



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA  
ÁREA DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM



# ÍNDICES FISIOLÓGICOS E ECONÔMICOS DO MILHO SOB NÍVEIS DE ÁGUA, NITROGÊNIO E ÉPOCAS DE CULTIVO

*SAMUEL SILVA*

**CAMPINA GRANDE**  
**Estado da Paraíba – Brasil**  
**Março – 2019**

# **ÍNDICES FISIOLÓGICOS E ECONÔMICOS DO MILHO SOB NÍVEIS DE ÁGUA, NITROGÊNIO E ÉPOCAS DE CULTIVO**

## **ORIENTADORES**

Prof. Dr. Ronaldo do Nascimento (CTRN/UFCG)

Prof. Dr. Iêdo Teodoro (CECA/UFAL)

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande-PB, em cumprimento das exigências para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Irrigação e Drenagem.

**CAMPINA GRANDE**  
**Estado da Paraíba – Brasil**  
**Março – 2019**

S586i Silva, Samuel.  
Índices fisiológicos econômicos do milho sob níveis de água, nitrogênio e épocas de cultivo / Samuel Silva. – Campina Grande, 2019.  
74 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2019.  
"Orientação: Prof. Dr. Ronaldo do Nascimento, Prof. Dr. Iêdo Teodoro".  
Referências.

1. Evapotranspiração. 2. Adubação. 3. Lâmina econômica. 4. Gotejamento. 5. Fotossíntese. I. Nascimento, Ronaldo do. II. Teodoro, Iêdo. III. Título.

CDU 551.573(043)

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECÁRIA MARIA ANTONIA DE SOUSA CRB 15/398

A Deus

Aos meus pais

**Mauro Pedro da Silva**

e

**Nilsa Maria da Conceição Silva**

A minha filha

**Sâmia Daniella Silva Tenório**

***Dedico!***

Aos meus orientadores:

***Prof. Dr. Ronaldo do Nascimento***

e

***Prof. Dr. Iêdo Teodoro***

***Ofereço!***

## AGRADECIMENTOS

À UFCG pela oportunidade de realização de mais esta etapa em minha formação acadêmica.

Ao meu orientador, professor Dr. Ronaldo do Nascimento, pelos conhecimentos transmitidos, pela amizade, respeito, confiança, dedicação e estímulo nos estudos;

Ao professor Dr. Iêdo Teodoro por também ter me orientado nesta pesquisa, pela amizade, ensinamentos, por ceder o espaço de campo e laboratório no CECA/UFAL e ter ajudado neste trabalho;

Aos professores doutores José Dantas, Vera Lucia, Alexsandro Almeida e José Madson, por terem aceitado o convite para fazer parte da banca examinadora e pelas instruções e sugestões neste trabalho;

Aos colegas de laboratório da UFCG: Hallyson, Alberto, Silvanete, Elka e Rafaela pela convivência, amizade e ajuda em muitos momentos;

Aos colegas de laboratório da UFAL e amigos desde a época de graduação: Marcelo, Allan, Arthur, César, Ricardo, Saulo, Jeferson, Ednaldo, Cláudio, Luís, Constantino, Constantino Júnior, Ivomberg, Cícero Teixeira, Lekson, Marcos, Humberto, João, Gleidson, Madson e todos os demais importantíssimos que eu não tenha citado aqui, pela amizade e inestimável contribuição na condução do experimento;

A todos os meus amigos de turma, pela amizade, companheirismo e momentos compartilhados;

Ao corpo docente do curso de pós-graduação em Engenharia Agrícola da UFCG, pela contribuição na minha formação profissional;

Ao Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia (LIA) do CECA/UFAL, por me disponibilizar os dados meteorológicos;

À CAPES, pela fomentação da bolsa de doutorado;

À Abilene, que como esposa, teve grande paciência e me ajudou muitíssimo durante os estudos em Campina Grande;

Ao Instituto Federal de Alagoas/Campus Piranhas, por me conceder horário especial de trabalho para conclusão desta pesquisa;

À Sabrina, que com muito carinho me ajudou a rodar a estatística dos dados da pesquisa e teve paciência comigo até finalizar tudo;

A todos os que acreditaram em mim e me ajudaram, de forma direta e indireta, a concluir este trabalho.

Meus sinceros agradecimentos!

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa e imagem de satélite do CECA/UFAL em Rio Largo-AL, obtidos na internet, destacando a estação meteorológica (quadro com borda amarela) e a área do experimento (quadro com borda vermelha tracejada). .....	25
Figura 2. Croqui do experimento. ....	26
Figura 3. Preparo do solo (A), marcação das linhas (B), sulcamento (C) e calagem (D). ....	27
Figura 4. Adubação de fundação (A), montagem do sistema de irrigação (B), aplicação de herbicida (C) e aplicação de inseticida (D). ....	28
Figura 5. Detalhes do espaçamento entre as linhas de plantio do milho e do posicionamento da fita gotejadora. ....	28
Figura 6. Controlador digital usado para acionar a bomba e as eletroválvulas (A), caixas de água para a irrigação (B) e eletrobomba usada no experimento (C). ....	29
Figura 7. Fita gotejadora (A), distribuição das linhas (B) e cabeçal de controle (C). ....	29
Figura 8. Estação meteorológica (A) pertencente ao Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia do CECA/UFAL (B). ....	30
Figura 9. Fases de emergência das plântulas (A), crescimento vegetativo (B), florescimento (C) e maturação fisiológica (D). ....	32
Figura 10. Crescimento do milho ao longo do ciclo fenológico. ....	33
Figura 11. Stand de plantas do experimento. ....	34
Figura 12. Medição do teor de clorofila (A), avaliação de trocas gasosas com IRGA (B) e detalhe da medição na folha de milho (C). ....	35
Figura 13. Valores de radiação global (R <sub>g</sub> ), saldo de radiação (R <sub>n</sub> ) diário e acumulado durante cultivo de milho no período de fevereiro a junho de 2016 (A) e de novembro de 2017 a março de 2018 (B), na região de Rio Largo-AL. ....	39
Figura 14. Valores diários de temperatura, umidade relativa do ar (UR%), graus-dia (GD) e graus-dia acumulados (GDA) durante cultivo de milho no período de fevereiro a junho de 2016 (A e C) e de novembro de 2017 a março de 2018 (B e D), na região de Rio Largo-AL. ....	41
Figura 15. Valores diários de chuva, evapotranspiração de referência (E <sub>To</sub> ) e lâminas de irrigação aplicadas (L1, L2, L3, L4 e L5) durante cultivo de milho no período de fevereiro a junho de 2016 (A) e de novembro de 2017 a março de 2018 (B), na região de Rio Largo-AL. ....	42
Figura 16. Capacidade de água disponível (CAD), ponto de umidade crítica (UC) e armazenamento de água no solo (ARM) para diferentes tratamentos com irrigação durante cultivo de milho no período de fevereiro a junho de 2016 (A-L1, B-L2, C-L3, D-L4 e E-L5) e de novembro de 2017 a março de 2018 (F-L1, G-L2, H-L3, I-L4 e J-L5), na região de Rio Largo-AL. ....	43
Figura 17. Evapotranspiração da cultura (E <sub>Tc</sub> ) e evapotranspiração real da cultura (E <sub>Tr</sub> ) para diferentes tratamentos com irrigação durante cultivo de milho no período de fevereiro a junho de 2016 (A-L1, B-L2, C-L3, D-L4 e E-L5) e de novembro de 2017 a março de 2018 (F-L1, G-L2, H-L3, I-L4 e J-L5), na região de Rio Largo-AL. ....	44
Figura 18. C <sub>i</sub> - concentração interna de CO <sub>2</sub> , E - transpiração, g <sub>s</sub> - condutância estomática, A - fotossíntese líquida, E <sub>iC</sub> - eficiência instantânea da carboxilação e ICF-Índice de Clorofila Falker em função de lâminas de irrigação aplicadas em um híbrido de milho cultivado no período de fevereiro a junho de 2016 (A1, B1, C1, D1, E1 e F1) e de novembro de 2017 a março de 2018 (A2, B2, C2, D2, E2 e F2), na região de Rio Largo-AL. ....	48
Figura 19. C <sub>i</sub> - concentração interna de CO <sub>2</sub> (A), E - transpiração (B), g <sub>s</sub> - condutância estomática (C), A - fotossíntese líquida (D), E <sub>iC</sub> -eficiência instantânea da carboxilação (E) e ICF-Índice de Clorofila Falker (F) em função de	

doses de nitrogênio aplicadas em um híbrido de milho cultivado no período de fevereiro a junho de 2016 (E1) e de novembro de 2017 a março de 2018 (E2), na região de Rio Largo-AL.....	50
Figura 20. Altura do dossel, diâmetro do colmo e Índice de Área Foliar-IAF (C) do milho sob diferentes tratamentos com irrigação durante cultivo no período de fevereiro a junho de 2016 (A, B e C) e de novembro de 2017 a março de 2018 (D, E e F), na região de Rio Largo-AL. ....	51
Figura 21. Altura do dossel, diâmetro do colmo e Índice de Área Foliar-IAF do milho sob diferentes tratamentos com doses de nitrogênio durante cultivo no período de fevereiro a junho de 2016 (A, B e C) e de novembro de 2017 a março de 2018 (D, E e F), na região de Rio Largo-AL. ....	53
Figura 22. Teor de matéria seca da espiga, colmo, folha, pendão e total (g planta <sup>-1</sup> ) no estágio R5 do milho sob diferentes tratamentos com lâminas de irrigação (A e C) e doses de nitrogênio (B e D), durante cultivo no período de fevereiro a junho de 2016 (A e B) e de novembro de 2017 a março de 2018 (C e D), na região de Rio Largo-AL. ....	54
Figura 23. Produtividade de grãos na fase de maturação fisiológica do milho em função de doses de nitrogênio (A e C) e lâminas de irrigação (B e D), em cultivos no período de fevereiro a junho de 2016 (A e B) e de novembro de 2017 a março de 2018 (C e D), na região de Rio Largo-AL.....	56
Figura 24. Eficiência no uso da água (EUA) e produtividade de grãos do milho para tratamentos com diferentes lâminas de irrigação (L1, L2, L3, L4 e L5), em cultivos no período de fevereiro a junho de 2016 (A) e de novembro de 2017 a março de 2018 (B), na região de Rio Largo-AL. ....	59

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Características físicas do solo e classificação realizada por Carvalho (2003). .....	26
Tabela 2. Valores de Kc para o milho tabelados e ajustados conforme Allen et al. (1998). .....	31
Tabela 3. Custo do milímetro de água para irrigação por gotejamento na cultura do milho. ....	37
Tabela 4. Preços dos fertilizantes utilizados na adubação nitrogenada do milho. ....	37
Tabela 5. Valores totais de variáveis e índices analisados durante cultivo de milho no período de fevereiro a junho de 2016 (época 1) e de novembro de 2017 a março de 2018 (época 2), na região de Rio Largo-AL.....	46
Tabela 6. Duração (dias) e graus-dia acumulados-GDA (°C) entre os estádios do milho híbrido AG7088, durante cultivo no período de fevereiro a junho de 2016 (E1) e de novembro de 2017 a março de 2018 (E2), na região de Rio Largo-AL. ....	47
Tabela 7. Resumo da análise de variância pelo teste F para avaliação fisiológica realizada no florescimento com Ci - concentração interna de CO <sub>2</sub> (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ), E - transpiração (mmol de H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ), gs - condutância estomática (mol de H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ), A - fotossíntese líquida (A) (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ), EiC-eficiência instantânea da carboxilação, índice de clorofila Falker (ICF); análise de matéria seca da folha, colmo, espiga e total (g planta <sup>-1</sup> ) na fase de R5; produtividade de grãos na fase de maturação fisiológica (t ha <sup>-1</sup> ); e EUA - eficiência no uso da água (kg mm <sup>-1</sup> ) em função de lâminas de irrigação e doses de nitrogênio aplicadas em um híbrido de milho cultivado em duas épocas na região de Rio Largo-AL, .....	73
Tabela 8. Resumo da análise de variância pelo teste F para AD - altura do dossel (m), DC - diâmetro do colmo (cm) e IAF - índice de área foliar ao longo dos dias após o plantio (DAP) em função de lâminas de irrigação e doses de nitrogênio aplicadas em um híbrido de milho cultivado em duas épocas na região de Rio Largo-AL.....	74



## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	9
<b>ABSTRACT</b> .....	10
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	12
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	13
3.1. A CULTURA DO MILHO .....	13
3.2. ÉPOCA DE CULTIVO DO MILHO .....	13
3.3. FENOLOGIA DO MILHO .....	14
3.4. IRRIGAÇÃO NA CULTURA DO MILHO .....	16
3.5. EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA .....	17
3.6. ADUBAÇÃO NITROGENADA NO MILHO .....	18
3.7. ÍNDICES FISIOLÓGICOS E RELAÇÃO COM A MATÉRIA SECA .....	19
3.8. CRESCIMENTO DAS PLANTAS DE MILHO .....	21
3.9. PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA DO MILHO .....	22
3.10. FUNÇÃO DE PRODUÇÃO DA CULTURA .....	22
3.11. MÁXIMO RENDIMENTO ECONÔMICO DA CULTURA DO MILHO .....	24
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	25
4.1. LOCALIZAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO .....	25
4.2. VARIÁVEIS AGROMETEOROLÓGICAS .....	30
4.3. AVALIAÇÃO BIOMÉTRICA E DE MATÉRIA SECA .....	32
4.4. AVALIAÇÃO FISIOLÓGICA .....	34
4.5. PRODUTIVIDADE DE GRÃOS EM FUNÇÃO DA ÁGUA E DO NITROGÊNIO .....	36
4.6. EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA .....	38
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	39
5.1. VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS E BALANÇO DE ÁGUA NO SOLO .....	39
5.2. FENOLOGIA DA CULTURA .....	46
5.3. AVALIAÇÃO FISIOLÓGICA .....	47
5.4. CRESCIMENTO E TEOR DE MATÉRIA SECA DO MILHO .....	50
5.5. ANÁLISE ECONÔMICA E EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA .....	55
<b>6. CONCLUSÕES</b> .....	60
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	61
APÊNDICE A .....	73
APÊNDICE B .....	74

## RESUMO

O uso de técnicas agrícolas como a irrigação e a adubação promovem respostas fisiológicas capazes de alterar significativamente o crescimento, o desenvolvimento e o rendimento da cultura do milho, mas devem ser usadas em quantidades economicamente viáveis. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar índices fisiológicos e econômicos dessa cultura submetida a níveis de água e nitrogênio (N). O experimento foi conduzido em duas épocas (primavera/verão e outono/inverno) no município de Rio Largo-AL, com 20 tratamentos e quatro repetições. O milho foi submetido a cinco lâminas de irrigação (40, 80, 120, 160 e 200% da  $ET_c$ ) e quatro doses de adubação nitrogenada (0, 75, 150, 225 kg ha<sup>-1</sup> de N). A cultura foi irrigada por gotejamento e os custos da irrigação e adubo nitrogenado mais o preço de venda da saca de milho foram utilizados para determinar o nível econômico de água e N. Foram avaliadas as taxas fisiológicas, as características biométricas da cultura, teor de clorofila e matéria seca, além da produtividade de grãos. Como resultado, foi observado no período de outono-inverno o milho possui menor necessidade hídrica e menor produtividade de grãos do que no período de primavera-verão. No último período há maior significância nas respostas fisiológicas da planta aos tratamentos como maior abertura estomática e maior transpiração, aliadas a maiores taxas fotossintéticas. A produtividade máxima de grãos de milho cultivados nas estações chuvosa e seca pode ser obtida com doses de nitrogênio iguais a 156 kg ha<sup>-1</sup> e acima dos 225 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Na estação seca, o rendimento máximo pode ser obtido com nível de irrigação equivalente a 164% da  $ET_c$ . A depender dos preços dos insumos e de venda do grão, a dose de nitrogênio de máxima eficiência econômica para a estação chuvosa é da ordem de 93 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto para o período seco é em média 200 kg ha<sup>-1</sup>; para o cultivo de primavera-verão, a lâmina de irrigação máxima econômica corresponde a 96% da  $ET_c$ .

**Palavras-chave:** evapotranspiração, adubação, lâmina econômica, gotejamento, fotossíntese.

## ABSTRACT

The use of agricultural techniques such as irrigation and fertilization promote physiological responses capable of significantly altering the growth, development and yield of maize, but should be used in economically viable quantities. Thus, the objective of this work was to evaluate the physiological and economic indexes of this crop submitted to water and nitrogen (N) levels. The experiment was conducted in two seasons (spring/summer and autumn/winter) in the Rio Largo region, with 20 treatments and four replications. The maize was submitted to five irrigation levels (40, 80, 120, 160 and 200% of ETc) and four doses of nitrogen fertilization (0, 75, 150, 225 kg ha<sup>-1</sup> of N). The crop was drip irrigated and the costs of irrigation and nitrogen fertilizer more the sale price of maize sack were used to determine the economic level of water and N. The physiological rates, biometric characteristics of the crop, chlorophyll and dry matter, as well as grain yield. As a result, it was observed in the autumn-winter period the maize has lower water requirement and lower grain yield than in the spring-summer period. In the latter period there is greater significance in the physiological responses of the plant to treatments such as greater stomatal conductance and greater transpiration, allied to higher photosynthetic rates. The maximum yield of maize grains in crops in rainy and dry seasons can be obtained with nitrogen doses equal to 156 kg ha<sup>-1</sup> and above the 225 kg ha<sup>-1</sup>, respectively. In the dry season, the maximum yield can be obtained with irrigation level equivalent to 164% of ETc. Depending on input prices and grain sales, the nitrogen dose of maximum economic efficiency for the rainy season is of the order of 93 kg ha<sup>-1</sup>, while for the dry period it is around 200 kg ha<sup>-1</sup>; for the spring-summer crop, the maximum economic irrigation level corresponds to 96% of the ETc.

**Keywords:** evapotranspiration, fertilization, economic depth, drip irrigation, photosynthesis.

## 1. INTRODUÇÃO

A produtividade agrícola do milho no Estado de Alagoas é muito baixa ( $1,0 \text{ t ha}^{-1}$ ) em relação ao potencial das cultivares atualmente utilizadas nas lavouras comerciais. Os principais motivos dessa baixa produtividade agrícola é o nível tecnológico usado pelos agricultores, sem adubação, controle de plantas nativas inadequadas e a distribuição irregular das chuvas na região, que mesmo durante a estação chuvosa, ocorrem pequenos veranicos que causam deficiência de água no solo (Carvalho et al., 2013). O baixo nível tecnológico e os veranicos interferem nas variáveis ecofisiológicas como fotossíntese, transpiração, no crescimento, desenvolvimento e produtividade agrícola da cultura. Conforme Brito et al. (2013), a ocorrência de déficit hídrico durante o pendoamento e o enchimento dos grãos causa perdas na produtividade agrícola porque nessa fase ocorre a síntese de componentes do rendimento.

A técnica agrônômica para amenizar os efeitos da falta de água no solo é a irrigação. Essa tecnologia eleva consideravelmente a produtividade agrícola dos empreendimentos agropecuários mas é muito onerosa. Por isso, a definição da quantidade de água adequada, sem déficit e excesso hídrico, é imprescindível para otimizar os rendimentos econômicos da agricultura.

A escolha da época de plantio também é fundamental para se ter melhores condições climáticas e pluviosidade suficiente para atender as demandas hídricas das lavouras. Do mesmo modo, o planejamento da estação de cultivo e da adubação aliado ao uso de tecnologias são necessários para garantir incremento na produtividade agrícola do milho porque esses fatores são determinantes dos resultados econômicos da colheita. Diversos pesquisadores estudaram a adubação nitrogenada em milho e observaram respostas significativas pela cultura em diversas variáveis analisadas (Cardoso et al., 2010; Freire et al., 2010; Farinelli & Lemos, 2012; Godoy et al., 2013; Silva et al., 2013; Dantas et al., 2014). Para Veloso et al. (2009) o N é o nutriente mais absorvido e exportado, como também o de maior custo e o que mais influencia na produtividade do milho porque o crescimento e acúmulo de matéria seca da planta dependem desse elemento para constituir as proteínas e enzimas, principalmente as que atuam na fotossíntese, além das moléculas de clorofila e ácidos nucleicos (Fornasier Filho, 2007). A exigência nutricional dessa cultura em relação ao nitrogênio (N) cresce linearmente até certo ponto, em que há aumento da produtividade e a partir do ponto máximo a produtividade diminui.

O uso de tecnologias que possibilite melhorar as condições hídricas e nutricionais do solo é de grande importância para o incremento da produtividade (Arfet al., 2007). Entretanto, além da escolha da época de cultivo, necessita-se quantificar a lâmina de irrigação e a quantidade de adubos de maior eficiência econômica.

## **2. OBJETIVOS**

### **Geral**

Avaliar índices fisiológicos e econômicos da cultura do milho submetido a níveis de água e nitrogênio em duas épocas de cultivo na região de Rio Largo-AL.

### **Específicos**

- Verificar o efeito das variáveis meteorológicas em cada época de cultivo de milho;
- Realizar o balanço de água no solo, estimando a evapotranspiração real da cultura;
- Observar variáveis fisiológicas e biométricas das plantas de milho;
- Calcular a eficiência no uso da água em cada época de cultivo;
- Estimar a produtividade em função das doses de nitrogênio e das lâminas de irrigação;
- Determinar a dose de N e a lâmina de irrigação que proporciona o máximo rendimento físico e econômico.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. A cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) é um dos grãos mais importantes do mundo, pois é utilizado nas indústrias de rações para animais e em menor parte no consumo humano, sendo transformado em óleo, farinha, amido, margarina, xarope de glicose e flocos para cereais matinais. Conforme a Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP, 2018), a produção mundial de grãos de milho na safra 2017/18 foi de 1,03 bilhões de toneladas (t), em que os Estados Unidos foram responsáveis por 371 milhões de t, a China com 215,9 milhões de t e o Brasil com 92 milhões de t. No Brasil, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2018) estima que em 2027 a produção de milho será em torno de 118 milhões de toneladas de grãos, dos quais 35 milhões de t serão para exportação. Além da demanda do mercado interno, o Brasil deverá fazer ajustes em sua produção para obter excedente e atender também o mercado externo. Esse crescimento será obtido por meio de ganhos de produtividade, pois enquanto a produção de milho está projetada para crescer 27,9% ao ano nos próximos anos, a área plantada deverá aumentar apenas 7,8% em relação à safra 2016/17. Conforme levantamento feito pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2018), o Estado do Mato Grosso é o maior produtor de milho do país (26,4 milhões de t), mas a maior produtividade é encontrada em Santa Catarina (7,9 t ha<sup>-1</sup>).

O milho também é muito consumido na região Nordeste (NE) do Brasil tanto como produto industrializado como na forma in natura, devido à sua utilização na alimentação humana e animal, além de desempenhar importante papel socioeconômico para a região. Os Estados nordestinos que mais produziram milho na safra 2017/18 foram: Bahia (2,29 milhões de t e 3,7 t ha<sup>-1</sup>), Maranhão (1,88 milhões de t e 3,8 t ha<sup>-1</sup>) e Piauí (1,48 milhões de t e 3,0 t ha<sup>-1</sup>).

#### 3.2. Época de cultivo do milho

A época de plantio do milho, assim como qualquer outra cultura, está associada às variáveis meteorológicas e suas ocorrências dentro dos limites requeridos pelas plantas, como por exemplo, a disponibilidade de chuvas durante o ciclo, que deve ser regularmente distribuída para não comprometer a floração e a formação do grão.

Além da precipitação pluvial, a temperatura do ar também é determinante no crescimento, desenvolvimento e duração do ciclo da cultura. Grossi et al. (2011), observaram que temperaturas máximas de 30 °C durante o dia não afetam a produtividade do milho, mas altas temperaturas à noite causam redução no rendimento. Isso ocorre porque à noite, apesar de não haver fotossíntese, a

planta continua respirando e consumindo os produtos metabólicos produzidos durante o dia, processo que pode ser prejudicado pela temperatura e comprometer a produtividade. Em temperaturas abaixo de 10 °C o desenvolvimento do milho é quase nulo. Assim sendo, a temperatura durante o ciclo do milho deve variar entre 10 e 30 °C. Porém, a temperatura ideal para o crescimento e o desenvolvimento do milho da emergência à floração está compreendida entre 24 e 30°C (Caron et al., 2017).

A relação entre o desenvolvimento da cultura e sua necessidade térmica pode ser monitorada pela soma de graus-dia (GD), que é definido como a diferença entre a temperatura média diária e a temperatura mínima (temperatura base) exigida por uma espécie ou cultivar (Schons et al., 2009). A necessidade térmica do milho varia de acordo com a fase fenológica e caso ocorra elevadas temperaturas, o ciclo da planta é antecipado devido ao aumento dos graus dia acumulados (GDA). De acordo com Fancelli & Dourado Neto (2000), a quantidade de GDA até a planta atingir a polinização é utilizada para classificar as cultivares em super-precoces (780 a 830 GDA), precoces (831 a 890 GDA) e tardias (891 a 1.200 GDA).

Estas variáveis meteorológicas variam ao longo das estações do ano em função do movimento de translação da Terra e da inclinação do eixo terrestre, que causa a declinação solar e, conseqüentemente, magnitudes diferentes nos elementos climáticos. Com isso, a cultura também sofre influência destes fatores e reflete no seu crescimento e produtividade.

Morais et al. (2017) cultivaram uma variedade de milho em diferentes épocas na região de Rio Largo-AL e mediram altura da planta entre 187,3 e 225,5 cm, IAF máximo entre 3,19 e 3,7 e produtividade variando de 5,7 a 6,4 Mg ha<sup>-1</sup>. Nessa mesma região, Silva et al. (2016b) também cultivaram um híbrido de milho em épocas distintas e obtiveram produtividades entre 6,3 a 8,0 Mg ha<sup>-1</sup>.

### 3.3. Fenologia do milho

O ciclo fenológico do milho se divide e pode ser acompanhado pelas etapas abaixo, conforme Abendroth et al. (2011).

- **VE (Emergência):** A emergência ocorre quando as primeiras folhas, chamadas de coleóptilos, aparecem acima da superfície do solo. As condições de temperatura do solo (acima de 10 – 12°C) e umidade adequada promovem a rápida emergência (5 a 7 dias).
- **V1 (Primeira folha):** é ao aparecer a primeira folha com colar visível (estrutura encontrada na base da folha) e ponta arredondada. A partir desse ponto até o florescimento (R1), os estádios vegetativos são definidos a partir da última folha desenvolvida com colar visível.

- **V2 (Segunda folha):** Raízes nodais começam a crescer abaixo do solo, e as raízes seminais começam a senescer
- **V4 (Quarta folha):** As raízes nodais são dominantes, ocupando maior volume de solo em comparação com as raízes seminais. As folhas ainda se desenvolvem no meristema apical (ponto de crescimento da planta).
- **V6 (Sexta folha):** Seis folhas com colar visível. A primeira folha com ponta arredondada apresenta-se em senescência, mas mesmo assim deve ser levada em consideração na contagem. Nesta fase, o ponto de crescimento emerge e encontra-se acima da superfície do solo. Todas as estruturas da planta já tiveram seu crescimento iniciado. Entre V6 e V10, o potencial do número de fileiras por espiga é determinado. O número de fileiras por espiga pode ser afetado pelo potencial genético e pelos fatores ambientais, e esse número pode ser reduzido se a planta for submetida a condições de estresse ambiental. A altura da planta aumenta conforme o alongamento do caule e raízes nodais se desenvolvem nos nós localizados abaixo da superfície do solo. Rápida absorção de nutrientes começa nesse estágio. Adubações devem ser manejadas de maneira a aproveitar essa fase de rápida absorção pela planta e assim promover a ótima eficiência de uso dos nutrientes, particularmente para nutrientes móveis, como o nitrogênio.
- **V10 (Décima folha):** Raízes aéreas começam a se desenvolver nos nós da planta, logo acima da superfície do solo. Até esse estágio a taxa de desenvolvimento das folhas é de aproximadamente 2 a 3 dias por folha. A demanda por nutrientes (Potássio – K > Nitrogênio – N > Fósforo – P) e água (6 mm por dia) pela cultura é alta. Calor, seca e deficiência de nutrientes podem afetar o número de grãos e o tamanho da espiga.
- **V14 (Décima quarta folha):** Rápido crescimento, aproximadamente duas semanas antes do florescimento. Nessa fase o milho é altamente sensível ao estresse por altas temperaturas e seca. Mais 4 ou 6 folhas devem se expandir a partir desse estágio até VT. Pode ocorrer o aparecimento de espigas anormais entre esse estágio e o florescimento.
- **VT (Pendoamento):** O potencial de grãos por fileira na espiga é definido e, conseqüentemente, o potencial do número final de grãos (a partir do número de óvulos). O potencial do tamanho das espigas começa a ser definido. O último ramo do pendão é visível no topo da planta. O estilo-estigma (“cabelos”) do milho pode ou não ter aparecido nesta fase. A planta apresenta-se próxima à sua altura máxima. A demanda por nutrientes (K > N > P) e água (7,5 mm por dia) está próxima do seu máximo. O calor em excesso e a seca podem afetar o potencial do número de grãos. A perda de folhas pode afetar severamente a produção final.
- **R1 (Embonecamento e Polinização):** O florescimento começa quando os “cabelos” se projetam para fora da palha, os primeiros a emergirem são responsáveis pela polinização dos grãos da base da espiga. Os “cabelos” se mantêm ativos até a polinização. O pólen vai do pendão até o “cabelo” do



milho, fertilizando o óvulo e, assim, produzindo um embrião. O potencial do número dos grãos é determinado nesta fase. A altura máxima da planta é atingida neste estágio. Após a fertilização, a divisão celular começa a ocorrer dentro do embrião. A demanda por nutrientes (acúmulo de N e P ainda está em progresso, K está quase completo) e água (8 mm por dia) atinge seu pico. O calor e a seca podem afetar a polinização e o número final de grãos.

- **R2 (Grão Bolha D'água):** O “cabelo” do milho escurece e começa a secar (aproximadamente 12 dias após R1). O grão se assemelha a uma bolha com coloração branca e fluido transparente em seu interior. Nesta fase o grão apresenta 85% de umidade; os embriões se desenvolvem em cada grão. A divisão celular está completa. Inicia-se o enchimento de grão. Estresses podem reduzir o potencial de produção através da redução do número final de grãos (abortamento).

- **R3 (Grão Leitoso):** “Cabelo” do milho seca (aproximadamente 20 dias após R1). O grão torna-se amarelado e um fluido semelhante ao leite pode ser extraído quando este é esmagado com os dedos. Este fluido é o resultado do processo de acúmulo de amido dentro do grão. Estresses ainda podem causar abortamento. Iniciando-se pela ponta da espiga.

- **R4 (Grão Pastoso):** Pelo acúmulo de amido o grão apresenta consistência pastosa (aproximadamente 26 a 30 dias após R1). Nesta fase, ocorre um rápido acúmulo de nutrientes e amido; o grão possui 70% de umidade e começa a se apresentar dentado no topo. Material extraído do grão apresenta uma consistência pastosa. Estresses podem causar má formação ou gerar grãos chochos e espigas sem valor.

- **R5 (Formação de Dente):** A maior parte dos grãos estão dentados, a umidade do grão cai para 55% (38 a 42 dias após R1) e o conteúdo de amido aumenta. Estresses podem reduzir a massa do grão. A colheita para silagem está próxima (por volta de 50% de grãos leitosos).

- **R6 (Maturidade Fisiológica):** A camada preta se forma na base do grão, bloqueando o movimento de matéria seca e nutrientes da planta para os grãos (50 a 60 dias após R1). O grão atinge a sua maior massa seca (30 a 35% de umidade) e estão maduros fisiologicamente. O grão não está pronto para um armazenamento seguro. A colheita pode ser iniciada, porém para um longo período de armazenamento é recomendado uma umidade de 14,5%. Atentar para as pragas como a Broca Europeia do milho (*Ostrinia nubilalis*), que pode causar a queda de espiga.

### 3.4. Irrigação na cultura do milho

A irrigação na agricultura é uma técnica que deve ser utilizada não só para suprir a deficiência hídrica no período seco, mas também dar condições para que o material genético expresse em campo todo o seu potencial de produção. Contudo, a água é um recurso que nos

últimos anos está sendo alvo de muitas discussões quanto ao seu uso e disponibilidade. Assim, para se utilizá-la com economia os projetos de irrigação precisam melhorar o manejo para aumentar a eficiência no uso da água. Os sistemas de irrigação localizada, além de serem os de melhores eficiência, apresentam as vantagens de melhor distribuição de adubos via irrigação, baixo consumo de energia e manutenção da umidade do solo sempre próximo a capacidade de campo (Parkes et al., 2010; Boas et al., 2011; Martins et al., 2011).

A necessidade de água total do milho é de 200 a 400 mm, variando conforme a região, cultivar, época de plantio etc. (Bergamaschi et al., 2006). Essa demanda hídrica, a depender da região, pode ser suprida por chuva uniformemente distribuída durante o ciclo de produção ou através da irrigação, em que os principais sistemas de irrigação utilizados na cultura do milho são aspersão e gotejamento. Na aspersão, os sistemas mais utilizados são aspersão convencional, autopropelido, pivô central, linear móvel e tipo LEPA (Andrade & Brito, 2010). No gotejamento, as mangueiras podem ser usadas na superfície ou enterradas, colocando uma mangueira por linha ou para duas linhas de plantio, dependendo do espaçamento utilizado.

Para se calcular o volume de água necessário à irrigação precisa-se estar atento às condições hídricas do solo e ao consumo de água pela planta. Para tal, o cálculo da demanda hídrica da cultura e do armazenamento de água no solo em função dos elementos climáticos é simples e prático (Lyra et al., 2007), em que a necessidade hídrica diária do cultivo, representada pela evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), pode ser estimada pelo método do coeficiente da cultura (K<sub>c</sub>), conforme Allen et al., (1998). O K<sub>c</sub> varia conforme a fase de desenvolvimento da planta, o que indica consumo diferente de água ao longo do ciclo de cultivo. O ajuste do K<sub>c</sub> também leva em consideração alguns elementos meteorológicos como umidade relativa do ar, velocidade do vento e evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), o que leva a magnitudes diferentes da ET<sub>c</sub> ao longo das estações do ano, uma vez que estas variáveis sofrem mudanças provocadas pelos fatores climáticos no decorrer do ano.

Morais et al. (2017) ajustaram o K<sub>c</sub> para a cultura o milho na região de Rio Largo-AL pelo método de K<sub>c</sub> único e encontraram valores 0,95 (K<sub>c</sub> inicial), 1,2 (intermediário) e 0,6 (final). De acordo com Silva et al. (2016b) a necessidade hídrica para o milho cultivado na região da Zona da Mata alagoana se encontra entre 225 e 304 mm no decorrer do ano, enquanto para o Sertão alagoano Silva et al. (2018) estimam um total de 654 mm.

### **3.5. Eficiência no uso da água**

A eficiência no uso da água (EUA) é uma relação utilizada por pesquisadores do mundo inteiro para determinar a quantidade de matéria prima produzida por unidade de água consumida

pela planta. Essa variável é muito importante, pois facilita entender o aproveitamento da água por parte das plantas, que pode ser influenciado por estratégias de manejo da irrigação ou mesmo da cultura (Silva et al., 2015a). As unidades mais usadas são quilograma de produto por metro cúbico de água ( $\text{kg m}^{-3}$ ) e quilograma de produto por milímetro de água ( $\text{kg mm}^{-3}$ ), em que pode ser usada nessa relação tanto a água total utilizada (chuva efetiva mais irrigação) ou apenas o volume aplicado via irrigação. Entretanto, ao considerar somente a água da irrigação, os valores de EUA são mais expressivos (Martin et al., 2012).

O milho é considerado uma cultura de alta demanda hídrica e também uma das mais eficientes no uso da água, ou seja, apresenta alta relação de produção de matéria seca por unidade de água absorvida (Silva et al., 2012a). Quando o objetivo é maximizar a EUA, uma das opções é adotar a irrigação deficitária, ou seja, irrigar abaixo do nível de máxima produção, desde que a redução da produtividade seja mínima ao ponto de manter o retorno econômico da cultura (Kang et al., 2000; Pereira et al., 2002). Esse conceito de irrigação deficitária surgiu com as primeiras experiências realizadas por Mitchell et al. (1984). Outra forma de se ter uma maior eficiência do uso de água é com o sistema de plantio direto (SPD), em que a presença de cobertura morta adequada reduz as perdas por evaporação e mantém a umidade no perfil de solo por mais tempo (Moreira et al., 2011). Vários pesquisadores estudaram a cultura do milho e obtiveram EUA entre 10 e 15  $\text{kg mm}^{-1}$ , 46 a 77  $\text{kg m}^{-3}$  e 55 a 181  $\text{mm Mg}^{-1}$  (Silva et al., 2018; Ashraf et al., 2016; Souza et al., 2011).

### 3.6. Adubação nitrogenada no milho

O nitrogênio é um dos nutrientes absorvidos em maior quantidade pelo milho e exerce funções importantes no metabolismo das plantas como constituinte de proteínas, ácidos nucleicos e moléculas de clorofila (Sinclair & Horie, 1989). Por isso, é um dos fatores de produção de maior relevância para aumentar o crescimento das plantas e rendimento de grãos.

Uma das características mais importantes do grão é o teor de proteína, que depende basicamente da adubação nitrogenada (Haoet al., 2007). De acordo com Wu et al. (2008) e Vojnovich et al. (1975), enquanto o teor de proteína no grão aumenta, a quantidade de amido diminui. Isso mostra que o uso da adubação nitrogenada não só aumenta o rendimento de grãos como também altera sua composição.

De acordo com Coelho (2007), no Brasil as lavouras comerciais de milho utilizam, em média, 60  $\text{kg ha}^{-1}$  de N, enquanto nos Estados Unidos e na China a dose média é de 150 e 130  $\text{kg ha}^{-1}$ , respectivamente. Em cultivos com expectativa de altas produtividades, a recomendação técnica é

utilizar 60 a 100 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, para cultivo em sequeiro, e 120 a 160 kg ha<sup>-1</sup> de N, para cultivo irrigado (Souza et al., 2003; Amaral Filho et al., 2005; Coelho, 2007; Pavinato et al., 2008).

A aplicação de N em cobertura, principalmente de forma parcelada, é mais recomendada, pois, conforme Farinelli & Lemos (2012), as perdas desse elemento para o ambiente são minimizadas, além de permitir o acúmulo adequado na parte aérea. O nitrogênio derivado da matéria orgânica sofre maiores perdas por volatilização e lixiviação quando o cultivo ocorre com preparo convencional do solo, pois as atividades de revolvimento possibilitam a decomposição mais rápida do material (Silva et al. 2005). Devido a isso, a maioria das lavouras comerciais utiliza o sistema de plantio direto (SPD).

### 3.7. Índices fisiológicos e relação com a matéria seca

Os índices fisiológicos tais como taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (A), transpiração (E), condutância estomática (gs) e concentração interna de CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>) são afetados por fatores ambientais, como luz, temperatura, concentração de CO<sub>2</sub> e disponibilidade de água e nutrientes (Shimazaki et al., 2007; Taiz & Zeiger, 2013; Melo et al., 2010). Dessa forma, limitações mesofílicas e bioquímicas podem ocasionar decréscimo na taxa fotossintética das plantas (Grassi e Magnani, 2005), em que o déficit hídrico é um dos fatores mais limitantes, principalmente quando ocorre no período de florescimento do milho.

No mesófilo das folhas de plantas C4, como o milho, ocorre a fixação inicial do CO<sub>2</sub> pela enzima fosfoenolpiruvatocarboxilase (PEPC) para formar um ácido com quatro carbonos (ácido málico e/ou ácido aspártico), o qual é transportado para as células da bainha do feixe vascular, liberando o CO<sub>2</sub> destinado às reações do ciclo de Calvin pela Ribulose 1,5 bisfosfatocarboxilase/oxigenase (RUBISCO). Em folhas bem hidratadas, a relação [CO<sub>2</sub>]/[O<sub>2</sub>] nas células da bainha do feixe vascular é maior do que nas células do mesófilo, o que reduz a atividade oxigenase da RUBISCO, e conseqüentemente, a fotorrespiração (FR), a qual não contribui para o acúmulo de matéria seca na planta. Assim, uma ocorrência de déficit hídrico na cultura do milho com a inevitável diminuição na gs, causa redução na C<sub>i</sub> e desbalanço na relação [CO<sub>2</sub>]/[O<sub>2</sub>], o que deve refletir em diminuição na A e aumento na FR (Maroco et al., 1997; Massad et al., 2007).

Brito et al. (2013) observaram durante a fase de floração que a variável fisiológica do milho mais sensível ao déficit hídrico foi a gs, em que a planta na condição de estresse tendeu a fechar os estômatos no sentido de minimizar a perda de água e manter a turgescência, refletindo na formação de carboidratos pela fotossíntese e no acúmulo de fitomassa na planta, principalmente do caule.

Outro fator importante para a fotossíntese e produção de biomassa é o teor de clorofila das folhas. As clorofilas são pigmentos responsáveis por aproveitar a radiação envolvida na atividade fotossintética das plantas. Essas moléculas se localizam na membrana do tilacóide, dentro dos cloroplastos, e quando absorvem os fótons (energia luminosa) refletem a cor verde. Além das clorofilas *a* e *b*, existem outros pigmentos envolvidos nesse processo, que são os carotenoides (cor amarela ou alaranjada) e as ficobilinas. A clorofila *a* atua no primeiro estágio da fotossíntese (fase fotoquímica), enquanto os outros pigmentos auxiliam na absorção e transferência da energia radiante para os centros de reação e, por isso, são chamados de pigmentos acessórios (Streit et al., 2005). O aproveitamento da radiação por esses pigmentos indica o potencial da atividade fotossintética, o qual reflete diretamente na produtividade agrícola da planta. Como exemplo disso, têm-se as gramíneas tropicais (C4), as quais possuem elevada eficiência fotossintética e apresentam elevadas produtividades quando submetidas a ambientes favoráveis (Bernardes, 1987).

A clorofila absorve radiação com diferentes comprimentos de onda, em que o pico de absorbância está situado na região entre os comprimentos correspondente às cores azul e vermelho, a de baixa absorbância está na região do verde e a de absorbância extremamente baixa está na região do infravermelho. Por isso, as medições do índice de esverdeamento da folha são realizadas na faixa do vermelho, onde a absorbância é alta e não é afetada pelos carotenóides, e na do infravermelho (Hendry & Price, 1993).

A perda de clorofila e a conseqüente redução da capacidade fotossintética das plantas ocorre progressivamente sob condições de estresse hídrico ou de baixa disponibilidade de nitrogênio. Com isso, a análise dos pigmentos fotossintéticos é a técnica mais adequada para avaliar a sanidade e a integridade dos aparatos internos da célula durante o processo de fotossíntese (Rong-Hua et al., 2006). Além disso, essa ferramenta permite detectar e quantificar plantas tolerantes a esses tipos de estresse (Jabeen et al., 2008).

O conteúdo de clorofila foliar pode ser determinado por espectrofotometria. Porém, esse método é destrutivo e demorado (Amarante et al., 2010), e a eficiência da extração depende do solvente orgânico e da habilidade do técnico em realizar os procedimentos (Lashbrooke et al. 2010). Assim, os métodos alternativos como o uso de medidor portátil são mais procurados, além de serem mais rápidos, mais simples e de alta confiabilidade (Jifon et al., 2005). O medidor portátil de clorofila faz leituras instantâneas da intensidade da cor verde com base na quantidade de luz transmitida pela folha, em dois comprimentos de ondas, com diferentes absorbâncias da clorofila (Torres Netto et al., 2005; Amarante et al., 2010).

As leituras do clorofilômetro podem ser influenciadas pelas condições ambientais e de medição. Por exemplo, as variações diárias observadas nas leituras (Hoel & Solhaug, 1998) são explicadas pela fotodependência no movimento dos cloroplastos tanto para maximizar a absorção

de luz à baixa irradiância quanto para minimizar os riscos de fotodanos à célula (Naus et al., 2010). Pois, a variação da irradiância durante as horas do dia causa diferentes concentrações de vapor d'água ou teores de umidade na folha, alterando a leitura do clorofilômetro (Martínez & Guiamet, 2004). A precisão das leituras também pode ser afetada pelo alto conteúdo de clorofila nas folhas (Imanishi et al. 2010), modelo do instrumento (Marquard & Tipton, 1987; Markwell et al., 1995) etc..

### 3.8. Crescimento das plantas de milho

O monitoramento do crescimento geralmente é feito através de técnicas destrutivas, mas para viabilizar o gasto de tempo, pode-se adotar modelos matemáticos que forneçam informações prévias a respeito do cultivo (Lyra et al., 2003; Lyra et al., 2008). Além disso, outras técnicas não destrutivas podem ser utilizadas, como o uso de ferramentas de medição diretamente na planta, as quais podem ser mais eficientes que as equações matemáticas de previsão. As medidas biométricas como altura de planta, diâmetro do caule e índice de área foliar (IAF) podem ser dispostas em função dos dias após a semeadura ou do tempo de acúmulo térmico (graus-dia acumulados), que tem se mostrado mais eficiente, uma vez que a duração dos subperíodos e ciclos da planta estão ligados a variações das condições ambientais e não ao número de dias (Lima & Silva et al., 2008).

O crescimento do milho, medido experimentalmente, é um dos fatores de avaliação do estado nutricional e fitossanitário da planta e serve de referência para efeito de comparação entre tratamentos. Porém, esta é uma variável que pode, muitas vezes, confundir o pesquisador, pois nem sempre na planta em que se observa maior crescimento pode-se inferir que esta terá maior produtividade de grãos. Lyra et al. (2014) observaram que as plantas que apresentaram maior IAF, o que proporcionaria maior taxa fotossintética, não apresentaram maior produtividade. Conforme Oliveira et al. (2005), quando o IAF é muito elevado ocorre autossombreamento, o que compromete a captação da radiação solar pelas folhas. Além disso, Alves et al. (2001) relatam que o alto IAF pode reduzir a produtividade da planta devido à interceptação da água da chuva pelo dossel.

Bergamaschi et al. (2004) constataram que, durante o período vegetativo, o déficit hídrico reduziu o crescimento do milho, em função de decréscimos da área foliar e da biomassa. Essa redução de folhas também pode ser observada em plantas com deficiência de nitrogênio, o que compromete a fotossíntese por menor interceptação da radiação solar (França et al., 2011). Por outro lado, Amanullah et al. (2009) observaram que doses crescentes de N, entre 60 e 180 kg ha<sup>-1</sup>, proporcionaram alturas de planta similares, com diferenças de no máximo 5%. Assim, pode-se dizer

que a dose ótima para o crescimento do milho não é um valor generalizado, antes, está diretamente relacionada com o genótipo utilizado e com as condições edafoclimáticas da região de cultivo.

### **3.9. Produtividade agrícola do milho**

A produtividade agrícola do milho é medida em quilogramas ou toneladas por hectare, em que se avalia a biomassa de grãos produzidos durante o cultivo, a qual depende da cultivar e do sistema de cultivo utilizado. O potencial produtivo da planta é regulado por fatores genéticos, mas para ser atingido depende do controle de fatores ambientais. Dentre estes últimos, a condição nutricional do solo pode ser responsável por um incremento de 20 a 25% no rendimento e a interferência de plantas daninhas pode gerar perdas de mais de 80%. Em condições de sequeiro a expectativa de produtividade é de 4 a 6 t ha<sup>-1</sup>, em que a maioria das tecnologias é desenvolvida para esse sistema de cultivo. Porém, devido ao risco de ocorrência de veranicos, o agricultor tende a investir menos em tecnologia, pois não há garantia de produção estável. Por outro lado, os cultivos irrigados permitem ao produtor o uso de tecnologias mais avançadas, em que a produtividade em diferentes regiões do Brasil pode atingir até 8,5 t ha<sup>-1</sup> em lavouras comerciais e mais de 10 t ha<sup>-1</sup> experimentalmente. Em concursos realizados pela EMATER-MG já foram registradas produtividades acima de 15 t ha<sup>-1</sup>. Entretanto, para a implantação de um cultivo irrigado é necessário que a produtividade esteja acima dos custos de produção, que estão em torno de 5 t ha<sup>-1</sup> ([Resende et al., 2000](#)),

Quando o objetivo é quantificar a produtividade da cultura em função de vários níveis de um insumo, utiliza-se uma curva de produtividade, a qual é determinada por uma função de resposta. [Souza et al. \(2016\)](#) testaram níveis crescentes de água em milho e observaram máximas produtividades com lâmina de irrigação de 80,5 e 87,8% da ETc. [Ashraf et al. \(2016\)](#) observaram aumento significativo no rendimento de grãos ao aumentarem a dose de N de 0 para 250 kg ha<sup>-1</sup> e melhorarem o manejo da irrigação.

### **3.10. Função de produção da cultura**

A escolha e/ou tomada de decisão com relação ao uso de recursos na agricultura se baseia no princípio de que cultivos respondem aos insumos utilizados de forma diferenciada. Essas respostas podem ser explicadas através de equações matemáticas, em que se emprega a relação fator-produto, ou seja, a quantidade produzida em função dos insumos empregados, quando um depende ou é uma

função do outro. De acordo com [Jolly & Clonts \(1992\)](#), o nível de produto é função do nível de cada um dos insumos usados bem como qualquer interação que possa ocorrer entre eles. Além disso, para se derivar uma fórmula matemática que descreva a relação exata entre a variável produto ( $Y$ ) e a variável insumo ( $X$ ), precisa-se manter experimentalmente constante todas as outras variáveis consideradas de menor importância para o trabalho (Equação 1). No entanto, deve-se ter a compreensão sólida das características biológicas da cultura frente ao fator estudado e da natureza do problema da produção antes da escolha do modelo matemático. Isso se deve aos tipos de retorno da cultura, os quais podem ser constante, crescente ou decrescente. Dessa forma, quando a cultura apresenta sua máxima taxa de retorno, têm-se a máxima eficiência do uso do insumo ou recurso variável ([Frizzone, 1998](#)).

$$Y = f(X_1|X_2, X_3, X_4, X_5, \dots, X_n) \quad (1)$$

Essa maximização e minimização de funções aplicadas em economia podem ser resolvidas por intermédio do cálculo diferencial ou uso de derivação. Como a derivada da função de uma variável é também uma função da mesma variável, é possível continuar o processo de derivação e obter-se o que se chama de derivada segunda, terceira etc.. Porém, em certo momento, as derivadas que ultrapassam certo estágio tornam-se iguais à zero. Assim, a grandeza numérica da primeira derivada pode ser utilizada para medir o ritmo de crescimento ou de diminuição, e a inclinação ascendente ou descendente da curva de produtividade da cultura em determinado ponto ([Aguiar, 2005](#)).

A técnica de derivação pode ser utilizada para o cálculo da produtividade máxima física e econômica, desde que se continue o processo de derivação da função de produção encontrada. Se  $f'(a)$  é positiva, isso explica que  $f(x)$  varia a taxa crescente quando  $X$  passa por  $a$ . Da mesma forma, quando  $f'(a) < 0$ , a função  $f(x)$  varia a uma taxa decrescente quando  $X$  aumenta e passa pelo ponto  $a$ . Quando  $f'(x) = 0$ , este será o ponto de inflexão da função  $f(x)$  e pode ser observado pela mudança de sinal de  $f''(x)$  quando se aumenta  $X$ . Assim, para saber se este é o ponto de máximo ou mínimo da função precisa-se continuar o processo de derivação até ocorrer a mudança de sinal. Essa técnica é bastante aplicada à função quadrática ( $Y = a + bX + cX^2$ ). No entanto, esta se torna uma função de produção quando  $b > 0$  e  $c < 0$ , para que haja um limite na aplicação do insumo. Assim, para maximizar ou minimizar uma função, calcula-se sua primeira derivada, iguala-se a zero e encontra-se o valor de  $X$  que maximiza o valor de  $Y$ . Se a derivada segunda é negativa, existe um ponto de máximo; se é positiva existe um mínimo ([Jolly & Clonts, 1992](#)).



### 3.11. Máximo rendimento econômico da cultura do milho

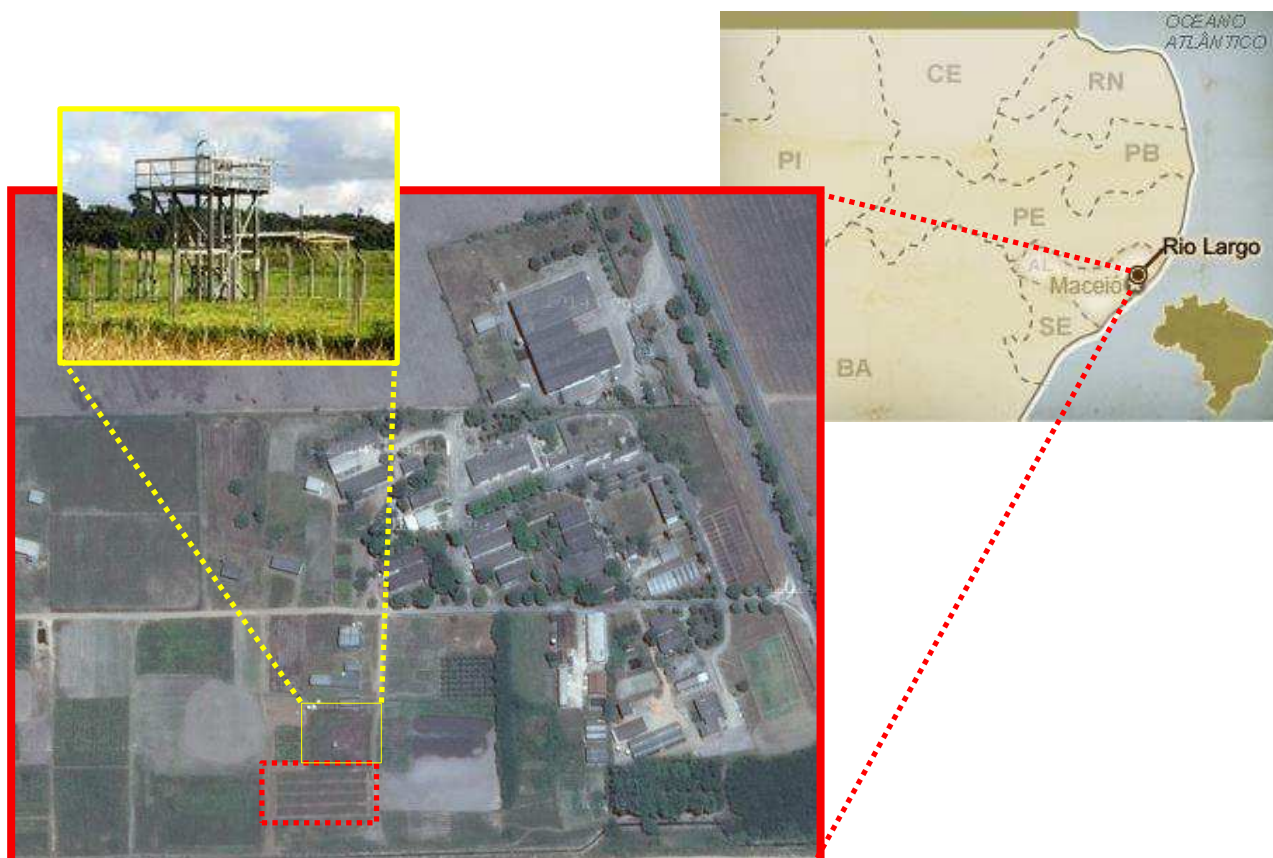
A economia de produção agrícola faz uso da matemática, pois esta fornece uma lógica ideal de princípios de maximização e minimização de insumos. Entretanto, essa utilização de modelos matemáticos para maximizar a produção depende do uso de capital, mão-de-obra, terra e recursos de administração (Jolly & Clonts, 1992). Assim, observando esses parâmetros, torna-se possível a maximização de lucros com a minimização de custos.

A condição necessária para maior eficiência econômica só pode ser definida quando forem usadas as relações de preços, pois os preços são indicadores de escolha para uma situação ótima e definem a condição de um máximo, a qual é sempre expressa como uma relação ou proporção. Porém, deve-se atentar para o fato de que o nível econômico de um insumo depende da relação de preços do insumo ( $P_x$ ) e do produto ( $P_y$ ) e não dos preços propriamente, ou seja, quando o insumo se torna mais caro em relação ao produto, o nível econômico decresce. Matematicamente, o lucro será otimizado quando o valor do produto marginal ( $\Delta X/\Delta Y$ ) for igual ao preço do insumo ( $P_x$ ) (Jolly & Clonts, 1992).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Localização e condução do experimento

O experimento foi conduzido no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas (CECA/UFAL), em Rio Largo-AL (09° 28' 02'' S; 35° 49' 43'' W; 127 m de altitude), conforme a Figura 1.



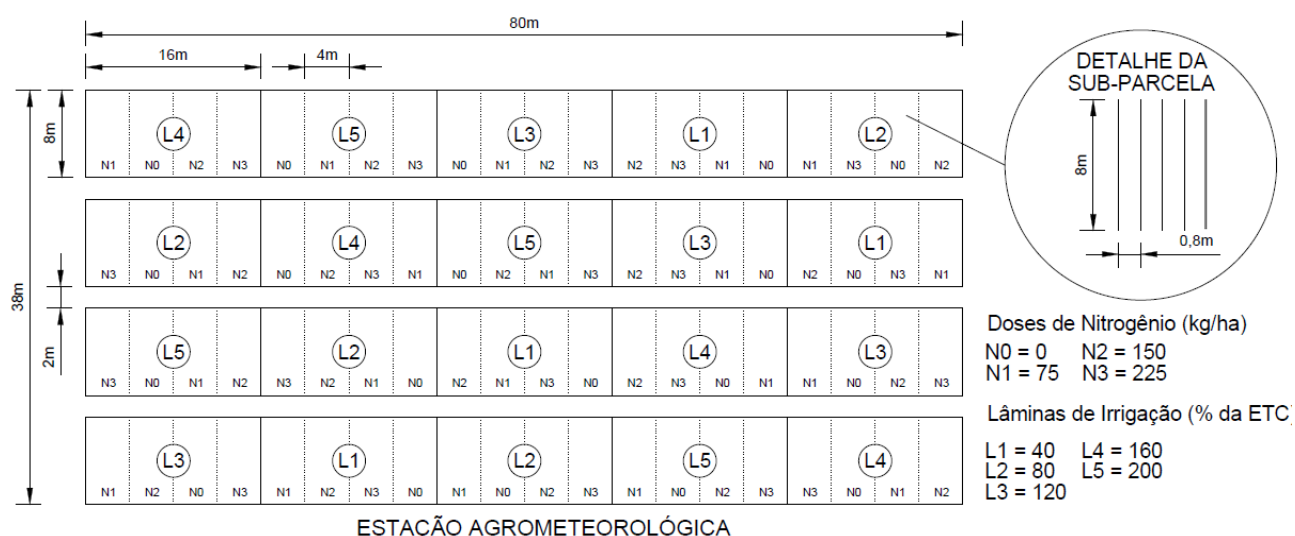
**Figura 1.** Mapa e imagem de satélite do CECA/UFAL em Rio Largo-AL, obtidos na internet, destacando a estação meteorológica (quadro com borda amarela) e a área do experimento (quadro com borda vermelha tracejada).

A classificação do solo foi realizada por [Carvalho \(2003\)](#) e as características físicas estão descritas na Tabela 1. O clima é, pela classificação de Thornthwaite e Mather, quente e úmido (B<sub>1</sub>), megatérmico (A'), com deficiência de água moderada no verão (s), com grande excesso de água no inverno (w<sub>2</sub>), e a precipitação pluvial média anual da região é 1.800 mm.

**Tabela 1.** Características físicas do solo e classificação realizada por [Carvalho \(2003\)](#).

Características Físicas	Resultados
tipo de solo	Latossolo Amarelo coeso argissólico
textura	média/argilosa
VIB ( $\text{mm h}^{-1}$ )	52
densidade volumétrica ( $\text{Mg m}^{-3}$ )	1,5
porosidade total ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )	0,423
$\theta_{\text{CC}}$ ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )	0,2445
$\theta_{\text{PMP}}$ ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )	0,1475
declividade média (%)	< 2

O experimento foi realizado em duas estações, sendo a primeira um cultivo de outono-inverno realizado de 29 de fevereiro a 20 de junho de 2016, e a segunda um cultivo de primavera-verão no período de 19 de novembro de 2017 a 19 de março de 2018. O delineamento estatístico utilizado foi blocos casualizados no esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições (Figura 2). Os tratamentos foram cinco lâminas de irrigação (L1-40, L2-80, L3-120, L4-160 e L5-200% da  $ET_c$ ) nas parcelas e quatro doses de N (0, 75, 150, 225  $\text{kg ha}^{-1}$ ) nas subparcelas.



**Figura 2.** Croqui do experimento.

O preparo do solo foi realizado com duas gradagens aradora e niveladora (Figura 3). O sulcamento foi realizado manualmente com sulcos de 8,0 m de comprimento espaçados de 0,8 m, resultando em cinco linhas de plantas por subparcela ( $32 \text{ m}^2$ ) e 20 linhas por parcela ( $128 \text{ m}^2$ ). Realizou-se calagem de acordo com a análise de solo para elevar a saturação de bases para 60%.





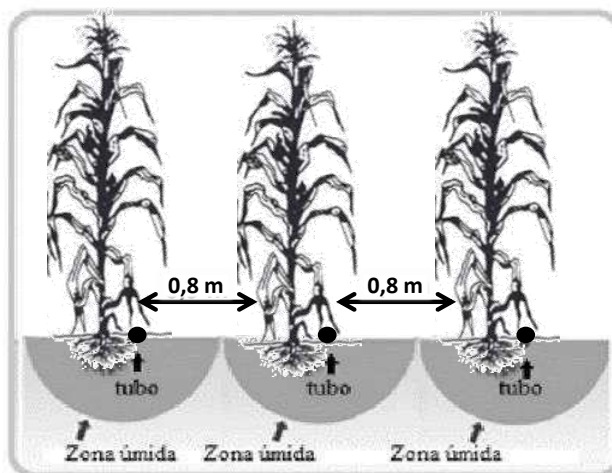
**Figura 3.** Preparo do solo (A), marcação das linhas (B), sulcamento (C) e calagem (D).

A adubação de fundação foi feita em função da produtividade esperada de  $10 \text{ t ha}^{-1}$ , de acordo com Coelho, (2007). Para isso, se aplicou a fonte de fósforo mais metade do potássio (Figura 4). A segunda metade do potássio mais o nitrogênio foram aplicados em cobertura aos 15 dias após o plantio (DAP) e a adubação nitrogenada se deu de acordo com os tratamentos de cada suparcela. Antes do plantio foi montado e testado o sistema de irrigação para garantir a uniformidade de germinação e emergência. O híbrido de milho AG7088 foi semeado colocando-se duas sementes a cada 0,25 m, e quando as plantas atingiram 4 folhas totalmente expandidas, foi feito o desbaste para retirada de uma planta, deixando 50.000 plantas por hectare. O controle das plantas nativas foi efetuado via capinas manuais e herbicidas, com uso de atrazina a  $2,6 \text{ L ha}^{-1}$  e glifosato a  $6,5 \text{ L ha}^{-1}$ . Também foi aplicado inseticida devido ao ataque da lagarta-do-cartucho com metomil na dose de  $0,6 \text{ L ha}^{-1}$ .



**Figura 4.** Adubação de fundação (A), montagem do sistema de irrigação (B), aplicação de herbicida (C) e aplicação de inseticida (D).

O sistema de irrigação utilizado foi gotejamento superficial com fitas gotejadoras de 16 mm de diâmetro, gotejadores a cada 0,2 m e 0,8 m entre linhas, sendo uma linha de irrigação por fileira de plantas (Figura 5), pressão de serviço aferida de 5 mca e vazão de  $1,1 \text{ L h}^{-1}$ .

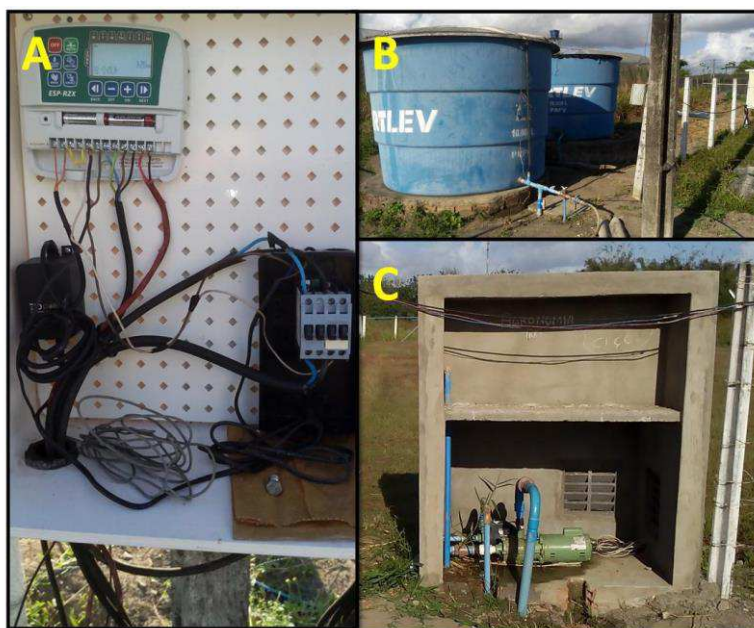


**Figura 5.** Detalhes do espaçamento entre as linhas de plantio do milho e do posicionamento da fita gotejadora.

A água utilizada para a irrigação foi captada em uma barragem localizada nas proximidades do CECA/UFAL e armazenada em duas caixas de  $10 \text{ m}^3$ , dos quais foi bombeada para a área de

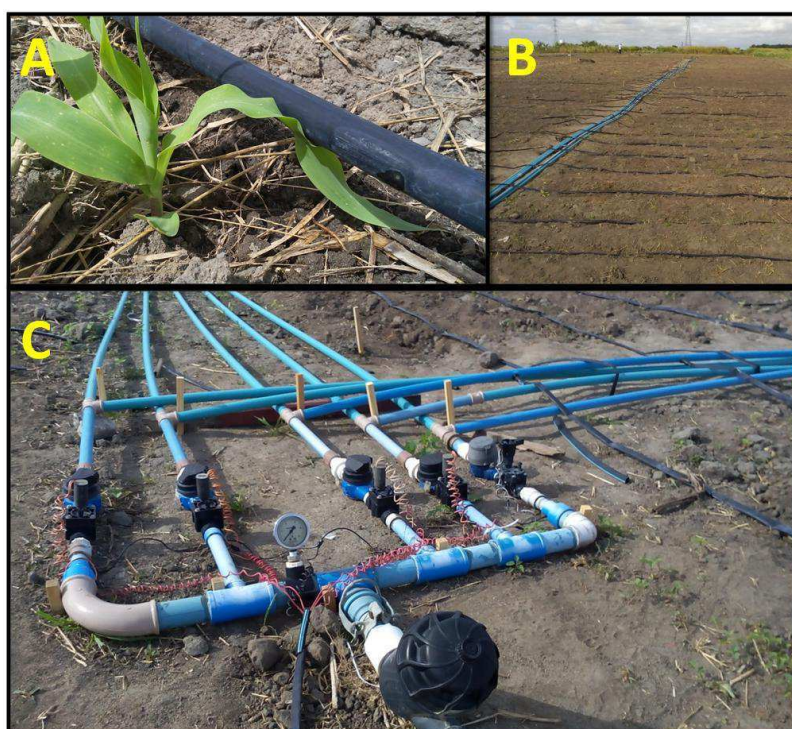


cultivo através de um sistema de automação para o controle de aplicação das lâminas de irrigação (Figura 6).



**Figura 6.** Controlador digital usado para acionar a bomba e as eletroválvulas (A), caixas de água para a irrigação (B) e eletrobomba usada no experimento (C).

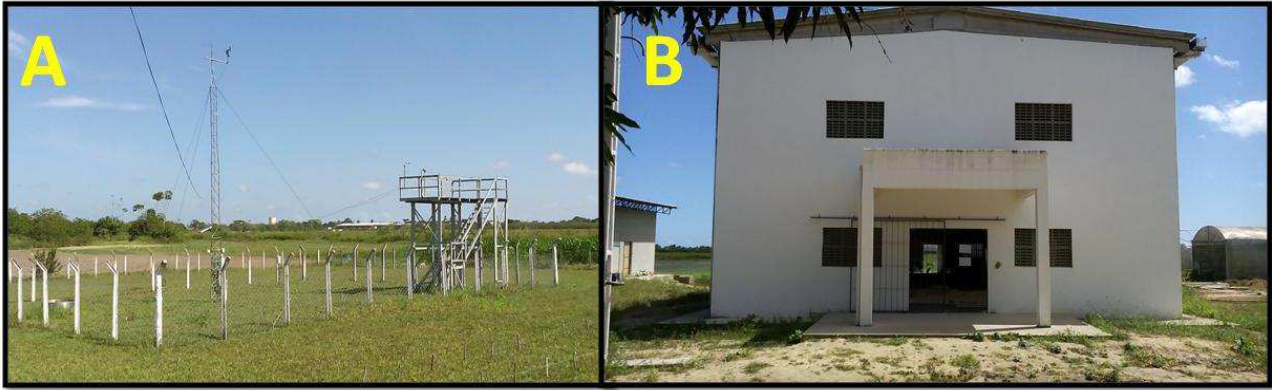
No cabeçal de controle do sistema de irrigação foram instaladas eletroválvulas para o controle automático da operação do sistema, hidrômetros para o monitoramento da vazão, manômetro para aferição da pressão inicial nas linhas laterais e um filtro de disco, que era limpo duas vezes ao dia para garantir a manutenção da pressão de serviço dos emissores (Figura 7).



**Figura 7.** Fita gotejadora (A), distribuição das linhas (B) e cabeçal de controle (C).

## 4.2. Variáveis agrometeorológicas

Os dados agrometeorológicos de precipitação pluvial, temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar e evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) foram obtidos no Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia (LIA) do CECA/UFAL, que mantém uma estação automática de aquisição de dados (Modelo Micrologger CR10X, Campbell Scientific) ao lado do experimento (Figura 8).



**Figura 8.** Estação meteorológica (A) do Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia do CECA/UFAL (B).

Os procedimentos de cálculo de evapotranspiração real da cultura ( $ET_r$ ) e balanço de água no solo foram baseados na metodologia descrita e adaptada para gotejamento por [Allen et al. \(1998\)](#), [Allen et al. \(2005\)](#) e [Silva et al. \(2012b\)](#). A  $ET_0$  foi calculada pelo método de Penman-Monteith:

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \left( \gamma \frac{900}{T + 273} \right) u_2 (e_s - e)}{\Delta + \left[ \gamma (1 + 0,34 u_2) \right]} \quad (2)$$

Em que:  $\Delta$  é a inclinação da curva da pressão de vapor d'água saturado versus temperatura do ar ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ );  $R_n$  é o Saldo de radiação medido ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );  $G$  é o fluxo de calor no solo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );  $\gamma$  é o Coeficiente psicrométrico;  $T$  é a temperatura média do ar;  $u_2$  é a velocidade média do vento a 2 m de altura ( $\text{m s}^{-1}$ );  $e_s$  é a pressão de saturação do vapor d'água do ar (kPa) e  $e$  é a pressão do vapor d'água do ar (kPa).

A evapotranspiração real da cultura ( $ET_r$ ) foi calculada pelo método de  $K_c$  “único”, conforme apresentado na Equação 3. O coeficiente  $K_s$  representa os efeitos do déficit de água no solo na zona radicular sobre a  $ET_r$ .

$$ET_r = K_s \times ET_c = K_s \times K_c \times ET_0 \quad (3)$$

A evapotranspiração da cultura foi estimada com uso dos valores de Kc apresentados na Tabela 2, que são os recomendados pelo boletim 56 da Food Agriculture Organization-FAO (Allen et al., 1998), e conforme recomendação do próprio boletim, o Kc inicial foi ajustado pelo método do gráfico e para a irrigação por gotejamento, enquanto o Kc da fase de crescimento e o Kc final foram estimados pelo método da equação. O Kc da fase de crescimento foi interpolado entre o inicial e o intermediário.

**Tabela 2.** Valores de Kc para o milho tabelados e ajustados conforme Allen et al. (1998).

Época	Fases	Duração (dias)	Kc tabelado	Kc ajustado	Kc ajustado para gotejamento
1	Inicial	20	0,4	0,85	0,43
	Crescimento	32	interpolado	interpolado	
	Intermediária	38	1,2	1,13	
	Final	22	0,6	0,54	
2	Inicial	20	0,4	0,75	0,38
	Crescimento	32	interpolado	interpolado	
	Intermediária	38	1,2	1,15	
	Final	30	0,6	0,56	

O armazenamento de água no sistema radicular da cultura no dia i (dia analisado) foi calculado em função do balanço de água no solo no dia i (Equação 4), considerando o armazenamento do dia anterior e o limite do solo em armazenar água (CAD). Para dar-se início ao cálculo do balanço de água no solo, foi considerado que o ARM é igual a CAD logo após o plantio, pois foi aplicada uma lâmina de irrigação nessa data com esta finalidade.

$$ARM_i = \begin{cases} \text{máx}(ARM_{i-1} + ALT_i, 0); & \text{para } \rightarrow ARM_{i-1} + ALT_i < 0 \\ \text{máx}(ARM_{i-1} + ALT_i, CAD); & \text{para } \rightarrow ARM_{i-1} + ALT_i > 0 \end{cases} \quad (4)$$

em que:

ARM<sub>i</sub> – armazenamento de água na zona radicular ao término do dia i (mm)

ARM<sub>i-1</sub> – conteúdo de água na zona radicular ao término do dia anterior (mm)

ALT<sub>i</sub> – alteração do ARM no dia i calculada como P<sub>i</sub> + I<sub>i</sub> - ET<sub>r,i</sub> (mm)

P<sub>i</sub> – precipitação no dia i (mm)

I<sub>i</sub> – lâmina de irrigação líquida no dia i (mm)

ET<sub>r,i</sub> – evapotranspiração real da cultura no dia i (mm)

Durante as duas épocas do experimento foi contabilizado o acúmulo térmico pelas plantas de milho e a necessidade térmica da cultura para completar um subperíodo ou atingir as fases fenológicas (ilustradas na Figura 9) após a semeadura, foi calculada através dos graus-dia acumulados (GDA) ou soma dos graus-dia (GD) (Gilmore & Rogers, 1958).

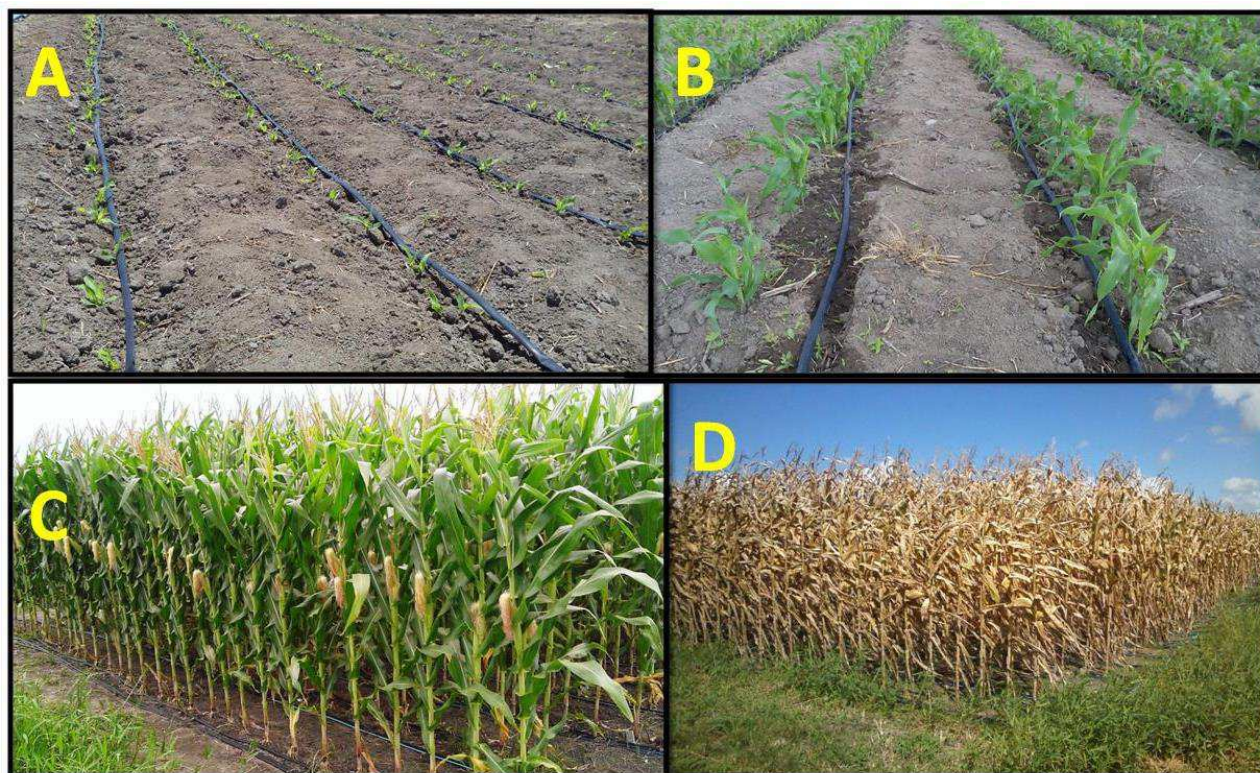


$$GD = \sum_{i=1}^n (\bar{T}_i - T_b) \quad (5)$$

em que:

$\bar{T}_i$  – temperatura média do ar no dia  $i$  (°C)

$T_b$  – é a temperatura base do milho, igual a 10 °C



**Figura 9.** Fases de emergência das plântulas (A), crescimento vegetativo (B), florescimento (C) e maturação fisiológica (D).

### 4.3. Avaliação biométrica e de matéria seca

Ao longo do crescimento e desenvolvimento da cultura (Figuras 10 e 11), foram analisadas as variáveis biométricas índice de área foliar (IAF), altura do dossel vegetativo e diâmetro do colmo, medidos quinzenalmente a partir dos 30 dias após o plantio (DAP).

O IAF foi calculado pela Equação 6:

$$IAF = \frac{AF \times NP}{\epsilon \times H} \quad (6)$$



em que:

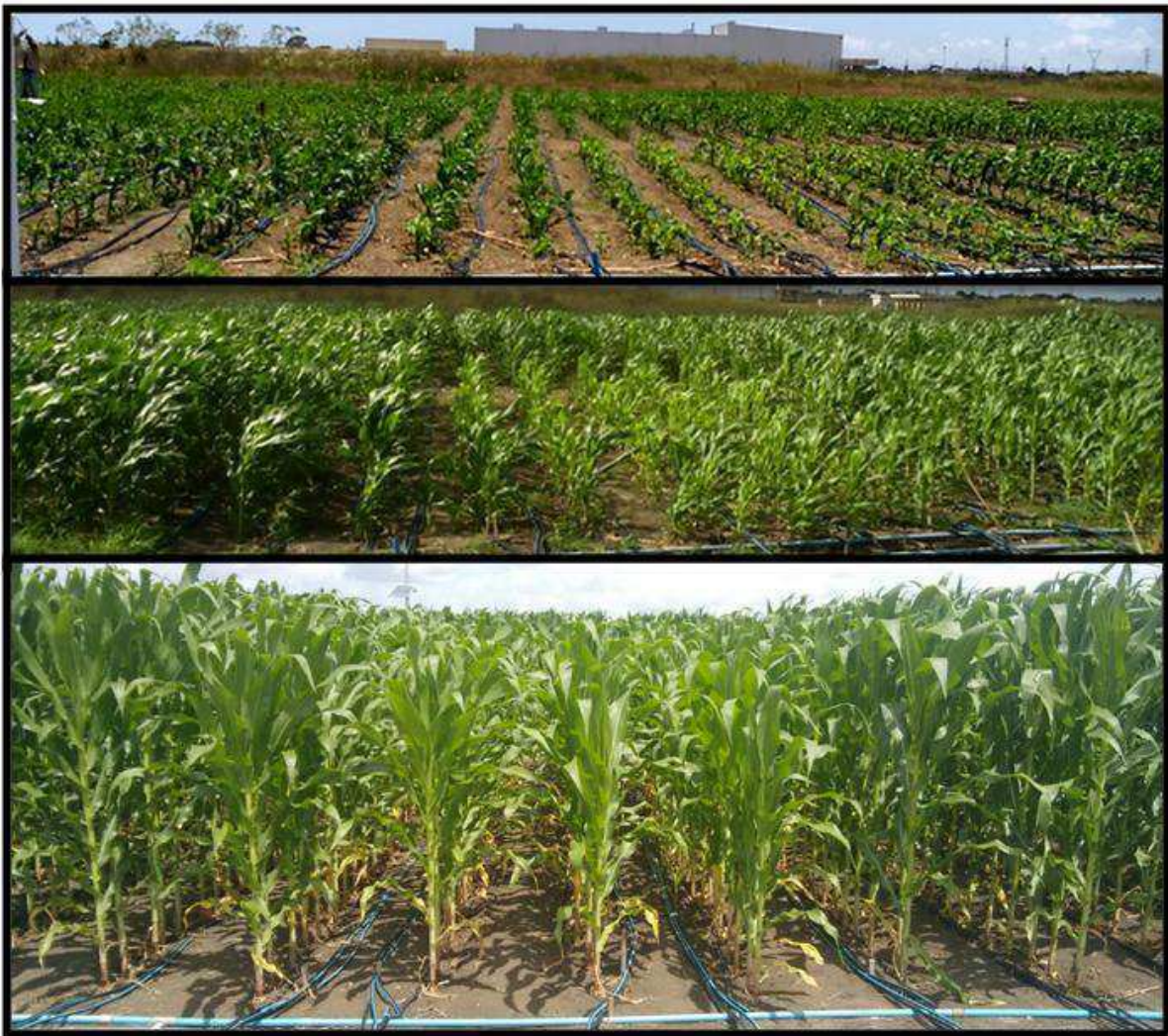
AF – é a área foliar ( $m^2$ )

$N_p$  – é o número de plantas na linha de contagem

$\epsilon$  – é o espaçamento médio entre linhas (m)

H – é o comprimento da linha de contagem das plantas (m)

A área foliar foi determinada pela equação  $AF = C \times L \times 0,75 \times (N+2)$ , conforme a metodologia de [Hermann e Câmara \(1999\)](#), em que C é o comprimento da “folha +3” (m); L a largura da “folha +3” (m); 0,75 é o fator de correção de forma das folhas de milho; e N o número de folhas fotossinteticamente ativas. As variáveis analisadas foram coletadas em cinco plantas aleatórias por parcela, marcadas durante todo o experimento.



**Figura 10.** Crescimento do milho ao longo do ciclo fenológico.





**Figura 11.** Stand de plantas do experimento.

Na fase de maturação fisiológica foi realizada a coleta de partes da planta de milho para análise do teor de matéria seca particionado, em que foram coletadas 5 plantas por subparcela, as quais foram separadas em colmo, folhas, espiga e pendão. As partes da planta foram acondicionadas em sacos de papel e levadas à estufa de secagem em temperatura de 65 °C durante 48h, para em seguida serem pesadas em balança analítica.

Os dados da avaliação biométrica em cada data de coleta e de matéria seca foram submetidos ao teste F ( $p < 0,05$ ).

#### **4.4. Avaliação fisiológica**

Os índices fisiológicos foram mensurados com uso de um analisador de trocas gasosas modelo LCpro+®, contendo um IRGA-Infra Red Gas Analyser (Figura 12). As avaliações foram realizadas nas plantas no horário entre 8 e 10 horas da manhã na fase de floração, aproximadamente aos 60 DAP. As medidas foram realizadas na folha +3 de duas plantas por subparcela, totalizando 8

medições por tratamento para a obtenção das médias das variáveis: condutância estomática-gs ( $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), fotossíntese líquida-A ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), transpiração-E ( $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) e concentração interna de  $\text{CO}_2$ -Ci ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ). A eficiência instantânea da carboxilação-EiC foi obtida pela relação A/Ci.

As leituras do teor de clorofila, baseadas nas propriedades óticas das folhas, foram feitas com o clorofilômetro ClorofiLOG modelo CFL 1030 (Falker Automação Agrícola, Brasil), que fornece valores chamados Índice de Clorofila Falker (ICF) proporcionais à absorbância das clorofilas (Falker, 2008). Esses cálculos são feitos com base na absorção de luz em comprimentos de onda característicos da clorofila. O clorofiLOG mede a quantidade de radiação transmitida através das folhas, de forma óptica, em três diferentes comprimentos de onda, dois na faixa do vermelho, próximos aos picos de absorção da clorofila ( $\lambda=635$  e  $660$  nm) e um no infravermelho próximo ( $\lambda=880$  nm). A combinação destes valores de transmitância nestes três comprimentos de onda gera o ICF – Índice de Clorofila Falker. Foram utilizadas cinco plantas na linha central da subparcela e em cada planta foram realizadas medições nos terços superior, médio e inferior a mais ou menos 1,5 cm da margem da folha +3, sendo posteriormente obtida a média geral das diferentes partes da folha. As medições ocorreram entre as 10h e 14h para evitar o mínimo efeito possível da variação de irradiância nas leituras do clorofilômetro durante as horas do dia.



**Figura 12.** Medição do teor de clorofila (A), avaliação de trocas gasosas com IRGA (B) e detalhe da medição na folha de milho (C).

#### 4.5. Produtividade de grãos em função da água e do nitrogênio

A colheita de grãos na área útil da subparcela foi realizada na fase de maturação fisiológica, em que o rendimento de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) foi estimado pesando-se os grãos das plantas situadas em 3 m lineares das três linhas centrais da subparcela, utilizando para isso uma balança digital com capacidade para pesar até 30 kg. A produtividade agrícola da cultura foi avaliada em função das lâminas de irrigação e das doses de N, sendo obtida a função de resposta da cultura aos tratamentos por meio de equações de regressão.

A função de resposta da cultura às lâminas de irrigação e doses de N foi obtida por curvas de regressão polinomial de segundo grau (Frizzone, 1998) com a variável independente de acordo com a Equação 7:

$$Y = b_0 + b_1x + b_2x^2 \quad (7)$$

em que:

Y – é a produtividade agrícola ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

x – é a lâmina de irrigação total ou a dose de nitrogênio aplicada

$b_0$ ,  $b_1$  e  $b_2$  – são os coeficientes da equação.

A equação utilizada para estimar a lâmina de irrigação e dose de nitrogênio que proporciona a produtividade máxima física foi deduzida igualando-se a zero a primeira derivada da função de produção, conforme as Equações 8 e 9:

$$Y' = b_1 + 2b_2x \therefore b_1 + 2b_2x = 0 \therefore 2b_2x = -b_1 \quad (8)$$

$$X_{\text{máx}} = -\frac{b_1}{2b_2} \quad (9)$$

em que:  $X_{\text{máx}}$  – é a lâmina de irrigação e dose de N que proporciona a máxima produtividade agrícola ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). Posteriormente, a produtividade máxima ( $Y_{\text{máx}}$ , em  $\text{kg ha}^{-1}$ ) foi estimada substituindo x por  $X_{\text{máx}}$  na Equação 7.

Para a análise econômica da produção, o preço do milímetro de água aplicado foi calculado com base nos custos de propriedades agrícolas que utilizam sistemas de irrigação por gotejamento e têm esses custos monitorados em planilhas eletrônicas, em que foram considerados 20 anos de vida útil da infraestrutura hidráulica (adutoras, casa de bomba etc.) e 3 anos para o sistema de irrigação superficial, sendo este o período de amortização para o capital empregado, considerando três ciclos de cultivo irrigado por ano (Tabela 3).



**Tabela 3.** Custo do milímetro de água para irrigação por gotejamento na cultura do milho.

Descrição	Total ha <sup>-1</sup>	R\$ ha <sup>-1</sup> ciclo <sup>-1</sup>	R\$ mm <sup>-1</sup>	%
Infraestrutura hidráulica/Edificações (amortização em 20 anos - 60 ciclos)	2.500,00	41,67	0,14	3,6
Sistema de irrigação (amortização em 3 anos - 9 ciclos)	6.000,00	666,67	2,22	57,1
Custo operacional mensal + manutenção do sistema (5%)	153,00	459,00	1,53	39,3
Custo total	8.653,00	1.167,33	<b>3,89</b>	100,0
Operação do sistema de irrigação durante 3 ciclos de produção por ano				
Lâmina média por ciclo: 300 mm				

O preço do kg de N foi derivado da média das duas fontes de adubo mais utilizadas na região e obtido em empresa comercial situada nas proximidades de Rio Largo-AL (Tabela 4).

**Tabela 4.** Preços dos fertilizantes utilizados na adubação nitrogenada do milho.

Adubo	Reais por tonelada de adubo	Reais por kg de Nitrogênio
Sulfato de amônio (20% N)	1.030,00	5,15
Uréia (45% N)	1.720,00	3,82
Média	1.375,00	<b>4,49</b>

Fonte: Usifértil (Consulta em 08/01/2019)

O preço de venda do milho usado para o cálculo de remuneração foi obtido da cotação do dia 08 de janeiro de 2019 pela Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia (AIBA), em que a saca foi cotada em R\$ 32,00 e conseqüentemente, o kg de milho em R\$ 0,53.

A lâmina de irrigação e a dose de N de máxima eficiência econômica foi estimada pela Equação 10:

$$X_{ec} = \frac{P_x - P_y b_1}{2P_y b_2} \quad (10)$$

em que:

$X_{ec}$  – é a lâmina de irrigação e dose de N que proporciona a produtividade ótima econômica (kg ha<sup>-1</sup>)

$P_x$  – é o custo médio do mm de água (R\$ mm<sup>-1</sup>) e do kg de N (R\$ kg<sup>-1</sup>)

$P_y$  – é o preço de venda do kg de milho (R\$ kg<sup>-1</sup>);

$b_1$  e  $b_2$  – são os coeficientes da função de produção (equação 7);

Posteriormente, a produtividade de máxima eficiência econômica foi estimada substituindo x por  $X_{ec}$  na Equação 7.

#### 4.6. Eficiência no uso da água

A eficiência no uso da água (EUA) foi calculada de acordo com a Equação 11, dividindo-se o rendimento de grãos pela água total utilizada (irrigação + chuva efetiva). Dessa forma, os resultados da EUA foram apresentados em quilograma de grãos produzidos em um hectare por milímetro de água utilizado ( $\text{kg mm}^{-1}$ ):

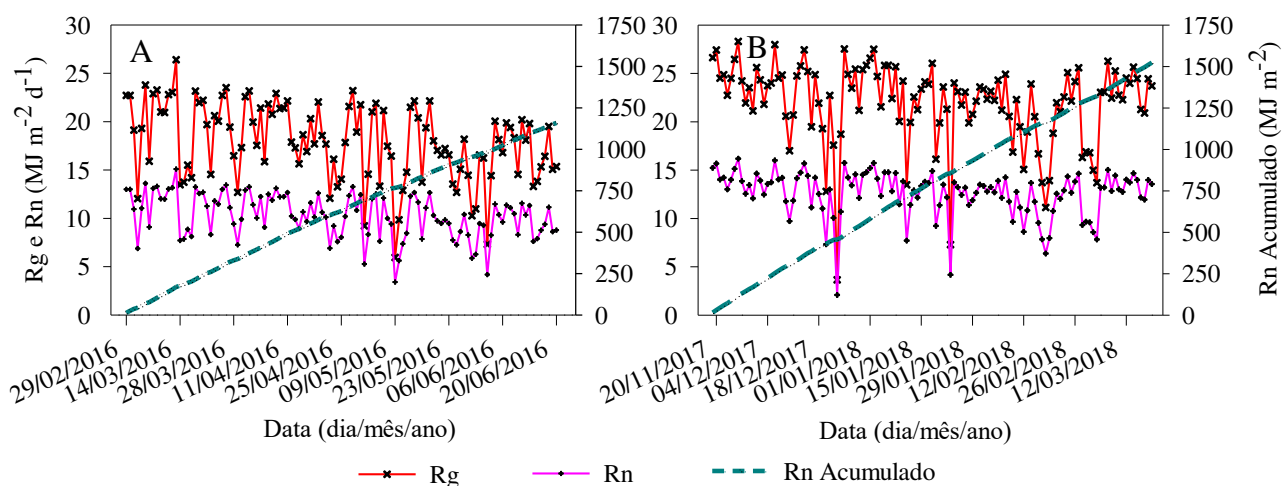
$$EUA = \frac{Pt}{W} \quad (11)$$

em que: Pt é a produtividade agrícola ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e W é a lâmina total de água utilizada (mm) .

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Variáveis meteorológicas e balanço de água no solo

A disponibilidade A radiação solar global (Rg) e o saldo de radiação (Rn) tiveram tendência de decréscimo no decorrer do primeiro ciclo de produção – fevereiro a junho de 2016 – (Figura 13A), uma vez que ocorreu nas estações de outono e inverno do Hemisfério Sul e, neste período, o ângulo de inclinação da Terra que provoca a declinação solar durante o movimento de translação faz com que haja menor intensidade de incidência de luz. Nesse período, a Rg variou de 6 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> (09/05/2016) a 26 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> (13/03/2016), com média de 18 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, em que os menores valores ocorreram justamente nos dias chuvosos e com nebulosidade. Na segunda época de cultivo (novembro/2017 a março/2018), a Rg apresentou maiores valores com oscilações durante todo o período, Por ter acontecido nas estações de primavera e verão, sendo os valores mínimo, máximo e médio iguais a 4 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> (23/12/2017, houve uma chuva intensa e muita nebulosidade), 28 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> (26/11/2017) e 22 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 13B).



**Figura 13.** Valores de radiação solar global (Rg), saldo de radiação (Rn) diário e acumulado durante cultivo de milho no período de fevereiro a junho de 2016 (A) e de novembro de 2017 a março de 2018 (B), na região de Rio Largo-AL.

De acordo com Santos *et al.* (2018), a radiação solar atua diretamente sobre o desenvolvimento e o crescimento das plantas, e indiretamente pelos efeitos no regime térmico de qualquer sistema terrestre. No caso do milho, a luz é um fator imprescindível, pois essa planta necessita de luminosidade para expressar sua alta eficiência de conversão de energia radiante em energia química. O aproveitamento da radiação por essa cultura indica o potencial da atividade fotossintética, que reflete diretamente na produtividade agrícola, uma vez que, por ser uma



gramínea tropical C4, possui elevada eficiência fotossintética e apresenta elevadas produtividades quando cultivada em ambientes favoráveis.

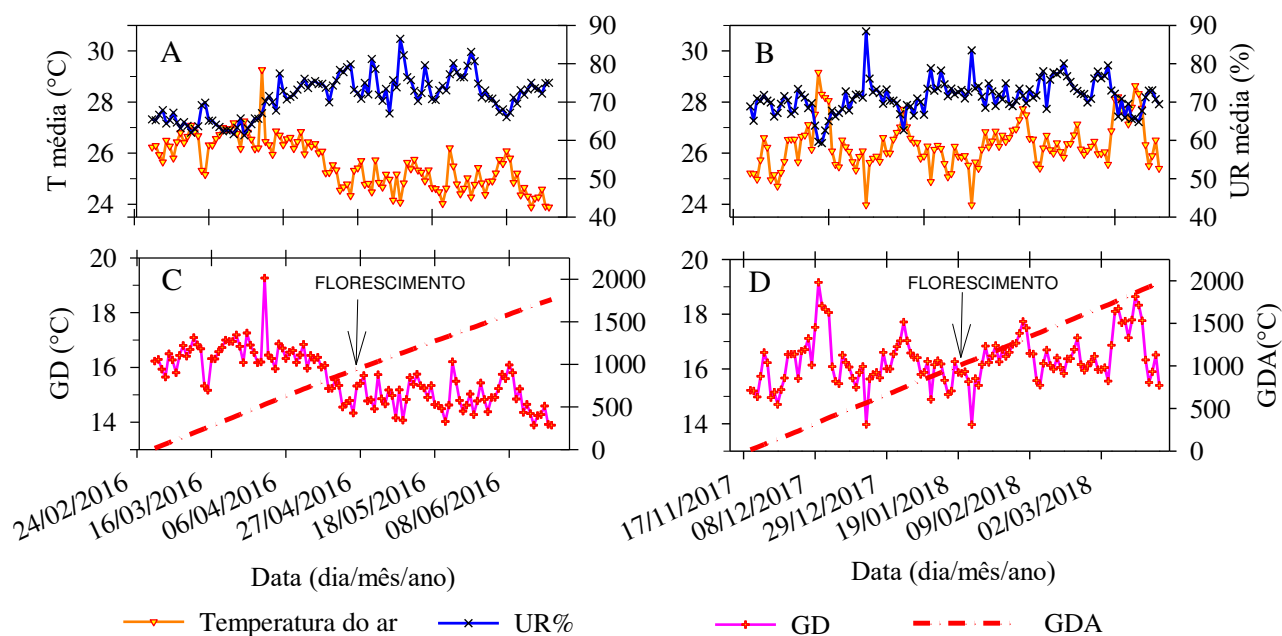
[Silva et al. \(2016\)](#), ao estudarem a cultura do milho em Sete Lagoas-MG, mediram radiação global mínima, máxima e média de 4,47, 32,26 e 17,58 MJ m<sup>-2</sup>, respectivamente, e rendimento de grãos igual a 7.209 kg ha<sup>-1</sup>, relatando que a amplitude nos valores ocorridos foi devido a alternância de dias com alta e baixa nebulosidade. [Pereira et al. \(2018\)](#) cultivaram híbridos de milho em várias épocas de semeadura e obtiveram produtividade máxima de 6.800 kg ha<sup>-1</sup>, e concluíram que a radiação solar limitou o rendimento da cultura.

De acordo com [Caron et al. \(2017\)](#), os elementos meteorológicos influenciam de forma diferenciada as características morfológicas e produtivas do milho. Assim, fica evidente a importância de se conhecer os híbridos e a melhor época para realizar a semeadura em cada região, a fim de que o crescimento e desenvolvimento das plantas ocorram em épocas nas quais as condições meteorológicas sejam favoráveis.

A energia captada e utilizada pela cultura, representada pela diferença entre a energia que entra e a energia que sai do sistema é chamada de saldo de radiação (Rn), o qual é destinado ao aquecimento do ar e das plantas (calor sensível), aquecimento do solo, evapotranspiração (LE, calor latente) e nos processos de sínteses biológicas (F). O Rn apresentou variações com comportamento semelhante ao da Rg, uma vez que o mesmo é dependente desse elemento meteorológico. Na época 1 o Rn teve valores mínimo, máximo e médio de 3, 15 e 10 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 13A). Porém, na época 2 o Rn variou de 2 a 16 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> e teve média de 12 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> (Figura 13B). O saldo acumulado durante todo o período de cultivo foi 1.159 e 1.523 MJ m<sup>-2</sup> nas épocas 1 e 2, respectivamente. De modo que na época 2 houve 31% a mais de energia disponível para a cultura.

Quando a superfície está bem umedecida, a maior parte da energia disponível é utilizada na evapotranspiração e o restante é utilizado no aquecimento das plantas, do ar e do solo. Conforme [Lima et al. \(2017\)](#), essas medidas de Rn em comunidades vegetais são importantes porque permitem avaliar as respostas dos ecossistemas às condições de energia local, através da partição nos fluxos de calor latente (LE), de calor sensível (H) e de calor no solo (G). Além disso, diversos processos importantes que ocorrem nos ecossistemas, como a fotossíntese e a produtividade, estão associados com os fluxos LE e H e os estudos desses fluxos possibilitam identificar interações existentes entre elas, além de informações sobre a quantidade de água perdida para a atmosfera pela evapotranspiração (ET). De acordo com estes mesmos autores, a disponibilidade de água no solo e a variação da precipitação pluvial controlam as variações sazonais dos fluxos de energia e da ET, bem como a partição do saldo de radiação nos fluxos de calor latente e sensível.

Em razão das diferenças na disponibilidade energética, também foram observadas oscilações na temperatura média do ar, que variou de 23 °C (15/06/2016) a 29 °C (31/03/2016), com média de 25 °C na primeira época de cultivo, reduzindo na medida em que adentrava na estação chuvosa (Figura 14A). Na segunda época de cultivo as temperaturas do ar mínima, máxima e média foram de 24 (23/01/2018), 29 (09/12/2017) e 26 °C (Figura 14B). Como discutido anteriormente, os menores valores de temperatura do ar também ocorreram nos dias com precipitação pluvial, quando a atmosfera esteve mais fria. Estes valores de temperatura do ar observados durante as duas épocas de cultivo estão dentro da faixa ideal para a cultura do milho, que é entre 21 e 30 °C (Muchow, 1990). Para Caron et al. (2017), a temperatura ideal para o crescimento e o desenvolvimento do milho da emergência à floração está compreendida entre 24 e 30°C, e temperaturas inferiores a 15,5 °C e superiores a 32 C° podem vir a comprometer o desenvolvimento e crescimento do milho.

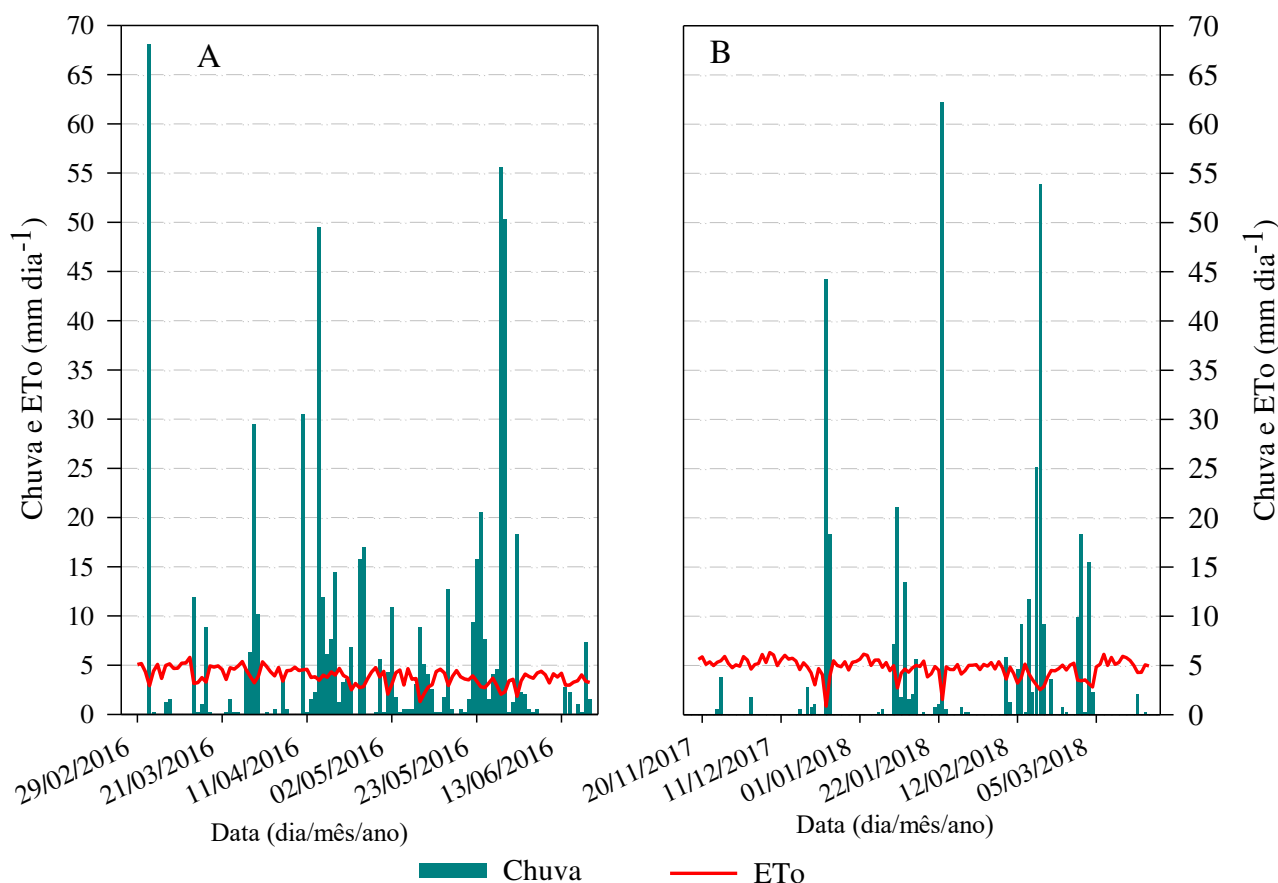


**Figura 14.** Valores diários de temperatura, umidade relativa do ar (UR%), graus-dia (GD) e graus-dia acumulados (GDA) durante cultivo de milho no período de fevereiro a junho de 2016 (A e C) e de novembro de 2017 a março de 2018 (B e D), na região de Rio Largo-AL.

Assim como a temperatura foi influenciada pela estação chuvosa na época 1, a umidade relativa média do ar também variou de 61 (26/03/2016) a 86% (09/05/2016), com média de 71% (Figura 14A). Na época 2, o ar teve umidade relativa média diária variando de 59 (10/12/2017) a 88% (23/12/2017), com média também de 71% durante todo o período de cultivo (Figura 14B). A época 1 teve 62 dias com UR% acima da média, enquanto a época 2 apresentou 63 dias, mostrando uma condição ambiental de cultivo na região não muito diferente por essa variável meteorológica.

Derivada da temperatura, a necessidade térmica da planta para atingir os estádios fenológicos e que é representada pelos graus-dia, variou de 13 a 19 °C e de 14 a 19°C, com total de 1.762 e 1.975 °C nas épocas 1 e 2, respectivamente (Figura 14C e D).

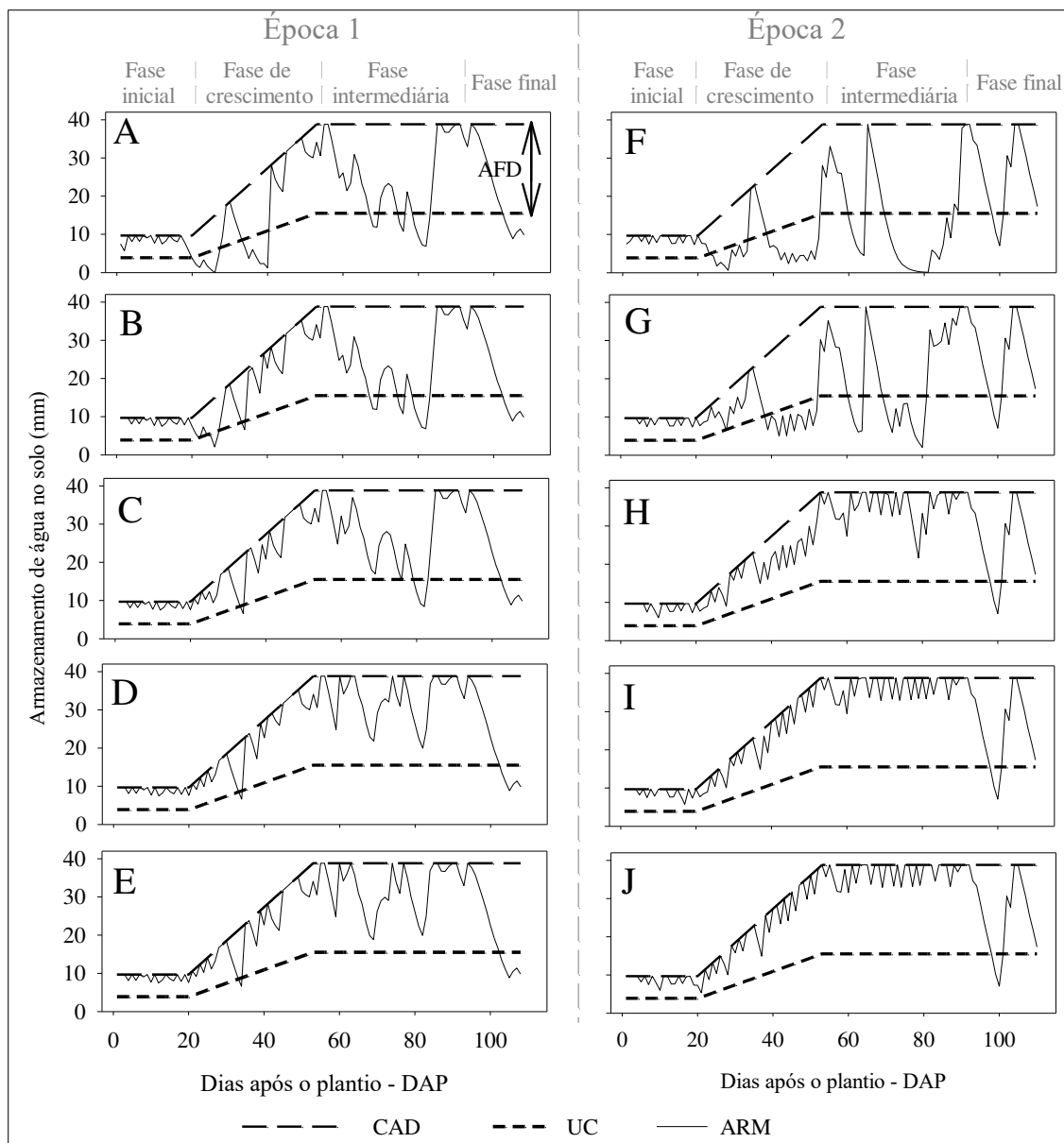
A demanda hídrica atmosférica, representada pela ETo, variou de 1,3 a 5,8 mm dia<sup>-1</sup>, com média de 3,9 mm dia<sup>-1</sup> na época 1 e de 0,8 a 6,3 mm dia<sup>-1</sup>, com média de 4,8 mm dia<sup>-1</sup> na época 2 (Figura 15A e B). A precipitação pluvial somou 599 e 369 mm nas épocas 1 e 2, respectivamente. Entretanto, a distribuição das chuvas se deu de forma irregular, evidenciando a necessidade de irrigação, que foi feita com as quantidades definidas pelos tratamentos.



**Figura 15.** Valores diários de chuva, evapotranspiração de referência (ETo) e lâminas de irrigação aplicadas (L1, L2, L3, L4 e L5) durante cultivo de milho no período de fevereiro a junho de 2016 (A) e de novembro de 2017 a março de 2018 (B), na região de Rio Largo-AL.

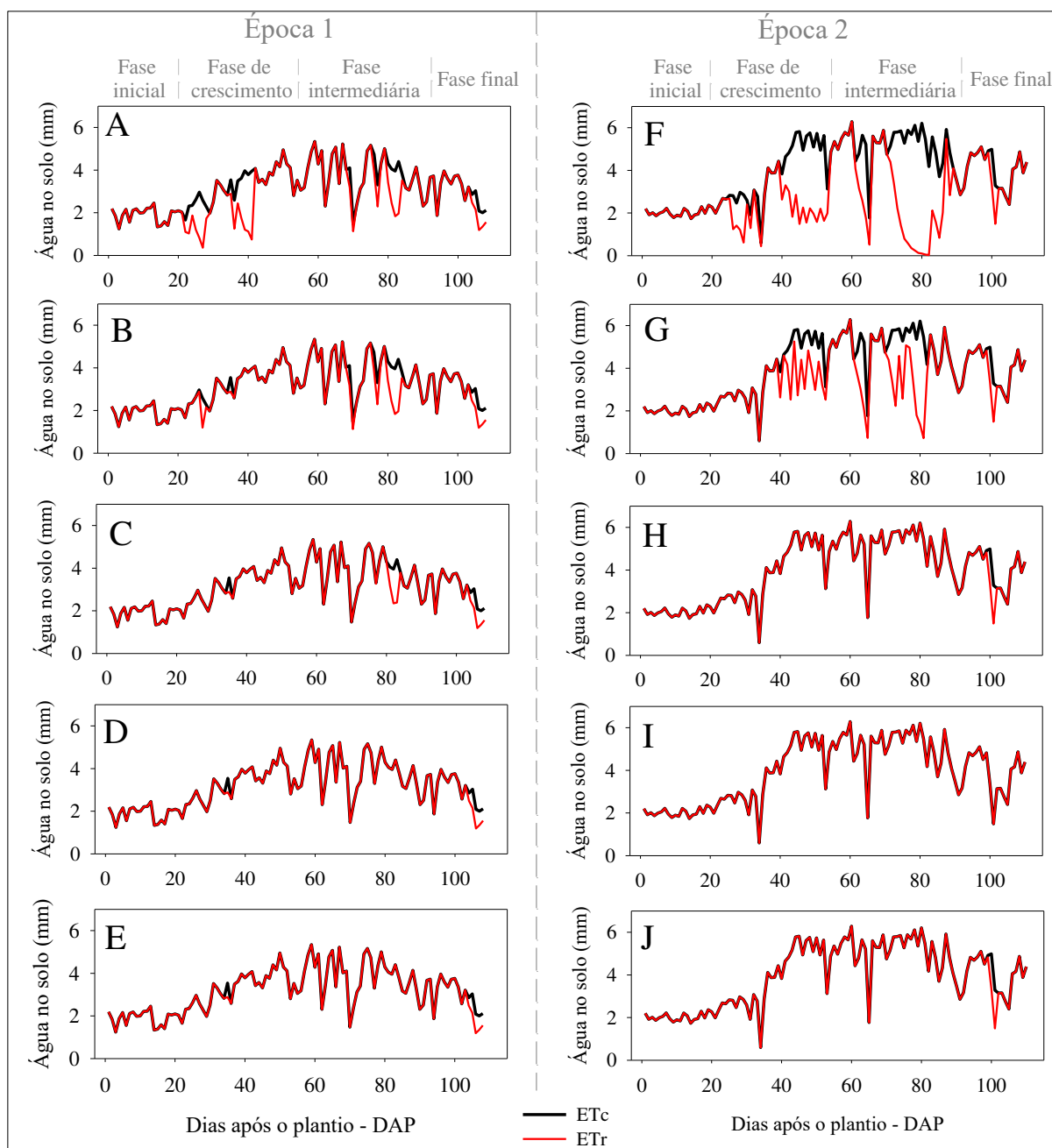
A estimativa da umidade do solo em função das entradas e saídas de água – balanço de água no solo – apresentada na Figura 16A e B mostra que no início do ciclo de cultivo todos os tratamentos permaneceram com o armazenamento de água no solo (ARM) próximo à capacidade de campo (limite máximo igual à CAD). Porém, a partir da fase de crescimento (21 DAP) observa-se redução no ARM 1 e 2, em que eventualmente algumas chuvas promoveram aumento no ARM desses tratamentos, elevando-os para a zona da água facilmente disponível (AFD), que é a linha da umidade crítica (UC), principalmente na época 1. Ao final do ciclo, todos os tratamentos tiveram

redução no armazenamento devido à suspensão da irrigação, uma vez que já estava no estágio R4 (grão farináceo) e a partir desse momento a produtividade não sofre mais influência por déficit hídrico.



**Figura 16.** Capacidade de água disponível (CAD), ponto de umidade crítica (UC) e armazenamento de água no solo (ARM) para diferentes tratamentos com irrigação durante cultivo de milho no período de fevereiro a junho de 2016 (A-L1, B-L2, C-L3, D-L4 e E-L5) e de novembro de 2017 a março de 2018 (F-L1, G-L2, H-L3, I-L4 e J-L5), na região de Rio Largo-AL.

A necessidade hídrica da planta ( $ET_c$ ) estimada através do ajuste dos coeficientes da cultura variou de 1,2 a 5,3  $mm\ dia^{-1}$  e de 0,6 a 6,3  $mm\ dia^{-1}$  nas épocas 1 e 2, respectivamente (Figura 17A e B). Na época 1, em função da grande quantidade de chuvas, não houve muita diferença de valores entre a  $ET_c$  e a  $ET_r$  dos tratamentos. Porém, é possível observar isto de forma mais intensa na  $ET_r$  dos tratamentos 1 e 2 da época 2.



**Figura 17.** Evapotranspiração da cultura (ETc) e evapotranspiração real da cultura (ETr) para diferentes tratamentos com irrigação durante cultivo de milho no período de fevereiro a junho de 2016 (A-L1, B-L2, C-L3, D-L4 e E-L5) e de novembro de 2017 a março de 2018 (F-L1, G-L2, H-L3, I-L4 e J-L5), na região de Rio Largo-AL.

Silva et al. (2016b) estimaram ETr total do milho entre 225 e 304 mm durante 4 épocas de cultivo em Rio Largo-AL, região da Zona da Mata Alagoana. Já Silva et al. (2018) observaram ETc total de 654 mm em cultivo de milho no período do verão, em Piranhas-AL, região semiárida do Nordeste brasileiro, em que os valores diários mínimo, máximo e médio foram iguais a 3,4, 8,5 e 6,7 mm dia<sup>-1</sup>. Souza et al. (2015) obtiveram valores de ETc média de 3,52 mm dia<sup>-1</sup>, enquanto Santos et al. (2014) observaram que a ETc apresentou uma variação de 1,94 a 5,68 mm dia<sup>-1</sup>,

totalizando no final do ciclo 300,54 mm. Esta diferença está em função da época e local do cultivo e com isso, observa-se que as condições edafoclimáticas influenciam as respostas fisiológicas da planta.

Na Tabela 5 constam os totais resultantes das estimativas de demanda e aplicação de água nos tratamentos de irrigação. A irrigação durante a fase inicial, realizada de forma a não causar déficit hídrico às plantas, variou entre 3 e 6 mm na época 1 e de 4 a 14 mm na época 2. A partir do início da fase de crescimento, quando as lâminas foram diferenciadas conforme os tratamentos, na época 1 a ocorrência de chuvas intensas dificultaram a aplicação e o controle da irrigação, de modo que os tratamentos L1, L2, L3, L4 e L5 foram irrigados com totais de 4, 43, 57, 123 e 160 mm, respectivamente. Na época 2 foi possível ter controle dos tratamentos e as lâminas por eventos de irrigação foram em média 3, 7, 11, 16 e 20 mm dia<sup>-1</sup> para L1, L2, L3, L4 e L5, respectivamente. Observa-se que nos dois ciclos de produção de milho com duração semelhante, houve diferença de 72 mm na ETc. Já a ETr, foi semelhante à ETc nos tratamentos L3, L4 e L5, um vez que nesses tratamentos a demanda hídrica foi atendida. Em relação à energia necessária para ocorrer a ETr em cada tratamento, observa-se que a fração do Rn equivalente ao calor latente variou de 65 a 74% na época 1 e de 48 a 75% na época 2, sendo o restante da energia destinado a outros processos como aquecimento do ar e do solo, fotossíntese etc.. Outro fator que pode contribuir para a ETr é o efeito do vento na superfície das folhas, o qual também promove o ressecamento e retirada de vapor d'água da câmara subestomática. Já dentro dos totais para o período de aplicação das lâminas diferenciadas, os percentuais dos tratamentos foram atendidos apenas na época 2, pois na época 1 a alta frequência de chuvas atrapalhou o controle das lâminas de irrigação. Porém, observa-se que na época 1 apenas a chuva já é suficiente para assegurar a produção, sendo desnecessário o uso de irrigação, uma vez que a chuva efetiva correspondeu a 96% da ETc. Na época 2, é necessário fazer uso da irrigação para complementar a chuva efetiva e garantir um bom suprimento hídrico que resulte numa produção satisfatória. No entanto, devido às oscilações meteorológicas anuais, torna-se impossível prever uma lâmina fixa a ser aplicada e, neste caso, deve-se realizar um planejamento de safra no qual os custos com irrigação contemplem toda a demanda hídrica que se pretende trabalhar na cultura.

**Tabela 5.** Valores totais de variáveis e índices analisados durante cultivo de milho no período de fevereiro a junho de 2016 (época 1) e de novembro de 2017 a março de 2018 (época 2), na região de Rio Largo-AL.

Época	Tratº (%ETc)	Valores totais de 1 DAP até o R4						Totais durante o período das lâminas diferenciadas						
		Duração (dias)	ETc (mm)	ETr (mm)	Calor latente -LE- (MJ m <sup>-2</sup> )	Rn acumulado (MJ m <sup>-2</sup> )	Relação LE/Rn	ETc	ETr	P	P efetiva	I	P efet + I	% da ETc realiza do
1	L1 (40%)	86	278	245	600	920	0,65	238	205	349	229	4	233	98%
	L2 (80%)			265	649	0,71	225	209	43	252	106%			
	L3 (120%)			273	669	0,73	233	202	57	259	109%			
	L4 (160%)			273	669	0,73	233	167	123	290	122%			
	L5 (200%)			277	679	0,74	237	172	160	332	139%			
2	L1 (40%)	88	350	224	549	1140	0,48	308	181	219	149	39	188	61%
	L2 (80%)			294	720	0,63	251	138	138	276	89%			
	L3 (120%)			350	858	0,75	308	65	316	381	124%			
	L4 (160%)			350	858	0,75	308	50	454	504	164%			
	L5 (200%)			350	858	0,75	308	46	585	631	205%			

## 5.2. Fenologia da cultura

A disponibilidade energética para a cultura, desde o plantio até à maturação fisiológica das plantas, variou entre as duas épocas de cultivo, somando 1.691 °C na época 1 e 1.806 °C na época 2 (Tabela 6). Entretanto, para a duração em dias de cada fase e também a duração total do ciclo, observa-se que houve uma uniformidade muito grande promovida pelo padrão genético da semente. Do plantio até o florescimento o acúmulo térmico foi de 898 °C (época 1) e 907 °C (época 2), assim, tanto na época 1 quanto na época 2, mesmo havendo níveis diferentes na disponibilidade de energia, a cultura se comportou como tardia, conforme a classificação de [Fancelli & Dourado Neto \(2000\)](#) que divide em super-precoces: 780 a 830 GDA; precoces: 831 a 890 GDA e tardias: 891 a 1.200 GDA. Essas informações são muito importantes para o planejamento de safra e para as tomadas de decisões em situações que requerem previsibilidade orçamentária e escolha do material genético apropriado.

**Tabela 6.** Duração (dias) e graus-dia acumulados-GDA (°C) entre os estádios do milho híbrido AG7088, durante cultivo no período de fevereiro a junho de 2016 (E1) e de novembro de 2017 a março de 2018 (E2), na região de Rio Largo-AL.

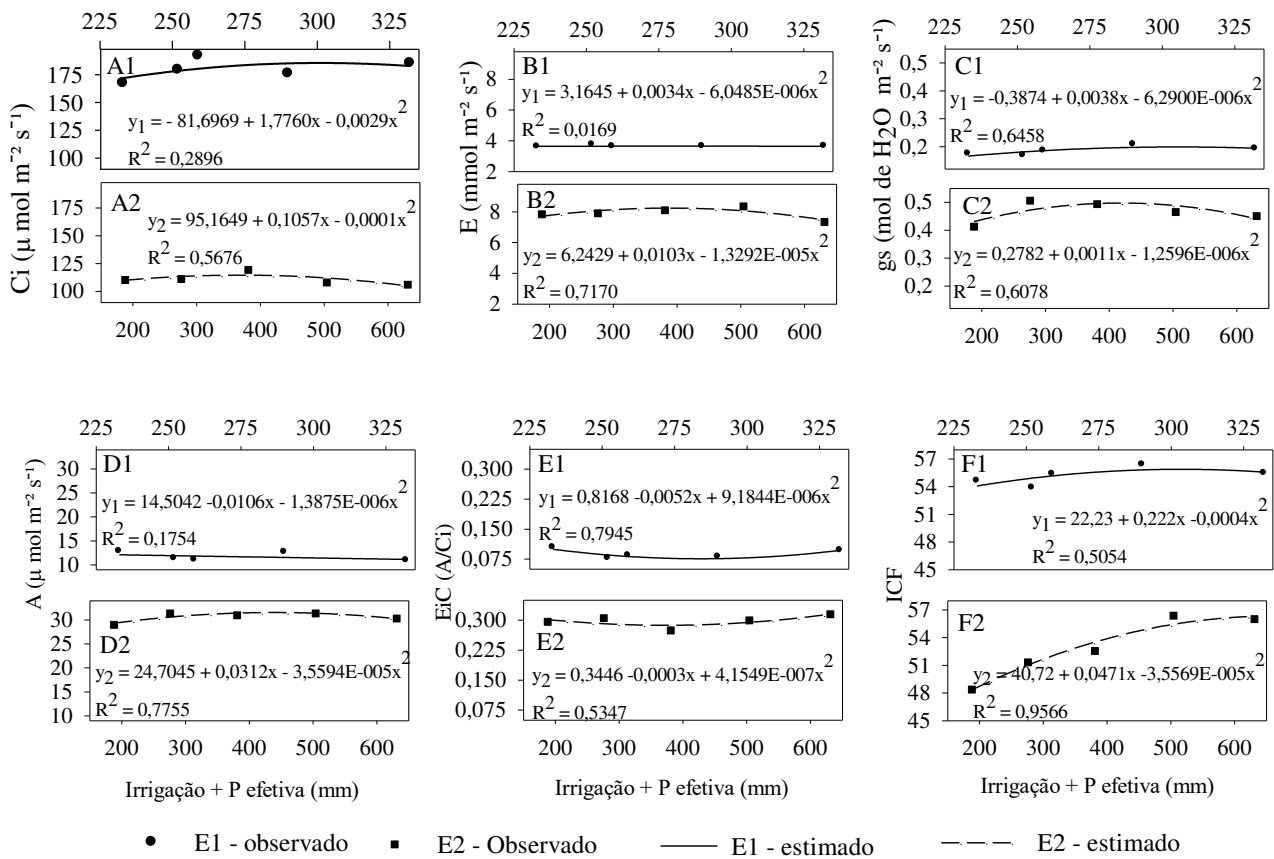
Fase fenológica	GDA/Duração (dias)	
	Época de cultivo	
	E1	E2
Plantio - Emergência	146/8	109/6
Emergência - Pendoamento	752/47	798/49
Pendoamento - R4	465/31	535/33
R4 - Maturação fisiológica	328/22	364/22
Plantio - Maturação fisiológica	1.691/108	1.806/110

Silva et al. (2016a) mediram acúmulo de graus-dia de 1.674 °C em um ciclo de milho de 120 dias entre os meses de outubro a fevereiro na região de Sete Lagoas-MG. Já Silva et al. (2016b) mediram o acúmulo térmico do plantio até o florescimento em quatro épocas de cultivo de milho na região de Rio Largo-AL e observaram valores de 922 °C (cultivo de maio a setembro), 888 °C (cultivo de junho a setembro), 875 °C (cultivo de junho a setembro) e 843 °C (cultivo de julho a outubro).

### 5.3. Avaliação fisiológica

A avaliação fisiológica realizada no florescimento das plantas não apresentou diferenças significativas para as variáveis analisadas em função das lâminas de irrigação e das doses de nitrogênio (Apêndice A), porém, é possível observar diferenças na magnitude das variáveis entre as épocas de cultivo (Figura 18 e 19). Observa-se na Figura 18 que, em função das lâminas de irrigação, os níveis de concentração interna de CO<sub>2</sub> foram em média 180 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> na época 1, enquanto na época 2 foi de 111 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. As médias de transpiração, condutância estomática, fotossíntese e eficiência instantânea da carboxilação da época 1 foram de 3,65 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, 0,18 mol de H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, 11,7 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> e 0,09, respectivamente. Na época 2 esta mesma sequência de variáveis teve valores de 7,91 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, 0,47 mol de H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, 30,6 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> e 0,30, respectivamente.





**Figura 18.** Ci - concentração interna de CO<sub>2</sub>, E - transpiração, gs - condutância estomática, A - fotossíntese líquida, EiC-eficiência instantânea da carboxilação e ICF-Índice de Clorofila Falker em função de lâminas de irrigação aplicadas em um híbrido de milho cultivado no período de fevereiro a junho de 2016 (A1, B1, C1, D1, E1 e F1) e de novembro de 2017 a março de 2018 (A2, B2, C2, D2, E2 e F2), na região de Rio Largo-AL.

Estas diferenças de magnitude podem ter ocorrido em função da variação de temperatura entre as épocas, pois, quando todos os fatores são constantes, o aumento da temperatura até 25-30 °C favorece a abertura estomática (aquece a folha e causa maior diferença de pressão de vapor - molécula do ar se expande ao se aquecer e se desloca, mantendo a diferença de potencial). Entretanto acima dessa temperatura, ocorre aumento na respiração (maior concentração de CO<sub>2</sub> interna) e a planta tende a fechar os estômatos (Taiz & Zeiger, 2013). Além disso, em função de maior Ci no mesófilo foliar há um breve aumento na taxa de fotossíntese com consequente diminuição da mesma, em que essa só irá aumentar quando a gs normalizar. Isso pode acontecer nas horas mais quentes do dia, pois é nessas horas com maior incidência de luz que a planta pode fazer mais fotossíntese, havendo então, um descompasso entre perda de água e captação de CO<sub>2</sub>. O milho, por ser uma planta C<sub>4</sub>, consegue reduzir a abertura de seus estômatos, visando equilibrar a perda de água por transpiração, uma vez que, neste sistema de metabolismo, ele consegue armazenar CO<sub>2</sub> durante a noite e nas horas mais amenas do dia, para depois utilizá-lo durante o dia

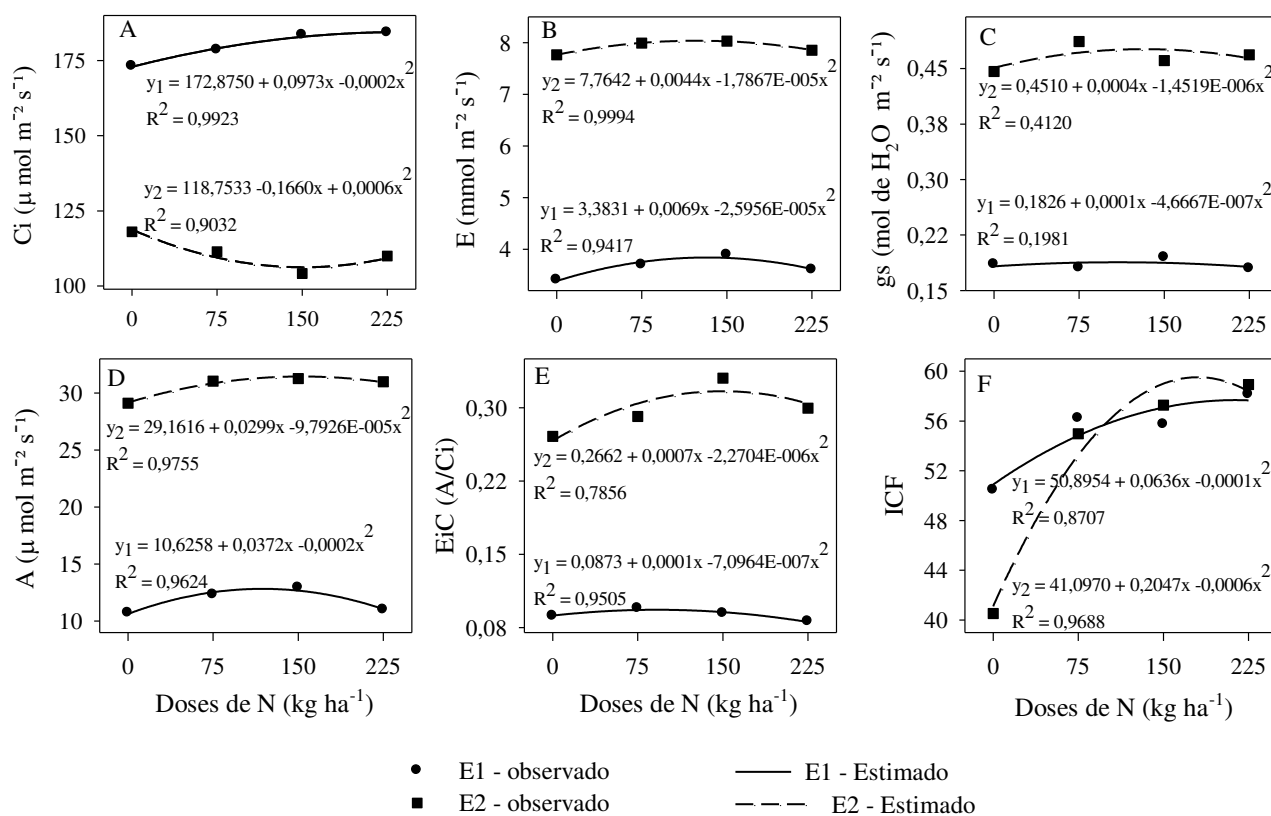
e nas horas de maior incidência de luz, permanecendo com seus estômatos fechados. Uma maior disponibilidade hídrica pode favorecer uma maior condutância estomática e levar a um maior resfriamento da folha (dossel) pela transpiração.

De acordo com [Tatagiba et al. \(2015\)](#), o principal fator da redução do desempenho fotossintético seria a condutância estomática, pois quanto maior a abertura estomática maior a difusão de CO<sub>2</sub> para a câmara subestomática. Esse processo causa reduções na fotossíntese e promove o decréscimo de acúmulo de biomassa pela planta.

O índice de clorofila Falker (ICF) teve valor médio de 55,1 na época 1 e apresentou um ajuste quadrático significativo na época 2 em função das lâminas aplicadas com R<sup>2</sup> de 95%, variando de 48,4 (L1) a 56,4 (L4) e evidenciando o efeito deletério do menor suprimento hídrico sobre a clorofila da planta. [Nascimento et al. \(2015\)](#) também encontraram variação no índice de clorofila (ICF) do milho de 42 para 65 em tratamentos irrigados com 25 e 125% da ETo, respectivamente.

A maior parte das variáveis fisiológicas também apresentou ajuste significativo em função das doses de nitrogênio nas duas épocas, em que se observa aumento até certo ponto seguido de decréscimo para Ci, E, A e EiC (Figura 19). O índice de clorofila (ICF) da época apresentou resposta significativa às doses de N, mas o da época 2 apresentou um alto grau de variação entre as doses mínimas e máximas, em que o tratamento com 225 kg ha<sup>-1</sup> promoveu aumento de 45% a mais no teor de clorofila do que o tratamento sem adubação nitrogenada.

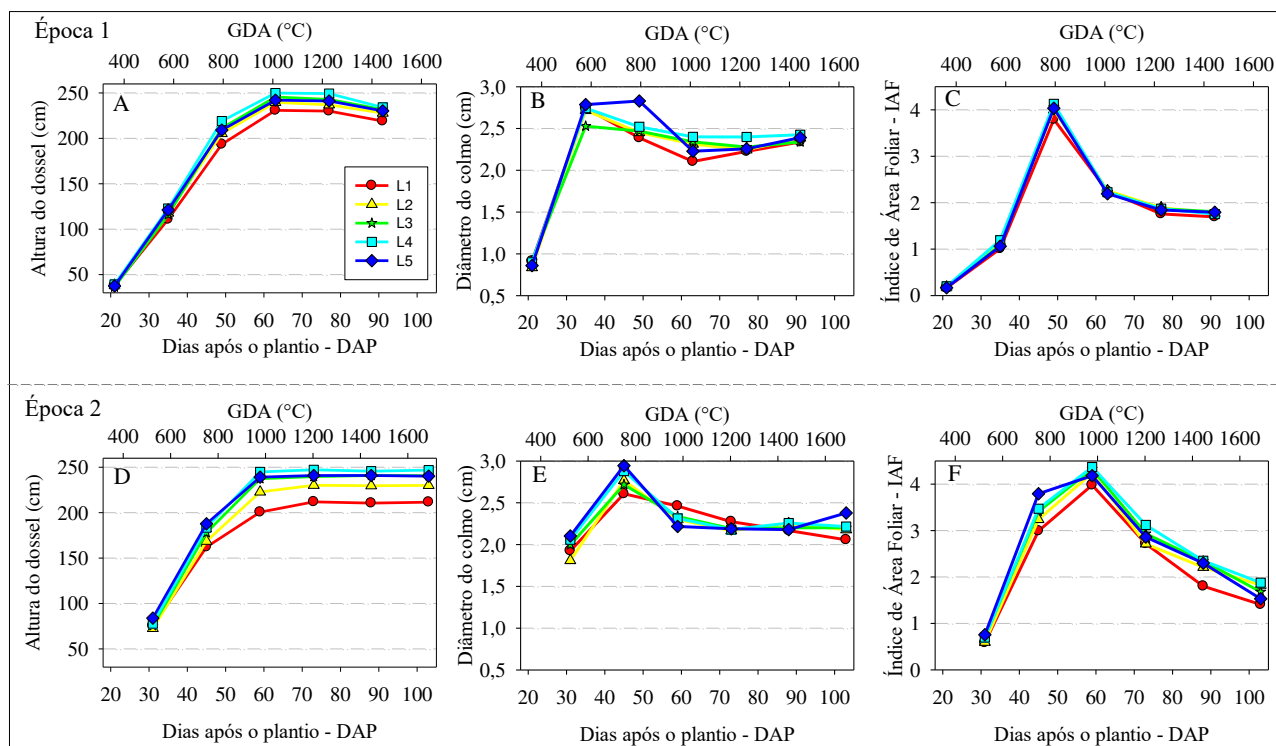
[Ashraf et al. \(2016\)](#) também submeteram a cultura do milho a diferentes doses de N e períodos de aplicação de água no Paquistão e observaram redução na transpiração e fotossíntese nos tratamentos menos irrigados e com menores doses de N.



**Figura 19.** Ci - concentração interna de CO<sub>2</sub> (A), E – transpiração (B), gs - condutância estomática (C), A - fotossíntese líquida (D), EiC-eficiência instantânea da carboxilação (E) e ICF-Índice de Clorofila Falker (F) em função de doses de nitrogênio aplicadas em um híbrido de milho cultivado no período de fevereiro a junho de 2016 (E1) e de novembro de 2017 a março de 2018 (E2), na região de Rio Largo-AL.

#### 5.4. Crescimento e teor de matéria seca do milho

A altura máxima das plantas foi observada na fase de floração tanto na época 1 quanto na época 2. Na época 1, a altura do dossel variou entre os tratamentos com irrigação de 231 (L1) a 250 cm (L4), com média de 242 cm (Figura 20A). Na época 2, a altura do dossel variou de 201 (L1) a 245 cm (L4), com média de 229 cm (Figura 20D). Esse menor crescimento das plantas submetidas às menores lâminas de irrigação pode estar relacionado à produção de ácido abscísico (ABA), uma vez que este é considerado um hormônio que retarda o crescimento vegetal e por isso aumenta em plantas estressadas por falta de água; quando sinalizado pela raiz, o ABA promove redução na taxa de transpiração da planta pelo fechamento estomático, influenciando a taxa de absorção de nutrientes e, conseqüentemente, a fisiologia e morfologia das plantas sob estresse hídrico (Taiz & Zeiger, 2013; Pimentel et al., 2016). Por outro lado, o excesso de nitrogênio faz com que a planta vegete e armazene menos carboidratos.



**Figura 20.** Altura do dossel, diâmetro do colmo e Índice de Área Foliar-IAF (C) do milho sob diferentes tratamentos com irrigação durante cultivo no período de fevereiro a junho de 2016 (A, B e C) e de novembro de 2017 a março de 2018 (D, E e F), na região de Rio Largo-AL.

Schlichting et al. (2014) avaliaram o desenvolvimento do milho submetido a diversas doses de nitrogênio e tensões de água no solo e observaram redução na altura da planta nos tratamentos com menores doses e também com doses excessivas de N. Para as tensões de água no solo, estes autores observaram redução linear no crescimento com o aumento do déficit hídrico. Silva et al. (2015b) mediram a altura de plantas de milho aos 60 DAP e observaram ajuste quadrático em função de lâminas de irrigação com e sem a utilização de cobertura morta no solo, em que a altura máxima das plantas foi de 1,66 m com 74,75% da ETo e 1,73 m com 58,82% da ETo respectivamente, reduzindo a partir destes valores.

Os valores máximos do diâmetro do colmo na época 1 foram observados no estágio vegetativo V10, mas não houve diferença significativa entre os tratamentos irrigados com diferentes quantidades de água (Apêndice B) devido ao efeito da chuva que interferiu no controle das lâminas, resultando em média de 2,7 cm (Figura 20B). Já na época 2, os diâmetros máximos foram observados no estágio V14 e houve diferença significativa entre os tratamentos, com mínimo de 2,6 (L1), máximo de 3,0 (L5) e média de 2,8 cm (Figura 20E).

Schlichting et al. (2014) verificaram redução do diâmetro de colmo nos tratamentos sem adubação nitrogenada e na dose de nitrogênio de 200 mg dm<sup>-3</sup>, constatando que tanto a ausência da

adubação nitrogenada como doses excessivas são prejudiciais à cultura. Além disso, estes autores observaram decréscimo no diâmetro do colmo de 11,18% (dose de N de 50 mg dm<sup>-3</sup>) e 19,77% (dose de N de 150 mg dm<sup>-3</sup>) para a menor (15 kPa) e maior (55 kPa) tensão de água no solo, respectivamente.

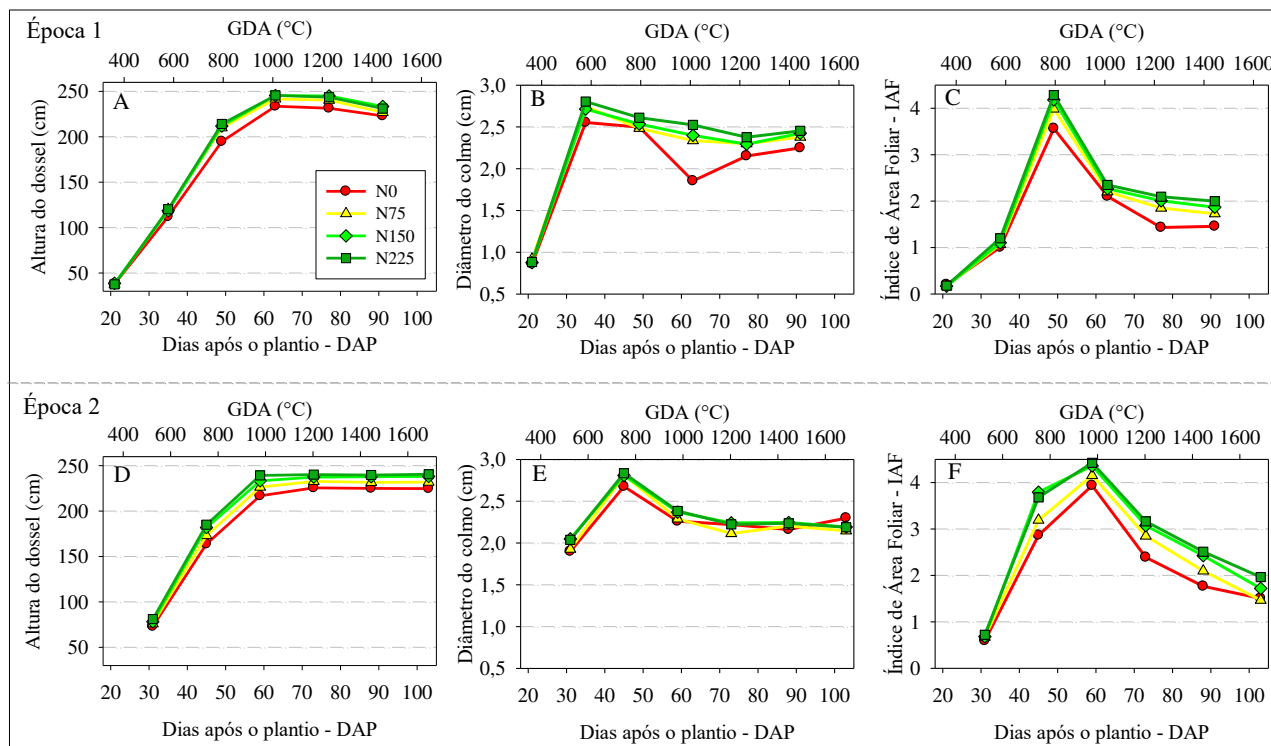
De acordo com [Fancelli & Dourado Neto \(2000\)](#), o crescimento do colmo das plantas de milho ocorre principalmente a partir da emissão da oitava folha, se prolongando até o florescimento, sendo que o colmo não somente atua como suporte de folhas e inflorescências, mas principalmente como estrutura destinada ao armazenamento de sólidos solúveis que serão utilizados na formação dos grãos. Assim, a redução do diâmetro do caule em função de menor disponibilidade hídrica no solo ocorre porque é encerrada uma partição menor de matéria seca no colmo. Conforme [Taiz & Zeiger \(2013\)](#), é provável que o crescimento do caule seja influenciado pelos mesmos princípios que governam a restrição do crescimento das folhas, diante do déficit hídrico.

As plantas das épocas 1 e 2 não tiveram índices de área foliar (IAF) diferentes estatisticamente entre os tratamentos de irrigação, com médias de 4,0 e 4,2, respectivamente, para o IAF máximo medido na fase de florescimento (Figura 20C e F). Porém, na época 2, observou-se que aos 45 DAP o tratamento L5 apresentou IAF 27% maior que L1.

Conforme [Taiz & Zeiger \(2013\)](#), em condições de estresse hídrico, a maioria dos vegetais busca alternativas para diminuir o consumo de água, reduzindo principalmente a transpiração e dentro das adaptações mais conhecidas, tem-se a redução da área foliar através da diminuição da quantidade de folhas e do tamanho das folhas individuais (expansão celular), visto que diminui a taxa de crescimento dos ramos. Quanto menor a expansão foliar, menor é a produção de assimilados pela fotossíntese que são fixados e armazenados, o que reflete na produção de biomassa. Com a redução da fotossíntese, verifica-se uma resposta importante na diminuição do crescimento, uma vez que poucos metabólicos são produzidos. Os produtos da fotossíntese são essenciais para nutrir e garantir a perpetuação da espécie e, não restando quantidades suficientes para serem armazenados, refletem no baixo crescimento vegetal.

Com relação à resposta da cultura aos diferentes níveis de adubação nitrogenada, verificou-se diferença significativa na altura máxima do dossel aos 63 DAP da época 1, com valores de 234 e 246 cm para os níveis de 0 e 225 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente (Figura 21A). Na época 2, aos 73 DAP as plantas do tratamento N0 atingiram 226 cm, enquanto as do N225 atingiram 240 cm (Figura 21D). O diâmetro máximo do colmo atingido pelas plantas na época 1 foi verificado aos 35 DAP e variou de 2,6 (N0) a 2,8 cm (N225) (Figura 21B). Já na época 2, o mesmo foi semelhante entre os tratamentos (Figura 21E). O IAF diferiu entre os tratamentos com doses de N em praticamente todo o ciclo de cultivo, com valores de IAF máximo atingido pelas plantas variaram de 3,6 (N0) a 4,3 (N225) (Figura 21C). Na época 2 também houve diferença significativa no IAF

entre os tratamentos durante todo o ciclo da cultura e o IAF máximo variou de 3,9 (N0) a 4,4 (N225) (Figura 21F).



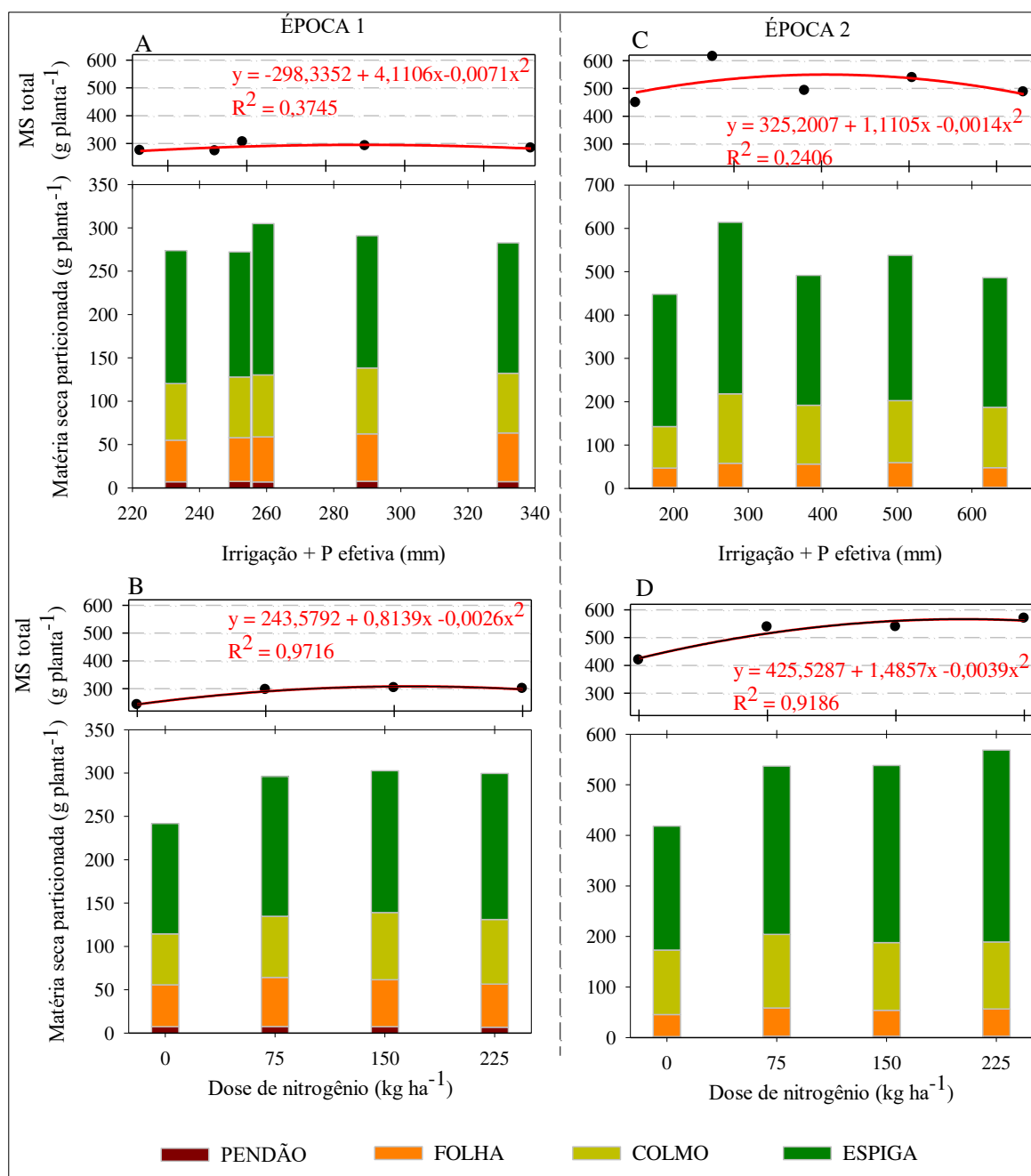
**Figura 21.** Altura do dossel, diâmetro do colmo e Índice de Área Foliar (IAF) do milho sob diferentes tratamentos com doses de nitrogênio durante cultivo no período de fevereiro a junho de 2016 (A, B e C) e de novembro de 2017 a março de 2018 (D, E e F), na região de Rio Largo-AL.

Pizolato Neto et al. (2016) avaliaram cinco cultivares de milho submetidos a doses de N e verificaram que a dose que proporcionou a máxima altura de planta está entre de 110 a 113 kg ha<sup>-1</sup>, sendo que os valores abaixo ou acima desses pode promover um declínio na altura. Fernandes et al. (2017) observaram que as doses de nitrogênio influenciaram significativamente a altura da planta e o diâmetro do colmo, e a altura das plantas teve aumento de 33 e 74% com doses de 47,8 e 239,1 kg ha<sup>-1</sup> em relação à testemunha (sem N), respectivamente. Ashraf et al. (2016) observaram aumento de 54% no IAF ao aumentarem a dose de N de 0 para 250 kg ha<sup>-1</sup> e melhorarem o manejo da irrigação, o que indica que o nitrogênio desencadeia a expansão e a divisão celular e, portanto, aumenta a taxa de acúmulo de biomassa, resultando em maior crescimento da planta.

O teor de matéria seca avaliado no período da maturação fisiológica não apresentou diferença significativa entre as lâminas de irrigação, mas teve resposta com ajuste quadrático em função da adubação nitrogenada (Figura 22). Além disso, também se observa que houve acúmulos diferentes de matéria seca entre as épocas, pois os valores médios observados na época 1 para a matéria seca da espiga, colmo, folha e pendão foram 155, 70, 52 e 7 g por planta, respectivamente,



totalizando 285 g planta<sup>-1</sup>. Enquanto na época 2, estas mesmas variáveis tiveram valores iguais a 327, 135, 51 e 3 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente, com total de 516 g planta<sup>-1</sup>. Estes valores particionados na espiga, colmo, folha e pendão equivalem a 54, 25, 18 e 7% do total acumulado na parte aérea durante a época 1, respectivamente, e na época 2 corresponde a 63, 26, 10 e 0,5% do total, respectivamente.



**Figura 22.** Teor de matéria seca da espiga, colmo, folha, pendão e total (g planta<sup>-1</sup>) no estágio R5 do milho sob diferentes tratamentos com lâminas de irrigação (A e C) e doses de nitrogênio (B e D), durante cultivo no período de fevereiro a junho de 2016 (A e B) e de novembro de 2017 a março de 2018 (C e D), na região de Rio Largo-AL.

Observa-se que na segunda época de cultivo todas as variáveis apresentaram maior acúmulo de matéria seca, com exceção do pendão, que foi menor. Conforme [Paterniani \(1981\)](#), estruturas apicais normalmente têm prioridade na utilização dos recursos disponíveis para o crescimento dos vegetais, especialmente de água, nutrientes e fotoassimilados. Por esse motivo, o pendão, que possui uma posição apical, tende a controlar o desenvolvimento de outros órgãos da planta de milho.

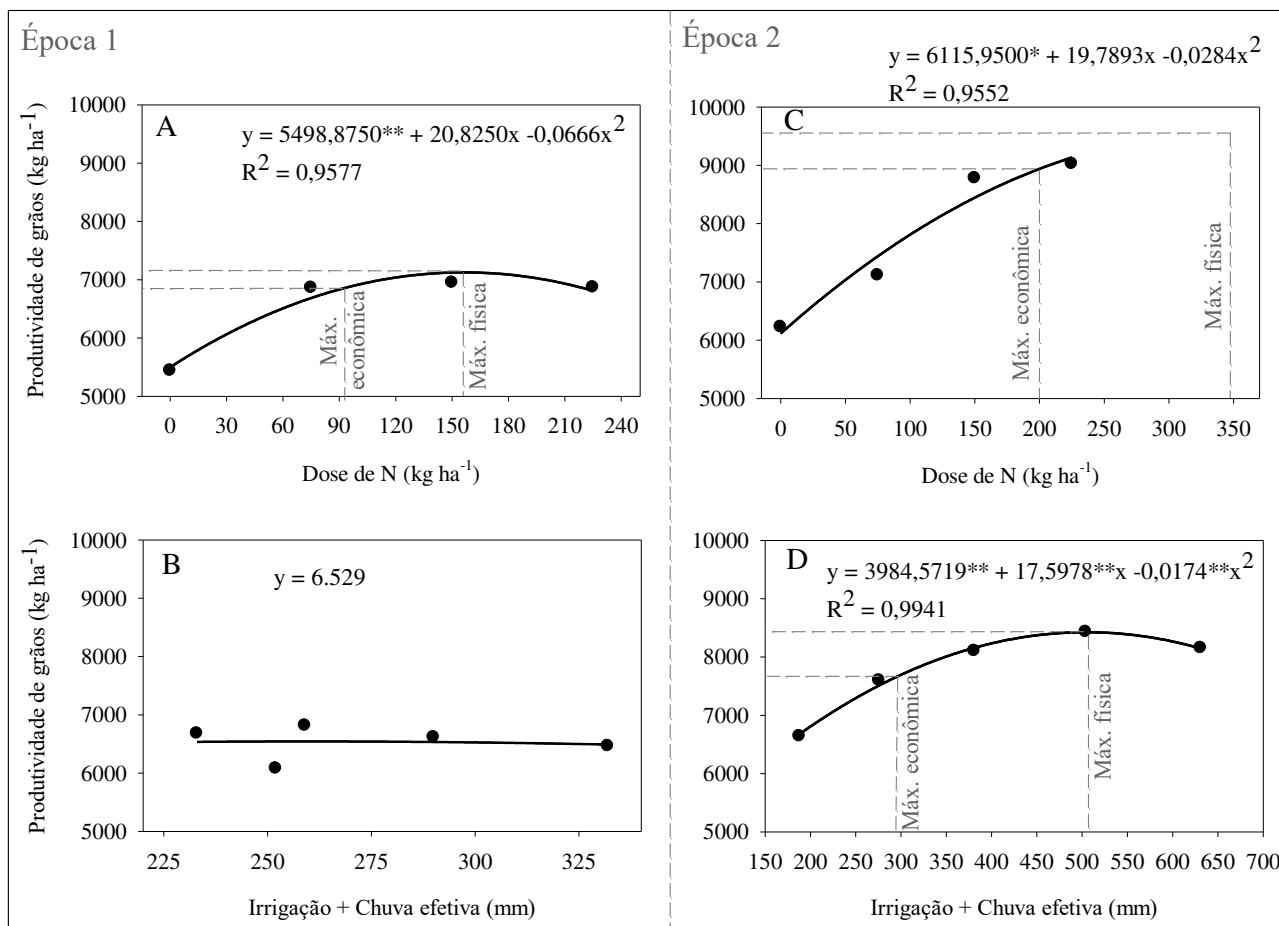
Em relação à massa seca do caule, o colmo da planta de milho funciona como um tanque de reservas de carboidratos, que se acumula no período vegetativo e depois são transportados para os órgãos reprodutivos quando necessário. Assim, na fase de maturação fisiológica, estas reservas já foram utilizadas e o colmo pode não apresentar um alto teor de massa seca. [Fernandes et al. \(2017\)](#) observaram que a fitomassa dos colmos de milho aumentou linearmente em função da aplicação das doses de nitrogênio, em que o N promoveu aumento de 115% em relação à testemunha. No caso da fitomassa da parte aérea, as doses de N também promoveram um incremento linear médio de 2,7 g por planta por unidade de N ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) aplicado ao solo e na faixa das doses empregadas (de 47,8 a 239,1  $\text{kg ha}^{-1}$ ) o N promoveu aumento de 102%.

### **5.5. Análise econômica e eficiência no uso da água**

A produtividade de grãos em função das doses de nitrogênio diferiu estatisticamente e apresentou ajuste quadrático nas duas épocas de cultivo, enquanto para as lâminas de irrigação houve diferença significativa apenas na segunda época (Figura 23). Entre as doses de nitrogênio, a produtividade de grãos variou de 5.441 (N0) a 6.950  $\text{kg ha}^{-1}$  (N150) na época 1, com diferença de 28% em relação à N0, enquanto na segunda época o rendimento de grãos esteve entre 6.226 (N0) e 9.023  $\text{kg ha}^{-1}$  (N225), sendo a diferença equivalente a 45% de N0. Para as lâminas de irrigação da época 2, a produtividade variou de 6.641 a 8.153  $\text{kg ha}^{-1}$ , em que a diferença entre ambos foi de 23% em relação ao menor tratamento.

O ajuste da função de produção para as doses de N na época 2 não apresentou ponto de máximo seguido de decréscimo no intervalo estudado neste trabalho, mas o estudo da função de segundo grau se tornou confiável devido ao comportamento de menores acréscimos (tendência de decréscimo) de produtividade próximo ao valor obtido com a máxima dose aplicada. Conforme [Silva et al. \(2018\)](#), a função de segundo grau representa bem a resposta de uma cultura agrícola a insumos na parte ascendente da curva, mas na região estacionária ou decrescente representa mal, pois, normalmente, os acréscimos na produtividade da cultura são grandes próximo ao nível 0 (zero) do insumo, mas, ao passar pelo retorno máximo, a produtividade decresce lentamente, o que não

ocorre com a função de segundo grau. Além disto, pode ocorrer que o ponto de máximo retorno físico estimado pela equação esteja além do nível máximo de insumo usado no experimento, caracterizando extrapolação, a qual não é recomendável utilizar; neste caso, deve-se estudar a função de produção dentro dos intervalos do ensaio, pois a produtividade máxima geralmente é mal determinada e nem sempre é possível se obter, sendo mais importante a obtenção da receita líquida máxima relativa ao insumo em estudo.



**Figura 23.** Produtividade de grãos na fase de maturação fisiológica do milho em função de doses de nitrogênio (A e C) e lâminas de irrigação (B e D), em cultivos no período de fevereiro a junho de 2016 (A e B) e de novembro de 2017 a março de 2018 (C e D), na região de Rio Largo-AL.

Para a época 1, a produtividade física máxima da cultura estimada pela função de produção foi de 7.127 kg ha<sup>-1</sup> obtida com dose de N de 156 kg ha<sup>-1</sup> e na época 2, o máximo rendimento físico seria de 9.563 kg ha<sup>-1</sup> (com dose de N de 348 kg ha<sup>-1</sup>). Em relação à irrigação, na época 1 não houve diferença entre as lâminas, mas na época 2 a produtividade física máxima foi de 8.434 kg ha<sup>-1</sup> de grãos para uma lâmina de 506 mm (164% da ETc). Para produtividades acima desses valores, ou seja, com a cultura em condições ótimas de disponibilidade de nitrogênio e umidade no solo, é preciso recorrer a outras práticas agrícolas como adubação com outros nutrientes, controle de pragas e doenças, além de outros.

Observa-se que a produtividade máxima foi atingida com lâmina superior à ETc, o que a princípio não faz sentido, uma vez que esta representa a demanda hídrica máxima da cultura. Entretanto, a absorção de água pela planta é regulada pelo seu mecanismo de transpiração, o qual possui uma maior velocidade do que a taxa de absorção pela raiz e condução no xilema (Taiz & Zeiger, 2013). Assim, o fato de que a aplicação de uma lâmina de irrigação maior que a demanda transpirométrica promove maior resposta em produtividade se dá porque a taxa de transpiração é limitada pelo potencial hídrico atmosférico ou pela umidade relativa do ar e atinge maiores valores quando há máxima abertura estomática, o que também favorece maior entrada de CO<sub>2</sub> e, conseqüentemente, maior produção de fotoassimilados para a formação e enchimento de grãos, desde que haja uma maior disponibilidade de água no solo para manter a condutância estomática sempre no máximo.

Pizolato Neto et al. (2016) observaram que a dose de 140 kg ha<sup>-1</sup> de N proporcionou uma produtividade de 6.065 kg ha<sup>-1</sup>, o que correspondente a um acréscimo de 32% em relação ao tratamento com 35 kg ha<sup>-1</sup> de N. Para Fernandes et al. (2017) a produtividade máxima do milho foi de 4.438 kg ha<sup>-1</sup>, obtida com base dose de nitrogênio de 187 kg ha<sup>-1</sup> parcelada três vezes. Ashraf et al. (2016) observaram aumento no rendimento de grãos de 4,2 para 10,1 t ha<sup>-1</sup> ao aumentarem a dose de N de 0 para 250 kg ha<sup>-1</sup> e melhorarem o manejo da irrigação. Silva et al. (2016b) mediram a produtividade do milho em quatro épocas de cultivo na região de Rio Largo-AL e após verificarem resposta com ajuste significativo às doses de N, encontraram valores máximos de rendimento de grãos estimados em 9.543, 9.494, 8.107 e 7.111 kg ha<sup>-1</sup>, obtidos com doses de N de 209, 187, 275 e 86 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Souza et al. (2016) observaram que para o cultivo de inverno-primavera, a lâmina de irrigação que maximizou o peso de espiga foi de 87,8% da ETc, enquanto para o verão-outono a lâmina de irrigação que maximizou o peso de espiga foi de 80,5% da ETc. Silva et al. (2018) cultivaram milho em Piranhas-AL (região semiárida) e obtiveram lâmina máxima de irrigação igual a 919 mm (175% da ETc) para uma produtividade de 11,3 Mg ha<sup>-1</sup>. Souza et al. (2011) cultivaram milho na região de Petrolina-PE e verificaram resposta linear no intervalo de lâminas testadas, em que a máxima produtividade (3.860 kg ha<sup>-1</sup>) foi atingida com lâmina de 499 mm (125% da ETc).

A produtividade agrícola de máxima eficiência econômica com o preço da saca de milho igual a R\$ 32,00 e o custo do N igual a 4,49 R\$ kg<sup>-1</sup>, foi de 6.861 kg ha<sup>-1</sup> na época 1, obtida com dose de N de 93 kg ha<sup>-1</sup> e em relação à irrigação, não houve diferença entre as lâminas. Na época 2, para o mesmo preço do milho e do nitrogênio, o máximo rendimento econômico foi de 8.940 kg ha<sup>-1</sup> (com dose de N de 200 kg ha<sup>-1</sup>), enquanto para o custo da irrigação igual a 3,89 R\$ mm<sup>-1</sup>, a produtividade máxima econômica foi de 7.669 kg ha<sup>-1</sup> para uma lâmina de 296 mm (96% da ETc).

[Silva et al. \(2016b\)](#), para quatro épocas de cultivo na região de Rio Largo-AL, obtiveram produtividades de máxima eficiência econômica iguais a 9.149, 9.026, 7.269 e 6.605 kg ha<sup>-1</sup>, obtidos com 138, 139, 158 e 17 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente, com o preço da saca de milho de R\$ 15,00. Para o preço médio da saca de milho de R\$ 30,00, a produtividade de máxima eficiência econômica foi 9.413, 9.408, 7.897 e 6.885 kg ha<sup>-1</sup>, obtida com 174, 163, 215 e 52 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente. Com o preço da saca de milho igual a R\$ 45,00, a dose máxima econômica foi 186, 171, 234 e 63 kg ha<sup>-1</sup> de N, gerando rendimento de grãos de 9.485, 9.456, 8.014 e 7.055 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

[Silva et al. \(2018\)](#) realizaram análise econômica do milho irrigado na região de Piranhas-AL e encontraram lâmina máxima econômica igual a 841 mm (160% da ETc) para uma produtividade de 11,21 Mg ha<sup>-1</sup>. De forma geral, a lâmina máxima econômica é um pouco menor que a lâmina de máxima produtividade física, variando em função do preço do produto e do custo com o insumo.

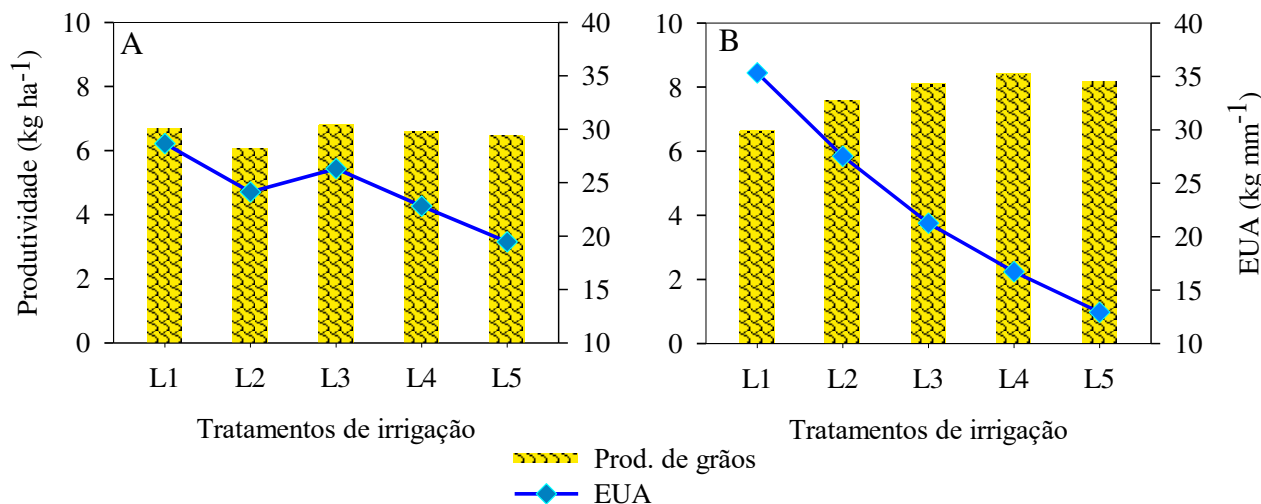
Conforme [Martins et al. \(2016\)](#), a viabilidade econômica da irrigação deficitária por gotejamento é dependente do custo fixo de aquisição das linhas laterais, do espaçamento entre as linhas de gotejamento e do preço de comercialização do milho, em que os custos da tubulação lateral representam aproximadamente 45% do custo total de um sistema de irrigação para a cultura do milho. Assim, o aumento no espaçamento entre linhas laterais de tubos gotejadores é o fator mais importante para reduzir os elevados custos da irrigação por gotejamento. [Couto et al. \(2013\)](#), testando espaçamentos entre linhas de irrigação de 1,10 m e 1,65 m para a cultura do milho, cultivada em espaçamento entre linha de 0,55 m não encontraram diferenças significativas na produtividade e recomendam a utilização de um espaçamento de 1,65 m por ser mais econômico.

Outra opção é o uso de uma linha lateral de gotejamento para duas linhas de cultivo. [Henggeler \(1995\)](#) relata que linhas de gotejamento com um espaçamento de 1 m aumentam o custo do sistema em aproximadamente 40% quando comparado ao espaçamento de 2 m. Além disso, quanto maior a área de cultivo utilizada nos projetos de irrigação por gotejamento, menores são os custos por hectare.

O cálculo dos custos de insumos na agricultura para se ter o máximo retorno de capital envolve diversos fatores que nem sempre podem ser controlados, principalmente quando se trata de fatores ambientais. Portanto, trabalhos como este servem como base em decisões administrativas, desde que as condições sejam semelhantes às do local onde foi realizada a pesquisa. Além disto, questões econômicas, como preços de insumos e *commodities* agrícolas, estão sujeitas a alterações diárias, ficando a critério de o administrador buscar a melhor solução e escolher a alternativa mais compensatória para o uso de determinado insumo.

Em relação à eficiência no uso da água (EUA) pelo milho, observa-se que na época 1, mesmo que a cultura não tenha apresentado diferença significativa na produtividade, a eficiência

diminuiu na medida em que se aumentou a lâmina de irrigação, uma vez que este fator entra como denominador desta relação. Assim, nessa época a EUA reduziu de 28,7 para 19,5 kg de grãos por milímetro de água consumido em L1 e L5, respectivamente (Figura 24A). Já na época 2, a EUA foi influenciada pelo aumento da produtividade e também da lâmina de água, em que reduziu de 35,3 para 12,9 kg mm<sup>-1</sup> de L1 para L5, respectivamente (Figura 24B). A EUA média foi de 24,3 e 22,8 kg mm<sup>-1</sup> nas épocas 1 e 2, respectivamente, porém, as respectivas produtividades médias destas épocas foram iguais a 6.530 e 7.784 kg ha<sup>-1</sup>. Essa menor EUA da época 2 é devido, principalmente, às lâminas excessivas aplicadas nos tratamentos.



**Figura 24.** Eficiência no uso da água (EUA) e produtividade de grãos do milho para tratamentos com diferentes lâminas de irrigação (L1, L2, L3, L4 e L5), em cultivos no período de fevereiro a junho de 2016 (A) e de novembro de 2017 a março de 2018 (B), na região de Rio Largo-AL.

Esta variável é muito importante para o irrigante usar como medida de referência no planejamento de safra e nas tomadas de decisões, uma vez que determina o rendimento unitário em função da magnitude da lâmina hídrica que se deseja aplicar. [Ashraf et al. \(2016\)](#) observaram EUA entre 10,29 e 15,46 kg mm<sup>-1</sup> ao melhorarem o manejo da irrigação. [Souza et al. \(2011\)](#) verificaram EUA na ordem de 46 a 77 kg m<sup>-3</sup> para milho irrigado na região de Petrolina-PE. [Silva et al. \(2018\)](#) em um cultivo de milho em Piranhas-AL, observaram que a EUA na forma de consumo diminuiu de 181,8 para 55,3 mm Mg<sup>-1</sup> nos tratamentos com 40 e 160% da ETc, respectivamente, indicando que quando a irrigação se aproxima das condições de cultivos sem deficiências hídricas a EUA é mais baixa.



## 6. CONCLUSÕES

- O cultivo do milho no período de outono-inverno apresenta uma menor necessidade hídrica e promove menor produtividade de grãos do que no período de primavera-verão devido ao efeito da menor radiação solar e temperatura do ar sobre a cultura;
- As plantas de milho respondem fisiologicamente melhor à aplicação de água e nitrogênio quando cultivadas na estação seca, com maiores valores de abertura estomática e maior transpiração, aliadas a maiores taxas fotossintéticas;
- As épocas de cultivo, assim como as lâminas de irrigação, pouco interferem nas variáveis de crescimento da planta, ao contrário das doses de nitrogênio;
- A produtividade máxima de grãos de milho cultivado nas estações chuvosa e seca pode ser obtida com doses de nitrogênio iguais a 156 kg ha<sup>-1</sup> e acima dos 225 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Na estação seca, o rendimento máximo pode ser obtido com lâmina de irrigação equivalente a 164% da ETc;
- A depender dos preços dos insumos e de venda do grão, a dose de nitrogênio de máxima eficiência econômica para a estação chuvosa é da ordem de 93 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto para o período seco é 200 kg ha<sup>-1</sup>; para o cultivo no período seco, a lâmina de irrigação máxima econômica corresponde a 96% da ETc.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABENDROTH, L. J.; ELMORE, R. W.; BOYER, M. J.; MARLAY, S. K. **Corn Growth and Development**. PMR 1009. Ames Iowa: Iowa State University, 2011. 50p.

AGUIAR, J. V. **A função de produção na agricultura irrigada**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2005. 196p.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; SMITH, M.; RAES, D.; WRIGHT, J. L. FAO-56 Dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.131, p.1-13, 2005.

ALLEN, R. A.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements**. Roma: FAO, 1998. 328p. (Irrigation and drainage paper, 56).

ALVES, D. R. B.; FRIZZONE, J. A.; DOURADO NETO, D. Repartição da lâmina de irrigação, aplicada via pivô central, na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, p.67-70, 2001.

AMANULAH; MARWAT, K. B.; SHAH, P.; MAULA, N.; ARIFULLAH, S. Nitrogen levels and its time of application influence leaf area, height and biomass of maize planted at low and high density. **Pakistan Journal of Botany**, v.41, p.761-768, 2009.

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.

AMARANTE, C. V. T.; STEFFENS, C. A.; SANGOI, L.; ZANARDI, O. Z.; MIQUELOTO, A.; SCHWEITZER, C. Quantificação de clorofilas em folhas de milho através de métodos ópticos não destrutivos. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.9, n.1, p.39-50, 2010.

ANDRADE, C. L. T.; BRITO, R. A. L. Irrigação. **Embrapa Milho e Sorgo**. Sistema de Produção 1. Versão eletrônica, 6ª edição. ISSN 1679-012X, Set. 2010.

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

ASHRAF, U.; SALIM, M. N.; SHER, A.; SABIR, S.; KHAN, A.; PAN, S.; TANG, X. Maize growth, yield formation and water-nitrogen usage in response to varied irrigation and nitrogen supply under semi-arid climate. **Turkish Journal of Field Crop**, v.21, n.1, p.87-95, 2016.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; BIANCHI, C. A. M.; MÜLLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.831-839, 2004.

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

BERNARDES, M. S. Fotossíntese no dossel das plantas cultivadas. In: CASTRO, P. R. C. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: POTAFOS, 1987. p.13-48.

BOAS, R. C. V.; PEREIRA, G. M.; REIS, R. P.; LIMA JUNIOR, J. A.; CONSONI, R. Viabilidade econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura da cebola. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.4, p.781-788, 2011.

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. **BioscienceJournal**, Uberlândia, v.29, n.5, p.1244-1254, 2013.

CARDOSO, M. J.; SILVA, A. R. da; GUIMARÃES, L. J. M.; PARENTONI, S. N.; SETUBAL, J. W. Produtividade de espiga verde de milho sob diferentes níveis de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v.28, n.2, p.S3786- S3789, 2010.

CARON, B. O.; OLIVEIRA, D. M.; ELLI, E. F.; ELOY, E.; SCHWERZ, F.; SOUZA, V. Q. Elementos meteorológicos sobre características morfológicas e produtivas do milho em diferentes épocas de semeadura. **Científica**, Jaboticabal, v.45, n.2, p.105-114, 2017.

CARVALHO, A. L.; SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; SILVA, E. C. Estação chuvosa e de cultivo para a região de Rio Largo, Alagoas baseada em métodos diretos e sua relação com o El Niño – Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v.28, n.2, p.192-198, 2013.

CARVALHO, O. M: **Classificação e caracterização físico-hídrica de solos de Rio Largo, cultivados com cana-de-açúcar**. 2003. 74p. (Dissertação mestrado em agronomia) – Rio Largo: Universidade Federal de Alagoas, 2003.

COELHO, A. M. **Manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. (Circular técnica, 96).

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO-CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2017/18**. Décimo segundo levantamento, Brasília: CONAB, setembro, 2018. 148p.

COUTO, A.; RUIZ PADÍN, A.; REINOSO, B. Comparative yield and water use efficiency of two maize hybrids differing in maturity under solid set sprinkler and two different lateral spacing drip irrigation systems in León, Spain. **Agricultural Water Management**, v.124, p.77-84, 2013.

DANTAS, D. F. S.; OLIVEIRA, A. P.; BANDEIRA, N. V. S.; PINHEIRO, S. M. G.; DANTAS, T. A. G.; SILVA, O. P. R. Produtividade de espigas e grãos verde de milho adubado com fontes e doses de nitrogênio. **Agropecuária Técnica**, Areia, v.35, n.1, p.100-105, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira**. Brasília-DF: Embrapa, 2018. 212p.

FALKER, Automação agrícola. Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiLOG/CFL 1030). Porto Alegre, 2008. 33p. Disponível em: <<http://www.falker.com.br>>. Acesso em: 28 ago. 2018.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.

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

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (FIESP). **Safra Mundial de Milho 2017/18 - 12º Levantamento do USDA**. Informativo USDA – Abril de 2018. Disponível em: <<https://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/safra-mundial-de-milho-2/>>. Acessado em: 20 dez 2018.

FERNANDES, J. D.; CHAVES, L. H. G.; MONTEIRO FILHO, A. F.; VASCONCELLOS, A.; SILVA, J. R. P. Crescimento e produtividade de milho sob influência de parcelamento e doses de nitrogênio. **Revista Espacios**, v.38, n.8, p.28-41, 2017.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: FUNEP, 2007.

FRANÇA, S.; MIELNICZUK, J.; ROSA, L. M. G.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. L. Nitrogênio disponível ao milho: Crescimento, absorção e rendimento de grãos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, p.1143-1151, 2011.

FREIRE, F. M.; VIANA, M. C. M.; MASCARENHAS, M. H. T.; PEDROSA, M. W.; COELHO, A. M.; ANDRADE, C. L. T. Produtividade econômica e componentes da produção de espigas verdes de milho em função da adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.9, n.3, p.213-222, 2010.

FRIZZONE, J. A. **Função de Produção**. In: FARIA, M. A.; SILVA, E. L.; VILELLA, L. A. A.; SILVA, A. M. (Ed.) Manejo de Irrigação, Lavras: UFLA/Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, p. 87-116, 1998.

GILMORE, E.; ROGERS, J. S. Heat units in a method of measuring maturity in corn. **Agronomy Journal**, v.50, p.611-615, 1958.

GODOY, C. L.; MIRANDA, G. V.; LIMA, R. O.; SOUZA, L. V.; GALVÃO, J. C. C.; SANTOS, I. C. Methods to classify maize cultivars in use efficiency and response to nitrogen. **Revista Ceres**, Viçosa, v.60, n.5, p.699-705, 2013.

GRASSI, G.; MAGNANI, F. Stomatal, mesophyll conductance and biochemical limitations to photosynthesis as affected by drought and leaf ontogeny in ash and oak trees. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.28, p.834-849, 2005.

GROSSI, M. C.; SILVA, R. F.; ANDRADE, C. L. T.; JUSTINO, F. Influência da radiação solar e da temperatura do ar na produtividade potencial simulada do milho (*Zeamays*) em Sete Lagoas, MG. Trabalho apresentado nº 17. **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Guarapari-ES, 2011.

HAO, H. L.; WEI, Y. Z.; YANG, X. E.; FENG, Y.; WU, C. Y. Effects of different nitrogen fertilizer levels on Fe, Mn, Cu and Zn concentrations in shoot and grain quality in rice (*Oryza sativa*). **Rice Science**, v.14, p.289-294, 2007.

HENDRY, G. A. F.; PRICE, A. H. Stress indicators: chlorophylls and carotenoids. In: HENDRY, G. A. F., GRIME, J. P. (eds.) **Methods in comparative plant ecology**. London: Chapman e Hall, 1993. p.148-152.

HENGGELER, J. C. **A history of drip irrigated cotton in Texas**. In: Lamm, F. R. (Ed.), *Microirrigation for a changing world: conservating resources/preserving the environment*. Proceedings of the Fifth International Microirrigation Congress, 2-6 April, Orlando, FL, USA, 1995, p.669-674.

HERMANN, E. R.; CÂMARA, G. M. S. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. **Revista da STAB**, v.17, n.5, p.32-35, 1999.

HOEL, B. O.; SOLHAUG, K. A. Effect of irradiance on chlorophyll estimation with the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. **Annals of Botany**, v.82, p.389-392, 1998.

IMANISHI, J.; NAKAYAMA, A.; SUZUKI, Y.; IMANISHI, A.; UEDA, N.; MORIMOTO, Y.; YONEDA, M.; ENG, L. E. Non destructive determination of leaf chlorophyll content in two flowering cherries using reflectance and absorptance spectra. **Landscape and Ecological Engineering**, v.6, p.219-234, 2010.



JABEEN, F.; SHAHBAZ, M.; ASHRAF, M. Discriminating some prospective cultivars of maize (*Zea mays* L.) for drought tolerance using gas exchange characteristics and proline contents as physiological markers. **Pakistan Journal of Botany**, Islamabad, v.40, n.6, p.2329-2343, 2008.

JIFON, J. L.; SYVERTSEN, J. P.; WHALEY, E. Growth environment and leaf anatomy affect nondestructive estimates of chlorophyll and nitrogen in *Citrus* sp. leaves. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.130, n.2, p.152-158, 2005.

JOLLY, C. M; CLONTS, H. A. **Economics of Aquaculture**. New York: Food Products Press, 1992.

KANG, S.; SHI, W.; ZHANG, J. An improved water-use efficiency for maize grown under regulated deficit irrigation. **Field Crops Research**, v.67, p.207–214, 2000.

LASHBROOKE, J. G.; YOUNG, P. R.; STREVER, A. E.; STANDER, C.; VIVIER, M. A. The development of a method for the extraction of carotenoids and chlorophylls from grapevine leaves and berries for HPLC profiling. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v.16, p.349-360, 2010.

LIMA, E. P.; SILVA, E. L. Temperatura base, coeficientes de cultura e graus-dia para cafeeiro arábica em fase de implantação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.266-273, 2008.

LIMA, J. R. S.; OLIVEIRA, C. L.; BARBOSA, A. C.; ANTONINO, A. C. D.; SOUZA, E. S. Variação sazonal dos fluxos de energia e evapotranspiração em caatinga no agreste pernambucano. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.25, n.1, p.113-120, 2017.

LYRA, G. B.; ZOLNIER, S.; COSTA, L. C.; SEDIYAMA, G. C.; SEDIYAMA, M. A. N. Modelos de crescimento para a alface (*Lactuca sativa* L.) cultivada em sistema hidropônico sob condições de casa-de-vegetação. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.11, p.69-77, 2003.

LYRA, G. B.; SEDIYAMA, G. C.; LYRA, G. B.; PEREIRA, A. R.; SOUZA, E. F. Evapotranspiração da Cultura de Cana de Açúcar na Região de Tabuleiros Costeiros do Estado de Alagoas: Coeficiente da Cultura “Único” Padrão Boletim FAO-56 Kc\_unico. **Revista da STAB**, Piracicaba, v.25, n.54, p.40-43, 2007.

LYRA, G. B.; SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; TEODORO, I.; MOURA FILHO, G. Modelo de crescimento logístico e exponencial para o milho BR 106, em três épocas de plantio. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.7, p.211-230, 2008.

LYRA, G. B.; ROCHA, A. E. Q.; LYRA, G. B.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I. 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.

MARKWELL, J.; OSTERMAN, J. C.; MITCHELL, J. L. Calibration of the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. **Photosynthesis Research**, v.46, p.467-472, 1995.

MAROCO, J. P.; KU, M. S. B.; EDWARDS, G. E. Oxygen sensitivity of C4 photosynthesis: evidence from gas exchange and chlorophyll fluorescence analyses with different C4 subtypes. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.20, p.1525-1533, 1997.

MARQUARD, R. D.; TIPTON, J. L. Relationship between extractable chlorophyll and an in situ method to estimate leaf greenness. **Hort Science**, v.22, n.6, p.1327, 1987.

MARTIN, J. D.; CARLESSO, R.; AIRES, N. P.; GATTO, J. C.; DUBOU, V.; FRIES, H. M.; SCHEIBLER, R. B. Irrigação deficitária para aumentar a produtividade da água na produção de silagem de milho. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p.192-205, 2012.

MARTÍNEZ, D.; GUIAMET, J. Distortion of the SPAD 502 chlorophyll meter readings by changes in irradiance and leaf water status. **Agronomie**, v.24, n.1, p.41-46, 2004.

MARTINS, C. A. S.; REIS, E. F.; NOGUEIRA, N. O. Análise do desempenho da irrigação por microspray na cultura do café conilon. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.7, n.12, p.01-13, 2011.

MARTINS, J. D.; PETRY, M. T.; RODRIGUES, G. C.; CARLESSO, R. Viabilidade econômica da irrigação deficitária em milho irrigado por gotejamento. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, Grandes Culturas, p.150-165, 2016.

MASSAD, R. S.; TUZET, A.; BETHENOD, O. The effect of temperature on C4-type leaf photosynthesis parameters. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.30, p.1191-1204, 2007.

MELO, A. S.; SUASSUNA, J. F.; FERNANDES, P. D.; BRITO, M. E. B.; SUASSUNA, A. F.; NETTO, A. O. A. Crescimento vegetativo, resistência estomática, eficiência fotossintética e rendimento do fruto da melancia em diferentes níveis de água. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.32, n.1, p.73-79, 2010.

MITCHELL, P. D.; JERIE, P. H. Y.; CHALMERS, D. J. Effects of regulated water deficits on pear tree growth, flowering, fruit growth and yield. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.109, n.5, p.604-606, 1984.

MORAIS, R. B. G.; LYRA, G. B.; SANTOS, L. R.; CAVALCANTE JÚNIOR, C. A.; CARVALHO, A. L.; LYRA, G. B.; SOUZA, J. L. Crescimento e produtividade de milho em diferentes épocas de plantio, nos tabuleiros costeiros de Alagoas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.16, n.1, p.109-119, 2017.

MOREIRA, J. A. A.; STONE, L. F.; PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. Carlos. Eficiência de uso de água pela cultura do milho (*Zeamays*) em função da cobertura do solo pela palhada no sistema plantio direto. **Cadernos de Agroecologia**, v.6, n.2, p.01-04, 2011.

MUCHOW, R. C. Effect of high temperature on grain-growth in field-grown maize. **Field Crops Research**, v.23, p.145-158, 1990.

NASCIMENTO, F. N.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; RIBEIRO, V. Q. Parâmetros fisiológicos e produtividade de espigas verdes de milho sob diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.14, n.2, p.167-181, 2015.

NAUŠ, J.; PROKOPOVÁ, J.; ŘEBÍČEK, J.; ŠPUNDOVÁ, M. SPAD chlorophyll meter reading can be pronouncedly affected by chloroplast movement. **Photosynthesis Research**, v.105, p.265-271, 2010.

OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; KOEHLER, H. S.; SILVA, D. K. T. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana planta, no Estado do Paraná: taxas de crescimento. **Scientia Agrária**, v.6, p.85-89, 2005.

- PATERNIANI, E. Influence of tassel size on ear placement in maize. **Maydica**, Bergamo, v.26, n.1, p.85-91, 1981.
- PARKES, M.; YAO, W. W.; MA, X. Y.; LI, J. Simulation of point source wetting pattern of subsurface drip irrigation. **Irrigation Science**, Cordoba, v.29, p.331-339, 2010.
- PAVINATO, P. S.; CERETTA, C. A.; GIROTTO, E.; MOREIRA, I. C. L. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.2, p.358-364, 2008.
- PEREIRA, C. S.; GEISE, E.; FIORINI, I. V. A.; LANGE, A. Épocas de semeadura de milho na região norte de Mato Grosso. **Nativa**, Sinop, v.6, n.3, p.241-245, 2018.
- PEREIRA, L. S.; OWEIS, T.; ZAIRI, A. Irrigation management under water scarcity. **Agricultural Water Management**, v.57, p.175-206, 2002.
- PIZOLATO NETO, A.; CAMARGOS, A. E. V.; VALERIANO, T. B.; SGOBI, M. A.; SANTANA, M. J. Doses de nitrogênio para cultivares de milho irrigado. **Nucleus**, v.13, n.1, 2016.
- RESENDE, M.; FRANÇA, G. E.; COUTO, L. **Cultivo do milho irrigado**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2000. 39p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 6).
- RONG-HUA, L. I.; PEI-POL, G. U. O.; BAUMZ, M.; GRANDO, S.; CECCARELLI, S. Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. **Agricultural Sciences in China**, Oxford, v.5, n.10, p.551-557, 2006.
- SANTOS, B. C.; PERUSSI, R.; PEREIRA DIEGO, N. B.; SOUZA, P. H. Agricultura Sintrópica na Bacia do Ribeirão do Feijão: uma proposição a partir dos balanços hídrico e energético na Região. **Caderno de Geografia**, v.28, n.53, 2018.
- SANTOS, W. O.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; MEDEIROS, J. F.; MOURA, M. S. B.; NUNES, R. L. C. Coeficientes de cultivo e necessidades hídricas da cultura do milho verde nas condições do semiárido brasileiro. **Irriga**, Botucatu, v.19, n.4, p.559-572, 2014.

SCHLICHTING, A. F.; KOETZ, M.; SILVA, E. M. B.; SILVA, T. J. A. Desenvolvimento do milho submetido a doses de nitrogênio e tensões de água no solo. **Irriga**, Botucatu, v.19, n.4, p.598-611, 2014.

SCHONS, A.; STRECK, N. A.; STORCK, L. et al. Arranjos de plantas de mandioca e milho em cultivo solteiro e consorciado: crescimento, desenvolvimento e produtividade. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.1, p.155-167, 2009.

SHIMAZAKI, K. I.; DOI, M.; ASSMANN, S. M.; KINOSHITA, T. Light regulation of stomatal movement. **Annual Review of Plant Biology**, Gainesville, v.58, n.1, p.219-247, 2007.

SILVA, E. C.; FERREIRA, M. S.; SILVA, G. P.; ASSIS, R. L.; GUIMARÃES, G. L. Épocas e formas de aplicação de nitrogênio no milho sob plantio direto em solo de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.5, p.725-733, 2005.

SILVA, F. A.; FREITAS, F. C. L.; ROCHA, P. R. R.; CUNHA, J. L. X. L.; DOMBROSKI, J. L. D.; COELHO, M. E. H.; LIMA, M. F. P. Milho para ensilagem cultivado nos sistemas de plantio direto e convencional sob efeito de veranico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.36, n.1, p.327-340, 2015a.

SILVA, F. C.; SILVA, M. M.; LIBADI, P. L. Aplicação de nitrogênio no cultivo de milho, sob sistema plantio direto: efeitos na qualidade física do solo e características agronômicas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.34, n.6, p.3513-3528, 2013.

SILVA, J. N.; LINHARES, P. C. A.; FIGUEREDO, J. P.; IRINEU, T. H. S.; SILVA, J. N.; ANDRADE, R. Crescimento do milho bandeirante sob lâminas de irrigação e *mulching*. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.11, n.4, p.87-96, 2015b.

SILVA, M. A. V.; FERREIRA, W. M. P.; ANDRADE, V. M. S.; COSTA, J. M. N. Influência das condições microclimáticas no crescimento do milho BR 106, cultivado sob sementeira direta. **Revista de Ciências Agrárias**, v.39, n.3, p.383-394, 2016a.

SILVA, M. R. R.; VANZELA, L. S.; VAZQUEZ, G. H. & SANCHES, A. C. Influência da irrigação e cobertura morta do solo sobre as características agronômicas e produtividade de milho. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, 170-180, 2012a.

SILVA, S.; GUIMARÃES, R. F. B.; NASCIMENTO, R.; OLIVEIRA, H.; TEODORO, I.; CARDOSO, J. A. F.; BEZERRA, C. V. C.; PENHA, J. L. Economic Use of Water in Drip-Irrigated Maize in Semi-Arid Region of Brazil. **Journal of Agricultural Science**; v.10, n.3, p.364-369, 2018.

SILVA, S.; COSTA, C. T. S.; NASCIMENTO, R.; TEODORO, I.; CANTARELLI, A. L. D.; SOARES, M. A. S. Épocas de plantio e dose econômica de nitrogênio para o milho cultivado nos Tabuleiros Costeiros Alagoanos. **Revista Agro@mbiente Online**, v.10, n.2, p.114-122, 2016b.

SILVA, S.; TEODORO, I.; LYRA, G. B.; SOUZA, J. L.; DANTAS NETO, J. Adaptação do método de Kc “dual” (FAO-56) para a cana-de-açúcar irrigada por gotejamento. **ABEAS**, Brasília, v.27, n.2, p.87-93, 2012b.

SINCLAIR, T. R.; HORIE, T. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: a review. **Crop Science**, Madison, v.29, n.1, p.90-98, 1989.

SOUZA, E. J.; CUNHA, F. F.; MAGALHÃES, F. F.; SILVA, T. R.; SANTOS, O. F. Características da espiga do milho doce produzido sob diferentes lâminas de irrigação e doses nitrogenadas. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v.24, n.1, 2016.

SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; ALVES SOBRINHO, T.; FEDATTO, E.; ZANON, G. D.; HASEGAWA, E. K. B. Culturas antecessoras e adubação nitrogenada na produtividade de milho em plantio direto irrigado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.3, n.2, p.55-62, 2003.

SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B.; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura do milho e feijão-caupi em sistemas exclusivo e consorciado. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.28, n.4, p.151-160, 2015.

SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B.; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. Eficiência do uso da água das culturas do milho e do feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado no semiárido brasileiro. **Bragantia**, Campinas, v.70, n.3, p.715-721, 2011.



STREIT, N. M.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W.; HECKTHEUER, L. H. H. As clorofilas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.3, p.748-755, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954p.

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F. Fotossíntese em Eucalyptus sob diferentes condições edafoclimáticas. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.23, n.4, p.336-345, 2015.

TORRES NETTO, A.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J. G.; BRESSAN-SMITH, R. E. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.104, n.2, p.199-209, 2005.

VELOSO, M. E. C.; DUARTE, S. N.; DOURADO NETO, D.; SILVA, E. C.; PEREIRA, C. R. Teor de nitrogênio, índice de área foliar e de colheita, no milho, em função da adubação nitrogenada, em solo de várzea. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoa, v.8 n.1, p.13-25, 2009.

VOJNOVICH, C.; ANDERSON, R.; GRIFFIN JR, E. Wet-milling properties of corn after field shelling and artificial drying. **Cereal Foods World**, v.20, p.333-335, 1975.

WU, X.; ZHAO, R.; LIU, L.; BEAN, S.; SEIB, P. A.; MCLAREN, J.; MADL, R.; TUINSTRAN, M.; LENZ, M.; WANG, D. Effects of growing location and irrigation on attributes and ethanol yields of selected grain sorghums. **Cereal Chemistry**, v.85, p.495-501, 2008.

## APÊNDICE A

**Tabela 7.** Resumo da análise de variância pelo teste F para avaliação fisiológica realizada no florescimento com Ci - concentração interna de CO<sub>2</sub> ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), E - transpiração ( $\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), gs - condutância estomática ( $\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), A - fotossíntese líquida (A) ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), EiC-eficiência instantânea da carboxilação, índice de clorofila Falker (ICF); análise de matéria seca da folha, colmo, espiga e total ( $\text{g planta}^{-1}$ ) na fase de R5; produtividade de grãos na fase de maturação fisiológica ( $\text{t ha}^{-1}$ ); e EUA - eficiência no uso da água ( $\text{kg mm}^{-1}$ ) em função de lâminas de irrigação e doses de nitrogênio aplicadas em um híbrido de milho cultivado em duas épocas na região de Rio Largo-AL,

FV	Quadrados médios da Época 1												
	Avaliação fisiológica						Matéria seca					Prod, de grãos	EUA
	Ci	E	gs	A	EiC	ICF total	Folha	Colmo	Pendão	Espiga	Total		
Bloco	59.996,36**	33,08**	0,00 <sup>ns</sup>	468,69**	0,03**	134,35 <sup>ns</sup>	44,94 <sup>ns</sup>	162,69 <sup>ns</sup>	12,80*	157,39 <sup>ns</sup>	280,45 <sup>ns</sup>	15,07*	195,78*
L	1.411,04 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	13,13 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	134,48 <sup>ns</sup>	166,70 <sup>ns</sup>	239,78 <sup>ns</sup>	1,48 <sup>ns</sup>	2.096,11 <sup>ns</sup>	2.899,91 <sup>ns</sup>	1,27 <sup>ns</sup>	194,01*
N	533,43 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	22,24 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	1065,97**	309,10 <sup>ns</sup>	1.337,54*	1,69 <sup>ns</sup>	7.081,01*	16.768,26**	10,56**	143,25**
L x N	3.197,06 <sup>ns</sup>	0,61 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	39,76 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	112,10**	183,38 <sup>ns</sup>	1.079,33**	1,08 <sup>ns</sup>	3.304,06*	8.041,61*	2,22 <sup>ns</sup>	29,09 <sup>ns</sup>
CV 1 (%)	39,26%	47,50%	62,25%	49,89%	87,40%	13,29%	20,19%	31,38%	26,25%	27,82%	23,90%	27,25%	25,37%
CV 2 (%)	25,06%	30,45%	50,45%	49,01%	66,45%	10,00%	28,01%	27,00%	17,27%	26,45%	21,62%	17,57%	17,65%
Média geral	179,8	3,64	0,18	11,71	0,08	52,92	52,30	70,34	7,21	155,06	284,92	6,52	24,27

FV	Quadrados médios da Época 2												
	Avaliação fisiológica						Matéria seca					Prod, de grãos	EUA
	Ci	E	gs	A	EiC	ICF total	Folha	Colmo	Pendão	Espiga	Total		
Bloco	9.550,21**	1,86 <sup>ns</sup>	0,26**	46,69 <sup>ns</sup>	0,09**	134,35 <sup>ns</sup>	275,92*	3.498,58 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	20.235,73 <sup>ns</sup>	46.114,03*	2,42 <sup>ns</sup>	33,39 <sup>ns</sup>
L	318,68 <sup>ns</sup>	1,70 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	12,04 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	134,48 <sup>ns</sup>	398,94**	6.767,68*	0,29 <sup>ns</sup>	20.436,01*	48.588,16*	7,97*	1.265,81**
N	486,88 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	15,15 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	1.065,97**	441,96**	882,75 <sup>ns</sup>	1,38**	50.259,55**	66.318,30**	36,00**	240,54**
L x N	412,30 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	10,49 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	112,10**	92,34 <sup>ns</sup>	983,89 <sup>ns</sup>	0,56**	10.819,79 <sup>ns</sup>	17.388,26 <sup>ns</sup>	1,61 <sup>ns</sup>	8,86 <sup>ns</sup>
CV 1 (%)	26,22%	24,22%	28,68	14,10%	36,73%	13,29%	15,38%	28,64%	18,96%	22,05%	16,78%	18,76%	21,99%
CV 2 (%)	19,97%	12,28%	26,97	9,65%	23,11%	10,00%	18,97%	38,88%	18,95%	24,03%	19,65%	14,26%	15,01%
Média geral	110,93	7,90	0,46	30,59	0,29	52,92	51,17	134,90	2,46	326,92	515,46	7,78	22,75

\*\* significativo ( $p \leq 0,01$ ), \* significativo ( $p \leq 0,05$ ) e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste F

## APÊNDICE B

**Tabela 8.** Resumo da análise de variância pelo teste F para AD - altura do dossel (m), DC - diâmetro do colmo (cm) e IAF - índice de área foliar ao longo dos dias após o plantio (DAP) em função de lâminas de irrigação e doses de nitrogênio aplicadas em um híbrido de milho cultivado em duas épocas na região de Rio Largo-AL.

FV	Quadrados médios da Época 1																	
	21 DAP			35 DAP			49 DAP			63 DAP			77 DAP			91 DAP		
	AD	DC	IAF	AD	DC	IAF	AD	DC	IAF	AD	DC	IAF	AD	DC	IAF	AD	DC	IAF
Bloco	14,27 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,00*	219,15 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	0,33*	580,68 <sup>ns</sup>	0,84 <sup>ns</sup>	0,95*	116,30 <sup>ns</sup>	0,26*	0,42**	118,51 <sup>ns</sup>	0,26**	3,05**	818,99*	0,24**	0,24*
L	17,86 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,00**	358,15*	0,16 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	1.482,65**	0,47 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	849,59**	0,20*	0,01 <sup>ns</sup>	890,66**	0,07 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	723,36*	0,02 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>
N	5,92 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	305,72**	0,22**	0,12**	1.670,99**	0,06 <sup>ns</sup>	2,04**	658,48**	1,71**	0,21**	780,74**	0,17**	1,74**	598,12**	0,16**	1,06**
L x N	6,01 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,00**	94,74 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	90,72 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	122,55 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	83,42 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	66,66 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>
CV 1 (%)	11,43%	36,74%	13,83%	8,99%	12,51%	24,26	6,61%	22,49%	13,22%	4,85%	10,79%	6,64%	5,18%	10,06%	12,96%	5,67%	7,87%	13,80%
CV 2 (%)	6,33%	8,60%	27,27%	6,57%	7,75%	15,72	5,06%	19,43%	10,23%	4,73%	12,31%	5,32%	3,82%	5,53%	16,23%	4,15%	5,27%	14,67%
Média geral	37,92	0,88	0,18	117,77	2,70	1,09	208,39	2,53	4,02	242,18	2,27	2,23	240,76	2,28	1,85	239,96	2,37	1,77

FV	Quadrados médios da Época 2																	
	31 DAP			45 DAP			59 DAP			73 DAP			88 DAP			103 DAP		
	AD	DC	IAF	AD	DC	IAF	AD	DC	IAF	AD	DC	IAF	AD	DC	IAF	AD	DC	IAF
Bloco	252,15 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	633,87 <sup>ns</sup>	0,42**	1,40 <sup>ns</sup>	1.557,85 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	6,75**	549,73 <sup>ns</sup>	1,14**	1,82**	769,49 <sup>ns</sup>	0,39**	0,41 <sup>ns</sup>	851,52 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>
L	289,27*	0,21*	0,08 <sup>ns</sup>	1808,86 <sup>ns</sup>	0,28*	1,39 <sup>ns</sup>	5.358,04**	0,12 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	3.000,06**	0,02 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	3175,67**	0,02 <sup>ns</sup>	0,84 <sup>ns</sup>	3.031,86**	0,21 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>ns</sup>
N	237,48**	0,11**	0,05*	1818,35**	0,10 <sup>ns</sup>	3,75**	1.730,73**	0,07 <sup>ns</sup>	0,97**	824,58**	0,06 <sup>ns</sup>	2,37**	897,24**	0,02 <sup>ns</sup>	2,32**	1.019,16**	0,08 <sup>ns</sup>	1,05**
L x N	22,59 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	297,97**	0,07 <sup>ns</sup>	0,73 <sup>ns</sup>	324,47 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	168,07 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	178,63*	0,03**	0,09 <sup>ns</sup>	200,43**	0,18 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>
CV 1 (%)	12,23%	12,31%	40,58%	14,92%	10,16%	25,50%	12,91%	18,61%	19,55%	8,40%	18,08%	17,04%	10,18%	9,76%	24,26%	10,09%	18,56%	41,88%
CV 2 (%)	8,90%	7,76%	20,75%	6,38%	8,27%	21,31%	6,59%	15,29%	10,97%	4,05%	16,24%	12,28%	3,78%	5,18%	12,80%	3,73%	18,81%	29,98%
Média geral	77,09	1,97	0,66	175,96	2,78	3,38	228,73	2,32	4,21	234,00	2,20	2,86	233,54	2,21	2,19	233,9	2,20	1,66

\*\* significativo ( $p \leq 0,01$ ), \* significativo ( $p \leq 0,05$ ) e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste F

