

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM AGRONOMIA

WEMERSON SAULO DA SILVA BARBOSA

**MILHO CULTIVADO SOB DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E  
ADUBAÇÃO NITROGENADA.**

Rio Largo-AL

2017

WEMERSON SAULO DA SILVA BARBOSA

**MILHO CULTIVADO SOB DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E  
ADUBAÇÃO NITROGENADA**

Dissertação apresentada ao Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Bastos Lyra

Rio Largo- AL

2017

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**

Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

- B238d      Barbosa, Wemerson Saulo da Silva.  
                Milho cultivado sob diferentes lâminas de irrigação e adubação  
Nitrogenada / Wemerson Saulo da Silva Barbosa. – 2017.  
                91 f. : il.
- Orientador: Guilherme Bastos Lyra.  
                Dissertação (mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal  
de Alagoas. Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2017.
- Bibliografia: f. 75-91.
1. Milho. 2. Milho – Função de produção. 3. Milho - Produtividade.  
4. Variedade - AG 7088 . I. Título.

CDU: 633.15

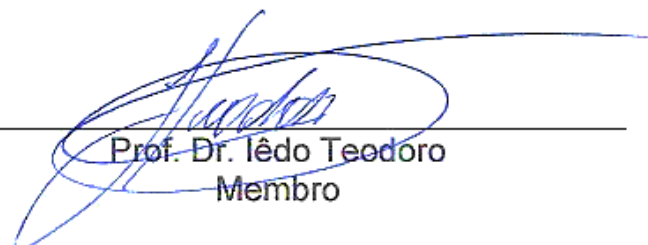
## TERMO DE APROVAÇÃO

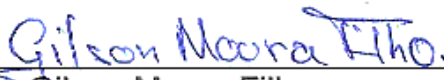
WEMERSON SAULO DA SILVA BARBOSA  
(Matrícula 15130129)

### **“Milho cultivado sob diferentes lâminas de irrigação e adubação nitrogenada”**

Dissertação apresentada e avaliada pela banca examinadora em vinte e sete de abril de 2017, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal) da Unidade Acadêmica Centro de Ciências Agrárias da UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Guilherme Bastos Lyra  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Iêdo Teodoro  
Membro

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Gilson Moura Filho  
Membro

RIO LARGO – AL

Abril/2017

*A Deus, por trilhar a minha vida, me dando forças ao longo de minhas batalhas, sabedoria, saúde e proteção;*

*Aos meus queridos Avos: Antônio Elias (in memoriam), e Maria Salete por todo esforço e incentivo ao longo de minha vida educativa, sempre exigindo o melhor de mim;*

*A minha querida mãe Clarete, pelo companheirismo em vários momentos da minha vida, me dando incentivo, amor e carinho;*

*A minha namorada Erika Nataly, pelo companheirismo, amor, paciência e incentivo;*

*As minhas tias: Lanuza, Valci e Cleide, pela motivação e incentivo ao longo de meus estudos;*

*Aos meus irmãos: Ana Cléia, Cleane, Antunes Barbosa e Antônio Felipe, pelo incentivo e paciência.*

**Dedico!**

## **AGRADECIMENTOS**

A Universidade Federal de Alagoas por intermédio do programa de Pós Graduação em Produção Vegetal-CECA/UFAL, pela oportunidade de realização deste curso.

Ao Prof. Dr. Guilherme Bastos Lyra, pelo conhecimento transmitido ao longo de meu mestrado, pelo respeito, ética com que conduz a profissão de docente.

Aos professores, José Leonaldo e Iêdo Teodoro, pelos ensinamentos, suporte, confiança, conselhos, incentivo e oportunidades.

Aos demais Professores da Pós Graduação em Agronomia-CECA/UFAL, por contribuir significativamente em meu mestrado: Eurico Lemos, José Vieira, Laurício Endres, Vilma Marques, Ricardo Araújo, Renan Cantalice, Paulo Wanderley e outros

Aos amigos do Setor de Irrigação e Agrometeorologia, Allan Moura, Aristides Constantino, Arthur Cantareli, Augusto César, Cícero Teixeira, Constantino Antônio Júnior, Eloísa Silvestre, Gleydson Sarmiento, Ivomberg Dourado, Lekson Rodrigues, Marcelo Augusto, Jeferson Miguel, Samuel Silva e Ricardo Barbosa. Pela força no desenvolvimento dos experimentos, conselhos, e boa convivência.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela fomentação da bolsa de mestrado.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Elevação populacional entre 1950 a 2050.....	22
<b>Figura 2.</b> Interligação de fatores para gerar produtividade. ....	23
<b>Figura 3.</b> Ilustração da “Lei do mínimo” desenvolvida pela escola de Liebig.....	26
<b>Figura 4.</b> Consumo mundial de nitrogênio ( $10^3$ t). ....	27
<b>Figura 5.</b> Consumo de Nitrogênio pela Agricultura Brasileira (1950-2015).....	27
<b>Figura 6.</b> Processos para obtenção de diferentes fontes de Nitrogênio, utilizando amônia ( $NH_3$ ) como matéria prima.....	30
<b>Figura 7.</b> Principais produtores mundiais de milho entre as safras (2013-2014).....	31
<b>Figura 8.</b> Produção Brasileira nas safras 2015/2016.....	32
<b>Figura 9.</b> Área colhida no Brasil entre as safras 2015/2016. ....	32
<b>Figura 10.</b> Produção de milho no nordeste brasileiro nas safras (2015-2016). ....	33
<b>Figura 12.</b> Rendimento médio por Estados nordestinos (2015-2016). ....	33
<b>Figura 13.</b> Fases de desenvolvimento da cultura do milho.....	35
<b>Figura 14.</b> Distribuição do uso da água por setores. ....	39
<b>Figura 15.</b> Área irrigada por regiões (ha).....	40
<b>Figura 16.</b> Distribuição das áreas irrigadas por sistemas no Brasil (ha).....	41
<b>Figura 17.</b> Demanda hídrica da cultura do milho dividindo sua fenologia em 4 fases.	43
<b>Figura 18.</b> Entradas e saídas de água de um solo vegetado, sob influência da radiação solar e velocidade do vento.....	44
<b>Figura 19.</b> Localização da área experimental no Estado de Alagoas. ....	48
<b>Figura 20.</b> Croqui detalhado da área experimental (A), detalhe da subparcela (B). .	50
<b>Figura 21.</b> Preparo do solo (A); abertura dos sulcos (B), calagem (C) e adubação de fundação (D).....	51
<b>Figura 22.</b> Sistema de irrigação por gotejamento, detalhe da distância entre as linhas de plantas e da fita gotejadora. ....	52
<b>Figura 23.</b> Sistema de irrigação por gotejamento, distância de 20 cm entre emissores (A), formação de faixa irrigada (B), derivações próximas as linhas de plantio (C) e monitoramento do sistema de irrigação (D).....	53
<b>Figura 24.</b> Formação das doses de Nitrogênio (A) e (B); distribuição em linha (C) e cobertura (D).....	54

<b>Figura 25.</b> Seleção de plantas para avaliação biométrica (A); medida da altura do dossel e altura do colar, diâmetro do colmo em (B), (C) e (D), respectivamente. ....	57
<b>Figura 26.</b> Material separado em: colmos, folhas, pendões e espigas para a determinar a biomassa seca total (A), (B), (C) e (D). .....	58
<b>Figura 27.</b> Obtenção de dados dos componentes de produção, colheita manual das espigas (A), despalha e debulha dos grãos (B), contabilização do número de grãos por espiga e peso de mil grãos, (C) e (D), respectivamente. ....	61
<b>Figura 28.</b> Variáveis meteorológicas: Temperatura média do ar ( $T_{m\acute{e}dia}$ ) e umidade relativa média do ar ( $UR_{m\acute{e}dia}$ ), no período de 29/02 a 20/06 de 2016, na região de Rio Largo-AL. ....	64
<b>Figura 29.</b> Balanço de água no solo, cultivado com milho irrigado sob diferentes lâminas de irrigação: 40 % da $ET_c$ (A), 80 % da $ET_c$ (B), 120 % da $ET_c$ (C), 160% da $ET_c$ (D) e 200% da $ET_c$ (E), no período de 29/02 a 20/06 de 2016, na região de Rio Largo-AL.....	66
<b>Figura 30.</b> Variação da evapotranspiração ( $ET_c$ ), do milho híbrido AG 7088 VT PRO 3, no período de 29/02 a 20/06 de 2017 em Rio Largo-AL .....	67
<b>Figura 31.</b> Regressão linear forçada a passa pela origem entre os estádios fenológicos (1=VE, 2=V4, 3=V12, 4=VT, 5=R1, 6=R2, 7=R3, 8=R4, 9=R5 e 10=R6) em função dos graus-dia acumulado ( $^{\circ}C\ d$ ). .....	69
<b>Figura 32.</b> Altura do dossel, e curva ajustadas pelo modelo pic log normal para o milho híbrido AG 7088 VT PRO 3 irrigado, em Rio Largo-AL. ....	70
<b>Figura 33.</b> Altura do dossel vegetativo, e curvas ajustadas pelo modelo logístico para o milho híbrido AG 7088 VT PRO 3, em função das doses de 0 (A), 75 (B), 150 (C) e 225 (D) $kg\ ha^{-1}$ de nitrogênio, em Rio Largo-AL.....	72
<b>Figura 34.</b> Índice de área foliar (IAF), e curvas ajustadas pelo modelo pic log normal para o milho híbrido AG 7088 VT PRO 3 irrigado, em Rio Largo-AL. ....	73
<b>Figura 35.</b> Índice de área foliar (IAF), e curvas ajustadas pelo modelo pic log normal para o milho híbrido AG 7088 VT PRO 3, em função das doses de 0 (A), 75 (B), 150 (C) e 225 (D) $kg\ ha^{-1}$ de nitrogênio, em Rio Largo-AL.....	74
<b>Figura 36.</b> Diâmetro de caule (DC), do milho híbrido AG 7088 VT PRO 3 irrigado, com ajuste de curva pelo modelo sigmoidal de Boltzmann, em Rio Largo-AL.....	76
<b>Figura 37.</b> Diâmetro de caule (DC), do milho híbrido AG 7088 VT PRO3 irrigado, ajustado pelo modelo sigmoidal de Boltzmann, para, em função das doses de 0 (A), 75 (B), 150 (C) e 225 (D) $kg\ ha^{-1}$ de nitrogênio, em Rio Largo-AL. ....	78



<b>Figura 38.</b> Biomassa total de plantas, e curvas ajustadas pelo modelo logístico, para o milho híbrido AG 7088 VT PRO 3, em Rio Largo-AL .....	79
<b>Figura 39.</b> Biomassa total de plantas, e curvas ajustadas pelo modelo logístico, para o milho híbrido AG 7088 VT PRO 3, em função das doses de 0 (A), 75 (B), 150 (C) e 225 (D) kg ha <sup>-1</sup> de nitrogênio, em Rio Largo-AL.....	80
<b>Figura 40.</b> Altura de inserção da espiga (AIE) em função de Irrigação, em Rio Largo-AL.....	82
<b>Figura 41.</b> Altura de inserção da espiga (AIE) do milho híbrido AG 7088 VT PRO 3, em função das doses de: 0, 75, 150 e 225 kg ha <sup>-1</sup> de nitrogênio, em Rio Largo-AL....	83
<b>Figura 42.</b> Biomassa verde para ensilagem (BVE) do milho híbrido AG 7088 VT PRO 3, para as doses 0, 75, 150 e 225 kg ha <sup>-1</sup> de nitrogênio, em Rio Largo-AL. ....	84
<b>Figura 43.</b> Biomassa verde final (BVF) do milho híbrido AG 7088 VT PRO 3, para as doses 0, 75, 150 e 225 kg ha <sup>-1</sup> de nitrogênio, em Rio Largo-AL. ....	85
<b>Figura 44.</b> Biomassa seca final (BSF) de milho em função de doses de nitrogênio: 0, 75, 150 e 225 kg de N ha <sup>-1</sup> , em Rio Largo-AL. ....	86
<b>Figura 45.</b> Produtividade agrícola (t ha <sup>-1</sup> ) do milho híbrido AG 7088 VT PRO 3, sob diferentes doses de nitrogênio, em Rio Largo-AL. ....	88
<b>Figura 46.</b> Peso de mil grãos (PMG) (g) e Comprimento de espiga (CE) (cm) para o milho híbrido AG 7088 VT PRO 3, sob diferentes doses de nitrogênio 0, 75, 150 e 225 kg ha <sup>-1</sup> , em Rio Largo-AL. ....	91
<b>Figura 47.</b> Número de linhas de grãos por espiga (NLGE) e Número de Grãos por espiga (NGE) para o milho híbrido AG 7088 VT PRO 3, sob diferentes doses de nitrogênio 0, 75, 150 e 225 kg ha <sup>-1</sup> , em Rio Largo-AL.....	92
<b>Figura 48.</b> Eficiência agrônômica (EA) para o milho híbrido AG 7088 VT PRO 3, sob diferentes doses de nitrogênio 0, 75, 150 e 225 kg ha <sup>-1</sup> , em Rio Largo-AL.....	98

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Tempo decorrido para elevar a população mundial ao longo de anos.....	21
<b>Tabela 2.</b> Macro e micro nutrientes exigidos pelas plantas.....	25
<b>Tabela 3.</b> Principais fontes de nitrogênio utilizadas na agricultura.....	29
<b>Tabela 4.</b> Fenologia do milho conforme a escala proposta por Ritchie e Hanway (1989).....	34
<b>Tabela 5.</b> Extração média de nutrientes pela cultura do milho destinada à produção de grãos e ensilagem em diferentes níveis de produtividade.....	38
<b>Tabela 6.</b> Principais componentes do balanço de água no solo. ....	45
<b>Tabela 7.</b> Características físicas do solo da área experimental. ....	49
<b>Tabela 8.</b> Estádios de desenvolvimento das plantas tendo como base os dias após a semeadura (DAS) e Graus-dia acumulados (GDA).....	68
<b>Tabela 9.</b> Altura do dossel vegetativo (cm), estimada pelo modelo logístico do milho híbrido AG 7088 VT PRO 3 irrigado, em Rio Largo-AL. ....	70
<b>Tabela 10.</b> Altura de dossel vegetativo (cm), para o milho híbrido AG 7088 VT PRO 3 irrigado, estimado pelo modelo logístico, em função de doses de nitrogênio, em Rio Largo-AL.....	71
<b>Tabela 11.</b> Estimativas de índice de área foliar (IAF) pelo modelo pic log normal para o milho híbrido AG 7088 VT PRO 3, em função de irrigações, em Rio Largo-AL. ....	73
<b>Tabela 12.</b> Índice de área folia (IAF) do milho híbrido AG 7088 VT PRO 3 adubado com diferentes doses de Nitrogênio, ajustado pelo modelo pic log normal, em Rio Largo-AL.....	75
<b>Tabela 13.</b> Diâmetro de colmo (cm) do milho híbrido AG 7088 VT PRO 3 irrigado, estimado pelo modelo sigmoidal de Boltzmann, em Rio Largo-AL. ....	76
<b>Tabela 14.</b> Diâmetro de colmo (cm) estimada pelo modelo sigmoidal de Boltzmann, para o milho híbrido AG 7088 VT PRO 3 irrigado, em função de doses de nitrogênio, em Rio Largo-AL. ....	78
<b>Tabela 15.</b> Biomassa total de planta (g) estimada pelo modelo logístico, para o milho híbrido AG 7088 VT PRO 3 irrigado, em Rio Largo-AL. ....	79
<b>Tabela 16.</b> Biomassa total de planta (g) estimada pelo modelo logístico, para o milho híbrido AG 7088 VT PRO 3 irrigado, em função de doses nitrogênio, em Rio Largo-AL.....	81

<b>Tabela 17.</b> Quadrados médios pela análise da variância dos efeitos de irrigação e doses de nitrogênio, no milho híbrido AG 7088 VT PRO 3 para: altura de inserção da espiga (AIE), biomassa verde para silagem (BVS), biomassa verde final (BVF) e biomassa seca final (BSF).....	81
<b>Tabela 18.</b> Modelos matemáticos utilizados para a estimar o rendimento máximo (Y máx.) e o nível máximo eficiente, para a AIE, BVS, BVF e BSF, no milho híbrido AG 7088 VT PRO 3, sob diferentes Irrigações: 4,20, 48,18, 62,95, 136,81 e 177,47 (mm), respectivamente, e doses de nitrogênio 0, 75, 150 e 225 kg ha <sup>-1</sup> , em Rio Largo-AL.	83
<b>Tabela 19.</b> Índice de colheita (IC) para o milho híbrido AG 7088 VT PRO 3, sob diferentes doses de nitrogênio 0, 75, 150 e 225 kg ha <sup>-1</sup> , em Rio Largo-AL.....	89
<b>Tabela 20.</b> Modelos matemáticos utilizados para a estimar o rendimento máximo (Y máx.) e a dose máxima eficiente de N kg de ha <sup>-1</sup> , para o milho híbrido AG 7088 VT PRO 3, sob diferentes doses de nitrogênio 0, 75, 150 e 225 kg ha <sup>-1</sup> , em Rio Largo-AL. ....	90
<b>Tabela 21.</b> Modelos matemáticos utilizados para a desdobramento da interação entre as lâminas de irrigação e doses de Nitrogênio para MS (g), para o milho híbrido AG 7088 VT PRO 3, sob diferentes doses de nitrogênio 0, 75, 150 e 225 kg ha <sup>-1</sup> , em Rio Largo-AL.....	94
<b>Tabela 22.</b> Análise de variância (Quadrado médio) para os componentes de produção: produtividade agrícola (PA) (Kg ha <sup>-1</sup> ); Peso de mil grão (PMG) (g); Comprimento da espiga (CE) (cm); Diâmetro da espiga (DE) (cm), Número de linhas de grão por espiga por espiga (NLGE); Número de grão por linha (NGL); Número de grãos por espiga (NGE) e Massa do sabugo (MS), em função de lâminas de irrigação: 40% da ET <sub>c</sub> : 4 mm, 80% da ET <sub>c</sub> : 48 mm, 120% da ET <sub>c</sub> : 63 mm, 160% da ET <sub>c</sub> : 137 mm e 200% da ET <sub>c</sub> : 177 mm e doses de nitrogênio: 0, 75, 150 e 225 kg ha <sup>-1</sup> em Rio Largo-AL.....	95
<b>Tabela 23.</b> Desdobramento da interação entre as lâminas de irrigação e doses de Nitrogênio para MS (g). ....	96
<b>Tabela 24.</b> Análise de variância (Quadrado médio) para a eficiência agrônômica (EA), do milho híbrido AG 7088 VT PRO 3, sob diferentes doses de nitrogênio, em Rio Largo-AL.....	97

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	16
2.	OBJETIVOS.....	17
3.	REVISÃO DE LITERATURA.....	18
3.1.	Crescimento demográfico X nutrição mundial.....	18
3.2.	Os Insumos na agricultura.....	20
3.3.	A nutrição mineral de plantas.....	22
3.4.	O Nitrogênio na Agricultura.....	24
3.5.	Importância econômica da cultura do milho.....	28
3.6.	Fisiologia, fenologia e crescimento do milho.....	32
3.7.	A Adubação nitrogenada na cultura do milho.....	34
3.8.	A Importância da irrigação.....	36
3.9.	A demanda hídrica e a irrigação na cultura do milho.....	39
4.	Balanço hídrico do solo.....	41
4.1.	Crescimento e modelagem.....	44
4.2.	Função de produção.....	46
5.	MATERIAL E MÉTODOS.....	47
5.1.	Aspectos da área experimental.....	47
5.2.	Delineamento experimental.....	48
5.3.	Sistema de cultivo.....	49
5.4.	Manejo de irrigação.....	50
5.5.	Aplicação das doses de nitrogênio e debate.....	52
5.6.	Avaliações.....	53
5.6.a.	Medidas ambientais e Balanço hídrico.....	53
5.6.b.	Fenologia em função da disponibilidade térmica.....	55
5.6.c.	Análise de crescimento em função de lâminas de irrigação, doses de Nitrogênio .....	55
5.6.d.	Função de produção.....	59
5.6.e.	Eficiência agronômica do nitrogênio.....	62
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	63
6.a.	Medidas ambientais e Balanço hídrico.....	63
6.b.	Fenologia em função da disponibilidade térmica.....	66

<b>6.c.</b>	<b>Análise de crescimento em função de lâminas de irrigação, doses de Nitrogênio.....</b>	<b>68</b>
<b>6.d.</b>	<b>Função de produção.....</b>	<b>80</b>
<b>6.e.</b>	<b>Eficiência agronômica do nitrogênio.....</b>	<b>96</b>
<b>7.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>98</b>
<b>8.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>100</b>

“A agricultura move o mundo e também os meus sonhos!”

(Autor desta monografia)

## RESUMO

BARBOSA, W.S.S. **Milho cultivado sob diferentes lâminas de irrigação e adubação nitrogenada**. 2017. 115 p. Dissertação de mestrado em produção vegetal- Universidade Federal de Alagoas-Centro de Ciências Agrárias.

A adubação nitrogenada e a irrigação, são fundamentais para incrementar o rendimento da cultura do milho, principalmente no Estado de Alagoas, onde o mesmo é cultivado em carência tecnológica. O presente trabalho teve por objetivo avaliar o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade da cultura do milho (*Zea mays* L.) sob níveis de irrigação e doses de nitrogênio na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. O experimento foi desenvolvido no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas (CECA/UFAL), em delineamento em blocos casualizados, em parcelas subdivididas, o genótipo de milho utilizado foi o AG 7088 VT PRO3, submetido às lâminas de irrigação: (40%, 80%, 120%, 160 e 200% da  $ET_c$ ) e doses de nitrogênio (N): (0, 75, 150 e 225  $ha^{-1}$ ). Durante o ciclo da cultura foram avaliados: a fenologia em função da disponibilidade térmica, crescimento em função de irrigações e nitrogênio ajustado a três modelos de crescimento: logístico, pico log normal e sigmoidal de Boltzmann, função de produção para o milho AG7088 sob irrigações e doses de nitrogênio, eficiência no uso da água para a cultivar estudada. Os resultados obtidos nos tratamentos foram submetidos à análise de variância pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ) e, quando houve efeito significativo efetuou-se curvas de regressão a t ( $p \leq 0,05$ ). O desenvolvimento vegetativo levou aproximadamente 107 DAS, acumulando 1.691,4 Graus dia (GD). Os modelos de crescimento apresentaram ajuste significativo para as variáveis analisadas. Observou-se que a altura de inserção de espiga de 1,37 (m) com a aplicação da lâmina de irrigação 120 mm, e 1,34 m aplicando a dose de 174,5 kg de N  $ha^{-1}$ . A biomassa verde para a silagem (BVS) foi estimada com 174,23 kg de N  $ha^{-1}$ , gerando a produção de 52.249 kg  $ha^{-1}$ . A dose para a (BVF) foi 189 kg de N  $ha^{-1}$ , promovendo 54.080 kg de BVF  $ha^{-1}$ . A Biomassa seca final (BSF) máxima foi alcançado com a dose de 159,58 kg de N  $ha^{-1}$ , gerando 15.424 kg de BSF  $ha^{-1}$ . Para os componentes de produção, houve influência da adubação nitrogenada a F ( $p \leq 0,01$ ), exceto para o diâmetro das espigas (DE) e o número de linhas de grãos por espiga (NLGE) F ( $p \leq 0,05$ ). A produtividade agrícola (PA) máxima ( $t ha^{-1}$ ) estimada foi 7,97  $t ha^{-1}$ , obtida com a dose de 171,82 kg de N  $ha^{-1}$ . A dose máxima de 184,75 kg  $ha^{-1}$ , promoveu o maior Peso de mil grãos (PMG), com o valor de 254,21 (g). O máximo comprimento de espiga (CE), 15,89 cm, foi estimado com 187,26 kg de N  $ha^{-1}$ . A dose máxima eficiente para o número de grãos por linha (NGL) foi de 192,14 kg de N  $ha^{-1}$ , equivalente ao NGL de 33,84. O Número de grãos por espiga (NGE) máximo, 615, 51, foi estimado com a dose de 173, 22 kg de N  $ha^{-1}$ . O nitrogênio tem efeito nas variáveis estudadas, até um ponto máximo, com tendência a decréscimo após atingi-lo. A eficiência agrônômica diminui quando se aumenta as doses de N em cobertura.

**Palavras chave:** função de produção, produtividade, AG 7088.

## ABSTRACT

BARBOSA, W.S.S. **Maize cultivated under different irrigation levels and nitrogen fertilization**. 2017. 115 p. Master's Dissertation in Plant Production-Federal University of Alagoas-Agrarian Sciences Center.

Nitrogen fertilization and irrigation are fundamental to increase yield of maize crop, mainly in the State of Alagoas, where it is cultivated in technological deficiency. The objective of this work was to evaluate the growth, development and productivity of maize (*Zea mays* L.) under irrigation levels and nitrogen rates in the region of Tabuleiros Costeiros of Alagoas. The experiment was conducted in the experimental area of the Agrarian Sciences Center (CECA) of the Federal University of Alagoas (UFAL) in a randomized block design, in subdivided plots. The maize genotype used was AG 7088 VT PRO3, submitted to irrigation levels (40%, 80%, 120%, 160% e 200% da ET<sub>c</sub>) and nitrogen fertilization (N): (0, 75, 150 and 225 ha<sup>-1</sup>) doses. During the crop cycle, phenology was evaluated as a function of the thermal availability, growth as a function of irrigation and nitrogen adjusted to three growth models: logistic, Boltzmann sigmoidal and normal log peak, production function for AG7088 maize under irrigation and Nitrogen rates, water use efficiency for the cultivar studied. The results obtained in the treatments were submitted to analysis of variance by the F test ( $p \leq 0.05$ ) and, when there was a significant effect, regression curves at t ( $p \leq 0.05$ ) were performed. The vegetative development took approximately 107 DAS, accumulating 1,691.4 Degrees day (GD). The growth models showed a significant adjustment for the analyzed variables. It was observed that the ear insertion height of 1.37 (m) with the application of the irrigation blade 120 mm, and 1.34 m applying the dose of 174.5 kg of N ha<sup>-1</sup>. Green biomass for silage (VHL) was estimated with 174.23 kg of N ha<sup>-1</sup>, generating a production of 52,249 kg ha<sup>-1</sup>. The dose for (BVF) was 189 kg of N ha<sup>-1</sup>, promoting 54,080 kg of BVF ha<sup>-1</sup>. The final dry biomass (BSF) was reached with the dose of 159.58 kg of N ha<sup>-1</sup>, generating 15,424 kg of BSF ha<sup>-1</sup>. For the production components, there was influence of nitrogen fertilization at F ( $p \leq 0.01$ ), except for ear diameter (DE) and number of grain lines per spike (NLGE) F ( $p \leq 0.05$ ). The maximum agricultural yield (t ha<sup>-1</sup>) estimated was 7.97 t ha<sup>-1</sup>, obtained with the dose of 171.82 kg of N ha<sup>-1</sup>. The maximum dose of 184.75 kg ha<sup>-1</sup>, promoted the highest weight of a thousand grains (PMG), with a value of 254.21 (g). The maximum ear length (EC), 15.89 cm, was estimated with 187.26 kg of N ha<sup>-1</sup>. The maximum efficient dose for the number of grains per line (NGL) was 192.14 kg of N ha<sup>-1</sup>, equivalent to NGL of 33.84. The number of grains per spike (NGE) maximum, 615, 51, was estimated at the dose of 173, 22 kg of N ha<sup>-1</sup>. Nitrogen has an effect on the variables studied, up to a maximum point, with a tendency to decrease after reaching it. The agronomic efficiency decreases when increasing the doses of N in coverage.

**Key words:** production function, productivity, AG 7088.



## 1. INTRODUÇÃO

O Milho (*Zea mays* L.) é uma das culturas agrícolas de maior importância no Brasil e no mundo. Conforme a FAO (2016), o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho, com a produção de 80,75 milhões de toneladas de grãos na safra 2013/2014. A produção nacional na safra 2015 foi 85,74 milhões de toneladas de grãos, em uma área de 15,4 milhões de hectares. No nordeste, a área plantada com a cultura é 2,731 milhões de hectares, produção de 5.992 milhões de toneladas e produtividade média de 2,44 t ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2015).

Em Alagoas, o milho é o cultivo agrícola de mais relevante, superado apenas pelo cultivo de cana-de-açúcar e de feijão (CONAB, 2016), sendo cultivado em quase todas as microrregiões do Estado por pequenos e médios produtores, tanto para a produção de grãos quanto para silagem.

Enfocando a produção de grãos, a agricultura alagoana possui baixos índices produtivos, equivalente a 0,83 toneladas ha<sup>-1</sup> (LSPA/IBGE, 2016), justificada pela dependência das condições meteorológicas, devido a irregularidade das precipitações pluviais, e pela carência na difusão de tecnologia aos produtores.

Os produtores alagoanos buscam semear o milho na estação chuvosa, quando há condições de umidade no solo que proporcionem o desenvolvimento das plantas, porém, em alguns anos ocorre veranico e a cultura fica sujeita a déficit hídrico. A irrigação além de suprir esta deficiência, ainda pode favorecer o cultivo de uma segunda safra durante a estação seca.

Outra problemática no cultivo do milho em Alagoas, é a carência na recomendação de fertilizantes, principalmente no uso racional do nitrogênio (N), elemento essencial para o pleno crescimento e desenvolvimento das culturas agrícolas (FORNASIERI FILHO, 2007). Submetendo os cultivos a deficiência nutricional e declinando o rendimento das plantas.

Anualmente as empresas produtoras de sementes lançam novas cultivares de milho, sendo necessário estudar sua resposta a diferentes condições edafoclimáticas e manejo, logo, não se justifica os baixos índices produtivos frente ao potencial produtivo dos genótipos disponíveis no mercado.

Dentre os insumos utilizados na produção agrícola, a irrigação e a adubação, destacam-se como práticas extremamente importantes para a exploração racional das culturas agrícolas, sendo fundamental para a obtenção de bons rendimentos.

A quantificação da necessidade hídrica e doses de nitrogênio relacionados com a produtividade do milho, auxiliam o manejo e a adoção de práticas sustentáveis e econômicas para a cultura do milho.

## 2. OBJETIVOS

**Geral:** Avaliar a cultura do milho (*Zea mays* L.) irrigada e adubada com diferentes níveis de irrigação e de nitrogênio.

**Específicos:**

- a) Determinar a fenologia em função da disponibilidade térmica;
- b) Medir o crescimento em função das lâminas e doses de nitrogênio;
- c) Determinar a função de produção para o milho AG7088 sob irrigações e doses de nitrogênio;
- e) Obter a eficiência no uso da água para a cultivar estudada.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta que pertence à família Poaceae, foi domesticado a partir de um ancestral selvagem, o teosinto, na região central do México ou Sudoeste dos Estados Unidos (FANCELLI e DOURADO NETO, 2004). É uma das mais eficientes plantas armazenadoras de energia existentes na natureza. De uma semente que pesa pouco mais de 0,3 g irá surgir uma planta geralmente com mais de 2,0 m de altura, isto dentro de um espaço de tempo de cerca de nove semanas. Nos meses seguintes, essa planta produz cerca de 600 a 1.000 sementes similares àquela da qual se originou (ALDRICH et al., 1982).

A adaptabilidade a diferentes condições de solo e clima contribui para que o milho possa ser cultivado em diferentes regiões do Brasil, tanto isoladamente quanto em consórcio ou em sistemas de rotação de cultura.

Atualmente as empresas de melhoramento vem lançando cultivares com diferentes adaptações edafoclimáticas, representada por variantes genotípicas. Isso justifica a possibilidade de cultivá-lo em climas tropicais, subtropicais e temperados. O cultivo do milho é realizado em inúmeros países, em altitudes que vão desde o nível do mar até 3 mil metros (LERAYER, 2006).

#### 3.1. Crescimento demográfico X nutrição mundial

A preocupação com a necessidade de aumentar a eficiência produtiva nos agroecossistemas não é atual. Durante os séculos XVIII e XIX, houve acentuado crescimento demográfico devido a consolidação do capitalismo e a revolução industrial, que proporcionou a elevação da produção de alimentos nos países em processo de industrialização, diminuindo as taxas e mortalidade, principalmente na Europa e nos EUA, isso fez com que os índices populacionais subissem, provocando discussões que culminariam em diversas teorias sobre crescimento populacional destacando-se a malthusiana (LOPES e LIMA 2015).

Conforme Alves (2011), Thomas Robert Malthus (1766-1834), economista e demógrafo inglês, acreditava que o crescimento demográfico ultrapassaria a capacidade produtiva da terra, gerando fome e miséria, essa teoria era embasada no fato de que a população, quando não controlada, cresce numa progressão geométrica, e os meios de subsistência numa progressão aritmética (Tabela 2).

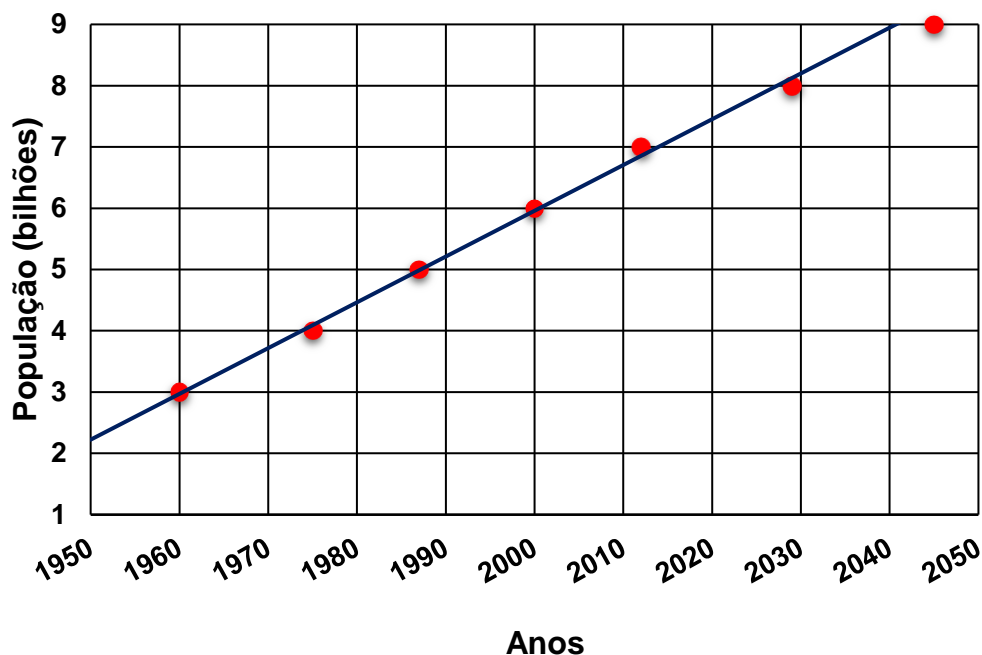
**Tabela 1.** Tempo decorrido para elevar a população mundial ao longo de anos.

Ano	População	Tempo decorrido (anos)
1850	1 bilhão	100
1930	2,0 bilhões	80
1950	2,3 bilhões	20
1960	3,0 bilhões	10
1990	5,2 bilhões	30
2007	6,6 bilhões	17
2010	7,0 bilhões	3

Fonte: FAOSTAT (2016)

Atualmente os grandes problemas populacionais estão situados na África, exceto África do Sul, e Ásia, onde estão localizados China, Índia e Japão, com altas densidades demográficas, no continente americano, Canadá e EUA, juntamente com outros países europeus e da Oceania, vem promovendo ótimo controle de natalidade. Todavia, a demanda por produtos agrícolas vem aumentando acentuadamente, para satisfazer a necessidade de alimentos, energia, vestuário e outros bens de consumo. Exigindo a eficiência produtiva em diferentes vertentes da agricultura, exemplo: culturas anuais, olericultura, fruticultura. Segundo a FAOSTAT (2016), a população global atingirá nove bilhões de pessoas em 2050 (Figura 7), sendo necessário o incremento de 70 % na produção de alimentos em 34 anos.

**Figura 1.** Elevação populacional entre 1950 a 2050.

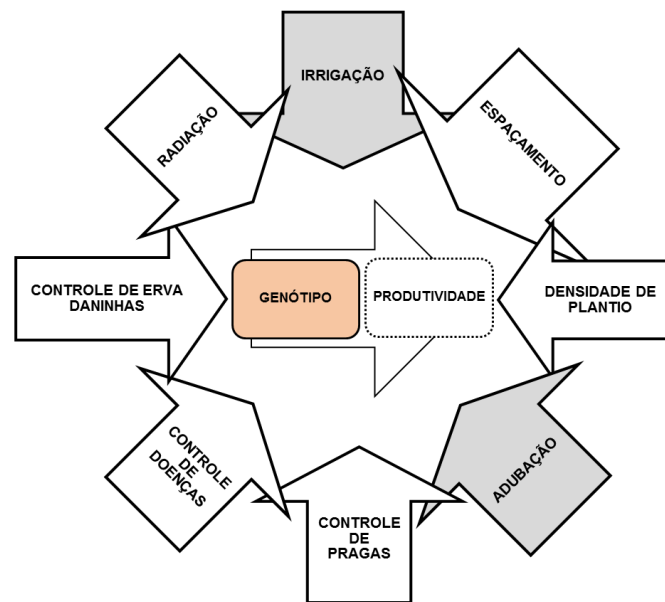


Fonte: FAOSTAT (2016).

### **3.2. Os Insumos na agricultura**

O crescimento e desenvolvimento das culturas agrícolas é influenciado pelas variações meteorológicas, uma vez que a fisiologia das plantas está ligada a fatores edafoclimáticos. O sucesso para o incremento de matéria seca por área é alcançado objetivando a produtividade potencial, dispondo as culturas os insumos necessários para seu pleno desenvolvimento, ou seja, atendendo a demanda hídrica, nutricional e seguindo um rigoroso manejo fitossanitário nas áreas cultivadas (Figura 8).

**Figura 2.** Interligação de fatores para gerar produtividade.



Fonte: Lopes e Lima (2011); Prisco (1989); Silva et al., 2005; Argenta et al., 2011; Pereira (1997).

O potencial de produção de grãos de uma cultura depende de fatores genéticos e de manejo, bem como de condições ambientais favoráveis. Variações na temperatura do ar, radiação e disponibilidade de água influenciam fenologia, crescimento e desenvolvimento das plantas. Assim, como interação genótipo-ambiente, o potencial de produção de grãos pode ser maximizado escolhendo um tempo adequado para a semeadura sem sobrecarregar significativamente os custos de produção (TOLLENAAR e LEE, 2002).

A aplicação racional da água e a adubação são fundamentais para o aumento da produção e do retorno econômico na agricultura, poderá ser conseguida quando as funções de produção das culturas, nas diferentes regiões do País, forem conhecidas (BERNARDO, 1998).

Quando subestimadas, ocorre redução no rendimento de grãos e, quando superestimadas diminuem os lucros do agricultor devido à compra desnecessária de fertilizantes e/ou aplicação em excesso, que além de trazer prejuízos ao ambiente decorrente da lixiviação de nitrato ainda pode contaminar os recursos hídricos (SCHRÖDER et al., 2000)

Outro ponto a ser ressaltado é a preservação ambiental, no passado o modelo de agricultura traçava um plano de crescimento horizontal, ou seja, o rendimento agrícola era elevado pelo aumento das áreas cultivadas, mesmo que estas tivessem

baixos índices produtivos, o cenário atual visa verticalizar os agroecossistemas, aumentando a eficiência produtiva sem incorporar novas áreas de produção.

### **3.3. A nutrição mineral de plantas**

A nutrição mineral é um fator essencial para o pleno desenvolvimento das plantas, principalmente no que se refere a divisão e expansão de tecidos. É por intermédio da nutrição que o vegetal obtém os elementos minerais que estão retidos no solo, ou na folha, caso se utilize métodos de adubação foliar, todavia, a nutrição via solo ainda é o principal meio a fornecer nutrientes as plantas.

Segundo Lepsch (2009), Justus Von Liebig (1803-1873) considerado “pai da nutrição mineral de plantas”, afirmou que as plantas, necessitam de dezessete nutrientes que são considerados essenciais (Tabela 3), a quantidade requerida pelas plantas, por estes nutrientes essenciais os classificam em macro e micronutrientes (NOVAIS et al., 2007).

Os macronutrientes (C, H, O, N, P, K, S, Mg e Ca) os três primeiros são obtidos da água e do ar, são elementos que são exigidos pelas plantas em maiores quantidades, já os micronutrientes (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Zn) são aqueles que são absorvidos em menores quantidades pelas plantas. Entretanto, segundo a “Lei dos mínimos” de Liebig, o crescimento dos vegetais é limitado pelo elemento cuja concentração é inferior a um valor mínimo, abaixo do qual as sínteses não podem mais fazer-se (Figura 9).

Existe a necessidade de equilíbrio entre os macros e micronutrientes, baseando-se no fato dos últimos agirem como ativadores de enzimas indispensáveis nos processos de metabolismo vegetal, ou seja, na síntese, transformação e eliminação de substâncias (PRIMAVESI 2002).



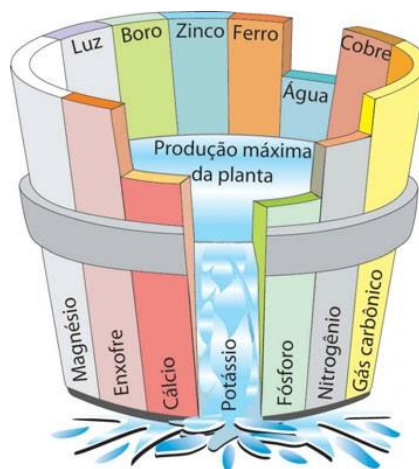
**Tabela 2.** Macro e micro nutrientes exigidos pelas plantas.

MACRONUTRIENTES (*)	
Elementos Essenciais	Símbolo químico
Carbono	C
Hidrogênio	H
Oxigênio	O
Nitrogênio	N
Fósforo	P
Potássio	K
Cálcio	Ca
Magnésio	Mg
Enxofre	S
MICRONUTRIENTES (*)	
Boro	B
Cloro	Cl
Cobre	Cu
Ferro	Fe
Manganês	Mn
Molibdênio	Mo
Níquel	Ni
Zinco	Zn

(\*) Conforme a quantidade requerida pelas plantas. Fonte: Novais et al. (2007).

A adubação pode ser definida como a adição de elementos (nutrientes) de que a planta necessita para viver, com a finalidade de obter colheitas compensadoras de produtos de boa qualidade nutritiva ou industrial, provocando-se o mínimo de perturbação no ambiente. Em resumo, sempre que o fornecimento dos nutrientes pelo solo (reservatório) for menor que a exigência da cultura, torna-se necessário recorrer ao uso de adubos (FAQUIN, 2005).

**Figura 3.** Ilustração da “Lei do mínimo” desenvolvida pela escola de Liebig.

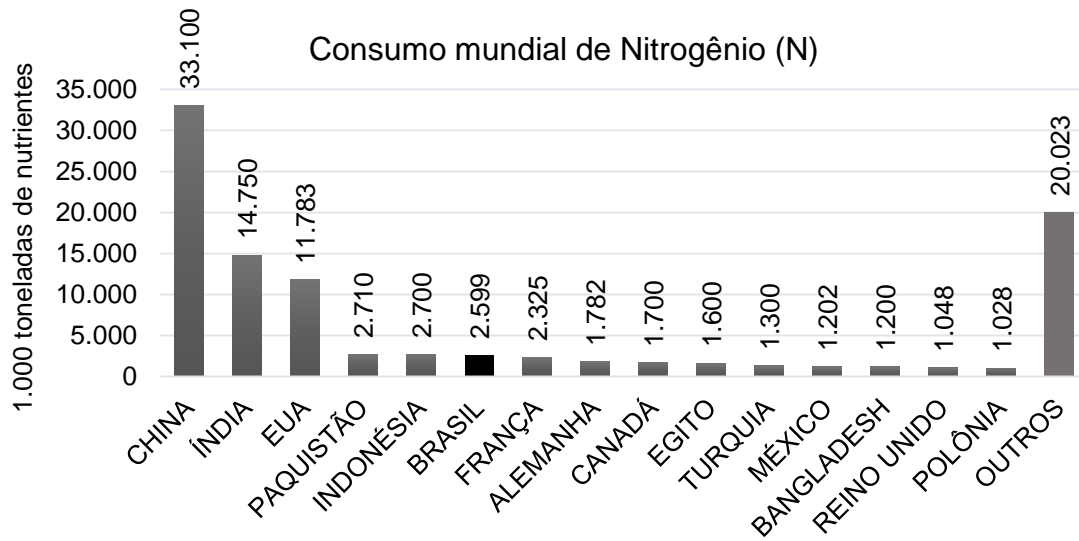


Fonte: Lepsch (2009).

De acordo com a FAO (2004), há carência de fertilização dos solos brasileiros, ou seja, as quantidades de nutrientes removidas são maiores do que as supridas. Logo, os solos estão sendo progressivamente esgotados de nutrientes, o que representa uma ameaça a sustentabilidade da agricultura. A questão alimentar no mundo é de crescente importância geopolítica, sendo uma oportunidade para o Brasil expandir a produção e consolidar sua liderança mundial. Todavia, a dependência externa do país é da ordem de 90, 70 e 50 % de potássio, nitrogênio e fósforo, respectivamente (ANDA, 2010).

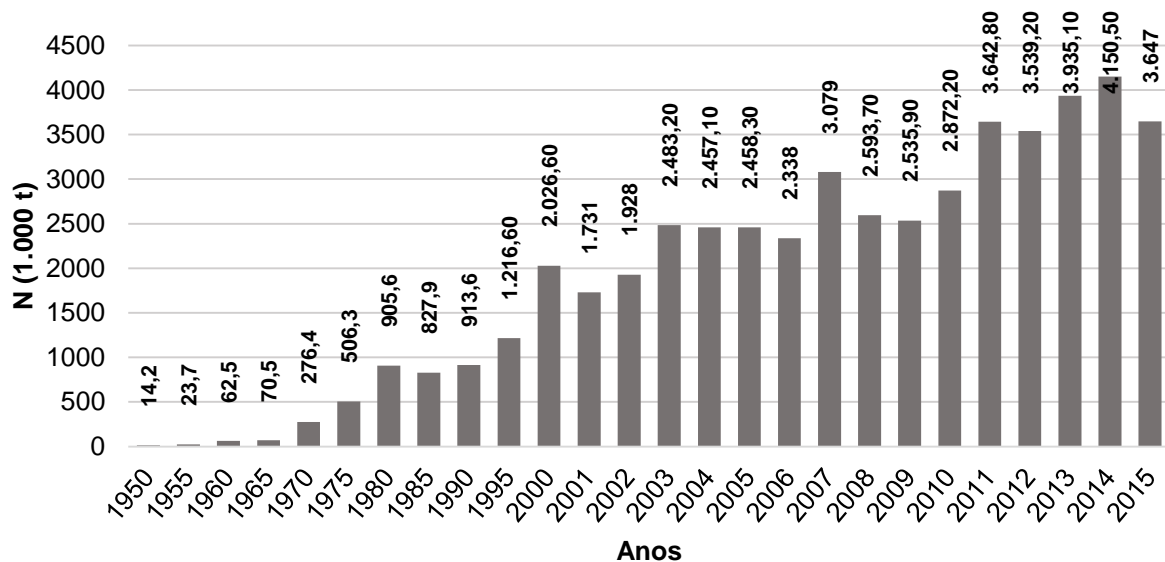
### 3.4. O Nitrogênio na Agricultura

A agricultura moderna usa grande quantidade de fertilizantes nitrogenados. Todavia, o aumento dos custos dos adubos nitrogenados, e os cuidados com a preservação ambiental, tem conduzido a uma situação de manejo e utilização do nitrogênio mais eficiente (LOPES e LIMA 2011). A produção mundial de fertilizantes nitrogenados é da ordem de  $44 \times 10^6$  toneladas de nitrogênio fixadas ano<sup>-1</sup> (BURNS e HARDY, 1975). Conforme a ANDA (2015), o nitrogênio representa a maior parcela nos insumos agrícolas, correspondente a 75% dos custos com fertilizantes usados na agricultura (Figura 10).

**Figura 4.** Consumo mundial de nitrogênio ( $10^3$  t).

Fonte: ANDA (2015).

Com base em dados estatísticos do International Plant Nutrition Institute (IPNI, 2015), ocorreu uma elevação no uso de fertilizantes nitrogenados na agricultura brasileira de 1950 a 2015 (Figura 11).

**Figura 5.** Consumo de Nitrogênio pela Agricultura Brasileira (1950-2015).

Fonte: IPNI (2015).

O nitrogênio (N) é absorvido pelas plantas, principalmente, na forma de ânion nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), mas também pode ser absorvido na forma de cátion amônio ( $\text{NH}_4^+$ ). A forma nítrica é rapidamente absorvida, mas também lixiviada com a água. Já a forma amoniacal é perdida em menores proporções, por ser fixada pelas partículas do solo.

Pesquisas em âmbito nacional indicam que existe uma dinâmica em diferentes cultivares no que se refere a eficiência do uso de nitrogênio. Outro ponto a ser salientado é a preocupação com a contaminação do solo por nitrato, sendo necessário o conhecimento para recomendação de adubação nitrogenada para as culturas.

Lyra et al. (2014), avaliando o crescimento e produtividade do milho Pioneer 30F35, submetido a doses de nitrogênio nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas, verificou que o crescimento máximo da altura do dossel e índice de área foliar, foram obtidos com a dose de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. Para a produtividade, a dose de  $200 \text{ kg ha}^{-1}$ , proporcionou maior produtividade de grãos ( $5,45 \text{ t ha}^{-1}$ ).

A deficiência de nutrientes minerais pode afetar acentuadamente a produtividade do milho. A mais comum é a deficiência de nitrogênio, embora a deficiência de potássio ou fósforo possa ser igual ou importante em alguns solos.

O uso eficiente de fertilizantes nitrogenados depende muito do dimensionamento adequado das adubações. Portanto, a análise dos efeitos das doses de nitrogênio é fundamental para permitir que sejam avaliadas as respostas obtidas com aplicações sucessivas na produção (NOVAIS et al., 2007).

A resposta da adubação nitrogenada pode variar, principalmente, devido às condições edafoclimáticas, sistema de cultivo e tipo de fertilizante. Os estudos de fontes nitrogenadas também são muito importantes, uma vez que os fertilizantes apresentam comportamentos distintos quando aplicados ao solo, em especial no que se refere às perdas de N (FIGUEIREDO et al., 2005).

O nitrogênio pode ser disponibilizado para as plantas em diferentes fontes variando as concentrações (Tabela 4), quase todos os adubos nitrogenados, exceto a calcioanamida, os nitratos de cálcio e potássio e o salitre, acidificam o solo, sendo necessário neutralizar a acidez resultante mediante de calagem (MALAVOLTA, 1989).

Porém, conforme Raij, (2011) a maioria destas formulações, a depender da região do país, não se encontram disponíveis com facilidade no mercado, induzindo

muitas vezes o produtor a adquirir fontes de N com valor acima da média, encarecendo, desta forma, a relação de preço do insumo com o preço final do produto.

**Tabela 3.** Principais fontes de nitrogênio utilizadas na agricultura.

Adubo (Fonte)	Porcentagem de:					Equivalente a acidez (*)
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	S	
Amonia anidra	82	-	-	-	-	1341
Calcicocianamida	21	-	-	27	-	+571
Cloreto de amônia	26	-	-	-	-	-1394
Fosfato diamônico (DAP)	16	44	-	-	-	-635
Fosfato monoamônico (MAP)	10	50	-	-	-	-589
Nitrato de Amônio	33,5	-	-	-	-	-535
Nitrato de cálcio	15	-	-	20	-	+181
Nitrato de potássio	13	-	44	-	-	+236
Nitrocálcio	22	-	-	7	-	-280
Nitrofosfatos	14-22	10-22	-	6-7	0,2-3,6	-181
Nitrossulfocálcio	27	-	-	6	4	-353
Salitre do chile	16	-	-	-	-	+263
Salitre potássico	15	-	14	-	-	+249
Sulfato de Amônia	20-21	-	-	-	24	-996
Sulfonitrato de Amônio	26	-	-	-	15	-770
Soluções Nitrogenadas	21-49	-	-	-	-	-340 a 797
Ureia	45	-	-	-	-	-840

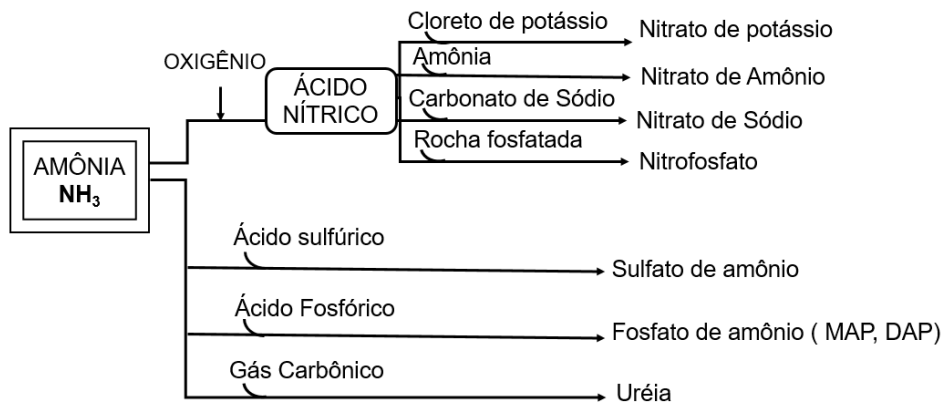
(\*) Quilos de Cálcio/tonelada; sinal -: calcário necessário para neutralizar 1 tonelada de adubo; sinal +: quantidade de calcário equivalente a 1 tonelada de adubo. Fonte: MALAVOLTA (1989).

Segundo Epstein (1975), a principal fonte de N é a atmosfera, que possui 78% desse elemento em volume, na forma de gás inerte (N<sub>2</sub>). Para possibilitar o uso do N na agricultura, há necessidade de fixação, que pode ocorrer por meio de processos biológicos e/ou industriais, sendo o último de maior expressão, principalmente quando a cultura não é uma leguminosa.

No Brasil, cerca de 47% do N é consumido na forma de uréia, 20% como sulfato de amônio e 33% como nitrato de amônio (POTAFOS, 2006). Portanto, as fontes nitrogenadas utilizadas com maior frequência no milho são a uréia e o sulfato

de amônio. O composto chave para a produção da maioria dos adubos nitrogenados é a amônia ( $\text{NH}_3$ ), constituída por Nitrogênio e Hidrogênio (Figura 12). O N é obtido da atmosfera, e o H é obtido de gás natural de derivados de petróleo ou da própria água (MALAVOLTA 1989).

**Figura 6.** Processos para obtenção de diferentes fontes de Nitrogênio, utilizando amônia ( $\text{NH}_3$ ) como matéria prima.



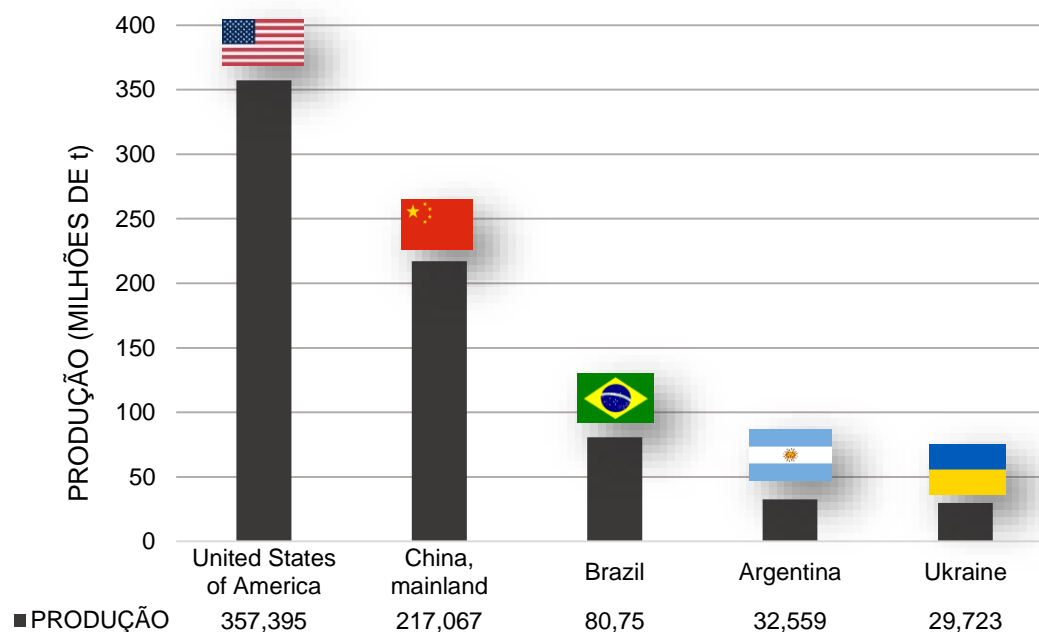
Fonte: Malavolta (1989).

### 3.5. Importância econômica da cultura do milho

O milho é um dos grãos que dominam o mercado agrícola no mundo, sendo consumido diretamente na forma de grãos *in natura*, fubás, ou indiretamente, visto que uma grande parcela da produção de grãos é destinada a nutrição animal. Na realidade, o uso do milho em grão como alimentação animal representa a maior parte do consumo desse cereal, isto é, cerca de 70% no mundo principalmente como fonte energética na composição de ração para atividades zootécnicas como a suinocultura e a avicultura (EMBRAPA, 2007).

Segundo o departamento de estatística da FAO (2016), utilizando dados de produção entre os anos de (2013-2014), verifica-se que os Estados Unidos (EUA), China e Brasil são os maiores produtores desta importante cultura (Figura 1), com 357,395, 21,7067 e 80,75 milhões de toneladas, respectivamente.

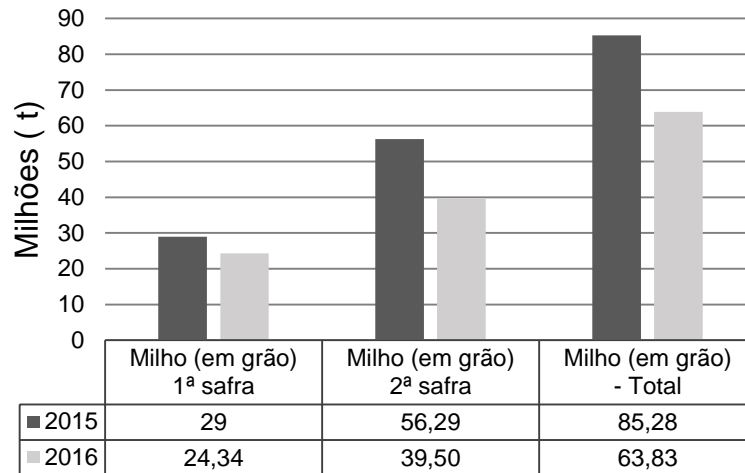
**Figura 7.** Principais produtores mundiais de milho entre as safras (2013-2014).



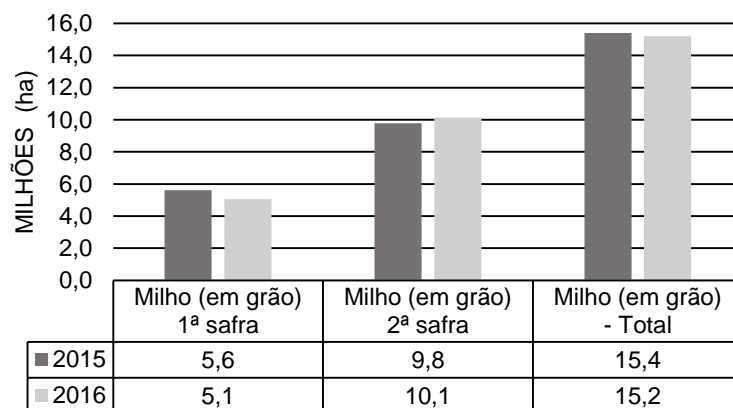
Fonte: FAOSTAT (2016).

Embora em países mais desenvolvidos o milho seja destinado principalmente à alimentação animal, ainda é um importante componente da alimentação da população de muitos países, principalmente da África e da América Central. Deve-se considerar que, à medida que a renda e a urbanização da população crescem, o consumo de produtos de origem animal aumenta em proporção maior do que a de produtos como o arroz e o trigo. Assim, deve-se esperar a transição gradual de uso do milho na alimentação humana para outras formas de utilização, mesmo em países mais pobres (GARCIA, et al., 2006).

A produção de milho em grãos no Brasil é caracterizada pelo plantio em duas épocas: primeira safra ou safra de verão e segunda safra, a soma das mesmas expressa a produção nacional. Segundo dados do Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA/IBGE, 2016), o país produziu na safra 2015 o equivalente a 85,74 milhões de toneladas de grãos (Figura 2), com produtividade média: 4 t ha<sup>-1</sup>, com a área de 15,4 milhões de hectares (Figura 3).

**Figura 8.** Produção Brasileira nas safras 2015/2016.

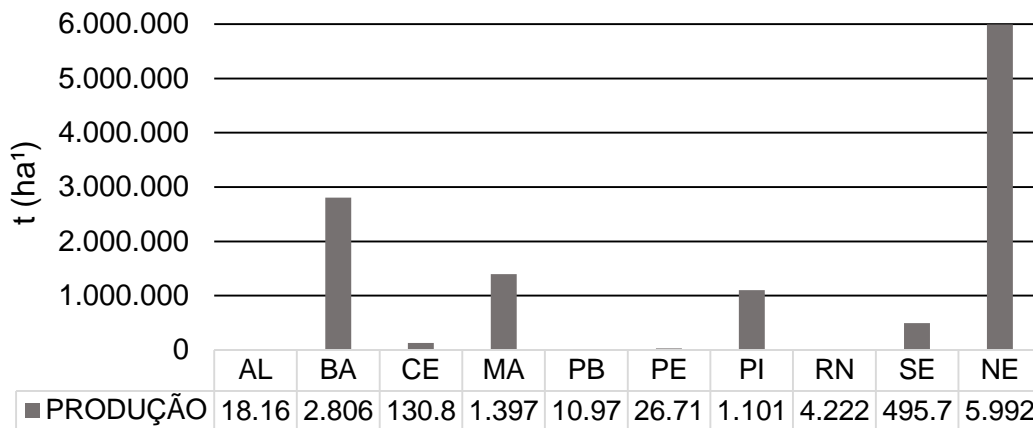
Fonte: Grupo de Coordenação de Estatísticas Agropecuárias - GCEA/IBGE, DPE, COAGRO - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, Setembro 2016.

**Figura 9.** Área colhida no Brasil entre as safras 2015/2016.

Fonte: Grupo de Coordenação de Estatísticas Agropecuárias - GCEA/IBGE, DPE, COAGRO - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, Setembro 2016.

No Nordeste brasileiro, a área plantada com a cultura foi de 2,731 milhões de hectares, cultivado por grandes, médios e pequenos produtores. A produção nordestina foi de 5.992,08 milhões de toneladas (Figura 3) e produtividade média de 2,44 t ha<sup>-1</sup> (Figura 4) (LSPA/IBGE, 2016).

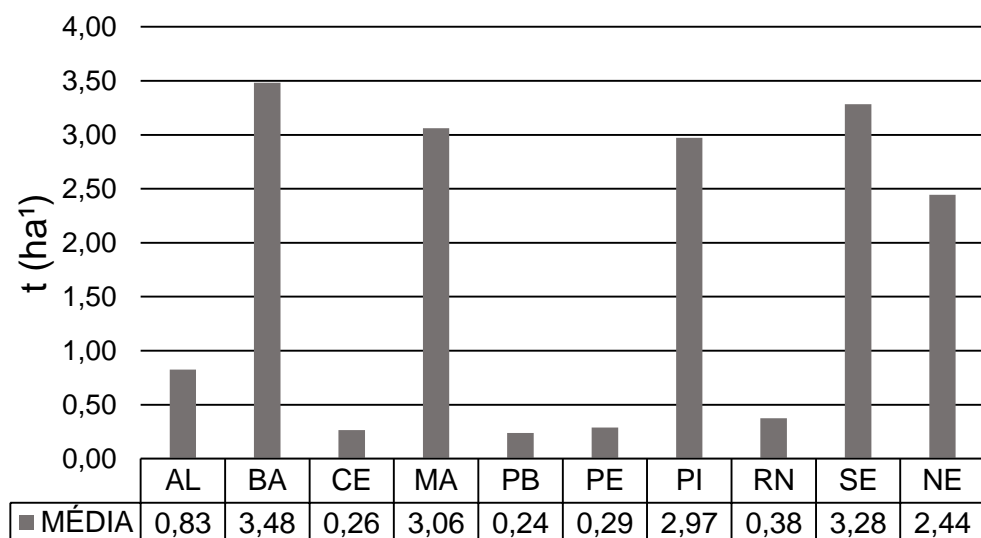


**Figura 10.** Produção de milho no nordeste brasileiro nas safras (2015-2016).

Fonte: (LSPA/IBGE, 2016).

Em Alagoas o cultivo de milho predomina no período chuvoso, principalmente por pequenos agricultores, de forma solteira ou consorciada com outras culturas, como o feijão, amendoim e mandioca, verifica-se baixos índices produtivos, com rendimento médio de  $0,83 \text{ t ha}^{-1}$  (Figura 5), isso é justificado pela falta de tecnologia imposta aos cultivos.

Porém, algumas regiões como Arapiraca (situada no agreste alagoano) conseguem atingir em torno de  $8.000 \text{ kg ha}^{-1}$  em regime de sequeiro (FERREIRA JÚNIOR, 2007; LYRA et al., 2010).

**Figura 11.** Rendimento médio por Estados nordestinos (2015-2016).

Fonte: (LSPA/IBGE, 2016).

### 3.6. Fisiologia, fenologia e crescimento do milho

A planta de milho apresenta metabolismo C<sub>4</sub>, este é caracterizado por um mecanismo de concentração de CO<sub>2</sub> no sítio ativo da Ribulose-bifosfato-carboxilaseoxigenase (Rubisco) do ciclo de Calvin e Benson, que mantém alta razão CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> e elimina a fotorrespiração, este mecanismo de concentração se deve-se à ação da fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPcase) no citoplasma do mesofilo, que possui um Km de 5 μmol para o CO<sub>2</sub>, indicando alta afinidade por este gás (TAIZ e ZAIGER, 2013).

Há uma diferença entre o uso dos termos “crescimento” e “desenvolvimento”. O crescimento consiste, basicamente, no aumento do tamanho da planta e é potencializado por condições favoráveis, como umidade adequada, nutrientes, temperatura, etc.; enquanto que, o desenvolvimento é a progressão do estágio da planta para um estágio mais avançado (PIONEERSEMENTES, 2017).

A fenologia pode ser definida como o estudo dos eventos periódicos da vida da planta em função da sua reação às condições do ambiente. Conforme Gadioli et al., (2000) em função dos eventos que ocorrem ao longo do ciclo do milho, é possível estabelecer estádios de desenvolvimento caracterizados por alterações morfológicas provocadas principalmente pelo ambiente.

O sistema de identificação fenológico divide o desenvolvimento da planta em vegetativo (V) e reprodutivo (R) (Tabela 1). Subdivisões dos estádios vegetativos são designadas numericamente como V1, V2, V3 até V(n); em que (n) representa a última folha emitida antes do pendoamento (Vt). O primeiro e o último estágio V são representados, respectivamente, por VE (emergência) e Vt (pendoamento) (MAGALHÃES et al.; 2006).

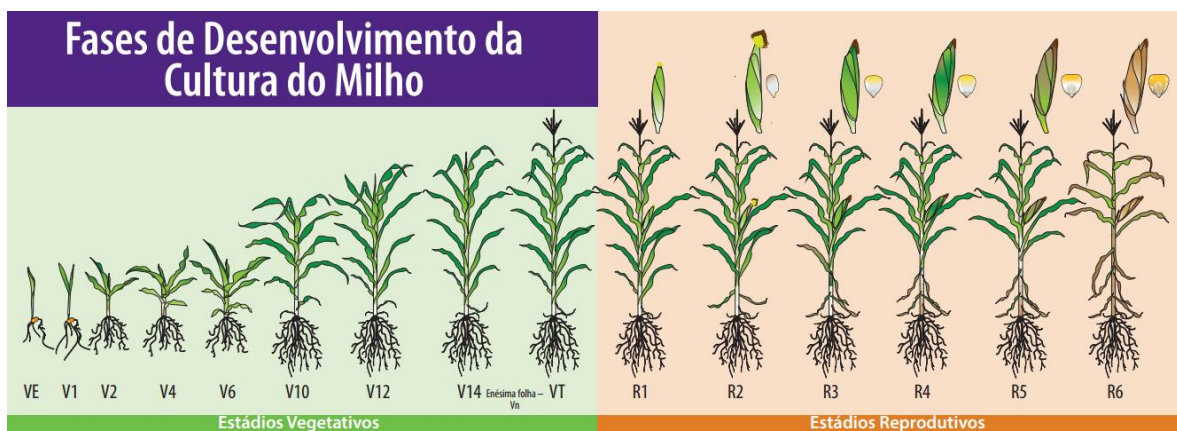
**Tabela 4.** Fenologia do milho conforme a escala proposta por Ritchie e Hanway (1989).

VEGETATIVO	REPRODUTIVO
<b>VE</b> - Emergência;	<b>R1</b> - Florescimento;
<b>V1</b> - Primeira folha desenvolvida;	<b>R2</b> - Grão leitoso;
<b>V2</b> - Segunda folha desenvolvida;	<b>R3</b> - Grão pastoso;
<b>V3</b> - Terceira folha desenvolvida;	<b>R4</b> - Grão farináceo;
<b>Vn</b> - Enésima folha desenvolvida;	<b>R5</b> - Grão farináceo duro;
<b>Vt</b> - Pendoamento.	<b>R6</b> - Maturidade fisiológica.

Fonte: Ritchie et al., (1989).

As fases reprodutivas iniciam-se no pendoamento e vão até a maturação fisiológica (Figura 6), estágio onde os grãos apresentam a “camada preta” na inserção entre o grão e o sabugo. A camada nada mais é do que um conjunto de células mortas que impedem a entrada de nutrientes para dentro dos grãos e marca a fase de perda de água. O estágio de desenvolvimento de uma lavoura é definido quando, no mínimo, 50% das plantas estiverem no mesmo estágio (RITCHIE e HANWAY, 1989).

**Figura 12.** Fases de desenvolvimento da cultura do milho



Fonte: IPNI (2016), Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service.

O ciclo da cultura do milho pode ser estimado em função do número de dias desde a semeadura até a maturação fisiológica ou a colheita. Todavia, Gadioli et al., (2000), citam que esta metodologia tem demonstrado inconsistência, uma vez que a duração de subperíodos e ciclos da planta estão associados às variações das condições ambientais e não ao número de dias.

A temperatura tem-se apresentado como o elemento climático mais importante para descrever o desenvolvimento de plantas. Segundo Lopes e Lima, (2015) a fotossíntese assim como a maioria dos processos vitais, fica limitada dentro de extremos de temperaturas que corresponde aproximadamente aos tolerados pelos compostos proteicos. Em geral, qualquer aumento da temperatura provoca a aceleração no processo fotossintético, esse aumento é linear em temperaturas baixas, começando a atenuar-se em temperaturas mais altas e alcançando o ótimo, acima do qual a fotossíntese é inibida.

Fancelli e Dourado Neto, (1997) enfatizam que o método mais satisfatório para determinar as etapas de desenvolvimento da cultura leva em consideração as exigências calóricas ou térmicas, designadas como unidades calóricas (°C), unidades térmicas de desenvolvimento (U.T.D.) ou graus-dia (GD). Estimada pela soma das unidades diárias de calor, a partir da emergência para o material genético atingir um determinado estágio, pela diferença entre a temperatura média diária e as temperaturas base mínima ou máxima exigidas pela espécie vegetal.

Lyra et al., (2008) a utilização de graus-dia ao invés de dias viabiliza a comparação de resultados obtidos em regiões que apresentam condições térmicas distintas, de modo que o desenvolvimento das culturas apresenta maior relação com a temperatura do ar (GADIOLI et al., 2000; RITCHIE et al., 2003).

Para um eficiente manejo de irrigação, de nutrientes e de outras práticas culturais é de fundamental importância o conhecimento das diferentes fases de crescimento do milho com suas diferentes demandas (MAGALHÃES et al.; 2006).

Conforme Souza et al., (2004) há necessidade de se conhecer melhor as relações hídricas durante as fases de desenvolvimento das culturas agrícolas tendo em vista serem indicativas da utilização de água e conseqüentemente da produtividade.

### **3.7. A Adubação nitrogenada na cultura do milho**

As exigências nutricionais das culturas é um parâmetro fundamental para o manejo correto da adubação, de modo a se obter a máxima eficiência produtiva. A cultura do milho extrai durante o ciclo elevadas quantidades de nutrientes do solo, que varia de acordo com a região (COELHO e FRANÇA, 1995).

O nitrogênio (N) é o nutriente exigido em maior quantidade pela cultura do milho, sendo o que mais frequentemente limita a produtividade de grãos, pois exerce importante função nos processos bioquímicos da planta, como constituinte de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos, fitocromos e clorofila (FORNASIERI FILHO, 2007). Determina o desenvolvimento das plantas de milho, com aumento significativo na área foliar e na produção de massa de matéria seca, resultando em maior produtividade de grãos (UHART e ANDRADE, 1995).

Conforme a Iowa State University, (1993), citado por Fancelli, (1997) o N é importante no estágio inicial de desenvolvimento da planta (2ª semana após a

emergência), quando ela está com quatro folhas totalmente desdobradas, pois esta é a fase em que o sistema radicular, em desenvolvimento, já mostra considerável porcentagem de pelos absorventes e ramificações diferenciadas, e a adição de N estimula sua proliferação, com conseqüente desenvolvimento da parte aérea. Também neste estágio tem início o processo de diferenciação floral, o qual origina os primórdios da panícula e da espiga, bem como define o potencial de produção. Isso implica na necessidade da disponibilidade de, pelo menos, 30 kg de N/ha de forma a não limitar esse evento fisiológico

No que se refere à exportação dos nutrientes nos grãos, o fósforo é quase todo translocado para as sementes (80 a 90%), seguindo-se o nitrogênio (75%), o enxofre (60%), o magnésio (50%), o potássio (20-30%) e o cálcio (10-15%) (COELHO et. al. 1995)

A média de N utilizada em lavouras comerciais de milho, no Brasil, é de 60 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto, nos Estados Unidos e na China, é de 150 kg ha<sup>-1</sup> e 130 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (International Fertilizer Industry Association, 2002). Para a obtenção de altas produtividades, a recomendação técnica é utilizar 60-100 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, para cultivo em sequeiro, e 120-160 kg ha<sup>-1</sup> de N, para cultivo irrigado (CANTARELLA et al. 1997).

Apesar do alto potencial produtivo da cultura do milho, evidenciado por produtividades de 10 e de 70 t ha<sup>-1</sup> de grãos e forragem, respectivamente, alcançadas no Brasil em condições experimentais e por agricultores que adotam tecnologias adequadas (Tabela 5), o que se observa na prática é que sua produção é muito baixa e irregular: 2 a 3 t de grãos ha<sup>-1</sup> e 10 a 45 t de massa verde ha<sup>-1</sup> (COELHO e FRANÇA, 1995).

**Tabela 5.** Extração média de nutrientes pela cultura do milho destinada à produção de grãos e ensilagem em diferentes níveis de produtividade.

Tipo de exploração	Produtividade	Nutrientes extraídos <sup>(*)</sup>				
		N	P	K	Ca	Mg
Grãos	t ha <sup>-1</sup>	-----kg ha <sup>-1</sup> -----				
	3,65	77	9	83	10	10
	5,80	100	19	95	7	17
	7,87	167	32	113	27	25
	9,17	187	34	143	30	28
Silagem (matéria seca)	10,15	217	42	157	32	33
	11,60	115	15	69	35	26
	15,31	181	21	213	41	28
	17,13	230	23	271	52	31
	18,65	231	26	259	58	32

(\*) Para converter P em P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; K em K<sub>2</sub>O; Ca em CaO e Mg em MgO, multiplicar por 2,29; 1,20; 1,39 e 1,66; respectivamente. Fonte: Coelho e França (1995).

Entre os vários fatores que causam essa baixa produtividade, destacam-se o baixo consumo e o manejo incorreto do N, nutriente absorvido em maior quantidade pelo milho, tem influência na resposta em produtividade de grãos e mais onera no custo de produção da cultura (AMADO et al., 2002).

De acordo com Rambo et al. (2004), o manejo correto da adubação nitrogenada torna-se essencial para os princípios da agricultura de precisão, visando aumentar a eficiência de uso do N, logo, estudos com doses de nitrogênio em cobertura, na cultura do milho, são preponderantes, nos aspectos de nutrição mineral, permitindo minimizar os custos de produção.

### 3.8. A Importância da irrigação

A disponibilidade e distribuição da água podem facilitar ou inviabilizar a produção agrícola, especialmente em regiões onde há ocorrência de escassez de água ou a distribuição anual de chuvas é irregular (FAGGION et al., 2009). É um fator crítico para a produção, é o motivo pelo qual existem as práticas de irrigação, e pode ser justificado pela necessidade de melhorar os índices produtivos nas culturas (TAIZ e ZEIGER, 2013).

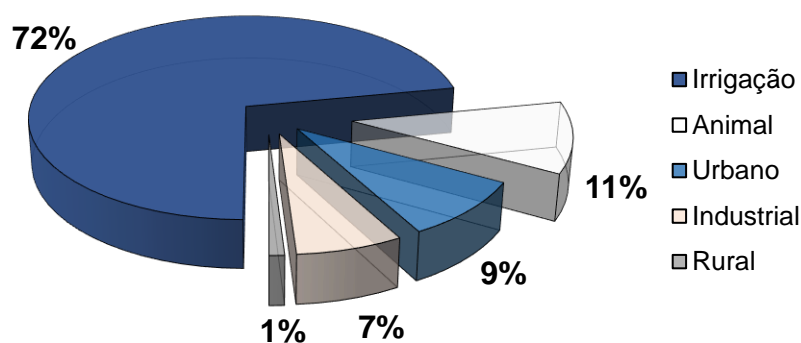
Segundo Mantovani et al., (2009), neste processo de produção a irrigação tem sido fundamental, uma vez que atualmente, mais da metade da população mundial depende de alimentos produzidos em áreas irrigadas.

Por ser o veículo de condução dos nutrientes até a interface solo-raiz e no xilema, a água pode interferir na fisiologia da planta, na dinâmica de absorção e na utilização dos nutrientes (FERREIRA et al., 2000). Em épocas de escassez hídrica o aumento da demanda desse recurso retrata a necessidade de usar de forma racional os recursos hídricos, adotando meios para planejamento e gestão do mesmo.

No Brasil 72% das águas consumidas são dedicadas à irrigação (Figura 13), há que se considerar que cerca de 90% retorna ao ciclo hidrológico desde que o manejo da irrigação seja realizado de forma racional e sustentável ANA (2012).

Em pleno século 21, em que a água é considerada como o recurso natural mais escasso, qualquer política ou decisão estratégica sobre seu uso leva em conta opções de seu uso para diferentes fins: agricultura, uso urbano, pecuária, indústria, pesca, ambiente, turismo etc. Essa competição entre usos comporta duas análises principais, uma análise econômica e uma análise ambiental (ANDRADE et al., 2006).

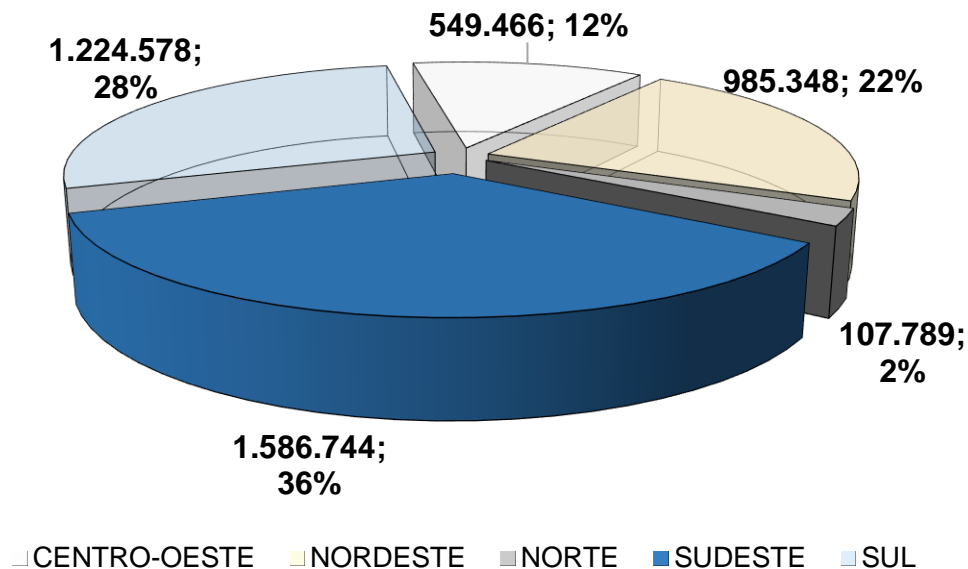
**Figura 13.** Distribuição do uso da água por setores.



Fonte: ANA (2012).

A Figura 14 mostra a distribuição das áreas irrigadas por regiões no Brasil. A irrigação que anteriormente objetivava apenas satisfazer as necessidades hídricas das plantas é hoje um fator importante no aumento da produção, produtividade, geração de emprego e renda e na diminuição do êxodo rural, melhorando as condições de vida dos produtores. Porém, em função do volume de água necessário, é preciso fazer uso de sistemas de irrigação que possibilitam alta eficiência de uso da água (MANTOVANI et al., 2009).

**Figura 14.** Área irrigada por regiões (ha).

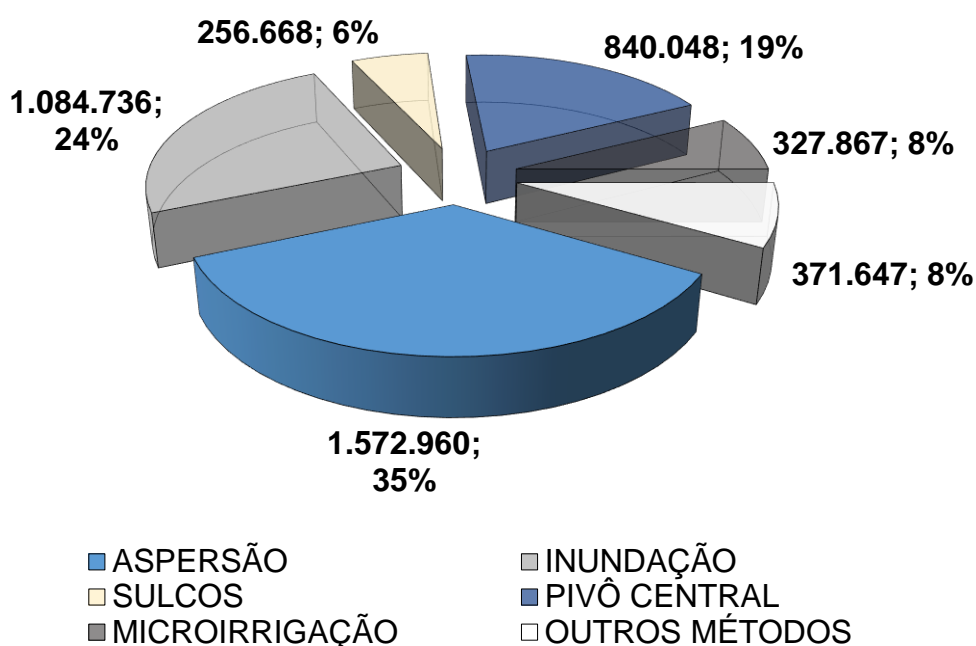


Fonte: INCT (2016).

São usados diferentes métodos de irrigação no Brasil, desde a irrigação por superfície até a do tipo localizada (Figura 15). Os métodos de irrigação por aspersão, sistemas localizados e pivô central são os mais utilizados, com uma área estimada de 1.572.960, 1.084.736 e 840.048 ha, respectivamente (INCT, 2016). De acordo com Paz et al., (2000), as novas tecnologias de irrigação constituem uma importante estratégia para o uso eficiente da água, pois à medida que o preço de oferta aumenta, produz-se a necessidade de substituição dos sistemas tradicionais de irrigação por outros mais modernos, capazes de proporcionar maior racionalidade e eficiência no uso da água.



**Figura 15.** Distribuição das áreas irrigadas por sistemas no Brasil (ha).



Fonte: INCT, (2016).

### 3.9. A demanda hídrica e o uso de irrigação na cultura do milho

O milho apresenta uma alta demanda por água, mas também é uma das mais eficientes no seu uso, isto é, produz uma grande quantidade de matéria seca por unidade de água absorvida (MAPA, 2002). A irrigação para a cultura do milho pode ser viável economicamente quando o fator limitante é a água e, ou o preço de venda do produto é favorável, o que possibilita a minimização de risco e estabilidade no rendimento (FANCELLI e DOURADO NETO, 2000).

Segundo Teodoro (2003), a precipitação pluvial tem grande influência na oscilação interanual da produtividade devido a sua irregularidade espaço temporal, e como consequência, causa períodos de deficiência de água no solo durante o ciclo de desenvolvimento das culturas agrícolas.

No milho, o uso da irrigação torna-se fundamental, pois é no período crítico que vai do pendoamento ao início do enchimento de grãos, que ocorrem os maiores efeitos do déficit hídrico e também a maior eficiência do uso da irrigação, tanto na produção de matéria seca quanto na produtividade de grãos (BERGAMASCHI, 2004).

Bernardo et al. (2006), citam que a quantidade de água necessária para determinada cultura é um dado básico que deve ser conhecido para o manejo adequado de qualquer projeto de irrigação. Aplicações de água insuficiente repõem a água apenas nas camadas superficiais do solo, não umedecendo a região das raízes.

Porém, irrigações excessivas acarretam perda de água e nutrientes, pela percolação abaixo da zona das raízes, além de favorecer a proliferação de microrganismos patogênicos (COSTA, 2004).

Andrade et al., (2006) afirmam que a necessidade de irrigação diminui das regiões áridas e semiáridas para as regiões mais úmidas. Geralmente, nas regiões mais úmidas do país, a quantidade de chuvas ao longo do ano é suficiente para o cultivo de, pelo menos, uma safra de milho.

Pesquisas em âmbito nacional mostram resultados satisfatórios da aplicação de diferentes níveis de irrigação em várias espécies agrícola, Oliveira et al., (2011) obtiveram produtividade máxima na cultura do milho de  $2.574 \text{ kg ha}^{-1}$ , com o tratamento correspondente ao nível de irrigação de 123% da  $ET_o$ , nas condições edafoclimáticas de Fortaleza, Ceará.

De acordo com Doorenbos e Kassan (1979), a necessidade hídrica do milho durante o ciclo da cultura varia de 500 a 800 mm. Todavia, o consumo de água por esta cultura depende das condições climáticas de cada região, evidenciando a necessidade de estudar o efeito de níveis de água em diferentes regiões.

A água necessária a uma cultura é equivalente à sua evapotranspiração ( $ET_c$ ), que é a combinação de dois processos (Evaporação da água do solo + Transpiração das plantas) (ALLEN et al., 1998).

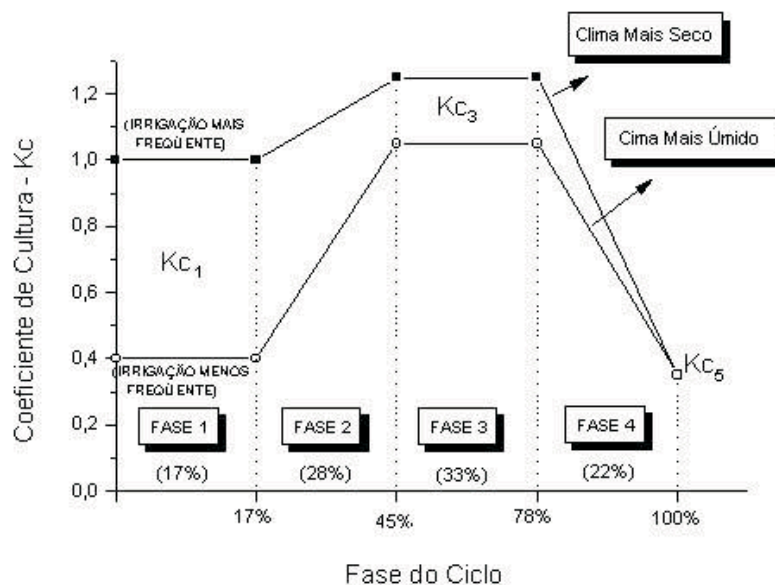
A estimativa de irrigação com base na  $ET_c$ , totaliza a quantidade de água utilizada nos processos de evaporação e transpiração pela cultura do milho durante determinado período, ou seja, o cálculo da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) refere-se a uma superfície, semelhante à grama, com uma altura uniforme de 12 cm, resistência do dossel da cultura de 70 s/m e albedo de 0,23, em pleno crescimento, sem deficiência de água e sem sofrer danos por pragas ou doenças, o coeficiente de cultura ( $K_c$ ), penaliza a  $ET_o$  considerando a demanda hídrica da planta em diferentes estádios fenológicos (DOORENBOS e PRUITT 1977).

O coeficiente de cultura ( $K_c$ ) é obtido pela relação entre a evapotranspiração da cultura e a evapotranspiração de referência, sugerido por (DOORENBOS e

PRUITT, 1977). A distribuição do coeficiente de cultura ( $K_c$ ) durante o ciclo produtivo, é chamada de “curva da cultura” (SEDIYAMA, 1996) (Figura 16).

Segundo Allen et al. (1998), citado por Andrade et al., (2006), para diversas regiões do mundo, a duração do ciclo fenológico do milho para produção de grãos varia de 120 a 180 dias, cujas fases 1, 2, 3 e 4 correspondem a 17%, 28%, 33% e 22%, respectivamente, do ciclo total.

**Figura 16.** Demanda hídrica da cultura do milho dividindo sua fenologia em 4 fases.



Fonte: Allen et al. (1998).

#### 4. Balanço hídrico do solo.

O balanço hídrico é um dos métodos utilizados para determinar essa demanda hídrica para os diferentes estágios de desenvolvimento das culturas (SILVA, 2003). Segundo Lopes e Lima, (2015) mudanças progressivas nos potenciais hídricos do solo ( $\psi_{ws}$ ) e da planta ( $\psi_{wp}$ ) ocorrem via precipitação pluvial ou irrigação.

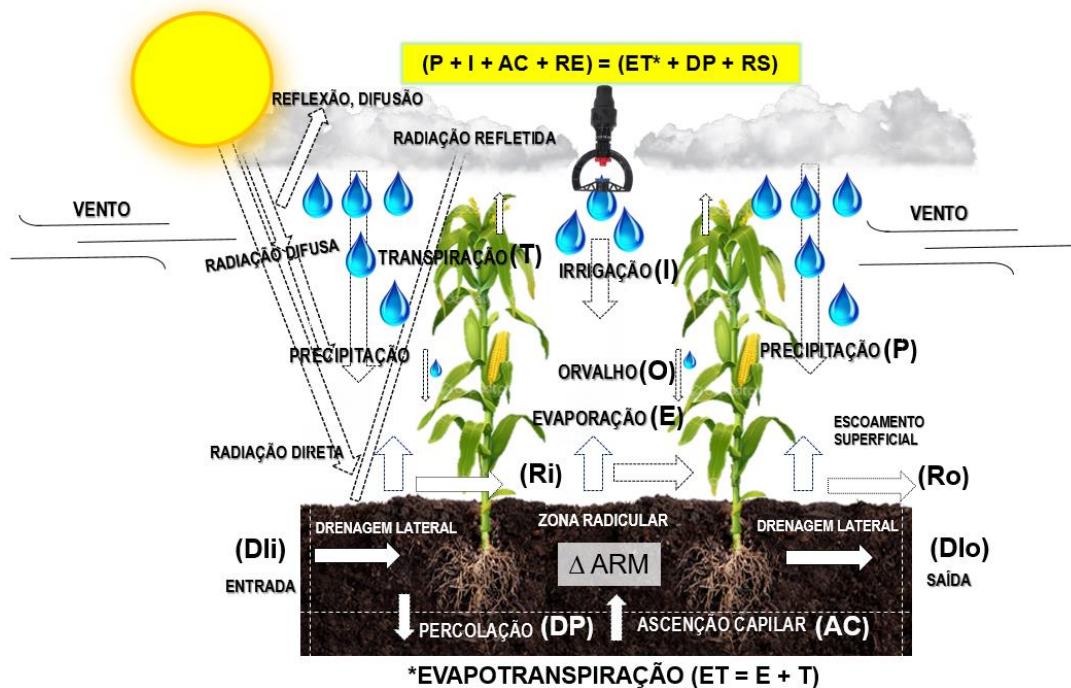
Naturalmente, o armazenamento de água no solo em capacidade de CC ( $\psi_{ws} = -0,01$  MPa), tende a diminuir, se as entradas de água no sistema não voltarem ao longo dos dias, em virtude da percolação, escoamento superficial, evaporação e transpiração da cultura (ET). O balanço hídrico é uma metodologia muito utilizada para se avaliar o armazenamento de água no solo e quantificar déficits e excessos hídricos ao longo do tempo (FIETZ et al., 2001).

A falta de água no solo pode levar as plantas a condição de déficit hídrico, Taiz e Zeiger, (2013), citam que este altera uma série de processos fisiológicos das plantas, como a condutância estomática, taxa de transpiração, temperatura da folha, fotossíntese e respiração, manter o turgor nas células vegetais é importante por permitir a continuidade dos processos de crescimento vegetal, expansão, divisão celular e fotossíntese, e adiar os processos de desidratação dos tecidos.

Thornthwaite e Mather (1955) citado por Bernardo, (2008) desenvolveram o método do balanço hídrico, para determinar o regime hídrico de um local, sem necessidade de medidas diretas das condições do solo. Para sua elaboração, há necessidade de se definir o armazenamento máximo no solo (CAD – Capacidade de Água Disponível), e de se ter à medida de precipitação total, e também a estimativa da evapotranspiração potencial em cada período. Com essas três informações básicas, o balanço hídrico permite deduzir a evapotranspiração real, a deficiência ou o excedente hídrico, e o total de água retida no solo em cada período de uma determinada localidade.

Conforme Pereira et al., (1997) pode-se esquematizar o balanço hídrico de um solo vegetado (Figura 17) e (Tabela 6) por:

**Figura 17.** Entradas e saídas de água de um solo vegetado, sob influência da radiação solar e velocidade do vento.



Fonte: Adaptação do autor desta dissertação do boletim de irrigação e drenagem nº 56 da Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO-56).

**Tabela 6.** Principais componentes do balanço de água no solo.

<b>ENTRADAS</b>	<b>SAÍDAS</b>
<b>P</b> = PRECIPITAÇÃO	<b>ET</b> = Evapo(transpi)ração
<b>I</b> = IRRIGAÇÃO	<b>Ro</b> = Escorrimento superficial (Run off)
<b>O</b> = ORVALHO	<b>DLo</b> = Drenagem lateral
<b>Ri</b> = Escorrimento superficial (Run in)	<b>DP</b> = Drenagem profunda
<b>DLi</b> = Drenagem lateral	
<b>Ac</b> = Ascensão Capilar.	

Fonte: Pereira et al., (1997).

Para se conhecer a disponibilidade hídrica do solo, considera-se as variáveis supracitadas na (Tabela 6).

Todavia, o orvalho representa uma contribuição máxima de 0,5 mm/dia (1 mm = 1 litro m<sup>-2</sup>) tendo contribuição é mais importante no aspecto ecológico. As entradas e saídas do escorrimento superficial e drenagem lateral tendem a se compensar, desde que a superfície externa do volume de controle não seja muito grande. Drenagem profunda e ascensão capilar representam, respectivamente, saída e entrada de água pela área inferior do volume de controle. A drenagem profunda expressa o excesso de água que penetrou no volume pelas chuvas ou irrigação. Quanto mais profundo o volume de controle, menor a drenagem profunda e maior a ascensão capilar (PEREIRA et al., 1997).

Conhecer o balanço hídrico para uma determinada região é de extrema relevância, pois este fornece a contabilização da água do solo, resultante da aplicação do Princípio de Conservação de Massa em um volume de solo vegetado (PEREIRA et al., 2002). De acordo com Fietz et al., (2001) na agricultura irrigada o balanço hídrico é aplicado na determinação de períodos com excesso ou escassez de água e, principalmente, na quantificação das deficiências hídricas de uma região.

Analisando o balanço hídrico é possível estimar a evapotranspiração potencial (ETP), evaporação real (EVR), da deficiência hídrica (DEF) ou o excedente hídrico (EXC), como também o armazenamento de água no solo (ARM), elaborados conforme escala diária até a mensal (PEREIRA et al., 1997).

#### 4.1. Crescimento e modelagem

Conforme Rocha (2013), o crescimento vegetal é um dos fenômenos de maior interesse para a produção agrícola, devido ao número de informações que se pode obter a partir da sua análise. Geralmente, um dos métodos utilizados é a análise quantitativa de crescimento vegetal, que se baseia na mensuração sequencial do acúmulo de matéria orgânica durante o ciclo ou determinada fase de crescimento (LUCCHESI 1984).

Lyra et al., (2008) afirmam que o monitoramento do crescimento vegetal requer técnicas destrutivas e que demandam tempo, tornando-se inviáveis em grandes áreas agrícolas. Por isso, metodologias mais eficientes e que forneçam informações prévias a respeito do cultivo, como a utilização de modelos empíricos, semiempíricos e biológicos, são fundamentais.

Os modelos definem quantitativamente hipóteses assumidas sobre o sistema real, permitindo deduzir suas consequências na agricultura, tais como, o manejo de certos sistemas ou de certas condições ambientais e avaliar a contribuição de diferentes partes da planta em seu crescimento final (DOURADO NETO et al., 1998).

Os principais modelos utilizados para predição do crescimento vegetal são o de Gompertz, Richards, expolinear, logístico, pic log, modelo de Boltzmann (TEI et al., 1996; TOMÉ, 2007).

## 4.2. Função de produção

A aplicação racional da adubação e irrigação poderá ser conseguida quando as funções de produção das culturas, nas diferentes regiões do país, forem conhecidas (BERNARDO, 2008).

Yamada (2007) e Raij (2011), afirmam que os efeitos das doses de N podem ser observados através da curva de resposta, fundamentais em estudos de fertilidade do solo e adubação, o qual descreve os efeitos dos nutrientes aplicados e também, compara diferentes fontes de um mesmo nutriente sobre a produção de determinada cultura, estabelecendo, assim, os limites em que tais variáveis possam causar o efeito depressivo na planta.

A técnica de função de produção é aplicada em diversas culturas (LYRA, 2014). Moura et al., (2009) avaliaram o efeito da lâmina de irrigação na produtividade do feijão-caupi no semiárido nordestino, verificaram que a máxima eficiência técnica para o rendimento de grãos foi observada para a lâmina de 449 mm, resultando em um rendimento médio de 1.376,87 kg ha<sup>-1</sup>.

Farinelli e Lemos (2012), obtiveram acréscimos significativos para a produtividade agrícola máxima, com a dose de 151 kg ha<sup>-1</sup> de N, gerou 8,87 t ha<sup>-1</sup>.

Rocha (2013), avaliando o crescimento e produtividade do milho Pioneer 30F35, sob vários doses de N, verificou que a dose de nitrogênio de máxima eficiência física foi de 188,0 kg ha<sup>-1</sup>, proporcionou para 5,36 t ha<sup>-1</sup>.

A curva de resposta serve de base para a conceituação da dose de máxima eficiência agrônômica e/ou econômica, que decorre da aplicação dos princípios dos incrementos decrescentes, onde relaciona a produção da cultura com os fertilizantes ou nutrientes aplicados, proporcionando a máxima distância entre a linha de custo do insumo e a curva de resposta (RAIJ, 2011).

## 5. MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1. Aspectos da área experimental

O experimento foi conduzido entre 29 de fevereiro a 20 de junho de 2016, na área experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo – Alagoas, em uma área de 3.040 m<sup>2</sup> (Figura 18) as coordenadas geográficas são: 09°28'02" de latitude sul e 35°49'43" de longitude oeste, 127 m de altitude, região dos Tabuleiros Costeiros (Souza et al, 2004). As características do solo da área são apresentadas na Tabela 7. O clima da região é caracterizado, pela classificação de Thornthwaite e Mather, como úmido, megatérmico (quente), com deficiência de água moderada no verão e grande excesso de água no inverno. A precipitação pluvial média anual é 1.818 mm, com mínima (41 mm) em janeiro e máxima (294 mm) em julho. A temperatura do ar varia de 19,3 ° C em agosto a 31,7 ° C em janeiro, com média anual de 25,4° C e umidade relativa do ar média mensal acima de 70% (SOUZA et al., 2006).

**Figura 18.** Localização da área experimental no Estado de Alagoas.



Fonte: GOOGLE EARTH (2016).



**Tabela 7.** Características físicas do solo da área experimental.

<b>Características Físicas</b>	<b>Resultados</b>
Tipo de solo	Latossolo Amarelo coeso argissólico
Textura	Média/argilosa
VIB (mm h <sup>-1</sup> )	52
Densidade Volumétrica (Mg m <sup>-3</sup> )	1,5
Porosidade total (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,423
$\theta_{CC}$ (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,244
$\theta_{PMP}$ (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,148
Declividade média (%)	≤2

Fonte: CARVALHO, (2003).

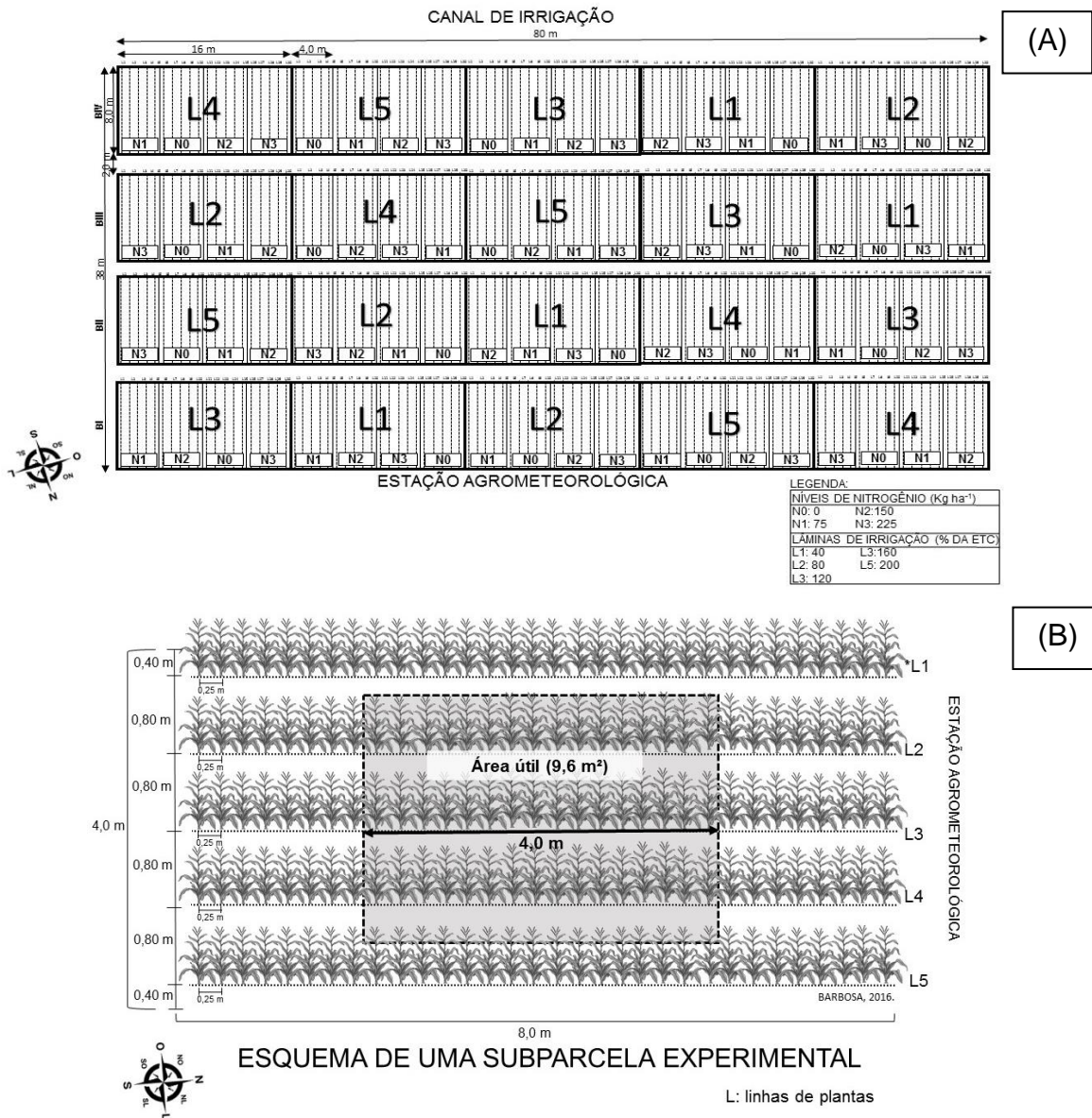
## 5.2. Delineamento experimental:

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, em esquema com parcelas subdivididas com quatro repetições, compreendendo como fator principal cinco lâminas de irrigação: 40, 80, 120, 150 e 200, respectivamente do (%) da ET<sub>C</sub>, e fator secundário doses de nitrogênio (N), na forma de ureia (45% N): 0, 75, 150 e 225 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

A área experimental possui as dimensões de 80,0 m de comprimento por 38,0 m de largura, totalizando 3.040 m<sup>2</sup>, em cada bloco foram fixadas cinco parcelas composta por 20 linhas com 8,0 m de comprimento, espaçadas a 0,80 m, totalizando 128,0 m<sup>2</sup>, onde receberam o fator lâminas de irrigação, dentro de cada parcela formaram-se 4 subparcelas com 5 linhas cada, 32,0 m<sup>2</sup>, onde foram aplicados o subfator níveis de nitrogênio (Figura 19A e B).

Os dados obtidos foram submetidos à análise variância, por meio do programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2008), sendo analisados por regressão linear e/ou polinomial quadrática a ( $P \leq 0,05$ ).

Figura 19. Croqui detalhado da área experimental (A), detalhe da subparcela (B).



### 5.3. Sistema de cultivo.

Preparo do solo: foram realizadas duas gradagens, sendo a primeira pesada, e a segunda leve antes da semeadura, objetivando a desagregação e nivelamento do solo, posteriormente efetuou-se a abertura dos sulcos (Figura 20A).

Adubação de fundação e fornecimento de cálcio e magnésio: foram realizadas com base na análise química do solo, visando uma produtividade agrícola de grãos média de 10 t ha<sup>-1</sup>, conforme Coelho et al. (1995), aplicando 115 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, fonte (S. fosfato simples, 18% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), e 192 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, fonte (KCl, 60% de K<sub>2</sub>O), e

100 kg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico para fornecer Cálcio e Magnésio as plantas, na profundidade de 10 cm (Figura 20B, C e D);

**Figura 20.** Preparo do solo (A); abertura dos sulcos (B), calagem (C) e adubação de fundação (D).



Fonte: BARBOSA, 2016.

Semeadura: Utilizou-se o genótipo AG 7088 VTPRO3, adotando a densidade de 50.000 plantas ha<sup>-1</sup> (0,80 m x 0,25 m), Sarmiento et al., (2015), as sementes foram distribuídas manualmente na profundidade de semeadura de 5,0 cm, semeando oito sementes por metro linear, para garantir o Stand de plantas;

Controle de invasoras: Realizado com herbicida de pré e pós-emergência, sendo em pré 400 mL Atrazina + 100 mL de (2,4 D) para calda de 20 L, aos 5 dias após a semeadura, e em pós 154 mL glifosato para calda de 10 L.

#### 5.4. Manejo de Irrigação

Foi instalado o sistema de irrigação por gotejamento, com fitas gotejadoras de 16 mm com emissores a cada 0,20 m, espaçadas a 0,80 m, com o intuito de formar uma faixa de irrigação contínua (Figura 21 e 22A, B, C e D).

Realizaram-se os testes de uniformidade de aplicação de água, de acordo com a metodologia utilizada para avaliação da uniformidade foi Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), proposto por CHRISTIANSEN (1942). Nos

testes de uniformidade, a eficiência de aplicação ( $E_a$ ) obtida ficou em torno de 90%, com intensidade de aplicação ( $I_A$ ) de  $6,18 \text{ mm h}^{-1}$ . Posteriormente, mediram-se as pressões de serviço na motobomba, no cabeçal de controle e nas linhas laterais.

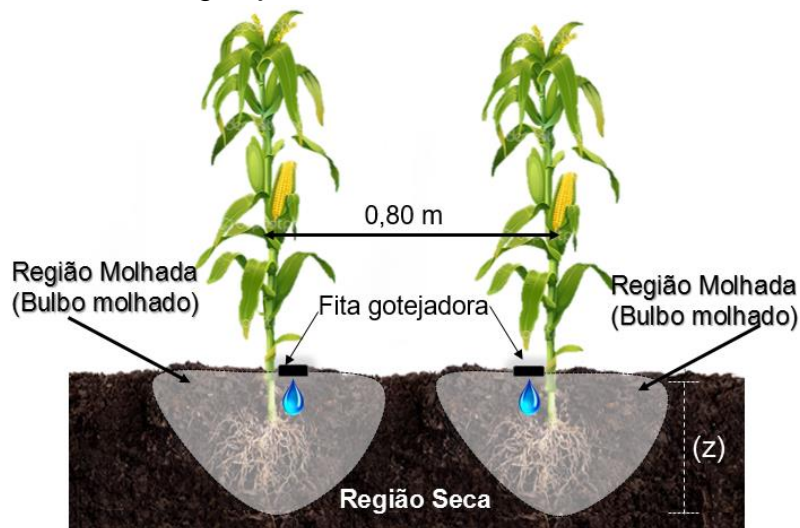
A determinação da evapotranspiração de referência durante a condução experimental foi realizada pelo método de Penmann-Monteith (Boletim FAO-56), Allen et al., (1998) e o coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) adotado foi segundo Doorenbos e Kassam (1979), a qual determina para os estádios inicial, vegetativo e final, os valores de 0,15, 1,15 e  $0,50 \text{ mm d}^{-1}$ , respectivamente,

A irrigação aplicada foi correspondente a 40, 80, 120, 160 e 200, respectivamente do (%) da  $ET_c$ , conforme a equação 1 (JESSEN,1968):

$$ET_c = k_c * ET_o \quad (1)$$

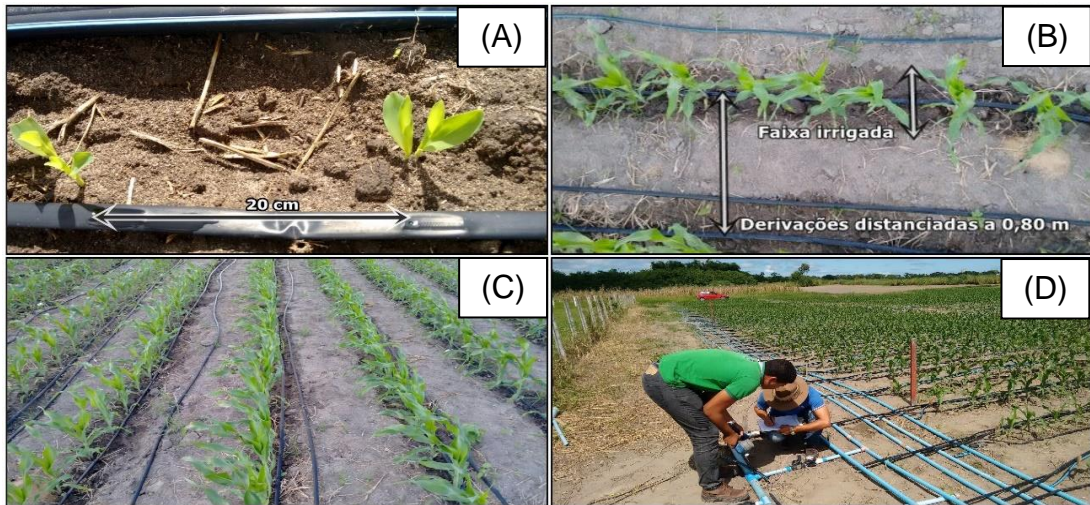
Em que:  $ET_c$ : Evapotranspiração da cultura (mm);  $ET_o$ : Evaporação de referência (mm);  $K_c$ : Coeficiente de cultura (adimensional).

**Figura 21.** Sistema de irrigação por gotejamento, detalhe da distância entre as linhas de plantas e da fita gotejadora.



Fonte: BARBOSA, 2016.

**Figura 22.** Sistema de irrigação por gotejamento, distância de 20 cm entre emissores (A), formação de faixa irrigada (B), derivações próximas as linhas de plantio (C) e monitoramento do sistema de irrigação (D).

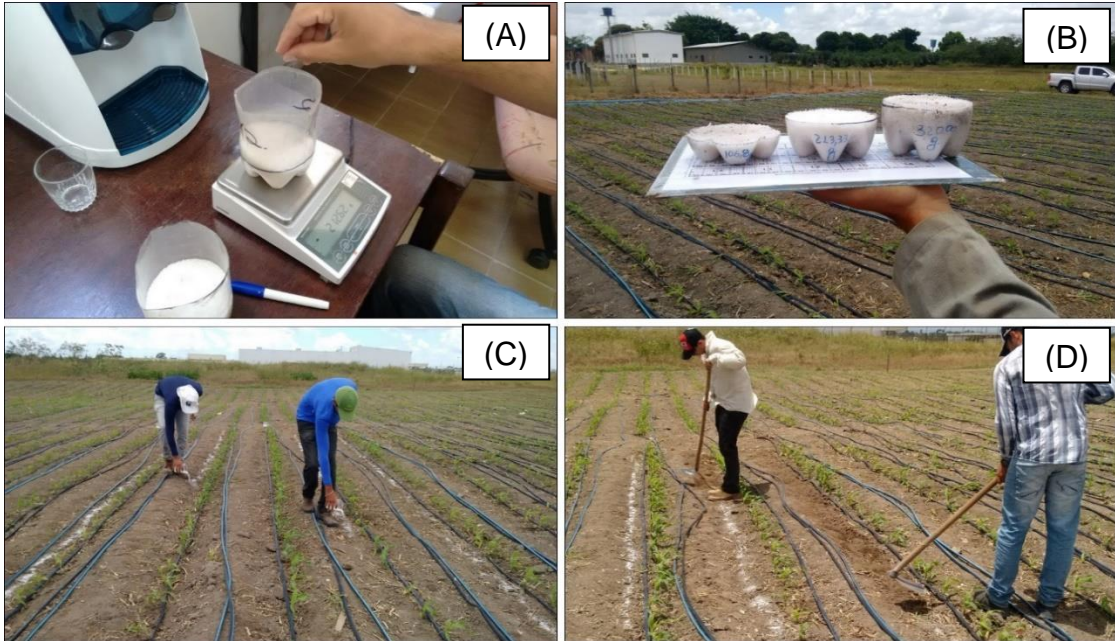


Fonte: BARBOSA, 2016.

### 5.5. Aplicação das doses de Nitrogênio e desbaste

A adubação de cobertura e o desbaste foram realizados aos 15 dias após a semeadura, selecionando as plantas mais vigorosas, deixando uma planta a cada 0,25 m, para a adubação de cobertura, segundo fator a ser estudado, foi utilizado ureia como fonte de Nitrogênio, distribuindo os doses de (N): 0, 75, 150 e 225 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, nas subparcelas (Figura 23A, B, C e D).

**Figura 23.** Formação das doses de Nitrogênio (A) e (B); distribuição em linha (C) e cobertura (D).



Fonte: BARBOSA, 2016.

## 5.6. Avaliações

### a. Medidas ambientais e Balanço hídrico do solo

Os dados meteorológicos de precipitação pluvial (P), temperatura do ar (T), umidade relativa (UR) e  $ET_o$ , estimada pelo método de Penman-Monteith (Boletim FAO-56), utilizados para determinar o manejo da irrigação, foram cedidos pelo laboratório de Agrometeorologia e Radiometria Solar-LARAS, que possui uma estação ao lado da área experimental.

Avaliou-se a influência das cinco lâminas de irrigação na disponibilidade de água no solo para as plantas através do balanço de água no ambiente, com base na lei de conservação das massas, através de determinações de evapotranspiração, precipitação pluvial, irrigação, escoamento superficial, drenagem profunda ou ascensão capilar e variação de armazenamento de água no solo. Os métodos utilizados para determinar a evapotranspiração da cultura foi o de Penman-Monteith (Boletim FAO-56) e balanço de hídrico real e lisimetria de drenagem (ALLEN et al, 1998; GURNEY, 1990, e TEODORO, 2003).

O armazenamento (ARM), leva em consideração as variáveis, supracitadas na equação 2:

$$\pm ARM = P + I - ET + AC - DP \quad (2)$$

Em que: (P) e (I) podem ser medidas mais facilmente. A (AC), que ocorre em períodos secos, e a (DP), que ocorre em períodos extremamente chuvosos, podem ser determinadas utilizando-se conhecimentos de física de solos (REICHARDT, 1990), e por fim a determinação da evapotranspiração (ET).

Todavia, o ARM pode ser simplificado pela equação 3 (ALLEN et al, 1998):

$$CAD = \frac{(CC-PMP)}{10} \times f \times d \times Z \quad (3)$$

Em que: CAD = lâmina de água armazenada no solo que será usada como suprimento para a cultura (mm); CC = umidade do solo na capacidade de campo (% peso); PMP = umidade do solo no ponto de murcha permanente (% peso); d = densidade (global) do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ); 10 = constante necessária para conversão de unidades; f = coeficiente de depleção da água no solo (adimensional,  $0 \leq f \leq 1$ ); Z = profundidade efetiva do sistema radicular.

Para este trabalho o ARM, foi monitorado a partir do balanço hídrico proposto por Pearce para culturas agrícolas. Para isso foi calculada a capacidade de água disponível (CAD, mm) para cada fase da cultura pela equação 4, desenvolvida em função da profundidade efetiva do sistema radicular (z), que varia de 0,1 a 0,6 m, entre a emergência e a fase de senescência, respectivamente (RITCHIE et al., 2003). Os valores da umidade a base de volume na capacidade de campo ( $\theta_{cc}=0,244 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) e ponto de murcha permanente ( $\theta_{pmp}=0,148 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) foram determinados por curva de retenção de água no solo (CARVALHO, 2003).

$$CAD = 1.000(\theta_{cc} - \theta_{pmp})z \quad (4)$$

Em que: CAD capacidade de água disponível;  $\theta_{cc}$  e  $\theta_{pmp}$  são os valores de umidade a base de volume na capacidade de campo e ponto de murcha permanente; profundidade efetiva do sistema radicular (z).

A água facilmente disponível (AFD, mm) foi calculada pela equação 5, usando o fator de disponibilidade hídrica igual a 0,60 (BERNARDO et al. 2006):

$$AFD = CAD \times f \quad (5)$$

Em que: CAD é a capacidade de água disponível;  $f$  é a disponibilidade hídrica da cultura.

### **b. Fenologia em função da disponibilidade térmica**

A fenologia foi observada seguindo a escala proposta por Ritchie et al., 1993 e Fancelli e Dourado Neto, (1996), a qual determina os estádios de: (VE, emergência); (V1, aparecimento das 1ª folhas expandidas); (V2, 2ª folha expandida); (Vn, enésima folha expandida e VT, (pendoamento) e reprodutivo (R1, florescimento; R2, grão leitoso, R3, grão pastoso; R4, grão farináceo; R5, grão farináceo duro e R6, Maturação fisiológica). As datas foram tomadas a partir da semeadura e registradas quando foi detectado mudança em 50% das plantas dentro da área útil de cada parcela. Para registrar os estágios de R2 a R6 efetuou-se a abertura da palha nas espigas.

Para a identificação da fase vegetativa, as folhas foram marcadas com o barbante. Os estádios fenológicos foram avaliados em função dos graus-dia acumulados (GD), determinado a partir da equação 6:

$$GDA: \sum_{i=1}^n (T_{m,i} - T_b) \quad (6)$$

Em que: GDA são os graus-dia acumulados (GD);  $T_m$  (°C) é a temperatura do ar média, diária do dia  $i$  (°C); e  $T_b$  (°C) é a temperatura basal. A temperatura base utilizada foi a de 10 °C (LOZADA e ANGELOCCI, 1999).

### **c. Análise de crescimento em função de lâminas de irrigação e doses de Nitrogênio.**

As análises de crescimento, foram realizadas quinzenalmente, tomando, 5 plantas por subparcela de cada tratamento escolhidas ao acaso (Figura 24A). As



variáveis de crescimento foram: Altura do dossel (AD), número de folhas (NF), diâmetro do colmo (DC), índice de área foliar (IAF) e a Biomassa seca Total (BS).

A AD, foi mensurada pela distância entre o colo da planta e a extremidade da parte aérea, com o auxílio de uma trena (Figura 24B e C). O NF, foram contabilizados por contagem nas plantas. O DC foi mensurado com auxílio de um paquímetro graduado (Figura 24D).

**Figura 24.** Seleção de plantas para avaliação biométrica (A); medida da altura do dossel e altura do colar, diâmetro do colmo em (B), (C) e (D), respectivamente.



Fonte: BARBOSA, 2016.

A AF foi determinada pela equação 7, utilizando dados coletados do comprimento, número de folhas e largura foliar, adotando o fator de correção de 0,75 (MONTGOMERY, 1911).

$$AF = C * L * (n^{\circ}folhas + 2) * 0,75 \quad (7)$$

O IAF foi calculado pela relação entre a área foliar das cinco plantas avaliadas e o espaço ocupado em cada tratamento (equação 8), e posteriormente estimada para 1,0 ha (BEADLE, 1993), para ajuste, utilizou-se o modelo pico log normal (equação 9).

$$IAF = \frac{[(C*L*0,75)*(n+2)]/10.000]*N}{E} \quad (8)$$

$$IAF = a \exp \left[ -0,5 \left\{ \ln \left( \frac{\Sigma GD}{X_0} \right) \right\}^2 \right] \quad (9)$$

Em que: a, b e  $X_0$  são coeficientes de ajuste da equação, e  $\Sigma GDA$  representa o somatório de energia térmica disponível no período de crescimento.

As BST, teve caráter destrutivo, obtida quinzenalmente pela seleção de uma planta por suparcela. Este foi segregado em: folhas, colmos, pendões e espigas (Figura 25A, B, C e D). Após a separação, o material vegetal foi acondicionado em sacos de papel craft, e pesados em uma balança de precisão com centésimos de grama, em seguida foi levado para a estufa de ventilação forçada a temperatura de 70°C por aproximadamente 72h, conforme as recomendações da *American Society of Agricultural Engineers* (ASAE, 2000).

**Figura 25.** Material separado em: colmos, folhas, pendões e espigas para a determinar a biomassa seca total (A), (B), (C) e (D).



Fonte: BARBOSA, 2016.

A AD e a BST foram ajustadas ao modelo logístico (LYRA et al., 2008; LYRA et al., 2014), equação 10.

$$W = \frac{W_f}{1+(W_f/W_0 - 1)\exp(-r \Sigma \text{GDA})} \quad (10)$$

Em que:  $W$  (cm) é a variável de crescimento ou desenvolvimento;  $W_0$  e  $W_f$  (cm) correspondem, a taxa de crescimento inicial e final do ciclo da cultura, respectivamente;  $r$  ( $\text{cm cm}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  ou  $\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ) é a taxa máxima de crescimento relativo (Equação 12), e  $\Sigma\text{GDA}$  representa o somatório de energia térmica disponível no período de crescimento.

$$TCR = \frac{\text{Ln}(h_2) - \text{Ln}(h_1)}{T_2 - T_1} \quad (11)$$

Em que:  $h_2$  é a altura atual da planta (cm);  $h_1$  é a altura anterior da planta (cm);  $T_2$  é o tempo ou GDA atual (dias ou  $^\circ\text{C}$ );  $T_1$  é o tempo ou GDA anterior (dias ou  $^\circ\text{C}$ ).

Para descrever o crescimento do caule foi utilizado regressão do tipo sigmoidal (modelo de Boltzmann) (equação 12).

$$DC = \frac{DC_0 + DC_f}{1 + e^{(x-x_0)/dx}} + DC_f \quad (12)$$

Em que:  $DC_0$  e  $DC_f$ , -valor inicial e final do diâmetro do caule (DC);  $X$  – Graus-dia (GDA);  $X_0$  - valor central do GDA;  $dx$  - faixa do GDA onde os valores de DC mudam drasticamente.

#### d. Função de produção

A função de resposta da cultura aos tratamentos foi obtida utilizando os dados de Altura de inserção de espiga (AIE), biomassa verde para silagem (BVS), biomassa verde final (BVF), biomassa seca final (BSF) e os componentes de produção, em curvas de regressão polinomial quadrática com a variável independente, lâminas de irrigação e doses de nitrogênio, conforme a equação 13:

$$Y = f(x) = a + bx + cx^2 \quad (13)$$

Em que:

Y = variável;

X = dose do insumo;

a, b, c = coeficiente de ajuste;

Com o ajuste da função de produção foi determinado a dose ( $X_{m\acute{a}x.}$ ) que maximiza a produção, igualando-se a zero a primeira derivada da função de produção, conforme as equações 14 e 15:

$$Y' = b + 2cX \therefore b - 2cX = 0 \therefore -2cX = -b \quad (14)$$

$$X_{m\acute{a}x.} = -\frac{b}{2c} \quad (15)$$

Em que:  $X_{m\acute{a}x.}$  Corresponde a dose do insumo que proporciona a máxima rendimento.

O rendimento máximo ( $Y_{m\acute{a}x.}$ ) foi estimado substituindo-se X pela dose máxima eficiente ( $X_{m\acute{a}x.}$ ) na equação 14.

A altura de inserção da espiga (AIE), foi estimada durante a colheita, mensurando a distância entre o colo da planta e o ponto de inserção da espiga.

A Biomassa verde para silagem (BVS), A Biomassa Verde Fresca (BVF) e a Biomassa Seca Final (BSF), tiveram caráter destrutivo.

A BVS foi obtida quando os grãos apresentavam estágio fenológico  $\frac{1}{2}$  leitoso e  $\frac{1}{2}$  farináceo (Velho et al. 2006), aproximadamente aos 76 DAS, acumulando 1.229

GDA ( $^{\circ}\text{C d}^{-1}$ ), efetuou-se o corte, rente ao solo de uma planta por suparcela, para pesagem em balança de precisão com centésimos de grama.

A BVF foi estimada aos 91 DAS, 1.451 GDA ( $^{\circ}\text{C d}^{-1}$ ), pesando uma planta por suparcela, em balança de precisão, posteriormente o material foi acondicionado em papel craft e levado a estufa de ventilação forçada a temperatura de  $70^{\circ}\text{C}$  por aproximadamente 72h (ASAE, 2000), obtendo a BSF.

A obtenção dos dados dos componentes de produção foi realizada mediante a colheita (Figura 26A, B C e D), estes foram as seguintes: Produtividade agrícola (PA); índice de colheita (IC); Peso de mil grão (PMG); Comprimento da espiga (CE); Diâmetro da espiga (DE); Número de fileiras de grãos por espiga (NFGE); Número de grãos por fileira (NGF); Número de grãos por espiga (NGE) e Massa do sabugo (MS).

**Figura 26.** Obtenção de dados dos componentes de produção, colheita manual das espigas (A), despalha e debulha dos grãos (B), contabilização do número de grãos por espiga e peso de mil grãos, (C) e (D), respectivamente.



Fonte: BARBOSA (2016).

O CE foi determinado pela distância entre o primeiro e o último grão da linha mais longa, usando uma trena; O DE, foi mensurado com paquímetro graduado. O NFGE e o NGF foram obtidos por contagem (Figura 27C). O NGE, foi obtido pela multiplicação de NFGE e do NGF.

As espigas da área útil de cada subparcela foram debulhadas determinando a MS (g); PMG (g); TAG (%); PA ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e o índice de colheita (IC).

Estimou-se a MS pela pesagem em balança de precisão analítica da massa do sabugo das espigas da área útil de cada subparcela.

O PMG, foi obtido pela verificação do peso de 8 repetições de 100 grãos, sendo a média multiplicada por 10, de acordo com as Regras Brasileira de Análise de Sementes (BRASIL, 2009)

A PA ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) foi estimada em uma balança com resolução de 0,01g, efetuando-se a pesagem de todos os grãos existentes nas plantas da área útil de cada subparcela, conforme a equação 16:

$$Y = \frac{M}{C.E} * 10.000 \quad (16)$$

Em que: Y é a produtividade agrícola ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), M é a massa colhida na área amostrada (kg), C é o comprimento total das linhas colhidas (m) e E é o espaçamento entre linhas (m).

O TAG (%), foi determinado pelo método de estufa, a  $105^\circ \pm 2^\circ \text{C}$ , por 24 horas, segundo prescrições estabelecidas pelas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), estes resultados serviram como base para a correção dos dados de PA a umidade de 12%.

O IC, foi calculado pela relação entre a produção de grãos com a produção de matéria seca total da parte aérea Durães et al. (2008) conforme a equação 17. Todos os rendimentos de grãos foram medidos com base em 12% de umidade.

$$IC = \frac{PA}{BS_{acm}} \quad (17)$$

Em que: PA é a produtividade agrícola, corrigida e  $BS_{acm}$  é a biomassa seca acumulada até a maturação fisiológica.

**e. A eficiência agronômica do nitrogênio (EAN)**

A eficiência agronômica do Nitrogênio (EA), expressa em  $\text{kg kg}^{-1}$ , foi obtida de acordo com a metodologia proposta por Fageria e Baligar (2005) utilizando a equação 18.

$$EA = \frac{PGcf - PGsf}{QNa} \quad (18)$$

Em que: PGcf: é a produção de grãos com fertilizante nitrogenado, PGsf: a produção de grãos sem fertilizante nitrogenado e QNa a quantidade de nitrogênio aplicada (em kg).

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

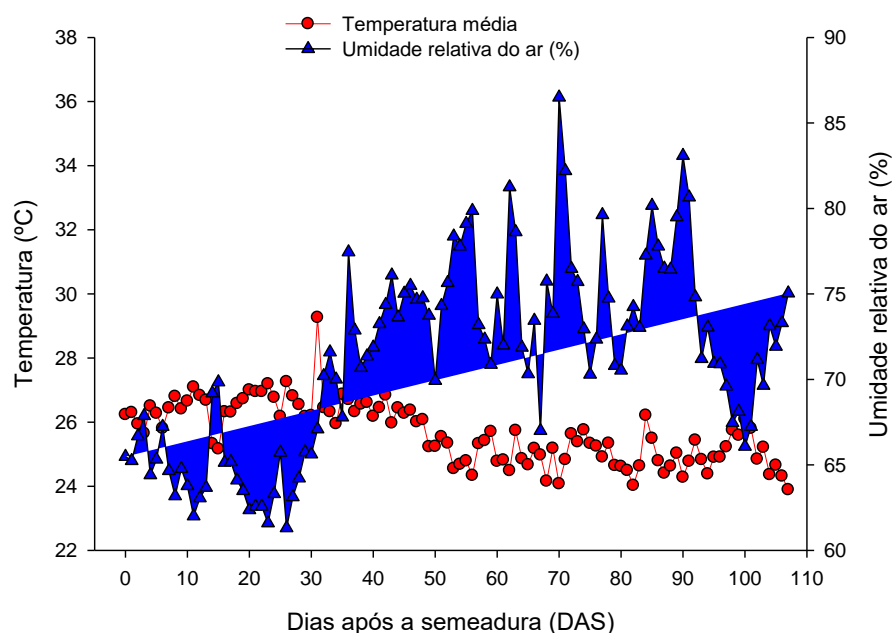
### a. Variáveis meteorológicas e Balanço hídrico do solo

As temperaturas máxima e mínima do ar ao longo da condução experimental variaram de 27 a 37,7°C e 19,6 a 24°C, respectivamente, com variações de temperatura média entre 23,9 e 29,3°C, e média de 26,3°C (Figura 27). Conforme Fancelli (2001), as temperaturas ideais para o crescimento de milho se encontram na faixa de 25 e 30°C, logo, as temperaturas ambientais durante a condução do experimento foram satisfatórias para o pleno desenvolvimento das plantas.

A utilização da temperatura média do ar, numa escala diária, é uma boa estimativa indireta da quantidade de energia química metabólica produzida pelo material genético (GADIOLI, 2005).

A umidade relativa do ar média (URm) durante o experimento variou de 61,3 a 86,5% nos dias 26/03/2016 (26 DAS) e 09/05/2016 (70 DAS), respectivamente. Esta variação é justificada devido à razão entre a pressão de saturação e a pressão de vapor, que são dependentes da temperatura do ar (PEREIRA et al., 1997).

**Figura 27.** Variáveis meteorológicas: Temperatura média do ar (T<sub>média</sub>) e umidade relativa média do ar (UR<sub>média</sub>), no período de 29/02 a 20/06 de 2016, na região de Rio Largo-AL.





Em relação ao balanço hídrico do solo, verifica-se que houve excesso de água em 82 dias com chuva (73,21%), total de 599,4 (mm) ao longo do experimento, e apenas 30 dias sem chuva (26,78%) do ciclo, influenciando no fator lâminas de irrigação, uma vez que a água aplicada foi perdida sob ação das chuvas, colocando o armazenamento (ARM) acima da água facilmente disponível (AFD). O maior evento de precipitação diária ocorreu na fase inicial 68,1 mm, 3 DAS, (Figura 28).

Houve incremento na disponibilidade hídrica a cultura, observada pela precipitação efetiva, de 395, 395, 402, 413 e 417 mm, respectivamente, entre as lâminas de irrigação. Albuquerque (2010), afirma que no território brasileiro a exigência hídrica do milho pode variar de 380 a 550 mm, depende das condições climáticas.

Neste tocante é perceptível que não houve déficit hídrico que comprometesse as plantas de milho, durante o experimento, principalmente na fase de embonecamento pois em caso de ocorrência de estresse hídrico, durante o embonecamento pode ocorrer reduções de 40 a 50% e após ocorre reduções de 10 a 20% (BERGAMASCHI BRITO et al., 2013; et al., 2004; ALBUQUERQUE, 2010)

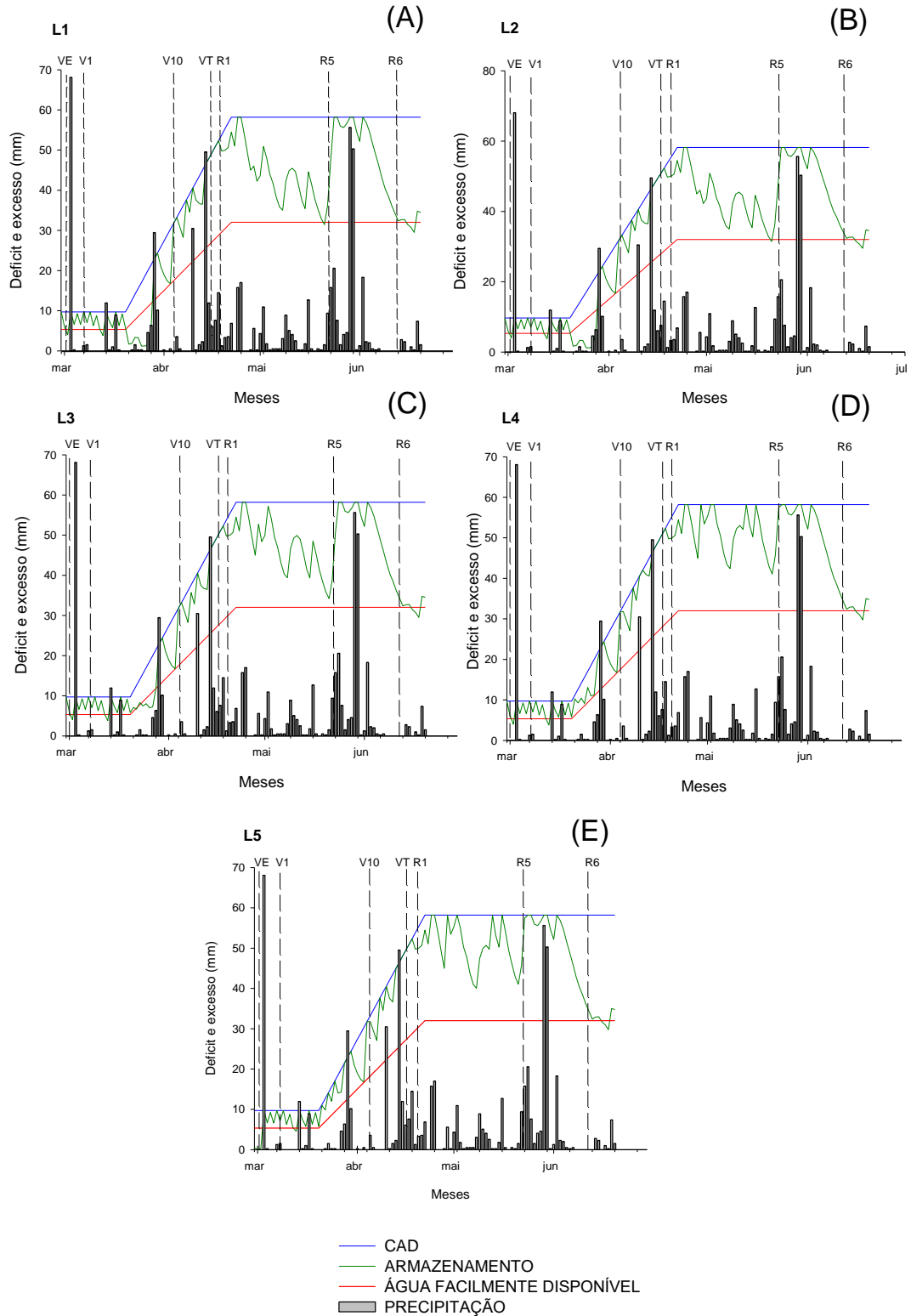
Na Figura 28, observam-se o balanço hídrico do solo para as lâminas L1: 4,0 mm, L2: 48 mm, L3: 63 mm, L4: 137 mm e L5: 177 mm, respectivamente. As lâminas L1 e L2 estiveram sob déficit, todavia, por um curto período, equivalente a cinco dias, entre o 21º e o 26º DAS, e três dias para L3, correspondente ao 25º ao 28º DAS. As lâminas L4 e L5, estiveram em condições de excesso hídrico.

**Tabela 8.** Precipitação pluvial efetiva nos tratamentos lâminas de irrigação.

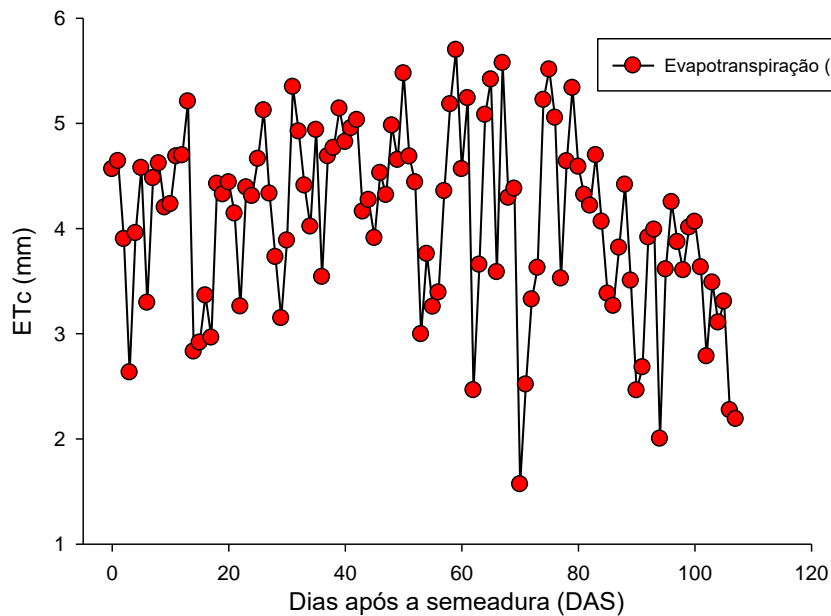
Lâminas (mm)	4,0	48	63	137	177
	Precipitação efetiva (mm)				
	395	395	402	413	417

A evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) variou de 1,94 mm, aos 112 DAS e 5,70 mm, aos 59 DAS, respectivamente. Com valor médio de 4,0 mm dia<sup>-1</sup> e  $ET_c$  total acumulada de 451,94 mm (Figura 30). Para a cultura do milho, em condições de clima quente e seco, o consumo de água raramente excede 3,0 mm dia<sup>-1</sup>, quando a planta apresenta em torno de 0,30m de altura e, no período que vai da iniciação floral a maturação, pode atingir valores de 5,0 a 7,0 mm d<sup>-1</sup> (EMBRAPA, 2009).

**Figura 28.** Balanço de água no solo, cultivado com milho irrigado sob diferentes lâminas de irrigação: 40 % da ETc (A), 80 % da ETc (B), 120 % da ETc (C), 160% da ETc (D) e 200% da ETc (E), no período de 29/02 a 20/06 de 2016, na região de Rio Largo-AL.



**Figura 29.** Variação da evapotranspiração (ETc), do milho híbrido AG 7088 VT PRO 3, no período de 29/02 a 20/06 de 2017 em Rio Largo-AL



#### b. Fenologia e disponibilidade térmica

O desenvolvimento das plantas foi relacionado com os dias após a semeadura (DAS) e em função dos graus-dia acumulado (Tabela 8). O estágio vegetativo teve início a partir da emergência (VE), encerrando-o no pendoamento (VT), este período compreendeu aproximadamente 54 DAS, e variação de 145,9 a 898,3 Graus-dia acumulados (GDA), respectivamente.

Conforme Ritchie e Hanway (1989), nesses estádios iniciais, ocorrem a iniciação de todas as folhas e inflorescência feminina (V3), o sistema radicular nodular se torna o principal meio de absorção em funcionamento, o colmo inicia o período de grande alongação (V6) e no estágio (VT) são formados o número de óvulos em cada inflorescência feminina e o tamanho da espiga. É também considerado um período crítico onde ocorrem os maiores efeitos do déficit hídrico na produtividade de grãos (BERGAMASCHI, 2004).

O estágio reprodutivo iniciou em R1 aos 56 DAS, e encerrou-se em R6 aos 107 DAS, respectivamente, acumulando 927,4 a 1.691,4 GDA, fechando o ciclo da cultura. A duração das fases fenológicas de uma cultura, avaliada pelo número de dias, varia entre regiões, anos e datas de semeadura, em razão das variações climáticas, como umidade relativa, temperatura do ar e do solo, chuva, radiação solar

e fotoperíodo (COSTA, 1994). Em pesquisas realizadas por Sarmento (2015) e Lyra et al., (2010) na mesma região e em diferentes épocas de semeadura na cultura do milho, verificaram diferente de graus-dia para a cultura completar o ciclo, com variações entre 1500 a 1600 GDA, em ambos os trabalhos.

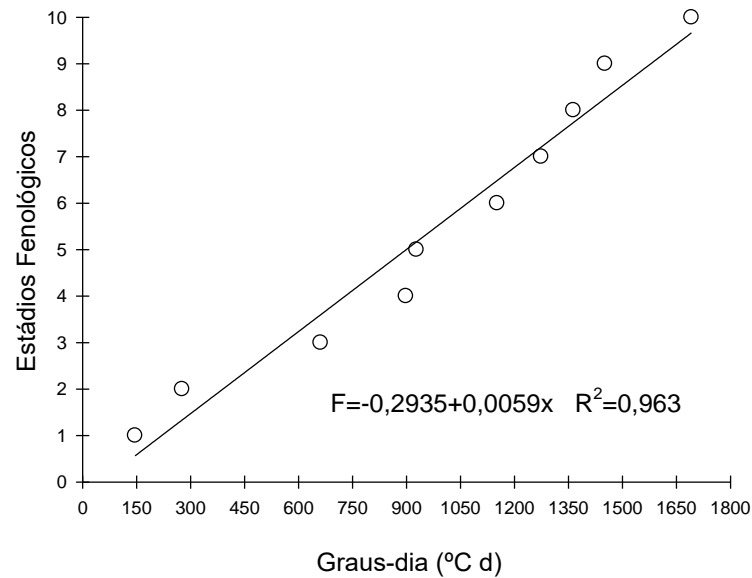
**Tabela 8.** Estádios de desenvolvimento das plantas tendo como base os dias após a semeadura (DAS) e Graus-dia acumulados (GDA).

Semeadura	29/02/2016
Estádio	DAS/GD
VE	8/145,9
V4	16/ 162,4
V12	39 / 661,1
VT	54 / 898,3
R1	56 / 927,4
R2	71 / 1.151,6
R3	79 / 1.273,9
R4	85 / 1.363,3
R5	91/ 1.451,7
R6	107 / 1.691,4

Fonte: autor desta dissertação.

Na Figura 31 observa-se a relação entre a fenologia e graus-dia, estimado por meio da equação linear forçada a passar pela origem, onde o coeficiente angular da reta mostra a exigência térmica acumulada entre os estádios VE e R6, quanto maior for o coeficiente angular da reta, menor é a exigência térmica para as plantas completarem o ciclo de produção (SARMENTO, 2015). A mudança na temperatura tem influência, em ambos os estádios vegetativo ou reprodutivos. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) da regressão foi elevado, equivalente a 0,963 (%).

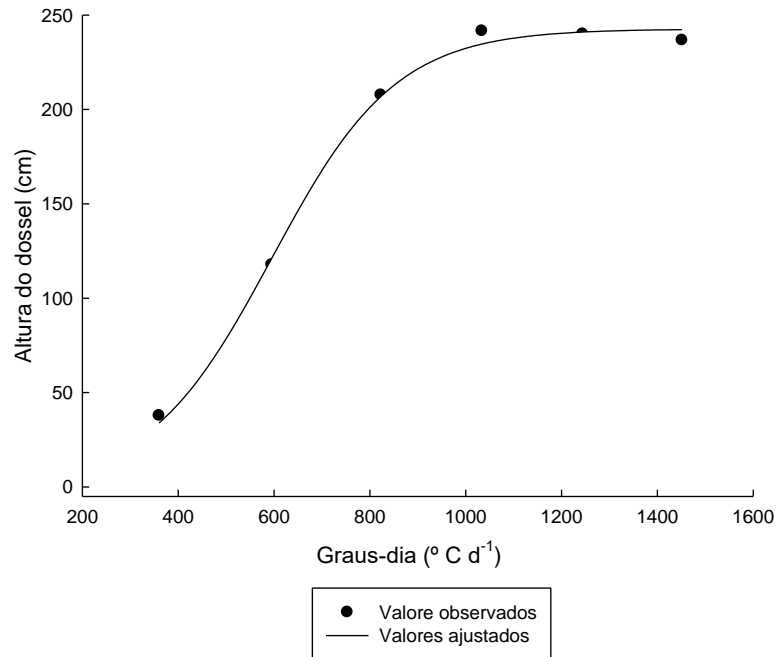
**Figura 30.** Regressão linear forçada a passa pela origem entre os estádios fenológicos (1=VE, 2=V4, 3=V12, 4=VT, 5=R1, 6=R2, 7=R3, 8=R4, 9=R5 e 10=R6) em função dos graus-dia acumulado (°C d).



**c. Crescimento da cultura em função de lâminas de irrigação e doses de Nitrogênio.**

Em relação as irrigações, o modelo logístico não apresentou efeito significativo a ( $p \leq 0,01$ ) pelo teste t para a altura inicial do dossel ( $W_0$ ) (Tabela 9). Todavia, o crescimento final ( $W_f$ ) foi significativo a ( $p \leq 0,01$ ) e a taxa de crescimento relativo teve efeito significativo a ( $p \leq 0,05$ ), o coeficiente de determinação mostra um bom ajuste de curva, com  $R^2$  0,99.

**Figura 31.** Altura do dossel, e curva ajustadas pelo modelo pic log normal para o milho híbrido AG 7088 VT PRO 3 irrigado, em Rio Largo-AL.



**Tabela 9.** Altura do dossel vegetativo (cm), estimada pelo modelo logístico do milho híbrido AG 7088 VT PRO 3 irrigado, em Rio Largo-AL.

Irrigação (mm)	Parâmetros						
	$W_f$	$W_0$	$R$	$R^2$	$W_0$	$R$	$R^2$
	242,62**	0,001(±)	2,426 <sup>ns</sup>	0,083 (±)	0,0077*	0,0014 (±)	0,99

\*\*significativo à nível de 1%; \*significativo à nível de 5%; ns não significativo pelo teste t.

O ajuste do modelo logístico da altura do dossel (AD) apresentou efeito significativo ( $p \leq 0,01$ ), pelo teste t, entre as doses de nitrogênio para as seis datas de coleta dos dados de crescimento, com  $R^2$  de 0,99, o modelo explica a maior parte da variabilidade da altura de planta (Figura 32). Os valores máximos observados para altura de planta foi de 244,14 cm para a dose de 150 ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e menor de 232,33 (cm) na dose 0  $\text{kg ha}^{-1}$ . Lyra et al., (2008) ajustaram o mesmo modelo considerado para a variável altura de planta na cultura do milho, e obtiveram coeficientes de determinação entre 0,96 e 0,99.

Rocha (2012) avaliando o crescimento e produtividade do milho Pioneer 30F35, submetido a doses de nitrogênio nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas, verificou ajuste do modelo logístico para a altura do dossel, obtendo  $R^2$  entre 0,989 e 0,994 para a dose de 200 kg ha<sup>-1</sup> e 150 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Andrade Neto et al., (2010) ajustou o modelo logístico, obtendo coeficientes de determinação entre 0,91 e 0,99, para a mesma variável, porém na cultura do sorgo.

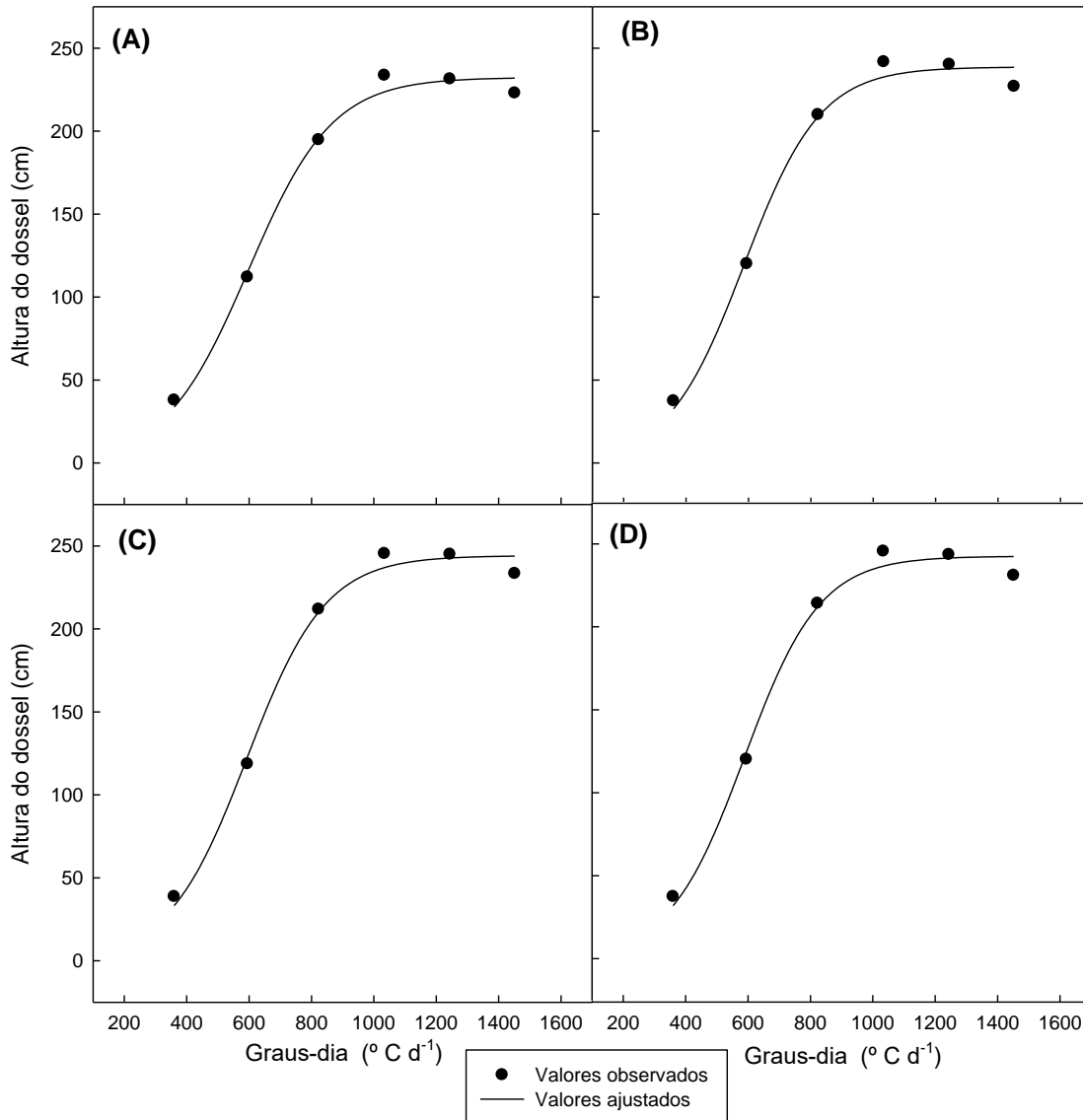
Para os coeficientes do modelo ajustados, o crescimento final da AD ( $W_f$ ) e taxa de crescimento relativo (R), foram estatisticamente significativos pelo teste t ( $p \leq 0,01$ ), respectivamente, porém, não houve significância para o crescimento inicial ( $W_0$ ) t ( $p \leq 0,05$ ) (Tabela 10).

**Tabela 10.** Altura de dossel vegetativo (cm), para o milho híbrido AG 7088 VT PRO 3 irrigado, estimado pelo modelo logístico, em função de doses de nitrogênio, em Rio Largo-AL.

Dose de N (Kg ha <sup>-1</sup> )	Graus-dia acumulados						
	Parâmetros					R	R <sup>2</sup>
	$W_f$	$W_0$					
0	232,3383**	0,0001(±)	2,6732 <sup>ns</sup>	0,1621(±)	0,00740**	0,0040(±)	0,9935
75	238,6425**	0,0001(±)	1,9900 <sup>ns</sup>	0,2268(±)	0,0082**	0,0056(±)	0,9924
150	244,1415**	0,0001(±)	2,196 <sup>ns</sup>	0,1919(±)	0,0079**	0,0044(±)	0,9934
225	242,5478**	0,0001(±)	1,8691 <sup>ns</sup>	0,2328 (±)	0,0083*	0,0056(±)	0,9926

\*\*significativo à nível de 1%; \*significativo à nível de 5%; ns não significativo pelo teste t.

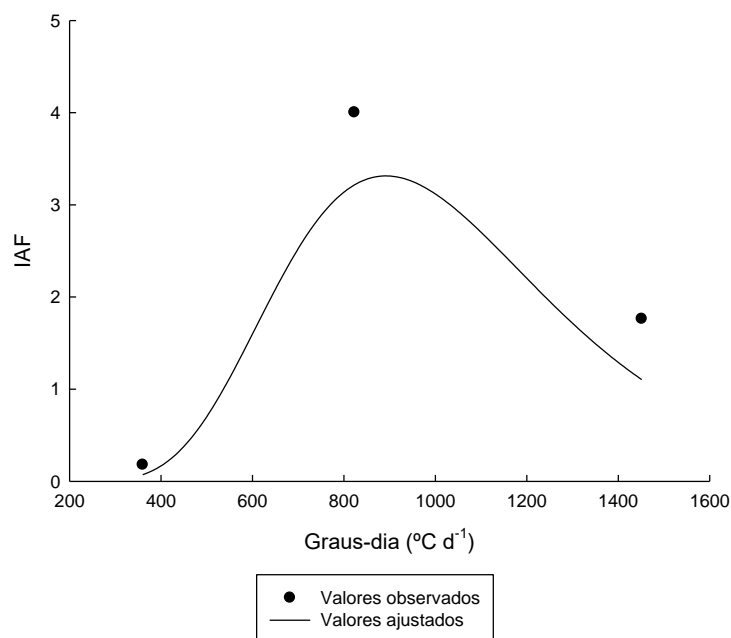
**Figura 32.** Altura do dossel vegetativo, e curvas ajustadas pelo modelo logístico para o milho híbrido AG 7088 VT PRO 3, em função das doses de 0 (A), 75 (B), 150 (C) e 225 (D) kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, em Rio Largo-AL.



Não houve diferença significativa pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ), para o índice de área foliar (IAF) e irrigação (Figura 32). O modelo pic log normal mostrou um bom ajuste, com  $R^2$  de 0,76, o parâmetro IAF final (a) foi significativo pelo teste t a ( $p \leq 0,05$ ), com média observada de 3,31. A taxa de crescimento inicial (b), foi estatisticamente significativo pelo teste t ( $p \leq 0,05$ ), e o crescimento relativo ( $X_0$ ), apresentou significância a t ( $p \leq 0,01$ ) (Tabela 11). O IAF se refere à área de folhas por metro quadrado de terreno, mostrando maior aproveitamento da luz e conseqüentemente maior taxa fotossintética.



**Figura 33.** Índice de área foliar (IAF), e curvas ajustadas pelo modelo pic log normal para o milho híbrido AG 7088 VT PRO 3 irrigado, em Rio Largo-AL.



**Tabela 11.** Estimativas de índice de área foliar (IAF) pelo modelo pic log normal para o milho híbrido AG 7088 VT PRO 3, em função de irrigações, em Rio Largo-AL.

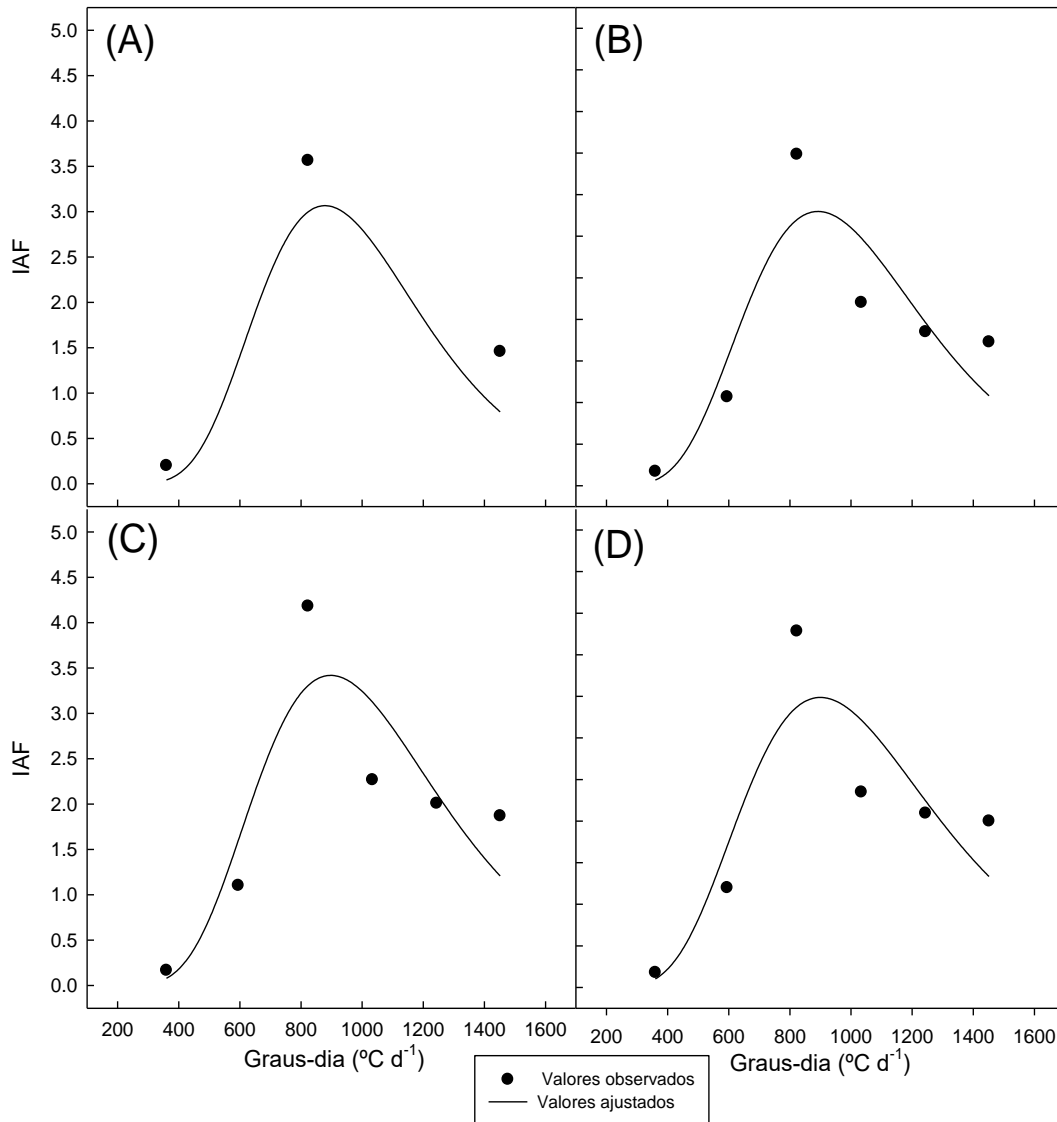
Irrigação (mm)	Parâmetros						
	a	B	X <sub>0</sub>	R <sup>2</sup>			
	3,31*	0,014 (±)	0,3283*	0,0287 (±)	891,9365**	0,009 (±)	0,76

\*\*significativo à nível de 1%; \*significativo à nível de 5%; ns não significativo pelo teste t.

Houve diferença significativa pelo teste F ( $p \leq 0,01$ ) para a variável índice de área foliar (IAF), para as doses de nitrogênio. Na figura 34, verifica-se que o máximo IAF ocorreu na terceira coleta de dados, com acúmulo calórico de aproximadamente 823 ( $^{\circ}\text{C d}^{-1}$ ), graus-dia acumulados, 45 DAS. Neste período as plantas encontravam-se no estágio V15, ou seja, com a arquitetura foliar desenvolvida.

Segundo Lyra et al. (2014), após a cultura do milho atingir o IAF máximo a partição de fotoassimilados se destina a principalmente a formação das espigas e o enchimento de grãos.

**Figura 34.** Índice de área foliar (IAF), e curvas ajustadas pelo modelo pic log normal para o milho híbrido AG 7088 VT PRO 3, em função das doses de 0 (A), 75 (B), 150 (C) e 225 (D) kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, em Rio Largo-AL.



Os valores máximos de IAF foram de: 3,48 e 3,06, para as doses de 225 e 0 kg de N ha<sup>-1</sup>, respectivamente, a adubação incrementou de 13,7% em relação a testemunha.

Resultado semelhante foram obtidos por Lyra et al., (2014), trabalhando com seis doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150, 200 e 250 kg ha<sup>-1</sup> de N), no milho híbrido Pioneer 30F35, na mesma região de Rio Largo-AL, observaram maiores valores de IAF aos 863 GD, porém, com valores máximos observados de 4,71 e 2,46, nas doses de 100 e 0 kg de N ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Lyra et al. (2010) encontraram IAF máximo com acúmulo variando entre 850 GD a 900 GD, para a variedade BR106, em três anos de estudos (2000, 2001 e 2002), na região dos tabuleiros costeiros de Alagoas.

O modelo pic log normal mostrou um bom ajuste, com  $R^2$  variando de 0,8069 ( $0 \text{ kg ha}^{-1}$ ) a 0,7525 ( $225 \text{ kg ha}^{-1}$ ), a os parâmetros IAF final (a) e taxa de crescimento inicial (b), foram estatisticamente significativos pelo teste t ( $p \leq 0,05$ ), tiveram diferença significativa entre as doses, de acordo com o teste t ( $p \leq 0,05$ ). Porém, o crescimento relativo (r), apresentou significância a t ( $p \leq 0,01$ ) (Tabela 12).

**Tabela 12.** Índice de área folia (IAF) do milho híbrido AG 7088 VT PRO 3 adubado com diferentes doses de Nitrogênio, ajustado pelo modelo pic log normal, em Rio Largo-AL.

Dose de N (Kg ha <sup>-1</sup> )	Parâmetros						
	a		B		X <sub>0</sub>	R <sup>2</sup>	
0	3,066*	0,0107 (±)	0,3056*	0,0189 (±)	878,2762**	0,0006 (±)	0,8069
75	3,298*	0,0143 (±)	0,3260*	0,0286(±)	892,0638**	0,0009 (±)	0,7702
150	3,426*	0,0158 (±)	0,3333*	0,0333 (±)	897,2930**	0,0011(±)	0,7549
225	3,487*	0,0155 (±)	0,3449*	0,0351 (±)	899,7053**	0,0012(±)	0,7525

\*\*significativo à nível de 1%; \*significativo à nível de 5%; ns não significativo pelo teste t.

O IAF expressa a disponibilidade de superfície assimiladora de CO<sub>2</sub> e da radiação fotossinteticamente ativa e de perdas de água (transpiração) da população de plantas. Tem relação com a capacidade fotossintética da população vegetal por estar relacionado à área de assimilação de CO<sub>2</sub> e de intercepção de radiação, ou pela redução da própria taxa fotossintética quando altos IAFs provocam grande perda de água e conseqüente deficiência hídrica (MÜLLER, et al., 2005)

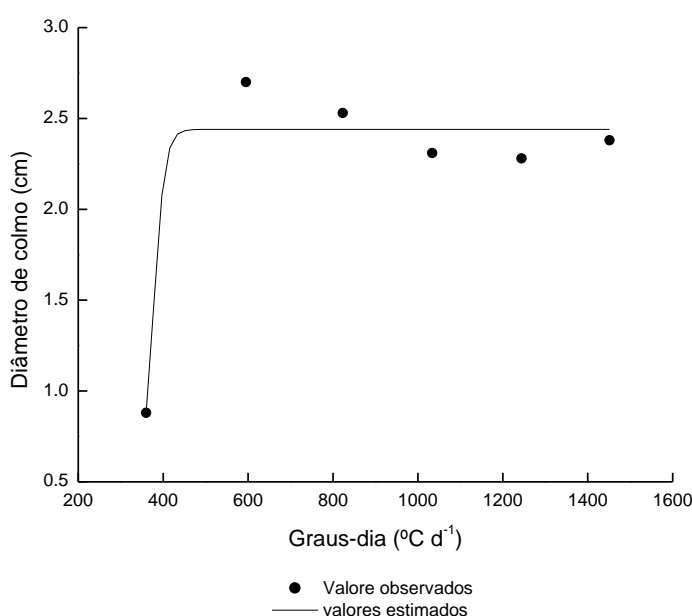
A área foliar de uma planta depende do número e do tamanho das folhas e, conseqüentemente, do seu estágio de desenvolvimento; por sua vez, o IAF depende da fertilidade do solo, das condições climáticas do espaçamento e do material genético utilizado (FANCELLI e DOURADO NETO, 2000).

O nitrogênio é o nutriente que está relacionado diretamente com a divisão e a expansão celular, influenciando o crescimento e o desenvolvimento da planta (TAIZ e ZEIGER, 2013).

Não houve diferença estatística F ( $p \leq 0,05$ ) para os dados observados de diâmetro de colmo, em função das irrigações. O modelo sigmoide de Boltzmann mostrou um bom ajuste ao DC, com  $R^2$  variando de 0,93.

O diâmetro de colmo também é importante para a obtenção de maior rendimento de espiguetas, pois quanto maior o seu diâmetro, maior a capacidade da planta armazenar fotoassimilados, que contribuirão para a produção e desenvolvimento das espiguetas (FANCELLI e DOURADO NETO, 2000).

**Figura 35.** Diâmetro de caule (DC), do milho híbrido AG 7088 VT PRO 3 irrigado, com ajuste de curva pelo modelo sigmoide de Boltzmann, em Rio Largo-AL.



Os parâmetros de crescimento inicial (A1) e final (A2), não foram significativos pelo teste t ( $p \leq 0,05$ ), não houve diferença estatística a t ( $p \leq 0,05$ ), para  $X_0$ : ponto de inflexão, e dx: coeficiente de ajuste.

**Tabela 13.** Diâmetro de colmo (cm) do milho híbrido AG 7088 VT PRO 3 irrigado, estimado pelo modelo sigmoide de Boltzmann, em Rio Largo-AL.

Irrigação (mm)	Parâmetros				$R^2$
	A1	A2	$X_0$	dx	
	0,47 <sup>ns</sup>	2,44 <sup>ns</sup>	377,53	13,04 <sup>ns</sup>	0,94

\*\*significativo à nível de 1%; \*significativo à nível de 5%; ns não significativo pelo teste t.

As doses de nitrogênio diferiram estatisticamente pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ). O modelo sigmoide de Boltzmann mostrou um bom ajuste ao diâmetro de caule (DC), com  $R^2$  variando de 0,83 a 0,99.

O DC foi proporcional as doses de Nitrogênio, variando de 2,26 a 2,74 (cm), respectivamente, para as doses de 0 e 150 kg ha<sup>-1</sup>. O maior valor de DC ocorreu na segunda coleta de dados, em estágio (V10), com o acúmulo calórico de aproximadamente 594,90 (°C d<sup>-1</sup>), permanecendo estável nas avaliações posteriores (Figura 39).

De acordo com Fancelli e Dourado Neto (2000), o desenvolvimento do colmo das plantas de milho ocorre principalmente a partir da emissão da oitava folha se prolongando até o florescimento, sendo que o colmo não somente atua como suporte de folhas e inflorescências, mas, principalmente, como uma estrutura destinada ao armazenamento de sólidos solúveis.

Os parâmetros A1: crescimento inicial não foram significativos pelo teste t ( $p \leq 0,05$ ), o mesmo efeito ocorreu em  $X_0$ : ponto de inflexão, e para dx: coeficiente de ajuste. Houve efeito significativo entre as doses para A2: crescimento final de DC (cm) pelo teste t ( $p \leq 0,05$ ).

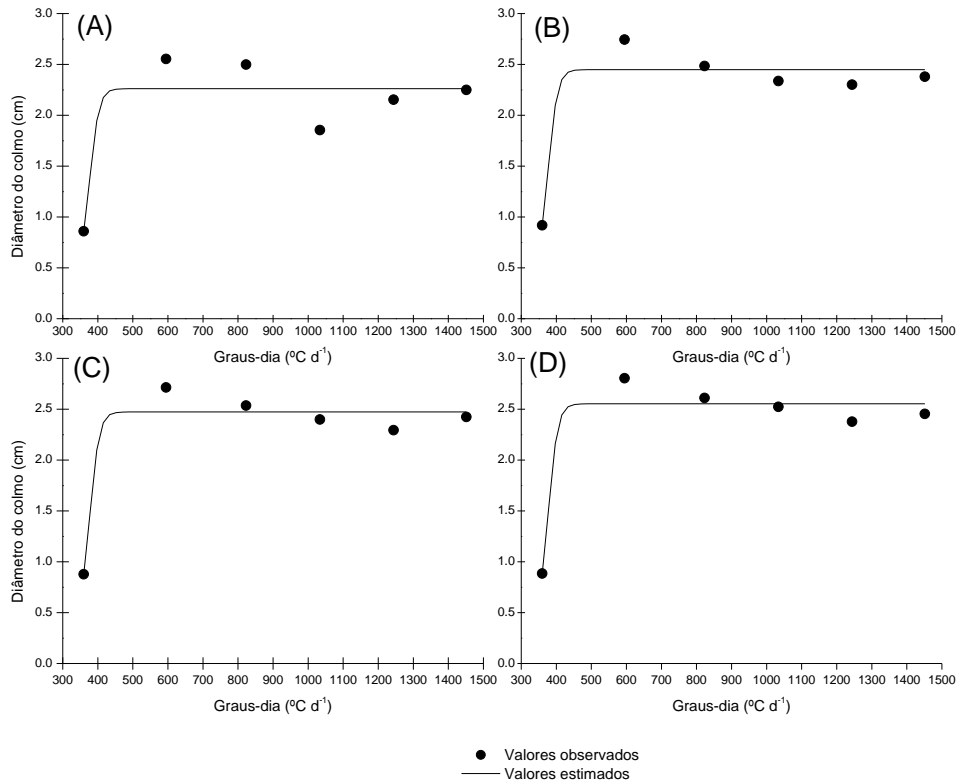
Sarmento (2015), estudando a ecofisiologia do milho AL bandeirante sob diferentes épocas de semeadura e densidades de plantio, em Rio Largo-AL, verificou que o diâmetro do colmo foi inversamente proporcional a população de plantas e sua estabilização ocorreu no estágio vegetativo de nove folhas expandidas (V9) com maior média de DC equivalente a 2,23 cm, na primeira época de semeio 28/06/13.

O efeito significativo do N no diâmetro do colmo também foi constatado por Gomes et al. (2007), estudando doses e época de aplicação de nitrogênio nos caracteres agrônômicos da cultura do milho sob plantio direto

O diâmetro de colmo é uma característica importante, uma vez que o colmo não somente atua como suporte de folhas e inflorescências, mas principalmente como uma estrutura destinada ao armazenamento de sólidos solúveis que são utilizados posteriormente na formação dos grãos (FANCELLI e DOURADO NETTO, 2000).

Logo, maiores diâmetros de colmos, normalmente, proporcionam maiores produtividades de grãos.

**Figura 36.** Diâmetro de caule (DC), do milho híbrido AG 7088 VT PRO3 irrigado, ajustado pelo modelo sigmoidal de Boltzmann, para, em função das doses de 0 (A), 75 (B), 150 (C) e 225 (D) kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, em Rio Largo-AL.



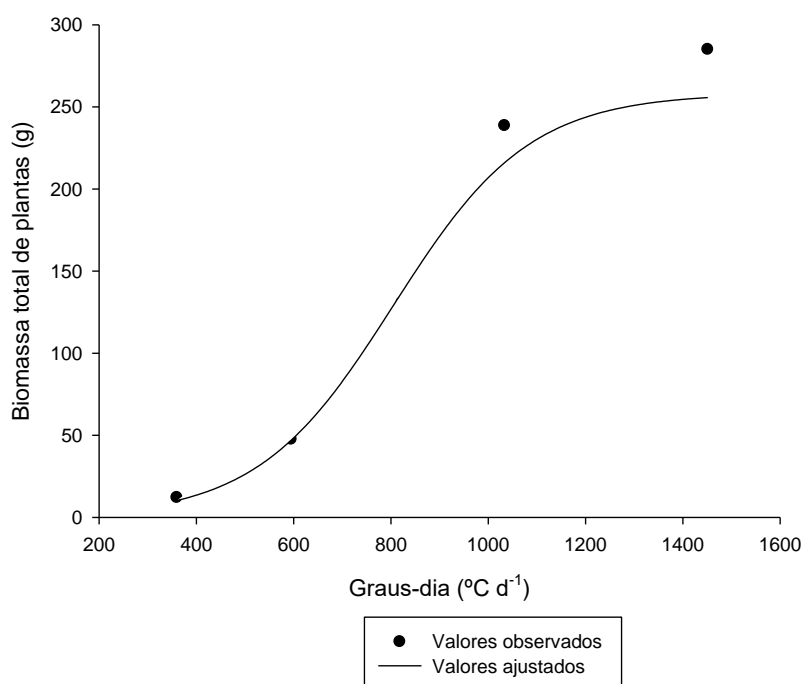
Fonte: autor, 2017.

**Tabela 14.** Diâmetro de colmo (cm) estimada pelo modelo sigmoidal de Boltzmann, para o milho híbrido AG 7088 VT PRO 3 irrigado, em função de doses de nitrogênio, em Rio Largo-AL.

Doses de N (Kg ha <sup>-1</sup> )	Parâmetros				
	A1	A2	X <sub>0</sub>	dx	R <sup>2</sup>
0	0,487 <sup>ns</sup>	2,261*	377,144	12,940 <sup>ns</sup>	0,83
75	0,516 <sup>ns</sup>	2,448*	377,324	13,009 <sup>ns</sup>	0,93
150	0,464 <sup>ns</sup>	2,743*	377,668	13,082 <sup>ns</sup>	0,95
225	0,4641 <sup>ns</sup>	2,553*	377,679	13,085 <sup>ns</sup>	0,99

\*\*significativo à nível de 1%; \*significativo à nível de 5%; ns não significativo pelo teste t.

**Figura 37.** Biomassa total de plantas, e curvas ajustadas pelo modelo logístico, para o milho híbrido AG 7088 VT PRO 3, em Rio Largo-AL



**Tabela 15.** Biomassa total de planta (g) estimada pelo modelo logístico, para o milho híbrido AG 7088 VT PRO 3 irrigado, em Rio Largo-AL.

Doses de N (Kg ha <sup>-1</sup> )	Parâmetros					
	W <sub>f</sub>	W <sub>0</sub>	R	R <sup>2</sup>		
258,014**	0,0037 (±)	0,8167 <sup>ns</sup>	0,720 (±)	0,0071 <sup>ns</sup>	0,1170 (±)	0,99

\*\*significativo à nível de 1%; \*significativo à nível de 5%; ns não significativo pelo teste t.

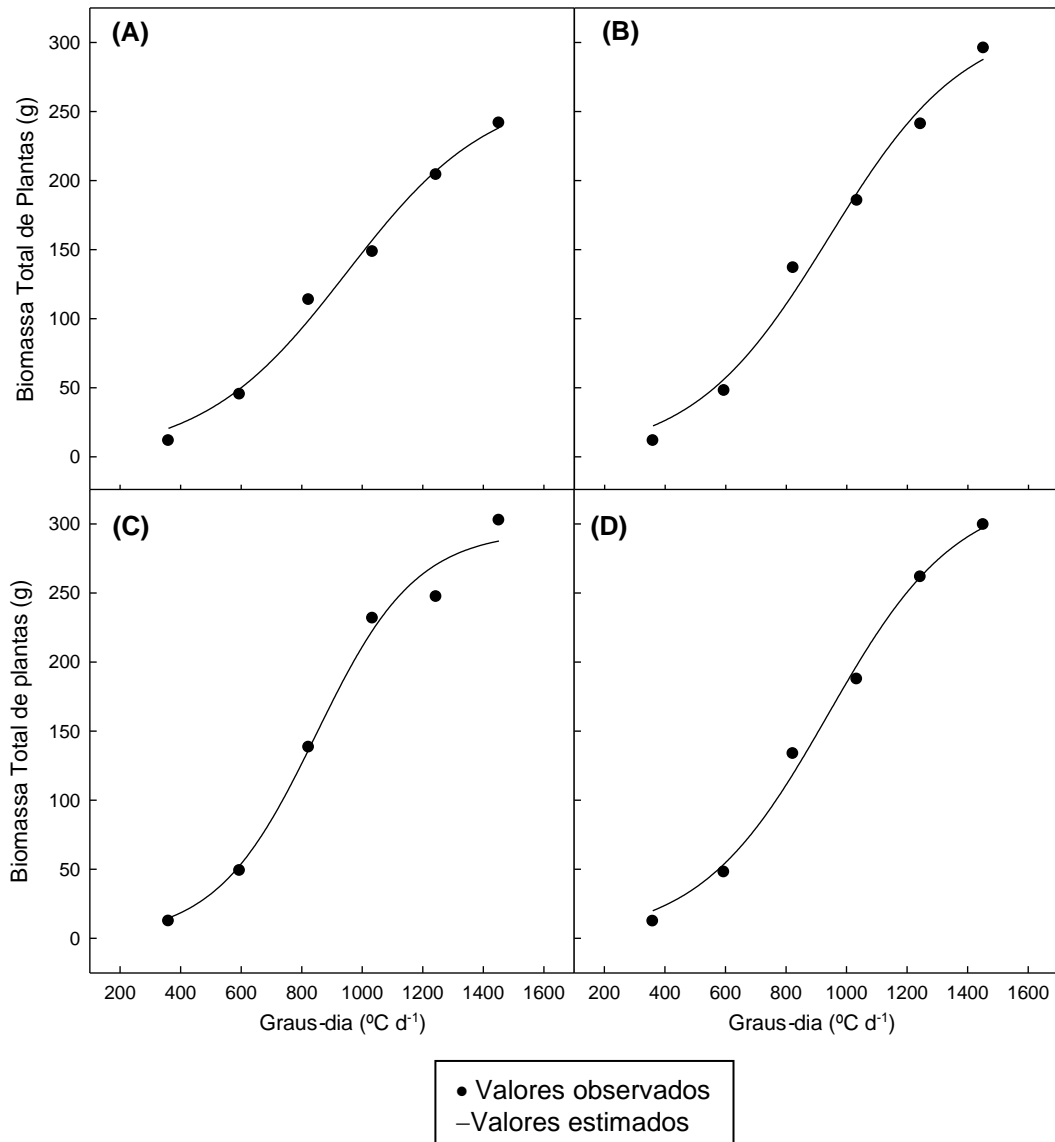
As doses de nitrogênio influenciaram significativamente na alocação de Biomassa total (BT) de plantas ( $p \leq 0,01$ ). O nitrogênio exerce papel importante no desenvolvimento de perfilhos e, conseqüentemente, na produção de massa seca porque faz parte das proteínas e ácidos nucléicos, os quais participam ativamente da síntese de compostos orgânicos, que formam a estrutura do vegetal (MALAVOLTA, 1987).

A maior BT foi obtida com o acúmulo calórico de 1.451,21 ( $^{\circ} \text{C d}^{-1}$ ), em estágio R5. Os valores máximos de BT foram de: 324,0612 e 266,014 (g) planta<sup>-1</sup>, para as doses de 225 e 0 kg de N ha<sup>-1</sup>, respectivamente. A dose de 225 kg ha<sup>-1</sup>, incrementou 21,82% em relação a testemunha (Figura 34).

O modelo logístico mostrou um bom ajuste, com R<sup>2</sup> variando de 0,9937 a 0,9873, os parâmetros BT final (w<sub>f</sub>) e crescimento relativo (r), foram estatisticamente

significativos pelo teste t ( $p \leq 0,01$ ), a taxa de crescimento inicial ( $w_0$ ) não apresentou significância a t ( $p \leq 0,01$ ) (Tabela 11).

**Figura 388.** Biomassa total de plantas, e curvas ajustadas pelo modelo logístico, para o milho híbrido AG 7088 VT PRO 3, em função das doses de 0 (A), 75 (B), 150 (C) e 225 (D)  $\text{kg ha}^{-1}$  de nitrogênio, em Rio Largo-AL.





**Tabela 16.** Biomassa total de planta (g) estimada pelo modelo logístico, para o milho híbrido AG 7088 VT PRO 3 irrigado, em função de doses nitrogênio, em Rio Largo-AL.

Doses de N (Kg ha <sup>-1</sup> )	Parâmetros						
	W <sub>f</sub>	W <sub>0</sub>	R	R <sup>2</sup>			
0	266,014**	0,002 (±)	4,8426 <sup>ns</sup>	0,1919 (±)	0,0042**	0,012 (±)	0,9898
75	317,8143**	0,002 (±)	4,8191 <sup>ns</sup>	0,2521(±)	0,0044**	0,015 (±)	0,9876
150	295,09779**	0,0006(±)	1,7463 <sup>ns</sup>	0,3746 (±)	0,0060**	0,015(±)	0,9873
225	324,0612**	0,0070(±)	3,8898 <sup>ns</sup>	0,1613 (±)	0,0047**	0,006(±)	0,9937

\*\*significativo à nível de 1%; \*significativo à nível de 5%; ns não significativo pelo teste t.

#### d. Função de Produção.

A análise de variância para a altura de inserção da espiga (AIE), biomassa verde para silagem (BVS), biomassa verde final (BVF) e biomassa seca final (BSF), são apresentados na Tabela 16.

**Tabela 17.** Quadrados médios pela análise da variância dos efeitos de irrigação e doses de nitrogênio, no milho híbrido AG 7088 VT PRO 3 para: altura de inserção da espiga (AIE), biomassa verde para silagem (BVS), biomassa verde final (BVF) e biomassa seca final (BSF).

Fontes de variação	GL <sup>1</sup>	Valores de Quadrado Médio <sup>2</sup>			
		AIE (m)	BVS (kg ha <sup>-1</sup> )	BVF (kg ha <sup>-1</sup> )	BSF (kg ha <sup>-1</sup> )
Lâminas de irrigação (L)	4	0,065478**	98297523,929688 <sup>ns</sup>	117758851,526563 <sup>ns</sup>	7249663,569406 <sup>ns</sup>
Bloco	3	0,017833 <sup>ns</sup>	29337031,411458 <sup>ns</sup>	178048560,337500 <sup>ns</sup>	701074,012031 <sup>ns</sup>
Resíduo 1	12	0,007991	193512814,554688	168082280,293229	11589160,592402
Doses de nitrogênio (N)	3	0,035593**	877445104,336458**	421059667,787500*	41921493,471898**
LxN	12	0,003701 <sup>ns</sup>	132465800,448437 <sup>ns</sup>	159938657,0557296 <sup>ns</sup>	20103741,509360 <sup>ns</sup>
Resíduo 2	45	0,003898	85392940,159375	114401312,882639	9484385,880589
Total	79	-	-	-	-
Regressão Linear (L)		0,788715 <sup>ns</sup>	270055,965417 <sup>ns</sup>	33788546,243030 <sup>ns</sup>	2168164,447771 <sup>ns</sup>
Regressão Quadrática (L)		0,723220 <sup>ns</sup>	9789750,783116 <sup>ns</sup>	577704,176360 <sup>ns</sup>	9330874,431816 <sup>ns</sup>
Desvio regressão (L)		0,001505 <sup>ns</sup>	191565144,485108 <sup>ns</sup>	218334577,843427 <sup>ns</sup>	17330511,050941 <sup>ns</sup>
Regressão Linear (N)		5,116644**	932765152,400625**	1026757053,302499 <sup>ns</sup>	81029135,619542**
Regressão Quadrática (N)		0,844605*	570677848,653125*	197022476,450000 <sup>ns</sup>	41158860,541711*
Desvio regressão (N)		0,000000**	128892311,955625 <sup>ns</sup>	39399473,609990 <sup>ns</sup>	0,000000*
CV 1 (%)		13,22	29,53	25,68	23,90
CV 2 (%)		10,23	19,62	21,19	21,62
Média Geral		4,03	47.101.47	50.479.46	14.246

<sup>1</sup>Graus de liberdade; <sup>2</sup>\*\*Significativo à nível de 1%; \*significativo à nível de 5%; ns não significativo, pelo teste F.

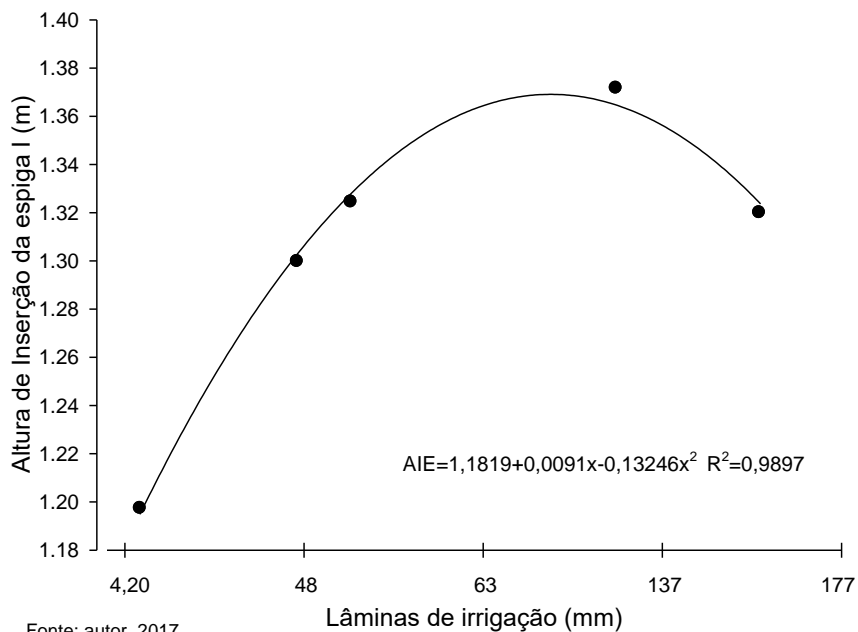
De acordo com o teste F para a AIE houve efeito significativo a F ( $p \leq 0,01$ ), para as fontes de variação lâminas (L) e doses de nitrogênio (N), não tendo efeito significativo entre a interação (LxN). Por meio da Figura 32 e 33, é possível observar que, que a aplicação da irrigação e das doses de N, se ajustaram a equações quadráticas ( $p \leq 0,01$ ).

Tendo AIE máximo de 1,37 (m) com a aplicação de L de 120,42 (mm), e 1,34 (m) aplicando a dose de 174,5 kg de N ha<sup>-1</sup>. Os resultados observados neste trabalho evidenciam que a AIE da cultivar AG 7088 apesar de ter um padrão genético estabelecido, é influenciado pelos insumos utilizados em seu cultivo.

Um fator que contribui muito para que ocorra o acamamento é a altura da inserção da espiga que, quanto mais alta estiver, mais suscetível a planta está ao acamamento (SIQUEIRA et al. 2009; CASAGRANDE e FORNASIERI FILHO, 2002).

Todavia, conforme Possamai et al. (2001), as perdas e a pureza dos grãos na colheita mecanizada, dentre outros fatores, são diretamente influenciadas pela altura final do dossel das plantas e, principalmente, pela altura de inserção da espiga. Plantas mais altas e com inserção de espigas também apresentam vantagens na colheita.

**Figura 39.** Altura de inserção da espiga (AIE) em função de Irrigação, em Rio Largo-AL.



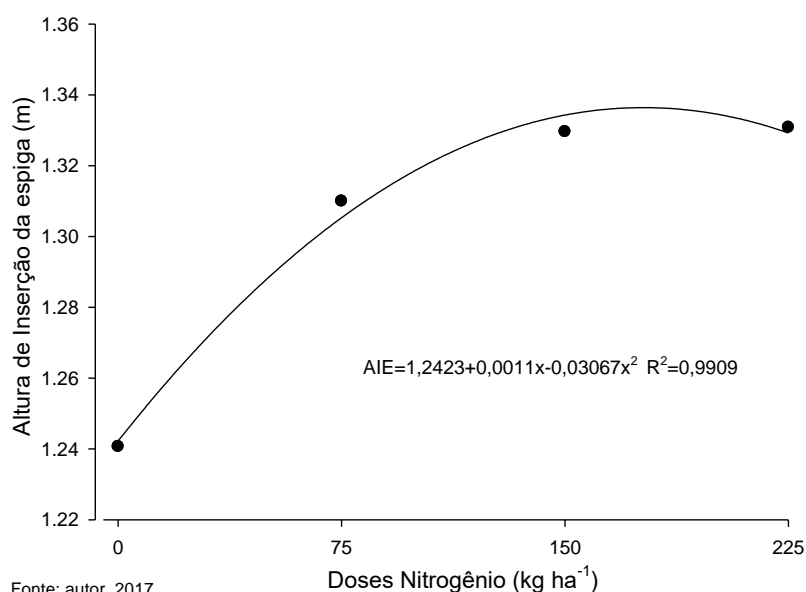
**Tabela 18.** Modelos matemáticos utilizados para a estimar o rendimento máximo (Y máx.) e o nível máximo eficiente, para a AIE, BVS, BVF e BSF, no milho híbrido AG 7088 VT PRO 3, sob diferentes Irrigações: 4,20, 48,18, 62,95, 136,81 e 177,47 (mm), respectivamente, e doses de nitrogênio 0, 75, 150 e 225 kg ha<sup>-1</sup>, em Rio Largo-AL.

Variáveis	Modelo matemático	R <sup>2</sup>
AIE I (m)	$Y=1,182451^{**}+0,003131^{**}x-0,000013^{**}x^2$	0,996
AIE N (m)	$Y=1,2425^{**}+0,001047^{**}x-0,000003^{**}x^2$	0,990
BVS (kg ha <sup>-1</sup> )	$Y=37.836,1287^{**}+165,4519^{**}x-0,4748^{**}x^2$	0,951
BVF (kg ha <sup>-1</sup> )	$Y=44.103,68^{**}+105,497^{**}x-0,2788916^{**}x^2$	0,968
BSF (kg ha <sup>-1</sup> )	$Y=12.178,9409^{**}+40,6932^{**}x-0,1275^{**}x^2$	0,971

\*\*Significativo à nível de 1%; \*significativo à nível de 5%, pelo teste t.

O nitrogênio está associado, dentre outras funções na planta, ao crescimento vegetativo, influenciando diretamente a divisão e a expansão celular e o processo fotossintético, promovendo acréscimo em altura de planta, altura de espiga e no diâmetro de colmo (SILVA et al., 2005).

**Figura 40.** Altura de inserção da espiga (AIE) do milho híbrido AG 7088 VT PRO 3, em função das doses de: 0, 75, 150 e 225 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, em Rio Largo-AL.



A biomassa verde para a silagem, não deferiu estatisticamente para as irrigações e interação (LxN) a ( $p \leq 0,05$ ), pelo teste F. Houve efeito significativo para

as doses de Nitrogênio a F ( $p \leq 0,01$ ), tendo bom ajuste ao modelo polinomial quadrático a ( $p \leq 0,01$ ), e  $R^2=0,9510$ , pelo teste t.

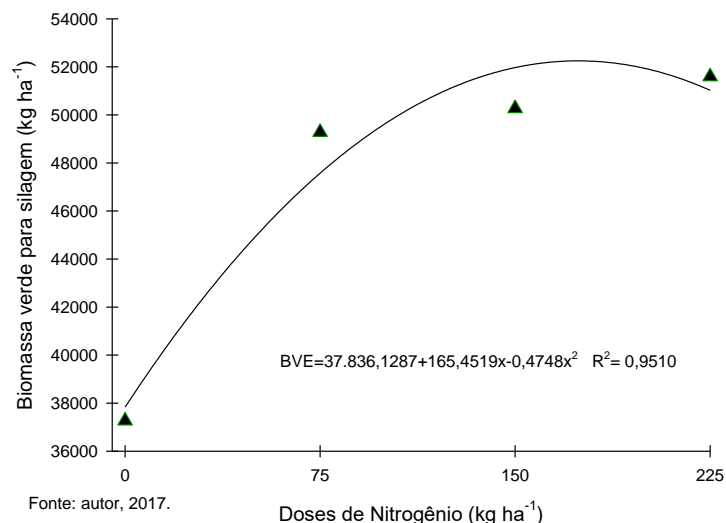
A dose máxima eficiente estimada para a BVS foi equivalente a 174, 23 kg ha<sup>-1</sup>, gerando a produção de BVS máxima de 52.249 kg ha<sup>-1</sup>, correspondendo a um incremento de aproximadamente 40,19%, em relação a dose 0 kg de N ha<sup>-1</sup> (Figura 40).

Quando o milho é colhido para silagem, além dos grãos, a parte vegetativa também é removida, havendo conseqüentemente alta extração e exportação de nutrientes (COELHO e FRANÇA, 1995).

Estes resultados mostram que apesar do arranjo espacial de plantas e a cultivar AG 7088 adotados neste trabalho, ter indicação para produção de grãos, pode ser utilizada para ensilagem. A maioria das cultivares de milho para produção de silagem são genótipos adaptados, principalmente devido a sua alta produtividade de grãos (NEUMANN et al. 2003; GOMES, 2003).

Segundo Zago (1997), para se obter alta produção de biomassa e elevado valor nutritivo da silagem, é necessário considerar as características que variam muito entre os inúmeros materiais disponíveis no mercado.

**Figura 41.** Biomassa verde para ensilagem (BVE) do milho híbrido AG 7088 VT PRO 3, para as doses 0, 75, 150 e 225 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, em Rio Largo-AL.



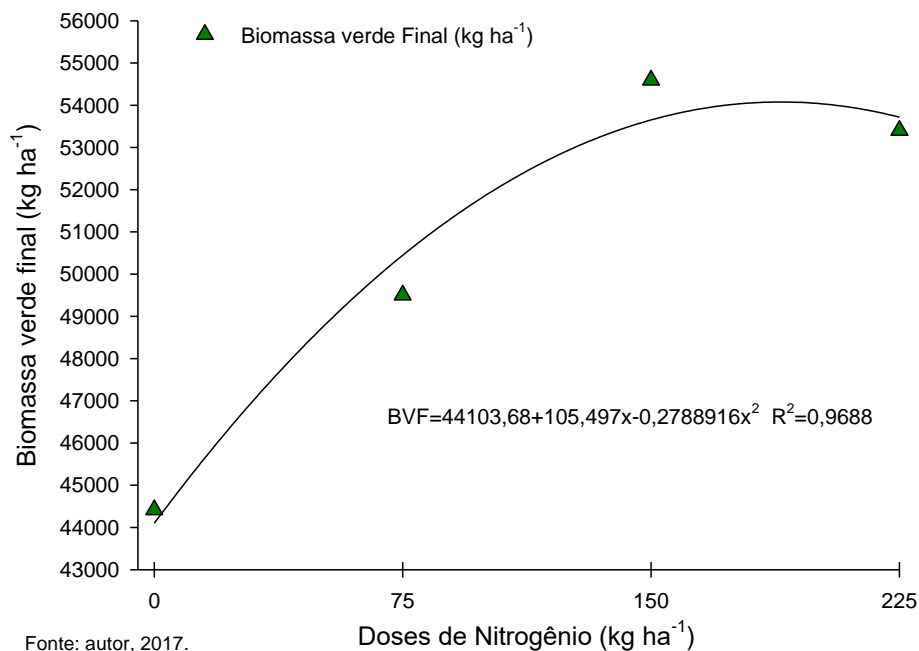
Em relação a Biomassa verde final (BVF), não houve efeito significativo a ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste F, para a irrigação, e a interação LxN. Todavia as doses de N diferiram estatisticamente a F ( $p \leq 0,05$ ) (Tabela 16), tendo ajuste significativo pelo modelo

polinomial quadrático a ( $p \leq 0,01$ ), pelo teste t, com  $R^2=0,9688$ . A dose máxima eficiente para a BVF foi de 189,14 kg de N  $ha^{-1}$ , promovendo o maior acúmulo de biomassa verde equivalente a 54.080 kg de BVF  $ha^{-1}$ .

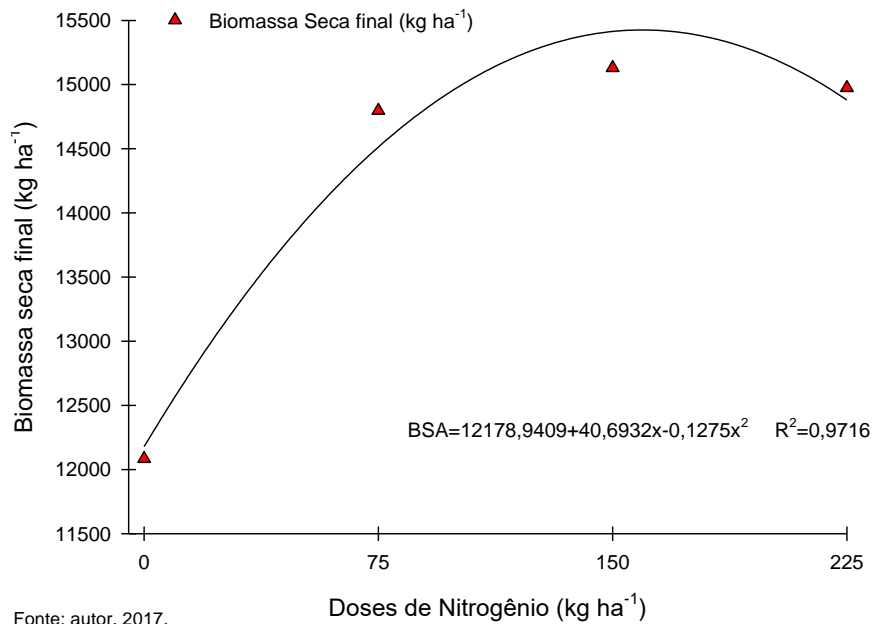
Para a BSF, houve diferença significativa para as doses de nitrogênio a F ( $p \leq 0,01$ ), sendo ajustado pelo modelo polinomial quadrático ( $p \leq 0,01$ ), pelo teste t, o maior acúmulo de BSF foi alcançado com a dose máxima eficiente de 159,58 kg  $ha^{-1}$  de N, gerando 15.424,90 kg de biomassa seca  $ha^{-1}$  (Figura 42).

Oliveira et al., (2003) trabalhando com milho pipoca, observou respostas positivas para produção de matéria seca sob doses residuais de 100 e 150 kg  $ha^{-1}$  de N em relação a testemunha.

**Figura 42.** Biomassa verde final (BVF) do milho híbrido AG 7088 VT PRO 3, para as doses 0, 75, 150 e 225 kg  $ha^{-1}$  de nitrogênio, em Rio Largo-AL.



**Figura 43.** Biomassa seca final (BSF) de milho em função de doses de nitrogênio: 0, 75, 150 e 225 kg de N ha<sup>-1</sup>, em Rio Largo-AL.



A análise de variância para os componentes de produção está na tabela 22. Não houve efeito significativo a ( $p \leq 0,05$ ), entre os componentes de produção e a irrigação. O balanço de água no solo (Figura 29), pode ser utilizado para justificar esse comportamento, uma vez que a precipitação pluviométrica manteve as plantas em condições favoráveis para seu pleno desenvolvimento, diminuindo o déficit hídrico por falta de água a cultura, principalmente nas lâminas L1 e L2, que corresponderam a 40 % da  $ET_c$ : 4,0 (mm) e 80 % da  $ET_c$ : 48 (mm), respectivamente.

Logo, a água de irrigação não supriu efeito devido a ação das chuvas, sobretudo quando o nível de água foi inferior, a 40 e 80 % da  $ET_c$ , respectivamente, onde se limitaria o fornecimento de água pela regressão estabelecida.

Para a produtividade agrícola (PA) (t ha<sup>-1</sup>), as doses de nitrogênio mostraram efeito significativo, pelo teste F a ( $p \leq 0,01$ ) (Tabela 22), o modelo quadrático, teve efeito significativo pelo teste de Student (t) ( $p \leq 0,01$ ), e coeficiente de determinação  $R^2 = 0,99$ , indicando uma ótima precisão experimental.

A produtividade agrícola máxima (t ha<sup>-1</sup>) estimada por função de produção foi a de 7,97 t ha<sup>-1</sup>, obtida com a dose máxima eficiente de N de 171,82 kg de ha<sup>-1</sup>, em seguida, a produtividade decaiu 2%.

Esse decréscimo pode ser atribuído ao fato de que a eficiência das doses de N diminui em função de sua elevação, pois pode exceder as necessidades das culturas, além de perdas por amônia (Lyra et al., 2014; Fernandes et al., 2005).

A PA máxima superou a média nacional (4,2 t ha<sup>-1</sup>) (CONAB, 2016), em aproximadamente 89,76%, e comparando os valores entre a dose máxima eficiente 171,82 kg de ha<sup>-1</sup> e a maior dose aplicada neste experimento 225 kg ha<sup>-1</sup>, verifica-se a economia de aproximadamente 30% na aplicação de N ha<sup>-1</sup>, com valores de PA de 7,97 e 7,80 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, ou seja, incremento de 0,16 t ha<sup>-1</sup>.

Conforme Silva (2015), a lei dos rendimentos decrescentes, a qual corresponde à análise de resposta pelo princípio agrônômico conhecido como “a lei do mínimo”, formulada por Von Liebig (1840), “a produtividade de qualquer cultura é governada por qualquer mudança na quantidade e qualidade do fator escasso, chamado de fator mínimo. A medida em que o fator mínimo é aumentado, a produtividade também aumenta na proporção da oferta daquele fator até outro fator se tornar mínimo”.

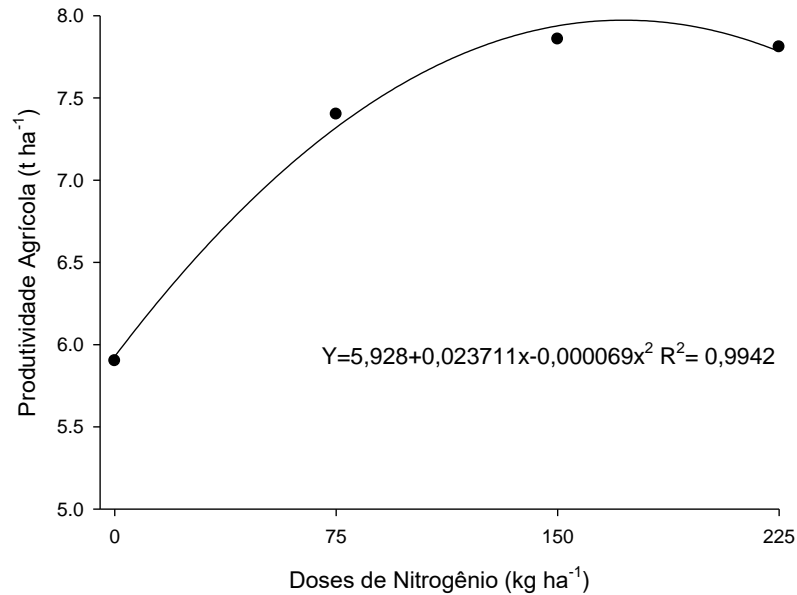
Farinelli e Lemos (2010), avaliando o efeito do nitrogênio em cobertura no milho híbrido triplo DKB 466, em preparo convencional e plantio direto consolidados em Botucatu-SP, obtiveram produtividade máxima de grãos com 151 kg ha<sup>-1</sup> de N, onde foram estabelecidos 8,87 t ha<sup>-1</sup> de grãos.

Mendonça et al., (1999) obteve a produtividade de 7.634 kg ha<sup>-1</sup>, atingida com uma dose de 262,6 kg ha<sup>-1</sup> de N. França et al., (2000) avaliando o rendimento de grãos de milho em função de diferentes disponibilidades de água e nitrogênio, verificaram que, tanto em condições de estresse hídrico como em condições adequadas de disponibilidade de água às plantas de milho, a produção de grãos sempre foi superior sob adubação de 160 kg ha<sup>-1</sup> de N em relação a 40 kg ha<sup>-1</sup> de N

É válido ressaltar, que a produtividade de grãos da cultura de milho depende diretamente da atividade fotossintética da planta, e que esta depende da área foliar e do tempo de permanência das folhas em plena atividade na planta (FANCELLI e DOURADO NETO, 2000).

Lyra et al., (2014), avaliaram a produtividade do milho, submetido a doses de doses de: 0, 50, 100, 150, 200 e 250 kg ha<sup>-1</sup> de N, nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas, concluíram que a dose de 200 kg ha<sup>-1</sup>, proporcionou a maior produtividade de grãos (5,45 t ha<sup>-1</sup>) superior a 23%, a média nacional.

**Figura 44.** Produtividade agrícola ( $t\ ha^{-1}$ ) do milho híbrido AG 7088 VT PRO 3, sob diferentes doses de nitrogênio, em Rio Largo-AL.



Fonte: autor, 2017.

Cruz et al., (2008), em experimento com cinco cultivares de milho, cultivadas em sistema de plantio direto, submetidas as doses de 0, 40, 80 e 120  $kg\ N\ ha^{-1}$  em Alagoas, observaram que as produtividades dos materiais utilizados variaram de 1,9  $t\ ha^{-1}$  para (0  $kg\ ha^{-1}$ ) a 5,6  $t\ ha^{-1}$  para a maior dose de N (120  $kg\ ha^{-1}$ ).

A utilização do índice de colheita (IC) no contexto agrônômico é enfatizada em inúmeros estudos (DURÃES et al., 1993). Este corresponde a fração de grãos em relação à matéria seca total da planta, ou seja, quanto de biomassa seca da planta foi necessário para produzir os grãos.

Conforme Durães (2002), o entendimento da natureza da alocação diferencial de matéria seca durante o ciclo da planta de milho, sobretudo os fatores e processos relacionados à partição para o grão, é de grande importância no direcionamento do processo de melhoramento genético e do manejo para incrementar o rendimento de grãos. Os valores de índice de colheita para este experimento não diferiram estatisticamente a ( $p \leq 0,05$ ), (Tabela 18).



**Tabela 19.** Índice de colheita (IC) para o milho híbrido AG 7088 VT PRO 3, sob diferentes doses de nitrogênio 0, 75, 150 e 225 kg ha<sup>-1</sup>, em Rio Largo-AL.

<b>Nitrogênio (Kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Índice de colheita</b>
<b>0</b>	0,502
<b>75</b>	0,509
<b>150</b>	0,537
<b>225</b>	0,561

Fonte: Autor (2017).

Em relação ao Peso de mil grãos (PMG) (g), houve efeito significativo a ( $p \leq 0,01$ ) (Tabela 22), a dose máxima de 184,75 kg ha<sup>-1</sup>, promoveu o maior PMG, com valor observado de 254,21 (g), incrementando 15,38% em relação a testemunha (0 kg de N ha<sup>-1</sup>). O modelo de regressão quadrática (Tabela 18) apresentou efeito significativo F a ( $p \leq 0,05$ ), com coeficiente de determinação  $R^2=0,9979$  (Figura 42).

Sangoi e Almeida (1994) verificaram, ao efetuar um experimento no qual aplicaram nitrogênio em doses crescentes, efeito linear da adubação nitrogenada sobre a massa de mil grãos de milho sendo que a aplicação de 150 kg ha<sup>-1</sup> de N proporcionou aumento de 7% em relação à testemunha (0 kg ha<sup>-1</sup> de N).

Vale et al., (2015) observaram efeito de PMG em conformidade com o modelo linear crescente de regressão, havendo aumento da massa em função do acréscimo das doses de nitrogênio, chegando a média de 113 g com a aplicação de 200 kg ha<sup>-1</sup>. Aguiar et al., (2009), Amaral Filho et al., (2005) e Silva et al., (2005) obtiveram aumento no peso dos grãos com a aplicação de N em cobertura na cultura do milho.

O aumento na massa de mil grãos pode ser explicado pelo fato de que as maiores doses de nitrogênio mantiveram a atividade fotossintética por um período mais prolongado, o que resultou no maior acúmulo de reservas nos grãos (DOURADO NETO et al., 2004).

Todavia, Cruz et al., (2008) utilizando 4 doses de N em cobertura (0, 40, 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup>) em Rio Largo-AL, não observaram diferença significativa na massa de mil grãos.

O peso das massas dos grãos tem dependência das características agrônômicas que são influenciadas principalmente pelo genótipo, seguido da disponibilidade de nutrientes e pelas condições climáticas durante a fase de enchimento de grãos (OHLAND et al., 2005).

O N desempenha importante papel como constituinte essencial dos aminoácidos, principais integrantes de proteínas. A dependência da absorção de N pelo milho, a qual alcança um pico durante o período compreendido entre o início do florescimento e o início da formação de grãos (ARNON, 1975).

Logo, a formação dos grãos é influenciada pela síntese de proteínas na planta, a massa dos grãos e a produtividade estão diretamente relacionadas com o suprimento de N (BELOW, 2002).

Em relação ao comprimento da espiga (CE), houve variações significativas para as doses de nitrogênio F ( $p \leq 0,01$ ) (Tabela 22), sendo ajustado pelo modelo polinomial quadrática a t ( $p \leq 0,01$ ) (Tabela 20), com  $R^2$  de 0,94 (Figura 45). A dose de 187,26 kg de N  $ha^{-1}$ , proporcionou CE máximo de 15,89 cm.

Ferreira et al. (2010), avaliando os componentes de produção e produtividade do milho submetido a doses de nitrogênio no semiárido paraibano, obteve CE de 15 cm, com a dose de 150 kg  $ha^{-1}$  de N, valor semelhante ao observado no experimento.

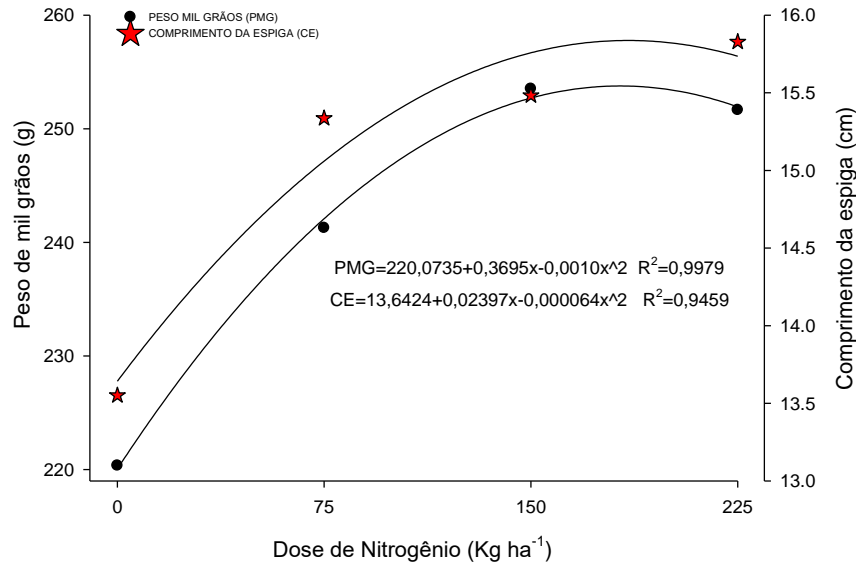
Quanto maior for o comprimento da espiga maior também será o número potencial de grãos a ser formado por fileira, o comprimento médio de espiga é um dos caracteres que pode interferir diretamente no número de grãos por fileira e, conseqüentemente, na produtividade do milho (GOES et al., 2012).

**Tabela 20.** Modelos matemáticos utilizados para a estimar o rendimento máximo (Y máx.) e a dose máxima eficiente de N kg de  $ha^{-1}$ , para o milho híbrido AG 7088 VT PRO 3, sob diferentes doses de nitrogênio 0, 75, 150 e 225 kg  $ha^{-1}$ , em Rio Largo-AL.

Variáveis	Modelo matemático	$R^2$
PA ( $t\ ha^{-1}$ )	$Y=5,928^{**}+0,023711^{**}x-0,000069^{**}x^2$	0,994.
PMG (g)	$Y=220,0735^{**}+0,3695^{**}x-0,0010^{**}x^2$	0,997
CE (cm)	$Y=13,6424^{**}+0,02397^{**}x-0,000064^{**}x^2$	0,945
NGL	$Y=30,1495^{**}+0,038427^{**}x-0,0001^{**}x^2$	0,928
NGE	$Y=541,103375^{**}+0,859148^{**}x-0,002480^{**}x^2$	0,979

\*\*Significativo à nível de 1%; \*significativo à nível de 5%, pelo teste t.

**Figura 45.** Peso de mil grãos (PMG) (g) e Comprimento de espiga (CE) (cm) para o milho híbrido AG 7088 VT PRO 3, sob diferentes doses de nitrogênio 0, 75, 150 e 225 kg ha<sup>-1</sup>, em Rio Largo-AL.



Fonte: Autor, (2017).

O diâmetro das espigas (DE) e o número de linhas de grãos por espiga (NLGE) não indicaram variações significativas a F ( $p \leq 0,05$ ) (Tabela 22). Ohland et al. (2005), em pesquisa com o híbrido DKB 350, observaram resultados semelhantes a este trabalho, no qual as doses de nitrogênio em cobertura não tiveram efeito sobre o diâmetro das espigas.

Souza et al., (2011) avaliaram a adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha irrigado em plantio direto, observaram que o NFGE não foi influenciado significativamente pelas fontes de N e épocas de aplicação de N.

Fernandes et al., (2005) constataram que o incremento nas doses de N não promoveu aumentos significativos no componente de produção diâmetro de espiga e afirmaram que a ausência de resposta era esperada, pois essa característica é de alta herdabilidade e menos dependente do ambiente e da adubação.

Com relação ao número de linhas de grãos por espiga (NLGE), e número de grãos por espiga (NGE), houve efeito das doses N a ( $p \leq 0,01$ ), o modelo matemático de regressão polinomial quadrática teve efeito a t ( $p \leq 0,01$ ) em ambos, com valores de coeficiente de determinação  $R^2=0,93$  e  $0,98$ , respectivamente (Tabela 20).

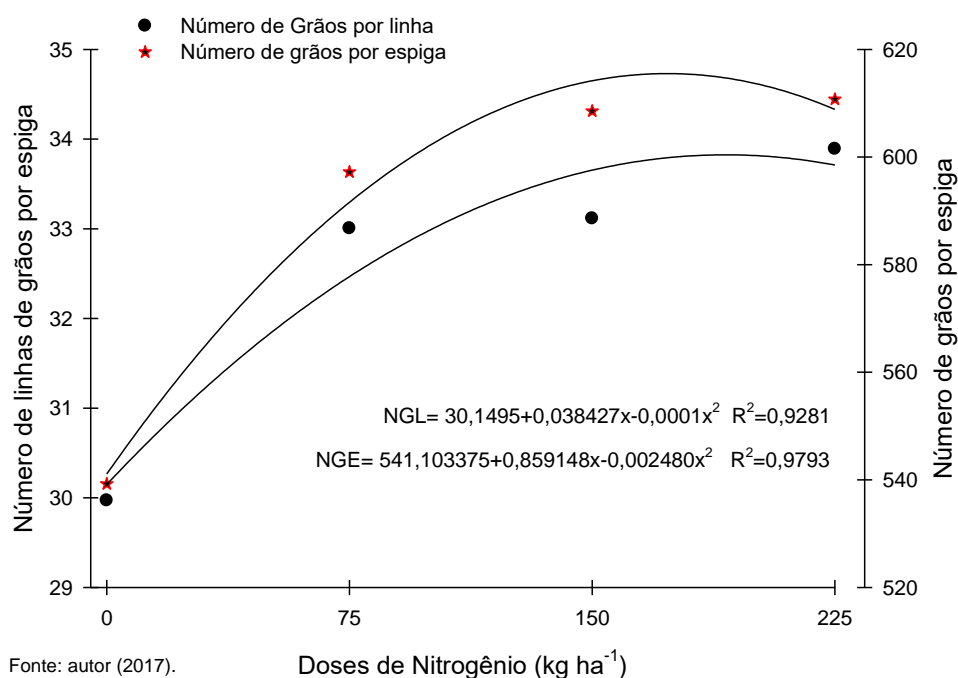
Os valores observados para o NGL, variaram de 29,97 a 33,89, respectivamente. A dose máxima eficiente estimada por função de produção 192,14 kg ha<sup>-1</sup>, proporcionando o NGL de 33,84.

Já para o NGE, os valores observados foram de 539 a 610. O NGE máximo, 615, 51, foi estimado com a dose de 173, 22 kg de N ha<sup>-1</sup>.

Dourado Neto et al. (2004) reportam que a aplicação de nitrogênio em doses crescentes exerce grande influência no número de grãos por fileiras. Conforme Magalhães et al., (2002) o N é capaz de proporcionar aumento do número de óvulos formados por fileira e favorecer a produção de fotoassimilados reduzindo, deste modo, o abortamento de grãos resultando no acréscimo dos componentes comprimento de espiga e número de grãos por espiga.

Souza et al. (2011), em pesquisa com o híbrido AG 5020 em Selvíria, MS, em dois anos de cultivo na safrinha, também verificaram efeito significativo das doses de N em cobertura sobre o número de grãos por espiga.

**Figura 46.** Número de linhas de grãos por espiga (NLGE) e Número de Grãos por espiga (NGE) para o milho híbrido AG 7088 VT PRO 3, sob diferentes doses de nitrogênio 0, 75, 150 e 225 kg ha<sup>-1</sup>, em Rio Largo-AL.



Em relação a massa do sabugo (MS), houve interação significativa entre as lâminas de irrigação e doses de nitrogênio a ( $p \leq 0,05$ ) (Tabela 22). No desdobramento das doses de nitrogênio para cada lâmina de irrigação (Tabela 23), as irrigações de 4,20 e 177,47 mm, tiveram efeito significativo a ( $p \leq 0,01$ ), as demais foram significativas a ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste F.

A interação entre as irrigações de 4,20 e 48,18 mm e doses de N, ajustaram-se ao modelo quadrático de regressão a ( $p \leq 0,01$ ) pelo teste t (Figura 47), com coeficiente de determinação  $R^2 = 0,9655$  e  $0,8223$ , respectivamente. A lâmina de 4,20 mm teve maior massa de sabugo máxima de 43,89 g, com a dose eficiente de 175,76 kg ha<sup>-1</sup>. Para a interação entre a lâmina de 48,18 e N, a dose de 149 kg de N ha<sup>-1</sup>, obteve a maior massa de sabugo de 40,62 g.

As demais interações ajustaram-se ao modelo linear a ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste t. para a interação de 136,81, 62,95 e 177,47 mm e N, respectivamente, os valores de MS foram de: 43,88, 44,48 e 45,49 g, respectivamente, obtidos com a dose de 225 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 21).

Parizi et al. (2009) avaliando irrigação no milho de 0 a 120% ET<sub>o</sub> (Evapotranspiração de referencia), constataram que plantas submetidas a irrigação com 120% da ET<sub>o</sub> conseguiram maior massa de sabugo (23,96 g).

Arf et al. (2007) verificaram que a maior disponibilidade de nitrogênio apresentou a maior massa de sabugo, independentemente do momento em que o nitrogênio foi aplicado.

Schlichting (2012), trabalhando com a cultura do milho submetida a tensões de água no solo e doses de nitrogênio, obteve interação significativa entre as tensões de água no solo e doses de nitrogênio, obteve maior valor de massa de sabugo seco (26,08 g) com a dose de 164,85 mg dm<sup>-3</sup> de nitrogênio com a tensão de 15 kPa.

De acordo com Klein, (2001) quanto maior a massa do sabugo maior será a massa de grãos, especialmente para híbridos que tem finalidade de produção de grãos.

**Tabela 21.** Modelos matemáticos utilizados para a desdobramento da interação entre as lâminas de irrigação e doses de Nitrogênio para MS (g), para o milho híbrido AG 7088 VT PRO 3, sob diferentes doses de nitrogênio 0, 75, 150 e 225 kg ha<sup>-1</sup>, em Rio Largo-AL.

..... <i>Massa do sabugo</i> (g).....		
Irrigação x Nitrogênio	Modelo matemático	R <sup>2</sup>
4,20 (mm)	$Y=27,576500^{**}+0,184837^{**}x-0,000526*x^2$	0,965
48,18 (mm)	$Y=29,156250^{**}+0,153200^{**}x-0,000512*x^2$	0,822
62,95 (mm)	$Y=37,553250^{**}+0,032827*x$	0,548
136,81 (mm)	$Y=35,555250^{**}+0,032320*x$	0,638
177,47 (mm)	$Y=28,728750^{**}+0,0827^{**}x$	0,877

\*\*Significativo à nível de 1%; \*significativo à nível de 5%, pelo teste t.

**Tabela 22.** Análise de variância (Quadrado médio) para os componentes de produção: produtividade agrícola (PA) (Kg ha<sup>-1</sup>); Peso de mil grão (PMG) (g); Comprimento da espiga (CE) (cm); Diâmetro da espiga (DE) (cm), Número de linhas de grão por espiga por espiga (NLGE); Número de grão por linha (NGL); Número de grãos por espiga (NGE) e Massa do sabugo (MS), em função de lâminas de irrigação: 40% da ET<sub>c</sub>: 4 mm, 80% da ET<sub>c</sub>: 48 mm, 120% da ET<sub>c</sub>: 63 mm, 160% da ET<sub>c</sub>: 137 mm e 200% da ET<sub>c</sub>: 177 mm e doses de nitrogênio: 0, 75, 150 e 225 kg ha<sup>-1</sup> em Rio Largo-AL.

Fontes de variação	GL <sup>1</sup>	Valores de Quadrado Médio <sup>2</sup>							
		PA (t ha <sup>-1</sup> )	PMG (g)	CE (cm)	DE (cm)	NLGE	NGL	NGE	MS (g)
Lâminas de irrigação (L)	4	459519,562743 <sup>ns</sup>	816,607330 <sup>ns</sup>	1,593811 <sup>ns</sup>	1,548107 <sup>ns</sup>	0,416062 <sup>ns</sup>	5,038875 <sup>ns</sup>	3506,113761 <sup>ns</sup>	52,823187 <sup>ns</sup>
Bloco	3	9080898,454548*	1910,518470 <sup>ns</sup>	6,557565 <sup>ns</sup>	1,196140 <sup>ns</sup>	1,062458 <sup>ns</sup>	6,661000 <sup>ns</sup>	3261,503885 <sup>ns</sup>	91,420818 <sup>ns</sup>
Resíduo 1	12	1650348,158667	817,752399	2,059836	1,367478	0,569229	5,749125	2121,539811	38,367647
Doses de nitrogênio (N)	3	16825716,775945**	817,752399**	20,807571**	0,866943 <sup>ns</sup>	0,694458 <sup>ns</sup>	59,774333**	22659,278255**	593,330475**
LXN	12	1769032,152522 <sup>ns</sup>	459,982458 <sup>ns</sup>	1,259647 <sup>ns</sup>	0,627864 <sup>ns</sup>	0,355813 <sup>ns</sup>	4,069542 <sup>ns</sup>	1855,922826 <sup>ns</sup>	43,450187*
Resíduo 2	45	1145320,415985	367,302424	0,733612	0,608556	0,425097	2,783389	1045,039321	21,670192
Total	79	-	-	-	-	-	-	-	-
Regressão Linear (N)		38212308,373710**	11271,644224**	48,685506**	2,399401 <sup>ns</sup>	0,207025 <sup>ns</sup>	140,896900**	50998,059756**	1434,136900**
Regressão Quadrática (N)		11973912,787861**	2597,148405*	10,360801**	0,001620 <sup>ns</sup>	1,128125 <sup>ns</sup>	25,538000**	15570,711101**	283,128125**
Desvio regressão		0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
CV 1 (%)		17,74	11,83	9,54	22,06	4,16	7,38	7,82	16,06
CV 2 (%)		14,78	7,93	9,69	15,12	3,60	5,13	5,49	12,07
<sup>1</sup> Graus de liberdade; <sup>2</sup> **Significativo à nível de 1%; *significativo à nível de 5%; ns não significativo pelo teste F.									
<b>Médias observadas</b>									
		(t ha <sup>-1</sup> )	(g)	(cm)	(cm)				(g)
Doses de (N)									
N0 (0 kg ha <sup>-1</sup> )		5,901	220,34	13,55	4,94	17,98	29,97	539,22	30,60
N1 (75 kg ha <sup>-1</sup> )		7,401	241,27	15,33	5,02	18,09	33,00	597,21	39,73
N2 (150 kg ha <sup>-1</sup> )		7,857	253,51	15,48	5,31	18,40	33,11	608,54	41,14
N3 (225 kg ha <sup>-1</sup> )		7,809	251,65	15,83	5,63	18,30	33,89	610,73	42,75
<b>Médias estimadas</b>									
N0 (0 kg ha <sup>-1</sup> )		5,928	220,07	13,64	4,92	17,94	30,15	541,10	31,00
N1 (75 kg ha <sup>-1</sup> )		7,320	242,08	15,06	5,08	18,22	32,46	591,58	38,55
N2 (150 kg ha <sup>-1</sup> )		7,938	252,70	15,75	5,24	18,26	33,65	614,17	42,33
N3 (225 kg ha <sup>-1</sup> )		7,783	251,92	15,72	5,39	18,07	33,71	608,85	42,36

Fonte: Autor, 2017.

**Tabela 23.** Desdobramento da interação entre as lâminas de irrigação e doses de Nitrogênio para MS (g).

-----Desdobramento para interação (LxN) para a MS (g)-----										
	Médias observadas					Médias estimadas				
Lâminas	4,20	48,18	62,95	136,81	177,47	4,20	48,18	62,95	136,81	177,47
N0 (0 kg ha <sup>-1</sup> )	27,04	30,05	35,24	34,79	25,89	30,53	29,16	36,17	35,70	26,39
N1 (75 kg ha <sup>-1</sup> )	40,08	35,08	44,19	40,56	38,76	35,52	37,76	41,39	37,83	37,25
N2 (150 kg ha <sup>-1</sup> )	41,87	43,30	41,07	37,53	41,95	40,52	40,62	43,86	40,25	43,46
N3 (225 kg ha <sup>-1</sup> )	43,09	36,85	44,48	43,88	45,49	45,51	37,73	43,55	42,97	45,00
Regressão Linear LxN	498.800720**	163.306125*	121.228880*	117.515520*	768.180125**					
Regressão Quadrática LxN	139.830625*	132.480100 *	30.636225 <sup>ns</sup>	0.330625 <sup>ns</sup>	87.048900 <sup>ns</sup>					

<sup>1</sup>Graus de liberdade; <sup>2\*\*</sup>Significativo à nível de 1%; \*significativo à nível de 5%; ns não significativo pelo teste F.



### e. Eficiência Agronômica do nitrogênio

Em relação a eficiência agronômica do nitrogênio (EAN), houve variação em função das doses de N aplicadas em cobertura, observou-se a diminuição da EAN com o aumento das doses de N, tendo a dose de 75 kg ha<sup>-1</sup> a maior média, equivalente a 20 kg<sup>-1</sup> kg de grãos

Essa diminuição é oriunda de prováveis perdas de amônia e perdas de nitrato por lixiviação após o processo de nitrificação, que aumentam com a dose aplicada, e esse aumento pode ser linear ou exponencial (FARINELLI e LEMOS, 2010).

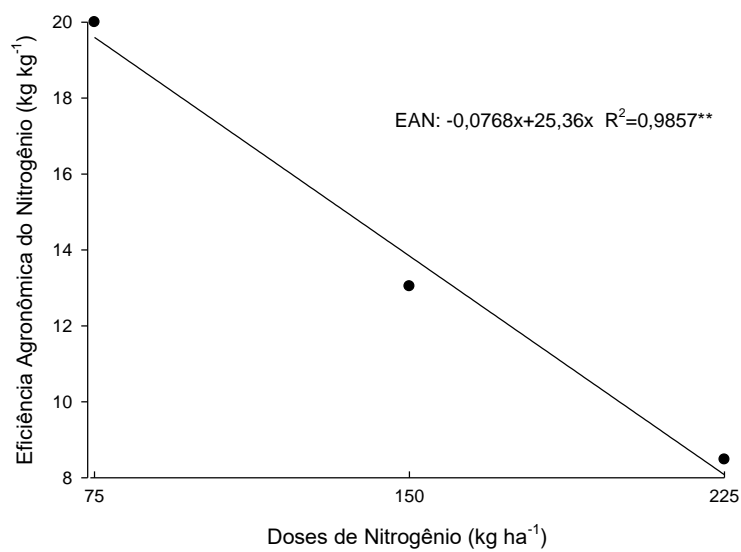
Os resultados obtidos corroboram com os trabalhos desenvolvidos por Fernandes et al. (2005) e Farinelli e Lemos (2010), que estudando a EAN, relataram que o aproveitamento do Nitrogênio decresce com a elevação das doses aplicadas, em razão de o suprimento de nitrogênio exceder as necessidades da cultura do milho.

**Tabela 24.** Análise de variância (Quadrado médio) para a eficiência agronômica (EA), do milho híbrido AG 7088 VT PRO 3, sob diferentes doses de nitrogênio, em Rio Largo-AL.

	GL <sup>1</sup>	Valores de Quadrado Médio <sup>2</sup>	
Fontes de variação		EA= eficiência agronômica (kg kg <sup>-1</sup> )	
Doses de nitrogênio (N)	2	134,6304**	
Bloco	3	0,000000000**	
Resíduo	6	0,000000000	
Total	11	-	
		<b>Regressões</b>	
Regressão Linear (N)		265,420800 <sup>ns</sup>	
Regressão Quadrática (N)		3,840000 <sup>ns</sup>	
Desvio regressão (N)		0,00000**	
CV 1 (%)		23,89	
		<b>Médias</b>	
Geral		13,841	
		<b>Observada</b>	<b>Estimada</b>
N1 (75 kg ha <sup>-1</sup> )		20,00	19,60
N2 (150 kg ha <sup>-1</sup> )		13,04	13,84
N3 (225 kg ha <sup>-1</sup> )		8,48	8,08

<sup>1</sup>Graus de liberdade; <sup>2</sup>\*\*Significativo à nível de 1%; \*significativo à nível de 5%; ns não significativo pelo teste F.

**Figura 47.** Eficiência agrônômica (EA) para o milho híbrido AG 7088 VT PRO 3, sob diferentes doses de nitrogênio 0, 75, 150 e 225 kg ha<sup>-1</sup>, em Rio Largo-AL.



\*\* significativo a 1% pelo teste t.

## 7. CONCLUSÃO

O desenvolvimento vegetativo levou aproximadamente 54 DAS, com variação de 145,9 a 898 GDA.

A fase reprodutiva inicia aos 56 DAS, se encerrando aos 107 DAS, e acumula 927,4 a 1.691,4 GDA.

Os modelos de crescimento apresentam ajuste significativo para as variáveis analisadas, e a variação dos dados, evidencia a importância de utilizá-los para prever o crescimento do milho AG 7088, em função de níveis de irrigação e doses de nitrogênio, sendo uma ferramenta importante para auxiliar nas decisões de manejo desta cultura.

Os coeficientes de ajuste polinomiais de segundo grau são significativos para os níveis de nitrogênio e gera confiabilidade na função de produção.

A altura máxima de inserção por espiga é estimada 1,37 m e 1,34 m, respectivamente, para 120 mm e 174,5 kg de nitrogênio ha<sup>-1</sup>.

A biomassa verde para silagem é de 52.249 kg ha<sup>-1</sup>, com 174,23 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio.

A biomassa verde final e a biomassa seca final, são de 54.080 e 15.424,90 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, com as doses de 189,14 e 159,58 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, respectivamente.

Os componentes de produção foram influenciados pela adubação nitrogenada, exceto para o diâmetro de espiga e o número de linhas de grãos por espiga.

O rendimento de grãos máximo (t ha<sup>-1</sup>) estimado é de 7,97 t ha<sup>-1</sup>, obtido com a dose de 171,82 kg de nitrogênio por hectare.

O Peso de mil grãos (g), é 254,21 g, com a dose estimada de 184,75 kg de nitrogênio por hectare.

A dose de 187,26 kg de N ha<sup>-1</sup>, proporciona o maior comprimento de espiga 15,89 cm e o maior número de grãos por linha é estimado em 33,84, com 192 kg nitrogênio por hectare.

O número de grãos por espiga máximo é 615,51, com a dose de nitrogênio de 173,21 kg ha<sup>-1</sup>.

Na interação lâmina de 4,20 mm, a dose de nitrogênio 175,76 kg ha<sup>-1</sup>, proporciona a massa de sabugo de 43,89 g.

Para a interação entre a lâmina de 48,18 mm, a dose de 149 kg ha<sup>-1</sup>, obteve massa de sabugo de 40,62 g.

A eficiência agronômica diminui quando se aumenta as doses de N em cobertura.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, R. A.; SILVEIRA, P. M.; MOREIRA, J. A. A.; TROVO, J. B. F. Manejo do solo utilizando plantas de cobertura, híbridos e nitrogênio na produtividade do milho. **Bioscience Journal**, v. 25, n. 6, p. 15-22, 2009.

ALBUQUERQUE, P. E. P. **Manejo de irrigação na cultura do milho**. Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção, 1 ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 6ª edição Set./2010.

ALDRICH, S. R.; SCOTT, W.O.; LENG, E.R. **Modern corn production**. 2.ed. Champaign: A e L Publication, 1982. 371 p.

ALLEN, R.G. et al. Operational estimates of reference evapotranspiration. **Agronomy Journal**, v. 81, n. 4, p. 650-662, 1989.

ALVES, J. E. D. **A polêmica Malthus versus Condorcet reavaliada à luz da transição demográfica**. Texto para discussão da Escola Nacional de Ciências Estatísticas, ENCE/IBGE, nº 4, Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: [//www.brasilecola.com.br](http://www.brasilecola.com.br). Acesso em: 08/10/16.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.241-248, 2002.

AMARAL FILHO, J. P. R.; FORNASIERI FILHO, D.; FARINELLI, R.; BARBOSA, J. C. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 467-473, 2005.

ANDRADE, C. L. T.; PEREIRA, P. E.; BRITO, R. A. L.; RESENDE, M. Viabilidade e Manejo da Irrigação da Cultura do Milho. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, Sete Lagoas, MG Dezembro, 2006. 12 p. (**EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 85**).

ANDA. **Agência Nacional de Difusão de Adubos**. 2010.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2012**, edição especial, Brasília, DF, 215p.

ARF, O.; FERNANDES, R.N.; BUZETTI, S.; RODRIGUES, R.A.F.; SÁ M.E.; COSTA, J.A. Manejo do solo e época de aplicação de nitrogênio no desenvolvimento e rendimento do milho. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 29, n. 2, p. 211-217, 2007.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; BORTOLINI, C.G.; FORSTHOFER, E.L.; MANJABOSCO, E.A.; HEREGARAY NETO, V. Resposta de híbridos simples de milho à redução do espaçamento entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.71-78, 2001.

ARSOY, S.; OZGUR, M.; KESKIN, E.;YILMAZ, C. **Enhancing TDR based water content measurements by ANN in sandy soils**. *Geoderma*, v. 195, p. 133-144, 2013.

ARNON, I. **Mineral nutrition of maize**. Bern: International Potash Institute, 1975. 452p.

ASAE - American Society of Agricultural Engineers. **Moisture measurement - Unground grain and seeds**, St. Joseph: ASAE, 2000. 563p.

BEADLE, C.L. Growth analysis. In: HALL, D.O., SCURLOCK, J.M.O., BOLHÀRNORDENKAMPF, H.R. et al. **Photosynthesis and production in a changing environment: a field and laboratory manual**. London : Chapman e Hall, 1993. p. 36-46.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Funep, 1988.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI E. C. **Manual de Irrigação**, 8ª Edição - Viçosa, MG: Ed. UFV, 2008, 625 p.

BELOW, F. E. Fisiologia, nutrição e adubação nitrogenada do milho. **Informações Agronômicas**, n. 99, p. 7-12, 2002.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes.** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 398p.

BRITO, M. E. B.; ARAÚJO FILHO G. D.; WANDERLEY, J. A. C.; MELO, A. S.; COSTA, F. B.; FERREIRA, M. G. P. Crescimento, fisiologia e produção do milho doce sob estresse hídrico. **Biosci. J.**, Uberlândia, v.29, n.5, p.1244-1254, Sept./Oct., 2013.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.I.; BERGONCI, J. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** Pesq. agropec. bras., Brasília, v.39, n.9, p.831-839, set. 2004. Disponível em: <[www.scielo.br/pdf/%0D/pab/v39n9/22025.pdf](http://www.scielo.br/pdf/%0D/pab/v39n9/22025.pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2016.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J. I.; MÜLLER, A. G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A. O.; RADIN, BERNADETE.; IANCHI, C. A. M.; PEREIRA, P. G. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 2, p. 243-249, fev. 2006.

BURNS, R. C.; HARDY, R. W.F. **Nitrogen fixation in bacteria and higher Plants:** molecular biology, biochemistry and biophysics. New york: springer-verlag, 1975.

CASAGRANDE, J. R. R.; FORNASIERI FILHO, D. Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 1, p. 33-40, 2002.

CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, v. 60, n. 1, p. 65-68, 2001.

CANTARELLA, H. et al. **Recomendações técnicas de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. p. 45-57. (Boletim técnico, 100).

CARVALHO, O. M: **Classificação e caracterização físico-hídrica de solos de Rio Largo cultivados com cana-de-açúcar**. 2003. 74f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS.

COELHOa, A. M.; FRANÇA, G. E. de. Seja o doutor do seu milho: nutrição e adubação. 2 ed. aum. Informações Agrônômicas, Piracicaba, n. 71, p. 1-9, set. 1995. Arquivo do Agrônomo, Piracicaba, n. 2, set. 1995. Encarte.

COELHOb, A. M.; FRANÇA, G. E.; BAHIA FILHO, A. F. C.; GUEDES, G. A. A. Doses e métodos de aplicação de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho sob irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, n.1, p.61-67, 1992.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16\\_01\\_12\\_09\\_00\\_46\\_boletim\\_graos\\_janeiro\\_2016.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_01_12_09_00_46_boletim_graos_janeiro_2016.pdf). Acesso em: 18 de maio de 2017.

COSTA, A.F.S. da. **Influência das condições climáticas no crescimento e desenvolvimento de plantas de milho (*Zea mays* L.), avaliadas em diferentes épocas de plantio**. Viçosa, 1994. 109p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley, University of California: Agricultural Experiment Station, 1942. 124p. (Bulletin, 670).

CRUZ, S. C. S.; PEREIRA, F. R. S.; SANTOS, J. R.; ALBUQUERQUE, A. W.; PEREIRA, R. G. Adubação nitrogenada para o milho cultivado em sistema plantio direto, no Estado de 33 Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 62-68, 2008.



DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. FAO Irrigation and Drainage Paper 33. Rome: Food and Agriculture Organization of United Nations, 1979. 193p.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Crop water requirements**. Roma, FAO, 1977, 194p.

DOURADO NETO, D.; FAVARIN, J. L.; MANFRON, P. A.; PILAU, F. A.; SOARES, M. A.; BONNECARRERE, R. A. G.; OHSE, S. Efeito de boro e nitrogênio na cultura do milho. **Insula**, v1, p.51-67, 2004.

DURÃES, F.O.M.; MAGALHÃES, P.C.; COSTA, J.D.; FANCELLI, A.L. Fatores ecofisiológicos que afetam o comportamento de milho em semeadura tardia (safrinha) no Brasil Central. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.52, n.3, p.491-501, set./dez. 1995.

DURÃES, F. O. M.; MAGALHÃES, P. C., OLIVEIRA. A.C. índice de colheita genético e as possibilidades da genética fisiológica para melhoramento do rendimento de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.1, n.1, p.33-40, 2002.

EMBRAPA 2006. **Viabilidade e Manejo da Irrigação da Cultura do Milho**. [www.cnpms.embrapa.br/irrigacao/](http://www.cnpms.embrapa.br/irrigacao/). Acesso em: 12 dezembro de 2016.

EMBRAPA. 2007. **Nutrição e Adubação do Milho**. Disponível em [http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2006/circular/Circ\\_78.pdf](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2006/circular/Circ_78.pdf). Acessado em 24 de janeiro de 2017.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas**. Trad. de E. Malavolta. São Paulo: EDUSP; Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. 341p.

EVETT, S.R. **Soil water measurement by time domain reflectometry**. Encyclopedia of Water Science, Marcel Dekker, Inc. New York, p.894-898, 2003.

FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas / Valdemar Faquin.** -- Lavras: UFLA / FAEPE, 2005. p.: il. - Curso de Pós-Graduação "Lato Sensu" (Especialização) a Distância: Solos e Meio Ambiente.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. **Advances in Agronomy**, v. 88, n. 03, p. 97-185, 2005.

FAGGION, F.; OLIVEIRA, C. A. S.; CHRISTOFIDIS, D. Uso eficiente da água: uma contribuição para o desenvolvimento sustentável da agropecuária. **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, Brasília, DF, v.2, n.1, 2009, p 187-190.

FANCELLI, A. L. Ecofisiologia de plantas de lavouras. In: CARLESSO, R. (Ed.). **Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul.** Santa Maria: Reimar Carlesso, 2001. p. 59-73

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Cultura do milho: aspectos fisiológicos e manejo da água.** Inf Agron, v.73, p.1-4, 1996.

\_\_\_\_\_. Milho: ecofisiologia e rendimento. In: TECNOLOGIA DA PRODUÇÃO DE MILHO. Piracicaba, 1997. **Trabalhos Apresentados.** Piracicaba, 1997. p.157-170.

\_\_\_\_\_. **Produção de milho.** Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.

FARINELLI, R.; BORGES, L. B. **Nitrogênio em cobertura na cultura do milho em preparo convencional e plantio direto consolidados.** Goiânia, v. 42, n. 1, p. 63-70. 2012.

FARINELLI, R.; BORGES, L. B. Produtividade e eficiência agronômica do milho em função da adubação nitrogenada e manejos do solo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.9, n.2, p.135-146, 2010.

FAO 2004. **Fertilizer use by crop in Brasil** 52 p. Disponível em <http://www.fao.org>. Acesso em 21/01/15.

FAOSTAT – **FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS STATISTICS DIVISION**. Novembro de 2016. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/browse/q/qc/e>. Acesso em 09/11/2016.

FERNANDES, F. C. S.; BUZETTI, S.; ARF, O.; ANDRADE, J. A. da C. Doses, eficiência e uso de nitrogênio em seis cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.4, n.2, p.195-204, 2005.

FERREIRAA, A. H, A. et al., Componentes de produção e produtividade do milho submetido a doses de nitrogênio no semiárido paraibano. **Revista Verde** (Mossoró – RN – Brasil) v.5, n.4, p. 90 - 96 outubro/dezembro de 2010.

FERREIRAb, D.F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, v.6, p.36-41, 2008.

FERREIRAc, V.M.; MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M. Produtividade de genótipos de milho (*Zea mays* L.) sob manejo diferenciado de irrigação e adubação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.24, n.3, p.663-670, 2000.

FERREIRA JUNIOR, R. A.; SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; SANTOS, M. A.; ABREU, M.L. **Eficiência no uso da Radiação do Milho sob Diferentes Coberturas de Solo**. In: Xv Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2008, São Paulo. Anais... XV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2008.

FIETZ, C. R.; URCHEI, M. A.; FRIZZONE, J. A. Probabilidade de ocorrência de déficit hídrico na região de Dourados, MS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.3, p.558-562, 2001.

FIGUEIREDO, C. C.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C.; URQUIAGA, S. Sistemas de manejo na absorção de nitrogênio pelo milho em um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 40, n. 3, p. 279-287, 2005.

FRANÇA, S.; PEREIRA, P. G.; BERGAMASCHI, H.; et al. Rendimento de grãos de milho em função de diferentes disponibilidades de água e nitrogênio. In: Reunião técnica anual do sorgo, 28; reunião técnica anual do milho, 45, 2000, Pelotas. **Anais... Pelotas: Embrapa Clima Temperado**, 2000. p. 620-625.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 2007. 576 p.

GADIOLI, J. L.; DOURADO NETO, D.; GARCÍA Y GARCÍA, A.; VALLE BASANTA, M. Temperatura do ar, rendimento de grãos de milho e caracterização fenológica associada à soma calórica. **Scientia Agricola**, v.57, n.3, p.377-383, jul./set. 2000.

GARCIA, J. C.; MATTOSO, M. J.; DUARTE, J. O. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.27, n.233, p.7-12, jul./ago. 2006.

GOMES, R. F.; SILVA, A. G.; ASSIS, R. L.; PIRES, F. R. Efeito de doses e época de aplicação de nitrogênio nos caracteres agrônômicos da cultura do milho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p. 931-938, 2007.

GOMES, M. de S. **Valor genético de linhagens de milho na produção e digestibilidade da silagem**. 2003. 135p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS, LAVRAS, MG.

GOES, R. J.; RODRIGUES, R. A. F.; ARF, O.; VILELA, R. G. Nitrogênio em cobertura para o milho (*Zea mays* L.) em sistema de plantio direto na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.11, p.169-177, 2012.

GURNEY, W. J.; R. J. **The theoretical relationship between foliage temperature and canopy resistance in sparse crops**. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, v. 116, n. 492, p. 497-519, 1990.

INCT. **Engenharia da Irrigação. Sistemas e componentes de irrigação**. Piracicaba, ESALQ/LEB. Disponível em: [http://www.esalq.usp.br/inctei/arquivos/Componentes\\_de\\_sistemas\\_de\\_irrigacai.pdf](http://www.esalq.usp.br/inctei/arquivos/Componentes_de_sistemas_de_irrigacai.pdf). Acesso em: 28 novembro de 2016.

INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION (Paris, França). **Fertilizer use by crop**. 5th ed. Disponível em: <http://www.fertilizer.org>. Acesso em: 9 nov. 2016.

IPNI 2015. International plant nutrition institute. Disponível em: <http://brasil.ipni.net/article/BRS-3132>. Acesso em 26 de jan. de 2017.

IPNI 2016. International plant nutrition institute. **Fases de desenvolvimento da cultura do milho**. Disponível em: [http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/0/84A346AA07195E74832580490042FB4D/\\$FILE/MF3305BP-CornGrowth-portuguese\\_FINAL.pdf](http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/0/84A346AA07195E74832580490042FB4D/$FILE/MF3305BP-CornGrowth-portuguese_FINAL.pdf). Acesso em 31/01/2017.

IOWA. **Using degree days in an Integrated Pest Management Program**. Iowa State University – University Extension – Ames, Iowa, Pat-1296 Revisado Junho/1987. Disponível em: [http://www.extension.iastate.edu/Publications/PM12\\_96.pdf](http://www.extension.iastate.edu/Publications/PM12_96.pdf). Acesso em: 31/01/2017.

JESEN, M. E. Water consumption by agriculture plants. In Kozlowski, T.T., Water deficit growth, vol.2, **Academic Press**, New York, 1968.

KLEIN, V.A. Uma proposta de irrigação automática controlada por tensiômetros. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.7, n.3, p.231-234, 2001.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2ª Edição. Oficina de textos, p. 180, 2002.

LERAYER, A. **Guia do milho – tecnologia do campo a mesa**. Conselho de Informações sobre Biotecnologia. 2006. 15 p.

LYRA, G. B. et al. Modelo de crescimento logístico e exponencial para o milho BR 106, em três épocas de plantio. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.7, p.211-230, 2008.

\_\_\_\_\_, G. B. et al. Crescimento e produtividade do milho, submetido a doses de nitrogênio nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n.4, p. 578-586, 2014.

LOPES, N. F.; LIMA, M. G. S. **Fisiologia da produção**, Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015, 492 p.

LOZADA, B. I.; ANGELOCCI, L.R. Determinação da temperatura-base e de graus-dia para a estimativa do subperíodo da semeadura à floração de um híbrido de milho (*Zea mays*). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.7, n.1, p.31- 36, 1999.

LUCCHESI. A. A. **Utilização prática da análise de crescimento vegetal**. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, v.41. p.181-202. 1984.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F.O.M. **Fisiologia da produção de milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2006. 10 p. (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 76).

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; CARNEIRO, N. P.; PAIVA, N. **Fisiologia do milho**. Sete Lagoas: Embrapa CNPMS, 2002. 23p. Circular Técnica, 22.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**, 3<sup>o</sup> edição, Viçosa: Ed. UFV, 2009, 355p.

MALAVOLTA, E. **Manual de calagem e adubação das principais culturas**. São Paulo, Ceres, 1987.496p.

\_\_\_\_\_, E. **ABC da adubação-5<sup>a</sup> Edição**. São Paulo, Ceres, 1989.292p.

MENDONÇA, F. C.; MEDEIROS, R. D.; BOTREL, T. A.; FRIZZONE, J. A. Adubação nitrogenada do milho em um sistema de irrigação por aspersão em linha. **Scientia Agricola**, v.56, n.4, p.1035-1044, out./dez. 1999. Suplemento,

MÜLLER, A. G.; BERGAMASCHI H.; BERGONCI, J. I.; RADIN B.; FRANÇA S.; DA SILVA, M. I. G. Estimativa do índice de área foliar do milho a partir da soma de graus-dia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 65-71, 2005.

MONTGOMERY, E.G. **Correlation studies of com**. Annual report. Nebraska Agricultural Experiment Station, 24:108-159, 1911.

MOURA M. S. B.; SOUZA, L. B.; DA SILVA, T. G. F.; BRANDÃO, E. O.; SOARES, J. M. **Efeito da lâmina de irrigação na produtividade do feijão-caupi no semi-árido brasileiro**. XXXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA Juazeiro (BA)/Petrolina (PE), 2009.

NEUMANN, M.; RESTLE, J.; COSTA, E. C. da et al. Silagens de diferentes híbridos de milho (*Zea mays*, L.) avaliados pelo desempenho de bezerros confinados. **Revista Brasileira da Agrociência**, Pelotas, v. 9, n. 3, p.263-268, 2003.

ODHIAMBO, L., KRANZ, W.L. **Irrigation efficiency, uniformity and crop water use efficiency**. University of Nebraska. Lincoln Extension (2011).

OHLAND, R. A. A.; SOUZA, L. C. F.; HERNANI, L. C.; MARCHETTI, M. E.; GONÇALVES, M. C. Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no milho em plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 3, p. 538-544, 2005.

OLIVEIRAA, A, R. H.; OLIVEIRA, F. A.; SANTOS, A. C. et al. Rendimento e componentes de produção de milho pipoca em função de resíduos de adubação e densidade populacional. **Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v. 12, n. 1, p. 89-102, 2003.

OLIVEIRAB, L.F.C.; CARVALHO, D.F.; ROMÃO, P.A.; CORTÊS, F.C. Estudo comparativo de modelos de estimativa da evapotranspiração de referência para algumas localidades no estado de Goiás e Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.31, n.2, p.121-126, 2001.

OLIVEIRAC, J. R. R. et al. **Produtividade do milho sob níveis de irrigação**. Inovagri internacional meeting 2012. Disponível: <http://www.inovagri.org.br/meeting2012/wp-content/uploads/2012/06/Protocolo159.pdf>. Acesso em 15/02/2017.

PARIZI, A.R.C.; ROBAINA, A. D.; GOMES, A.C.S.; SOARES, F.C.; RAMÃO, C.J.; PEITER, M.X.; CALEGARO, L. Efeito de diferentes estratégias de irrigação suplementar sobre a produção de grãos e seus componentes na cultura do milho. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 3, p. 254-267, julho-setembro, 2009.

PAZ, V. P. S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos Hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, DEAg/UFPB, v.4, n.3, 2000, p.465-473.

PEREIRA, A. R., VILLA NOVA, N. A., SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

PIONEER SEMENTES 2017. **Milho: crescimento e desenvolvimento**. Disponível em: <http://www.pioneersementes.com.br/blog/41/milho-crescimento-e-desenvolvimento>. Acesso em: 02 de fevereiro de 2017.



PIMENTEL, C. A relação da planta com a água. Rio de Janeiro: **Edur**, Seropédica, 2004. 191p.

POTAFOS. Brasil: Consumo aparente de fertilizantes. Disponível em: <www.potafos.org>. Acesso em: 18 de dezembro de 2016.

POSSAMAI, J.M. et al. Sistemas de preparo do solo para o cultivo do milho safrinha. **Bragantia**, v.60, n.2, p.79-82, 2001.

PRIMAVESI, A. M. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 2002. 549 p.

PRISCO, J. T. **Fotossíntese e Fotorrespiração**. Fortaleza, CE, 1989, 20p.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: SP: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.

RAMBO, L. et al. Parâmetros de plantas para aprimorar o manejo da adubação nitrogenada de cobertura de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1637-1645, 2004.

RITCHIE, S.; HANWAY, J. J. **How a corn plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service, 1989. 21 p. (Special Report n. 48)

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. **Como a planta do milho se desenvolve**. POTAFOS, Piracicaba, 2003. 20 p. (POTAFOS. Arquivo do Agrônomo, n.15).

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, Planta e Atmosfera: Conceitos Processos e Aplicações**. São Paulo: MANOLE, 478p, 2004.

ROCHA, A. E. Q. **Crescimento e produtividade do milho submetido a doses de nitrogênio nos tabuleiros costeiros de alagoas**. 2012. Trabalho de conclusão de curso. UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS.

SARMENTO, P. L. V. S. **Ecofisiologia do milho sob diferentes épocas de semeadura e densidades de plantio**. 2015. Dissertação de mestrado (mestrado em Agronomia). UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS.

SANGOI, L. ALMEIDA, M.L. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio para a cultura do milho num solo com alto teor de matéria orgânica. **Pesq. Agropec. Bras.**, 29:13-24, 1994.

SCHLICHTING, A. F. Cultura do milho submetida a tensões de água no solo e doses de nitrogênio. 2012. Dissertação de mestrado (mestrado em Engenharia Agrícola). UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO.

SCHRÖDER, J.J.; NEETESON, J.J.; OENEMA, O.; STRUIK, P.C. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production: Reviewing the state of the art. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.66, p.151-164, 2000.

SEDIYAMA, G. C. Evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. UFSM. v.4. p.1–12, 1996.

SILVAa, E. C.; BUZETTI, S.; LAZARINI, E. Aspectos econômicos da adubação nitrogenada na cultura do milho em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.4, n.3, p.286-297, 2005.

SILVAb, L.D.B. **Evapotranspiração do capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq.) e grama batatais (*Paspalum notatum* Flugge) utilizando o método do balanço de energia e lisímetro de pesagem**. 2003. 47f. Tese de doutoramento. Piracicaba, Escola Superior “Luiz de Queiroz”, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.

SILVAc, S.; **Evapotranspiração e análise econômica de Irrigação em cana-de-açúcar**. 2015. Dissertação de mestrado (mestrado em Engenharia Agrícola). UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE.

SILVAd, V. B., COSTA, R. N. T., e AGUIAR, J. V. Função de produção da cultura do melão para níveis de água e adubação nitrogenada no Vale do Curu-CE. **Irriga**, 7(2), 98. 2002.

SIQUEIRA, B.C. et al. **Ação dos fertilizantes Bacsol e Orgasol na altura de inserção da espiga e coloração dos grãos na cultura do milho orgânico**. In: Semana de Ciência e Tecnologia do IFMG. 2., Jornada Científica. 2., 19 a 23 de outubro de 2009.

SOUZA, J. A.; BUZETT S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; ANDREOTTI, M.; DE SÁ, M. E.; ARF, O. Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha irrigado em plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 2, p.447-454, 2011.

SOUZA, J. L. et al. **Umidade do solo em cultivo de feijão com refletômetro de conteúdo de água sob variações de cobertura do solo e de irrigação**. In: XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2006, João Pessoa. Anais... João Pessoa, agosto de 2006.

SOUZA, J. L.; MOURA FILHO, G.; FONSECA LYRA, R. F.; TEODORO, I.; SANTOS, E. A.; SILVA, J. L.; TEIXEIRA DA SILVA, P. R.; CARDIM, A. H.; AMORIM, E. C. Análise da precipitação pluvial e temperatura do ar na região do Tabuleiro Costeiro de Maceió, AL, período 1972-2001. **Revista Brasileira e Agrometeorologia**, v. 11, n.2, p. 131-141, 2004.

TAIZ, L.; ZIEGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed. 693p. 2013.

TEI, F.; AIKMAN, D. P.; SCAIFE, A. **Growth of Lettuce, Onion and Red Beet**. 2. Growth Modelling. *Annals of Botany*, London, v. 78, n. 5, p. 645-652, 1996

TEODORO, I. **Avaliação da evapotranspiração e desenvolvimento da cultura do milho irrigado na região de Rio Largo - AL. 2013.** Dissertação de mestrado (mestrado em Meteorologia). UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS.

TOMÉ, M. **Modelação em recursos naturais.** Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa – Instituto Superior de Agronomia, 2007, 29p.

TOLLENAAR, M.; LEE, E. A. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 75, n. 2, p. 161-169, 2002.

UHART, S.A.; ANDRADE, F.H. Nitrogen deficiency in maize. I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning, and kernel set. **Crop Science**, v.35, p.1376-1383, 1995.

VELHO, J. P. et al. Alterações bromatológicas nas silagens de milho submetidas a crescentes tempos de exposição ao ar após “desensilagem”. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 916-923, 2006

VALE, H. S.; DA SILVA, E.S.; CARMO, I. L. G. S.; MONTEIRO NETO, J. L. L.; SILVA, A. P. S; MEDEIROS, R. D. **Doses de nitrogênio na produção de milho cultivado em sucessão ao meloeiro no Cerrado de Roraima.** In XXXV Congresso Brasileiro de ciência do solo, 2015, Natal-RN.

YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. e; VITTI, G. C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira.** Piracicaba: IPNI, 2007.

ZHANG, S. et al. Water use efficiency of dryland maize in the Loess Plateau of China in response to crop management. **Field Crops Research**, v. 163, p. 55-63, 2014.