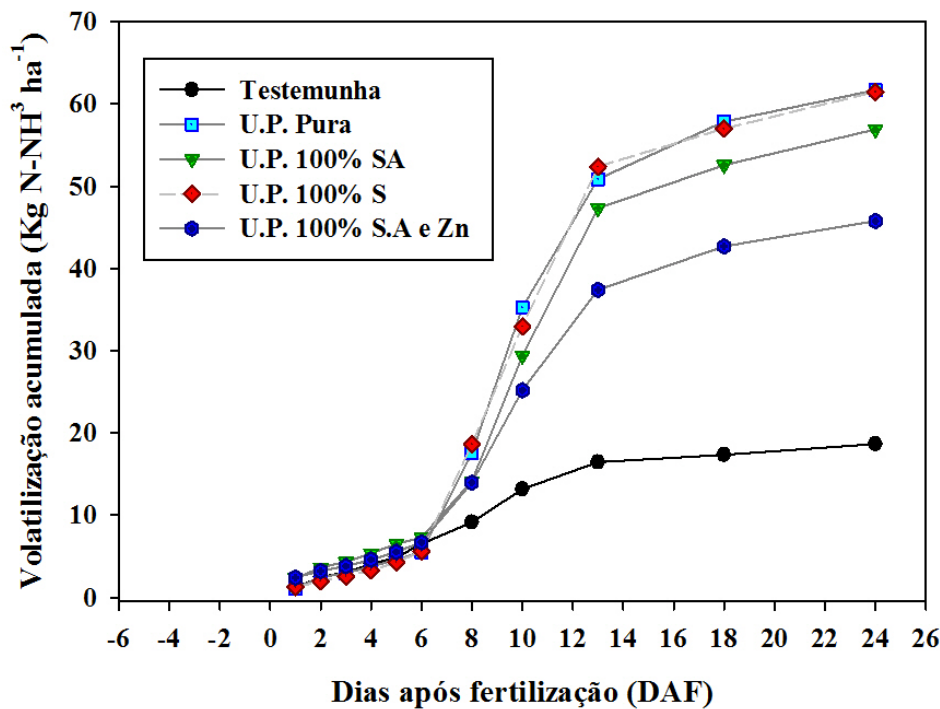
Baixos índices de volatilização em decorrência de período seco após a fertilização, aliado ao baixo pH do solo (5,2) podem resultar em atraso na dinâmica e amonificação, assim como em baixos índices de volatilização. O total de N perdido por esta via após 37 dias da fertilização com Ureia Perolada foi de  $6,9$   $\text{kg N-NH}_3 \text{ha}^{-1}$ , cerca de 3,0 % do montante aplicado (MARTINS, 2015).



**Figura 34:** Perdas diárias por volatilização de  $\text{N-NH}_3$  (A); Temperatura média do solo, Temperatura média do ar e precipitação (B), durante o período de amostragem.

As perdas de  $\text{N-NH}_3$  acumuladas dos fertilizantes durante o período de avaliação variaram entre 61,7 (UPP) e 45,7 (UPSAeZn)  $\text{kg N-NH}_3 \text{ha}^{-1}$ , a perda do tratamento sem adição de fertilizante foi de 18,6  $\text{Kg N-NH}_3 \text{ha}^{-1}$ . Os fertilizantes que mais sofreram processo de amonificação foram a UPP e UPS, representando 30,8 e 30,7 % do montante aplicado e aproximadamente 70 % a mais do que o tratamento sem

fertilização. O tratamento UPSA apresentou perdas por volatilização de 28,4% da taxa de aplicação e 67,3 % em relação à Testemunha (T). O fertilizante UPSAeZn apresentou as menores perdas dentre os testados, representou redução de 25,9 % na volatilização em relação ao fertilizante de maior perda (UPP) e incremento de 59,3 % quando comparado ao tratamento sem fertilização nitrogenada.



**Figura 35:** Volatilização de N-NH<sub>3</sub> acumulada durante a campanha experimental.

Portanto, o desenvolvimento tecnológico de novas fontes de sintéticas de nitrogênio pode incrementar a produtividade de cultivos agrícolas reduzindo seu custo de produção e seus impactos ambientais, através da melhoria de aspectos conservacionistas do solo, minimizando as emissões de óxido nitroso e amônia a partir do uso agrícola da ureia. Contribuindo desta forma para a mitigação das mudanças climáticas e a contaminação das águas subterrâneas por nitrato, agregando valor ao produto, visando à sustentabilidade ambiental e econômica da agricultura cerrado baiano.

## 12. CONCLUSÕES

As maiores produção e produtividade dentre os fertilizantes avaliados foram observados no tratamento UPP e UPSA, as menores produção e produtividade foram no UPSAeZn.

Emissões de óxido nitroso ( $N-N_2O$ ) acumuladas mais elevadas foram verificadas no tratamento UPSA, seguido por UPP, UPS, UPSAeZn e T, respectivamente. Os menores valores dentre os fertilizantes testados podem ser explicados devido à incorporação de Zn na formulação do menor emissor, elemento que pode concorrer pelos sítios de troca com o N do fertilizante, acarretando em menor hidrólise da ureia e consequente redução nas taxas de desnitrificação.

Os fatores de emissão do presente trabalho são consideravelmente menores (0,29 a 0,15 %) ao referenciado pelo IPCC (1 %) para a base de cálculos de inventários de gases de efeito estufa nas condições do cerrado brasileiro, portanto novos estudos devem ser desenvolvidos para que as emissões nacionais não sejam superestimadas por conta valores de referência indevidos.

As maiores perdas de N por volatilização foram observadas nos tratamentos UPS e UPP, onde as perdas de  $N-NH_3$  acumuladas representaram de 30,8 e 30,7 % dos 200 kg N aplicados na fertilização. O fertilizante UPSAeZn foi o que apresentou a menor perda acumulada, 25,9 % a menos do que os tratamentos com maior perda de N por volatilização (UPS).

### 13. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIBA. **Anuário da região Oeste da Bahia, Safra 2013-2014**. Disponível em: < <http://aiba.org.br/wp-content/uploads/2014/06/OESTE-DA-BAHIA-2014.pdf> >. Acesso em: 10 set. 2015.

ALBUQUERQUE, A. F.; BELTRÃO, M. E. N.; OLIVEIRA, C. M. J.; VALE, G. D.; SILVA, A. C. J.; CARTAXO, V. W. **Balço energético de sistemas de produção de algodão no cerrado do mato grosso do sul**. VI Congresso Brasileiro do algodão, 2007.

ALI, N. **Review: Nitrogen utilization features in cotton crop**. American Journal of Plant Sciences, 6, p. 987-1002, 2015. Visto em: <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2015.67105>

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **FAO Irrigation and Drainage Paper Nº 56. Crop Evapotranspiration (guidelines for computation crop water requirements**. Rome. Italy. 300p., 1998.

ALVES, R. J. B.; SMITH, A. K.; FLORES, A. R.; CARDOSO, S. A.; OLIVEIRA, R. D. W.; JANTALIA, P. C.; URQUIAGA, S.; BODDEY, M. R. **Selection of the most suitable sampling time for static chambers for the estimation of daily mean N<sub>2</sub>O flux from soils**. Soil Biology & Biochemistry 46 p.129 – 135, 2012.

ANDRADE NETO R. C.; MIRANDA N.O.; DUDA G.P.; GÓES G. B. & LIMA A. S. (2010) **Crescimento e produtividade do sorgo forrageiro BR 601 sob adubação verde**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 14:124-130.

ARIS, R. **Mathematical modeling techniques**. New York: Dover, 1994. 269 p.

BAI, M.; SUTER, H.; LAM, K. S.; SUN, J.; CHEN, D. **Use of open-path FTIR and inverse dispersion technique to quantify gaseous nitrogen loss from an intensive vegetable production site**. Atmospheric Environment 48 p. (687 à 691 p.), Elsevier, 2014.

BANGE, M. P.; MILROY, P. S. **Timing of crop maturity in cotton impact of dry matter production and partitioning**. Ed. Elsevier. Field Crops Research 68 (2000) 143±155.

BANGE, M. P.; MILROY, P. S. **Growth and dry matter of diverse cotton genotypes**. Ed. Elsevier. Field Crops Research 87 (2004) 73–87.

BAKER, D.N.; LANDIVAR, J.A. **Simulation of plant development in GOSSYPIUM**. In: HODGES, H.F. (ed.). **Cotton Physiology**. Memphis: The Cotton Foundation, 1991. p.245-257.

BELTRÃO, N. E. M.; SOUZA, G. J.; AZEVEDO, P. M. D.; LEÃO, A. B.; CARDOSO, G. D. **Fitologia do algodoeiro herbáceo: Sistemática, organografia e anatomia**. In: BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. (Editores). **O Agronegócio do algodão no Brasil**. v.1, 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008, cap.6. p. 181-217



BEZERRA, J. R. C.; LUZ, S. J. M.; BARRETO, N. A.; AMORIM NETO, S. M.; SILVA, C. L. **Irrigação do algodoeiro herbáceo.** In: BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. (Editores). **O Agronegócio do algodão no Brasil.** v.2, 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008, cap.27. p.875-950

BEZERRA, J. R. C.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B.; DIAS, J. M. **Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do algodoeiro BRS-200 Marrom.** Irrigado. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental, v.14, n.6, p.625-632, 2010.

BLACK JÚNIOR, C. C. **Photosynthetic carbon fixation in relation to net CO<sub>2</sub> uptake.** Annual Review Plant Physiology, v.24, p 253-286, 1973.

BLAINSKI, E.; GARBOSSA, L.H.P.; ANTUNES, E.N. **Estações hidrometeorológicas automáticas: recomendações técnicas para instalação.** Florianópolis: Epagri, 2012, 43p. (Epagri.Documentos, 240).

BREMNER, J.M. **Sources of nitrous oxide in soils.** Nutrient Cycling Agroecosystem.49, p.7-16, 1997.

BRODRICK, R.; BANGE, M. P.; MILROY, S. P.; HAMMER, G. L. **Physiological determinants of high yielding ultra-narrow row cotton: Biomass accumulation and partitioning.** Ed. Elsevier. Field Crops Research, Volume 134, 12 August 2012, Pages 122-129

BRONSON, K.F., MOSIER, A.R. **Suppression of methane oxidation in aerobic soil by nitrogen fertilizers, nitrification inhibitors, and urease inhibitors.** Biol. Fertil. Soils 17, p.263-268, 1994.

CARVALHO, M. A.; BUSTAMANTE, C. M. M.; KOZOVITS, R. A.; MIRANDA, N. L.; VIVALDI, J. L.; SOUSA, M. D. **Emissão de óxidos de nitrogênio associada a aplicação de ureia sob plantio convencional e direto.** Pesq. agropec. bras., Brasília, v.41, n.4, p.679-685, abr. 2006.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C. **Nitrogênio e enxofre na cultura de cana-de-açúcar.** In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, A. C. (Eds.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira.** Piracicaba: INPI, 2007. P. 355-412.

CONAB. **Acomp. safra bras. grãos, v. 2 - Safra 2014/15, n. 12 – Décimo segundo levantamento, set. 2015.** Disponível em [www.conab.gov.br](http://www.conab.gov.br). Acesso em 23-03-2015.

CAMARGO, A.P. de; SENTELHAS, P.C. **Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.5, p.89-97, 1997.

CHEEROO-NAYAMUTH, F.B.; BEZUIDENHOUT, C.N.; KIKER, G.A.; NAYAMUTH, A.R.H. **Validation of Canegro-DSSAT v3.5 for contrasting sugarcane**

varieties in Mauritius. **Proceedings of the South African Sugar Technologists Association**, Durban, v. 7, p. 601-604, 2003.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R. *Applied hydrology*. New York: McGraw-hill Book, 1988. 572p.

CUBASCH, U., D. WUEBBLES, D. CHEN, M.C. FACCHINI, D. FRAME, N. MAHOWALD, and J.-G. Winther, 2013: **Introduction**. In: **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

DAAS, N. N.; MOHANTY, B. P.; COSH, M. H.; JACKSON, T. J. **Modeling and assimilation of root zone soil moisture using remote sensing observations in Walnut Gulch Watershed during SMEX04**. *Remote Sensing of Environment*, v.112, p.415-429, 2008.

DAI, J.; WEIJIANG, L.; TANG, W.; ZHANG, D.; LI, Z.; LU, H.; ENEJI, E. A.; DONG, H. **Manipulation of dry matter accumulation and partitioning with plant density in relation to yield stability of cotton under intensive management**. Ed. Elsevier. *Field Crops Research* 180 (2015) P. 207-215. Visto em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2015.06.008>

DAVIDSON, E.A.; KELLER, M.; ERICKSON, H.E.; VERCHOT, L.V.; VELDKAMP, E. **Testing a conceptual model of soil emissions of nitrous and nitric oxides**. *BioScience*, v.50, p.667-680, 2000.

DAVIDSON, E.A.; MATSON, P.A.; VITOUSEK, P.M.; RILEY, R.; DUNKIN, K.; GARCÍA-MÉNDEZ, G.; MAASS, J.M. **Processes regulating soil emissions of NO and N<sub>2</sub>O in a seasonally dry tropical forest**. *Ecology*, v.74, p.130-139, 1993.

DIAS, V. P. & FERNANDES, E. **Fertilizantes: uma visão global sintética**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 24, p. 97-138, set. 2006.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPb, 1994. P. 306. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

DUCAMP, F.; BALKCOM, S. K.; PRIOR, A. S.; van SANTEN, E.; Mitchell, C. C. **Cover crop biomass harvest influences cotton nitrogen utilization and productivity**. *International Journal of Agronomy*, Volume 2012, Article ID 420624, 12 pages. doi:10.1155/2012/420624

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Rio de Janeiro, 2013. 353p.

FREIRE, C. E. **Algodão no cerrado**. Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Algodão, Campina Grande, 1998. 29p.

Visto em: file:///C:/Users/Eduardo/Downloads/ALGODAONOCERRADO.pdf

DROOGERS, P.; VAN LOON, A.; IMMERZEL, W. W. **Quantifying the impact of model inaccuracy in climate change impact assessment studies using an agrohydrological model**. *Hydrology and Earth System Sciences*, v.12, p.669-678, 2008.

EITZINGER, J.; TRNKA, M.; HÖSCH, J.; ZALUD, Z.; DUBROVSKY, M. **Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating soil water content during growing season under different soil conditions**. *Ecological Modelling* 171 (2004) 223–246.

FAO. 2012. **Statistical Databases: Ressources**. FAO, Roma, Itália. Disponível em: <http://faostat.fao.org>> Acesso em: 30 jan. 2012.

FAVOINO, E. & HOGG, D. **The potential role of compost in reducing greenhouse gases**. *Waste Management & Research*, **26**, 61–69, 2008.

FERREIRA, B. C. A.; LAMAS, M. F.; CARVALHO, S. C. M.; SALTON, C. J.; SUASSUNA D. N. **Produção de biomassa por cultivos de cobertura do solo e produtividade do algodoeiro em plantio direto**. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.45, n.6, p.546-553, jun. 2010.

FERRARI, S.; JUNIOR, F. E.; FERRARI, V. J.; SANTOS, L. M.; dos SANTOS, A. M. D. **Desenvolvimento e produtividade do algodoeiro em função de espaçamentos e aplicação de regulador de crescimento**. *Acta Sci. Agron. Maringá*, v. 30, n. 3, p. 365-371, 2008.

GALHARDO, A. N. L.; CARVALHO, S. C. M.; FERREIRA, B. C. A.; SANTOS, N. L. **Influência de culturas antecessoras na disponibilidade de nitrogênio do solo para a cultura do algodão**. XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência dos Solos, Florianópolis-SC, 2013.

HALVORSON, A.D., SNYDER, C.S., BLAYLOCK, A.D., DEL GROSSO, S.J., 2014. **Enhanced efficiency nitrogen fertilizers: potential role in nitrous oxide emission mitigation**. *Agron. J.* 106, 715–722. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2013.0081>.

GRIDI-PAPP, I. L., Botânica e genética. In: Neves, O. S. et AL. **Cultura e adubação do algodoeiro**. São Paulo: Instituto Brasileiro de Potassa, 1965. p. 117-160.

HARTMANN, D.L., A.M.G. KLEIN TANK, M. RUSTICUCCI, L.V. ALEXANDER, S. BRÖNNIMANN, Y. CHARABI, F.J. DENTENER, E.J. DLUGOKENCKY, D.R. EASTERLING, A. KAPLAN, B.J. SODEN, P.W. THORNE, M. WILD AND P.M. ZHAI, 2013: **Observations: Atmosphere and Surface**. In: **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

HOROWITZ, N. **Oxidação e eficiência agronômica do S elementar em solos do Brasil**. 2003. 109 p. Tese (Doutorado), UFRGS, Porto Alegre, 2003.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Mapa de climas do Brasil**. Escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro: IBGE. 2002.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da Produtividade Agrícola**. Rio de Janeiro, v.29, n.8, p.1-79 agosto, 2015. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/default\\_publico\\_mpleta.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/default_publico_mpleta.shtm). Acesso em: 08 de out. de 2015.

IPCC. **Climate change 2014: Mitigation of climate change. Chapter 11 Agriculture, Forestry and other land use (AFOLU)**, 2014. Visto em: 16/05/2014 [http://report.mitigation2014.org/drafts/final-draft-postplenary/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_final-draft\\_postplenary\\_chapter11.pdf](http://report.mitigation2014.org/drafts/final-draft-postplenary/ipcc_wg3_ar5_final-draft_postplenary_chapter11.pdf)

JANTALIA, C.P., SANTOS, H.P., URQUIAGA, S., BODDEY, R.M., ALVES, B.J.R., 2008. **Fluxes of nitrous oxide from soil under different crop rotations and tillage systems in the South of Brazil**. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 82, 161–173.

KIEHL, E.J., 1979. **Manual de Edafologia: Relações Solo-Planta**. Ceres, São Paulo, SP, Brazil.

KROES, J.G.; VAN DAM, J.C.; GROENENDIJK, P.; HENDRIKS, K R.F.A.; JACOBS, C.M.J, 2008. **SWAP version 3.2. Theory description and user manual**. Wageningen, Alterra, Alterra Report 1649, p. 262.; 47 figs.; 12 tables; 39 boxes, 249 refs.

LAMAS, F.M.; STAUT, L.A.; FERNANDES, F. M.; BELTRÃO, N. E. de M.; ANDRADE, P. J. M. **Espaçamentos reduzidos na cultura do algodoeiro em Mato Grosso do Sul – I. Efeitos nas características de produção**. Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas, Campina Grande, v. 9, n. 1/3, p. 903-914, 2005.

LAMAS, F.M.; STAUT, L.A. **Espaçamento e densidade**. In: EMBRAPA AGROPECUÁRIA OESTE (Dourados, MS). **Algodão: Tecnologia e produção**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Campina Grande: Embrapa Algodão, 2001. P. 135-139.

LAMAS, F.M.; STAUT, L.A. Nitrogênio e cloreto de mepiquat na cultura do algodoeiro. Revista Ceres, Viçosa, v.51, n.298, p.755-764, 2005.

LYRA, B. G.; ZOLNIER, S.; COSTA, C. L.; SEDIYAMA, C. G.; SEDIYAMA, N. A.M. **Modelos de crescimento para alface (*Lactuca sativa L.*) cultivada em sistema hidropônico sob condições de casa-de-vegetação**. Rev. Bras. de Agromet. . Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 69-77, 2003.

LYRA, G. B.; DE SOUZA L.J.; LYRA, G.B.; TEODORO, I.; FILHO, M.G. **Modelo de crescimento logístico e exponencial para o milho br 106, em três épocas de plantio**. Revista brasileira de milho e sorgo, v.7, n.3, p. 211-230, 2008.

LYRA, G. B.; da ROCHA, Q. E. A.; LYRA, G.B.; de SOUZA L.J.; TEODORO, I. **Crescimento e produtividade do milho, submetido a doses de nitrogênio nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas.** Rev. Ceres, Viçosa, v. 61, n.4, p. 578-586, jul/ago, 2014. Visto em: <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201461040019>

LOPES, A.S.; BASTOS, A.R.S. 2007. **Fertilizantes nitrogenados no Brasil: um problema de escassez.** Informações Agronômicas. INPI 120: 4-5.

LUZ, M.J. DA S. E; BEZERRA, J.R.C.; BARRETO, A.N.; SANTOS, J.W. DOS; AMORIM NETO, M. DA S. **Efeito da 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.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M.F. 2006. **O nitrogênio na agricultura brasileira. Série Estudos e Documentos nº 70.** (Versão Provisória). CETEM/MCT. 72 pp. Disponível em: [http://www.cetem.gov.br/publicacao/series\\_sed/sed-70.pdf](http://www.cetem.gov.br/publicacao/series_sed/sed-70.pdf)

MAO, L.; ZHANG, L. ZHAO, Z.; SHAODONG, L.; van der WERF, W.; ZHANG, S.; SPIERTZ, H.; LI, Z. **Crop growth, light utilization and yield of relay intercropped cotton as affected by plant density and plant growth regulator.** Field Crops Research 155 (2014) 67–76.

MARTINS, R. M.; JANTALIA, P. C.; POLIDORO, C. J.; BATISTA, N. J.; ALVES, R. J. B.; BODDEY, M. R.; URQUIAGA, S. **Nitrous oxide and ammonia emissions from N fertilization of maizecrop under no-till in a Cerrado soil.** Soil & Tillage Research, Elsevier, 151 p. (75–81 p.) 2015.

MARUR, C.J. Crescimento e desenvolvimento do algodoeiro. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Recomendações para cultura do algodoeiro no Paraná.** Londrina, 1993. p.2-7. (Circular, 107).

MARUR, J. C., RUANO, O. **Escala do algodão – Um método para a determinação de estádios de desenvolvimento do algodoeiro herbáceo.** Informações Agronômicas número 15. IAPAR, Londrina-PR, 2004. Visto em: 13/10/2014. [http://www.ipni.net/publication/iabrasil.nsf/0/EB769E04A0D3A15983257AA2005B0E12/\\$FILE/Page3-4-105.pdf](http://www.ipni.net/publication/iabrasil.nsf/0/EB769E04A0D3A15983257AA2005B0E12/$FILE/Page3-4-105.pdf)

MAUNEY, J.R. **Anatomy and morphology of cultivated cottons.** In: KOHEL, R. J.; LEWIS, C. F. (Ed.). Cotton. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, 1984. P. 59-79.

MAUNEY, J.R. Floral initiation of upland cotton *Gossypium hirsutum* L. **Journal Experimental Botany**, V.17, p.452-459, 1966.

MONTEIRO, J.E.; SENTELHAS, C. P.; CHIAVEGATO, J. E.; GUISELINI, C.; SANTIAGO, V. A.; PRELA, A. **Estimação da área foliar do algodoeiro por meio de dimensões e massa das folhas.** Bragantia, Campinas, v.64, n.1, p.15-24, 2005.

MOREIRA, M. C.; da SILVA, D. D. **Atlas hidrológico da bacia hidrográfica do rio Grande,** Barreiras, BA, Editora Gazeta Santa Cruz, 2010. p.80

NÁPOLES, F.A. DE M.; AMORIN NETO, M. DA S.; BEZERRA, J.R.C.; SILVA, L.C.; LUZ, M.J. DA S. E; NETO, J.D. **Efeito da época da supressão da irrigação sobre parâmetros morfo-fisiológicos do algodoeiro.** In: Congresso Brasileiro do Algodão, 2, 1999, Ribeirão Preto. Anais... Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 1999, p.507-512.

NORMAN, A. L.; GIESEMANN, A.; KROUSE, H. R.; JAGGER, H. J. **Sulphur isotope fractionation during Sulphur mineralization: results of an incubation-extraction experiment with a Black Forest soil.** Soil Biology & Biochemistry, v. 34, p. 1425-1438, 2002.

OOSTERHUIS, D. M. **Growth and development of cotton plant.**In: **Cultura do algodoeiro** CIA, E.; FREIRE, E.C.; SANTOS, W.J. dos. (Ed.). POTAFOS p. 35-55. Piracicaba, 1999.

PBMC, 2013: **Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Sumário Executivo GT1.** PBMC, Rio de Janeiro, Brasil. 24 p.

QUNYNG L.; BANGE M.; CLANCY, L. **Cotton crop phenology in a new temperature regime.** Ecological Modelling 285 (2014) 22–29.

REDDY, V. R.; REDDY, K. R.; BAKER, D. N. **Temperature effect on growth and development of cotton during the fruiting period.** Agronomy Journal, Madison, v. 83, p. 211-217, 1991.

ROSSATO, B. O.; ANDRADE-SANCHEZ, P.; GUERRA, S. P. S.; CRUSCIOL, C. A. C. **Sensores de reflectancia e fluorescência na avaliação de teores de nitrogênio, produção de biomassa e produtividade do algodoeiro.** Pesq. agropec. bras., Brasília, v.47, n.8, p.1133-1141, ago. 2012.

ROSOLEM, C. A. **Ecofisiologia e manejo da cultura do algodoeiro.** POTAFOS: Informações Agronômicas Nº 95, 2001. 9p.

RUIZ, E. M.; et al. **Sistema SWAP-ANIMO para estimar los balances de agua y nitratos en una región de Valencia, España. Aplicaciones iniciales.** Revista Ciências Técnicas Agropecuárias, Vol. 17, No. 1, pp 31-37, 2008. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93217107>

SALES, H. B. **Importância do enxofre para a cultura da soja.** Manah, 2007. (Divulgação Técnica, n. 174)

SANTOS, D. C. F.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; FERREIRA, B. G.; CARVALHO, S. C. M; SILVA FILHO, L. J.; PEDROSA B. M.; SANTOS, B. J.; FREIRE, M. M. R.; ALENCAR, R. A. **Adubação de manutenção com nitrogênio e enxofre para o algodoeiro cultivado em solo arenoso do cerrado baiano.** IX Simpósio Nacional do Cerrado e II Simpósio Internacional de Savanas Tropicais. Parlamundi, Brasília, DF. 12 a 17 de outubro de 2008.

SANTOS, F. R.; KOURI, J.; SANTOS, W. J. **O agronegócio do algodão.** In.: BELTRÃO, N. E. M; AZEVEDO, D. M. P. (Editores). **O Agronegócio do algodão no Brasil.** v.1, 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008, cap.2. p.33-60.

SCARPARE, V. F.; VAN LIER, J. Q.; BARROS C. H. A.; SIMONE TONI RUIZ CORRÊA, R.T. S. **Análise de sensibilidade do modelo swap/wofost na simulação da produtividade de matéria seca da cana-de-açúcar.** XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, pp. 1-5, 2011.

SINGH, R. P., PRASAD, P. V.V., SUNITA K., GIRI, S. N., REDDY K. R. **Influence of high temperature and Breeding for heat tolerance in Cotton: a review.** Advances in Agronomy, Volume 93, 313 – 385p, 2007.

SILVA, I. P. F.; JUNIOR, J. F. S.; ARALDI, R.; TANAKA, A. A.; GIROTTO, M.; BOSQUÊ, G. G.; LIMA, F. C. C. **Estudo das fases fenológicas do algodão (Gossypium hirsutum L.).** Revista Científica Eletrônica de Agronomia – ISSN: 1677-0293, n. 20, dezembro, 2011.

STIPP, R. S.; CASARIN, V. **A importância do enxofre na agricultura brasileira.** Informações agronômicas n 129, março, 2010. Visto em: [http://www.ipni.net/publication/iabrasil.nsf/0/DC0BC5ED9CC2127A83257A90000D6B51/\\$FILE/Page14-20-129.pdf](http://www.ipni.net/publication/iabrasil.nsf/0/DC0BC5ED9CC2127A83257A90000D6B51/$FILE/Page14-20-129.pdf)

TANG, CY; KWON, YN & LECKIEA, JO. **Efeito da química da membrana e camada de revestimento sobre as propriedades físico-químicas fina película composta de poliamida RO e membranas NF: II. Membrana propriedades físico-químicas e sua dependência de camadas de poliamida e revestimento.** Dessalinização, 242:168-182, 2009.

TEI, F.; SCAIFE, A.; AIKMAN, D.P. Growth of lettuce, onion and red beet. 1. **Growth Analysis, Light Interception, and Radiation Use Efficiency.** Annals of Botany, London, v. 78, n. 5, p. 633-643, 1996

TEIXEIRA, R. I.; KIKUTI, H.; BORÉM, A. **Crescimento e produtividade de algodoeiro submetido a cloreto de mepiquat e doses de nitrogênio.** Bragantia, Campinas, v.67, n.4, p.891-897, 2008.

THORP, R. K.; BANGE, P. M.; BARNES, M. E.; HOOGENBOOM, G.; LASCANO, J. R.; MCCARTHY, A. C.; NAIR, S.; PAZ, O. J.; RAJAN, N.; REDDY, R. K.; WALL, W. G.; WHITE, W. J. **Development and Application of Process-based Simulation Models for Cotton Production: A Review of Past, Present, and Future Directions.** The Journal of Cotton Science 18:10–47 (2014).

TURETTA, A.P.D.; OLIVEIRA NETO, D.H. DE; BARROSO, G.; FERREIRA, C.E.; BALIEIRO, F. DE C.; POLIDORO, J.C.; BENITES, V.M.; PRADO, R.B. **Perfil agrícola do Brasil - Dados eletrônicos. Documentos / Embrapa Solos,** ISSN 1517-2627 ; 113. Rio de Janeiro, Brasil. 22 pp, 2009.

URQUIAGA, S.; MALAVOLTA, E. 2002. **Ureia: um adubo orgânico de potencial para a agricultura orgânica.** Cadernos de Ciência & Tecnologia 19:333-339.

US EPA. **Solid waste management and greenhouse gases: A life-cycle assessment of emissions and sinks.** Third edition. Chicago, pp.123, 2006.

UTSET, A.; MARTÍNEZ-COB, A.; FARRÉ, I.; CAVERO, J.; **Simulation the effects of extremes dry and wet years on the water use of flooding-irrigated maize in a Mediterranean landplane.** Agriculture Water Management, v.85, p.77-84, 2006.

Van Genuchten, T. **A closed-formed equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils.** Soil Sci. Soc. Am. J. 44, 892–989, 1980.

VAZIFEDOUST, A.; VAN DAM, J. C.; BASTIAANSEN, W. G. M.; FEDDES, R. A. **Assimilation of satellite data into agrohydrological models to improve crop yield forecast.** International Journal of Remote Sensing, v.30. p.2523-2545, 2009.

WILLMOTT, C.J. et al. **Climatology of terrestrial seasonal water cicle.** Internation Journal of Climatology, v.5, p.589-606, 1985. Disponível em: <[http://climate.geog.udel.edu/~climate/publication\\_html/Pdf/WRM\\_JClimatology\\_1985.pdf](http://climate.geog.udel.edu/~climate/publication_html/Pdf/WRM_JClimatology_1985.pdf)>. Acesso em: 08 jan. 2016.

Wilmot, C.J. **Some comments on the evaluation of model performance.** Bull. Am. Meteorol. Soc. 64, 1309–1313, 1982.

WILSON, T.W., WEBSTER, C.P., GOULDING, K.W.T., POWLSON, D.S. **Methane oxidation in temperate soils: effects of land use and the chemical form of nitrogen fertilizer.** Chemosphere 30, p.539–546, 1995.

WMO, 2014: **Greenhouse gas Bulletin: The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2013.** n. 10, 2014.

YANG, G.; TANG, H.; TONG, J.; NIE, Y.; ZHANG, X. **Effect of fertilization frequency on cotton yield and biomass accumulation.** Field Crops Research 125 (2012) 161–166.



## 14. ANEXO I

Manejo Fitossanitário e demais práticas agrícolas do cultivo de algodão safra 2014/2015.

Tabela de manejo fitossanitário e demais práticas agrícolas:

<b>Data</b>	<b>Prática</b>	<b>Produto</b>	<b>Dose (Lha-1)</b>	<b>Total Aplicado</b>
17/11/2014	Dessecação	Crucial (Glifosato)	3,000	315,00
17/11/2014	Dessecação	2-4D	1,000	105,00
17/11/2014	Dessecação	Óleo	0,500	52,50
27/11/2014	Dessecação	Glifosato	3,750	285,00
27/11/2014	Dessecação	IHAROL	0,500	38,00
27/11/2014	Dessecação	HELMOXONE	1,500	5,00
27/11/2014	Dessecação	IHAROL	0,500	1,50
02/12/2014	Aplicação Pré emergente	PROFIT	1,000	100,00
02/12/2014	Aplicação Pré emergente	HELMOXONE	1,000	100,00
02/12/2014	Aplicação Pré emergente	SDANIMEN	0,400	40,00
02/12/2014	Aplicação Pré emergente	PREMERLYN	1,500	150,00
15/12/2014	Aplicação Formigas	AMULET	0,500	5,00
18/12/2014	Aplicação Pulgão	DUAL GOLD	1,000	100,00
18/12/2014	Aplicação Pulgão	ORFEU	0,200	20,00
18/12/2014	Bordadura Bicudo	MALATHION	1,000	10,00
23/12/2014	Aplicação Pós emergente	POGLIOM	1,000	100,00
23/12/2014	Aplicação Pós emergente	IHAROL	0,500	40,00
26/12/2014	Bordadura Bicudo	MALATHION	1,000	92,00
28/12/2014	Bordadura Bicudo	MALATHION	1,000	9,00
30/12/2014	Aplicação Pulgão	LIBERTY	2,000	200,00
30/12/2014	Aplicação Pulgão	IHAROL	0,050	50,00
30/12/2014	Aplicação Pulgão	ORFEU	0,020	20,00

4				
06/01/2015	Bordadura Bicudo	MALATHION	1,000	9,00
12/01/2015	Bordadura Bicudo	MALATHION	1,000	9,00
15/01/2015	Bateria Bicudo	MARSHAL STAR	1,000	100,00
19/01/2015	Bordadura Bicudo	MALATHION	1,000	9,00
23/01/2015	Bateria Bicudo	MALATHION	1,000	100,00
27/01/2015	Bordadura Bicudo	MALATHION	1,000	9,00
30/01/2015	Bateria Bicudo	MALATHION	1,000	80,00
30/01/2015	Bateria Bicudo	ORFEU	0,025	20,00
30/01/2015	Bateria Bicudo	CHESS	0,400	8,30
02/02/2015	Aplicação Pulgão	LIBERTY	2,000	192,00
03/02/2015	Bordadura Bicudo	MALATHION	1,000	9,00
07/01/2015	Bordadura Bicudo	MALATHION	1,000	9,00
11/02/2015	Bateria Bicudo	MALATHION	1,000	101,00
11/02/2015	Bateria Bicudo	ORFEU	0,025	2,53
11/02/2015	Aplicação Fungicida	OPERA	0,060	6,00
11/02/2015	Aplicação Fungicida	FOX SHAKE	0,070	7,00
11/02/2015	Aplicação Fungicida	PODIUM	1,000	101,00
11/02/2015	Aplicação Fungicida	TIGER	0,025	2,53
16/02/2015	Bordadura Bicudo	MALATHION	1,000	9,00
21/02/2015	Aplicação/Bateria Bicudo	CLOROPIRETROS	1,500	150,00
21/02/2015	Aplicação/Bateria Bicudo	INTEPD	0,020	2,00
21/02/2015	Aplicação/Bateria Bicudo	ABAMECTINA	0,060	6,00
21/02/2015	Aplicação/Bateria Bicudo	JOINT	0,025	2,50
21/02/2015	Aplicação/Bateria Bicudo	OBERON	0,040	40,00
23/02/2015	Aplicação Micros	MANGANÊS	1,500	50,00
23/02/2015	Aplicação Micros	COMPLETO CERRADO (Co + Mb)	0,060	20,00
23/02/2015	Aplicação Micros	UREIA	3,000	100,00

5	23/02/201	Aplicação Micros	NITRATO	0,750	50,00
5	23/02/201	Aplicação Micros	MANGANÊS	1,500	100,00
5	23/02/201	Aplicação Micros	ALGA +	0,025	16,65
5	23/02/201	Aplicação Micros	UREIA	3,000	200,00
5	24/02/201	Bordadura Bicudo	MALATHION	1,000	9,00
5	24/02/201	Bateria Bicudo	MALATHION	1,000	10,00
5	24/02/201	Bateria Bicudo	FOX	0,040	4,00
5	24/02/201	Bateria Bicudo	JOINT	0,025	2,50
5	24/02/201	Bateria Bicudo	PREMERLYN	0,020	2,00
5	24/02/201	Bateria Bicudo	KRAFT	0,030	2,00
5	24/02/201	Bateria Bicudo	TIGER	0,025	2,50
5	28/02/201	Bateria Bicudo	MALATHION	1,000	9,30
5	28/02/201	Bateria Bicudo	FOX	0,040	4,00
5	28/02/201	Bateria Bicudo	JOINT	0,025	2,50
5	28/02/201	Bateria Bicudo	PREMERLYN	0,020	2,00
5	28/02/201	Bateria Bicudo	KRAFT	0,030	3,00
5	03/03/201	Bordadura Bicudo	MALATHION	1,000	9,00
5	07/03/201	Aplicação Micros	BRILHANTE	1,500	150,00
5	07/03/201	Aplicação Inseticida	POLO (acaros)	0,600	60,00
5	07/03/201	Aplicação Inseticida	MATCH (spodoptera)	0,400	40,00
5	13/03/201	Aplicação Micros	GLUTANIL	1,500	150,00
5	13/03/201	Aplicação Micros	MANGANES	1,500	150,00
5	13/03/201	Aplicação Micros	MACROFOL (N+P)	1,500	150,00
5	15/03/201	Bateria Bicudo	MALATHION	1,000	103,00
5	15/03/201	Bateria Bicudo	GALLAXY	0,200	20,60
5	18/03/201	Bordadura Bicudo	MALATHION	1,000	9,00
5	23/03/201	Bateria Bicudo	PIRINEX	1,500	150,00
5					

23/03/2015	Regulador de crescimento	TUVAL	0,200	20,00
27/03/2015	Fungicida	MERTIN	0,045	4,80
27/03/2015	Bordadura Bicudo	MALATHION	1,000	9,00
27/03/2015	Aplicação herb	PODIUM	1,000	20,00
27/03/2015	Aplicação	POGUER	0,000	0,40
30/03/2015	Bateria Bicudo	POLO	0,001	0,60
30/03/2015	Bateria Bicudo	PARACAP	1,200	120,00
30/03/2015	Bateria Bicudo	GALLAXY	0,000	0,20
02/04/2015	Bordadura Bicudo	MALATHION	1,000	9,00
04/04/2015	Bateria Bicudo	MALATHION	1,000	100,00
04/04/2015	Regulador de crescimento	LEGEND	0,012	12,00
07/04/2015	Bordadura Bicudo	MALATHION	1,000	9,00
09/04/2015	Fungicida	POMARK	1,000	100,00
09/04/2015	Micros	BRILHANTE ?	1,500	150,00
09/04/2015	Micros	AUREO (adjuvante)	0,300	30,00
14/04/2015	Bateria Bicudo	MALATHION	1,000	100,00
14/04/2015	Bateria Bicudo	AMPLIGO	0,200	20,00
14/04/2015	Bateria Bicudo	XENTARI	0,500	50,00
14/04/2015	Bateria Bicudo	OLEO VEGETAL	1,500	7,50
14/04/2015	Micros	AGER MAGNESIO	1,000	100,00
14/04/2015	Micros	MACROFOL (N+P)	1,000	100,00
14/04/2015	Micros	GLUTAMIN EXTRA	1,000	100,00
14/04/2015	Micros	GLUTAMIN K-LIBRE	1,500	150,00
17/04/2015	Bateria Bicudo	MALATHION	1,000	100,00
20/04/2015	Bateria Bicudo	MARSHAL STAR	1,000	100,00
20/04/2015	Bateria Bicudo	SCORE FLEX	0,000	0,30
25/04/2015	Bateria Bicudo	MALATHION	1,000	100,00
25/04/2015	Bateria Bicudo	OLEO VEGETAL	0,150	12,00

5				
30/04/201	Bateria Bicudo	MALATHION	1,000	100,00
5				
05/05/201	Bateria Bicudo	CEFANOL	1,500	150,00
5				
05/05/201	Bateria Bicudo	SCORE FLEX	0,000	0,30
5				
07/05/201	Bordadura Bicudo	MALATHION	1,000	9,00
5				
09/05/201	Bateria Bicudo	TRINCA CAPS	0,000	0,20
5				
12/05/201	Bordadura Bicudo	MALATHION	1,000	9,00
5				
15/05/201	Bateria Bicudo	SINGULAR	0,070	7,00
5				
15/05/201	Bateria Bicudo	MARSHAL STAR	0,040	4,00
5				
15/05/201	Regulaodor de crescimento	LEGEND	0,000	0,20
5				
18/05/201	Bordadura Bicudo	SINGULAR	0,070	7,00
5				
22/05/201	Bateria Bicudo	POLO	0,001	0,60
5				
22/05/201	Bateria Bicudo	MALATHION	1,000	100,00
5				
22/05/201	Bateria Bicudo	OLEO VEGETAL	2,000	8,00
5				
28/05/201	Bordadura Bicudo	MALATHION	1,000	9,00
5				
29/05/201	Bateria Bicudo	CONNECT	1,200	120,00
5				
03/06/201	Bordadura Bicudo	MALATHION	1,000	9,00
5				
05/06/201	Bateria Bicudo	PARACAP	1,200	120,00
5				
08/06/201	Bordadura Bicudo	PARACAP	1,200	10,80
5				
13/06/201	Bateria Bicudo	MALATHION	1,000	100,00
5				
13/06/201	Bateria Bicudo	OLEO VEGETAL	2,000	8,00
5				
16/06/201	Bordadura Bicudo	PARACAP	1,200	10,80
5				
20/06/201	Bateria Bicudo	MALATHION	1,000	100,00
5				
20/06/201	Bateria Bicudo	MARSHAL STAR	0,001	0,50
5				
08/07/201	Desfolha	AURORA	0,070	7,00
5				
08/07/201	Desfolha	OLEO VEGETAL	0,500	2,00
5				
08/07/201	Bateria Bicudo	MALATHION	1,000	100,00
5				
<b>TOTAL</b>				<b>6920,10</b>

## 15. ANEXO II

Resultados das análises estatísticas efetuadas para a avaliação dos dados de crescimento e produtividade do algodão, safra 2014/2015.

### Capítulo I:

Arquivo analisado:

D:\Documentos\Cotton\_LEM [EPB]\Dados SISVAR\Dados analise cresc c1.dbf

Variável analisada: BT

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	2	9874.352145	4937.176073	2.062	0.1548
erro	19	45500.648600	2394.770979		
Total corrigido	21	55375.000745			
CV(%) =	30.86				
Média geral:	158.5945455	Número de observações:		22	

Teste Tukey para a FV TRAT

DMS: 65.5540245194552NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 7.2  
Erro padrão: 18.2375184827694

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
t	130.650000	a1
S	172.810000	a1
U	176.900000	a1

Variável analisada: BT

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	2	9874.352145	4937.176073	2.062	0.1548
erro	19	45500.648600	2394.770979		
Total corrigido	21	55375.000745			
CV(%) =	30.86				
Média geral:	158.5945455	Número de observações:		22	

-----  
 Teste Tukey para a FV TRAT  
 -----

DMS: 65.5540245194552NMS: 0.05  
 -----

Média harmonica do número de repetições (r): 7.2  
 Erro padrão: 18.2375184827694  
 -----

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
t	130.650000	a1
S	172.810000	a1
U	176.900000	a1

-----  
 Variável analisada: PDTBT

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )  
 -----

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	2	240397168.370173	20198584.185087	2.062	0.1548
erro	19	186155466.158808	9797656.113621		
Total corrigido	21	21226552634.528982			
CV(%) =	30.86				
Média geral:	10143.9490909	Número de observações:		22	

-----  
 Teste Tukey para a FV TRAT  
 -----

DMS: 4193.03475383138NMS: 0.05  
 -----

Média harmonica do número de repetições (r): 7.2  
 Erro padrão: 1166.52714127718  
 -----

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
t	8356.561250 a1	
S	11053.223750 a1	
U	11314.766667 a1	

Variável analisada: BER

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	2	2525.093429	1262.546715	1.008	0.3837
erro	19	23798.252121	1252.539585		
Total corrigido	21	26323.345550			
CV(%) =	34.48				
Média geral:	102.6450000	Número de observações:	22		

Teste Tukey para a FV TRAT

DMS: 47.4092512137177NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 7.2  
 Erro padrão: 13.1895349157065

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
t	88.720000 a1	
U	107.716667 a1	
S	112.766250 a1	

Variável analisada: BCAP

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	2	1841.148356	920.574178	1.414	0.2677
erro	19	12371.870771	651.151093		
Total corrigido	21	14213.019127			



CV(%) = 35.72  
 Média geral: 71.4381818 Número de observações: 22

Teste Tukey para a FV TRAT

DMS: 34.1828487193085NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 7.2  
 Erro padrão: 9.50987128375442

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
t	60.841250 a1	
U	71.098333 a1	
S	82.290000 a1	

Variável analisada: BFBC

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	2	268.599738	134.299869	1.045	0.3710
erro	19	2441.483571	128.499135		
Total corrigido	21	2710.083309			

CV(%) = 36.33  
 Média geral: 31.2063636 Número de observações: 22

Teste Tukey para a FV TRAT

DMS: 15.1850934379853NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 7.2  
 Erro padrão: 4.22458307125977

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
t	27.878750 a1	
S	30.475000 a1	
U	36.618333 a1	

-----  
Variável analisada: PDTBER

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )  
-----

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	2	210329146.603861	5164573.301931	1.008	0.3837
erro	19	97364197.353775	5124431.439672		
Total corrigido		21107693343.957636			
CV(%) =	34.48				
Média geral:	6565.3927273	Número de observações:		22	

-----  
Teste Tukey para a FV TRAT  
-----

DMS: 3032.42598514028NMS: 0.05  
-----

Média harmonica do número de repetições (r): 7.2  
Erro padrão: 843.638897184918  
-----

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
t	5674.781250 a1	
U	6889.760000 a1	
S	7212.728750 a1	

-----  
Variável analisada: PRDTCAP

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )  
-----

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	2	7532151.8293613766075.914680		1.414	0.2677
erro	19	50613465.169421	2663866.587864		
Total corrigido		2158145616.998782			
CV(%) =	35.72				
Média geral:	4569.3309091	Número de observações:		22	

-----  
Teste Tukey para a FV TRAT  
-----

-----  
DMS: 2186.36970645697NMS: 0.05  
-----

Média harmonica do número de repetições (r): 7.2  
Erro padrão: 608.261021714117  
-----

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
t	3891.533750 a1	
U	4547.611667 a1	
S	5263.417500 a1	

-----

Arquivo analisado:

D:\Documentos\Cotton\_LEM [EPB]\Dados SISVAR\Dados analise cresc2.dbf  
-----

Variável analisada: BC

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )  
-----

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	2	2614.735706	1307.367853	4.567	0.0240
erro	19	5439.105758	286.268724		
Total corrigido	21	8053.841464			
CV(%) =	31.93				
Média geral:	52.9882727	Número de observações:		22	

-----

-----  
Teste Tukey para a FV TRAT  
-----

DMS: 22.6649266112077NMS: 0.05  
-----

Média harmonica do número de repetições (r): 7.2  
Erro padrão: 6.30551702984824  
-----

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
t	39.382250 a1	
S	56.838875 a1 a2	
U	65.995500a2	

-----

Arquivo analisado:

D:\Documentos\Cotton\_LEM [EPB]\Dados SISVAR\cap 1\Dados analise cresc3.dbf  
-----

Variável analisada: ALT

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	2	0.237222	0.118611	2.630	0.0872
erro	33	1.488542	0.045107		
Total corrigido	35	1.725764			
CV(%) =	19.89				
Média geral:	1.0680556	Número de observações:		36	

Teste Tukey para a FV TRAT

DMS: 0.212834562567278NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 12  
Erro padrão: 0.0613102242916596

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
T	0.954167	a1
I	1.112500	a1
E	1.137500	a1

Arquivo analisado:

D:\Documentos\Cotton\_LEM [EPB]\Dados SISVAR\Dados prod c2.dbf

Variável analisada: PRODC

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	4	738.733430	184.683358	0.764	0.5648
erro	15	3625.931650	241.728777		
Total corrigido	19	4364.665080			
CV(%) =	18.60				
Média geral:	83.6040000	Número de observações:		20	

-----  
 Teste Tukey para a FV TRAT  
 -----

DMS: 33.9586103174746NMS: 0.05  
 -----

Média harmonica do número de repetições (r): 4  
 Erro padrão: 7.77381464704855  
 -----

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
t	76.610000	a1
f	78.555000	a1
d	83.872500	a1
c	84.970000	a1
a	94.012500	a1

-----  
 Variável analisada: PRODT  
 Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )  
 -----

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	4	4396709.5200801099177.380020	5.950	0.0045	
erro	15	2770804.085975	184720.272398		
Total corrigido	19	7167513.606055			
CV(%) =	7.57				
Média geral:	5675.9865000	Número de observações:	20		

**CAPÍTULO II:**

-----  
 Teste Tukey para a FV TRAT  
 -----

DMS: 938.735004226477NMS: 0.05  
 -----

Média harmonica do número de repetições (r): 4  
 Erro padrão: 214.895481803558  
 -----

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
t	5065.787500	a1
f	5550.985000	a1
d	5584.430000	a1 a2
a	5664.475000	a1 a2
c	6514.255000	a2

Variável analisada: PL

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	4	880989.956470	220247.489117	6.186	0.0038
erro	15	534088.047350	35605.869823		
Total corrigido	19	1415078.003820			
CV(%) =	7.58				
Média geral:	2489.7170000	Número de observações:		20	

Teste Tukey para a FV TRAT

DMS: 412.141675321986NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 4  
Erro padrão: 94.3475885003604

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
t	2196.977500	a1
f	2441.625000	a1 a2
d	2456.737500	a1 a2
a	2501.575000	a1 a2
c	2851.670000	a2

Variável analisada: SEM

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	4	1350176.181030	337544.045258	5.807	0.0050
erro	15	871943.871350	58129.591423		
Total corrigido	19	2222120.052380			
CV(%) =	7.57				
Média geral:	3186.2690000	Número de observações:		20	

-----  
Teste Tukey para a FV TRAT  
-----

DMS: 526.604259344475NMS: 0.05  
-----

Média harmonica do número de repetições (r): 4  
Erro padrão: 120.5503955026  
-----

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
t	2868.815000	a1
f	3109.362500	a1
d	3127.690000	a1
a	3162.895000	a1 a2
c	3662.582500	a2

-----

Variável analisada: ENT  
Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )  
-----

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	4	4.180000	1.045000	0.634	0.6463
erro	15	24.740000	1.649333		
Total corrigido	19	28.920000			
CV(%) =	4.24				
Média geral:	30.3000000	Número de observações:		20	

-----

-----  
Teste Tukey para a FV TRAT  
-----

DMS: 2.80504575938455NMS: 0.05  
-----

Média harmonica do número de repetições (r): 4  
Erro padrão: 0.642131866000539  
-----

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
t	29.550000	a1
f	30.050000	a1
c	30.400000	a1
d	30.700000	a1
a	30.800000	a1

-----

Variável analisada: ALT

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	4	0.076720	0.019180	6.542	0.0030
erro	15	0.043975	0.002932		
Total corrigido	19	0.120695			
CV(%) =	4.03				
Média geral:	1.3445000	Número de observações:		20	

Teste Tukey para a FV TRAT

DMS: 0.118261402959306NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 4  
Erro padrão: 0.0270724337041697

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
t	1.225000	a1
c	1.357500	a2
a	1.365000	a2
f	1.370000	a2
d	1.405000	a2

Variável analisada: PLHA

Opção de transformação: Variável sem transformação ( Y )

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	4	4570848838.719630	142712209.679908	1.600	0.2258
erro	15	1.338152131E+0009	89210142.043710		
Total corrigido	19	191.909000969E+0009			
CV(%) =	13.65				
Média geral:	69188.5960000	Número de observações:		20	

Teste Tukey para a FV TRAT



-----  
DMS: 20629.696925154NMS: 0.05  
-----

Média harmonica do número de repetições (r): 4  
Erro padrão: 4722.55603576363  
-----

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
a	61951.752500	a1
t	66885.965000	a1
d	66885.965000	a1
f	72916.665000	a1
c	77302.632500	a1

-----