

FENOLOGIA, COMPONENTES DE PRODUÇÃO E RENDIMENTO AGRÍCOLA DO MILHO SOB LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO NA REGIÃO DE RIO LARGO, ALAGOAS¹

MARCELO AUGUSTO DA SILVA SOARES²; IÊDO TEODORO³; SAMUEL SILVA⁴;
ARTHUR LUAN DIAS CANTARELLI⁵; RICARDO ARAÚJO FERREIRA JÚNIOR³
E ALLAN HEMERSON DE MOURA⁵

¹ O artigo foi gerado a partir da dissertação do primeiro autor.

² Doutorando em Produção Vegetal, Departamento de Tecnologia da Produção, Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Av. Lourival Melo Mota, S/N, Tabuleiro do Martins, 57072-970, Maceió, Alagoas, Brasil, marcelocico_@hotmail.com.

³ Professores do Centro de Engenharia e Ciências Agrárias (CECA), Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Av. Lourival Melo Mota, S/N, Tabuleiro do Martins, 57072-970, Maceió, Alagoas, Brasil, iedoteodoro@gmail.com; ricardo_ceca@hotmail.com.

⁴ Professor do Instituto Federal de Alagoas (IFAL), Campus Piranhas, Av. Sergipe, 1477, 57460-000, Piranhas, Alagoas, Brasil, sam_capela@hotmail.com.

⁵ Mestrando em Produção Vegetal, Departamento de Tecnologia da Produção, Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Av. Lourival Melo Mota, S/N, Tabuleiro do Martins, 57072-970, Maceió, Alagoas, Brasil, aldcantarelli@hotmail.com; allanmoura.h@gmail.com.

1 RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento, desenvolvimento e rendimento agrícola do milho sob lâminas de irrigação, na região de Rio Largo, Alagoas. O delineamento estatístico foi blocos casualizados no esquema de parcelas subdivididas, com 20 tratamentos e quatro repetições. A cultura foi irrigada por gotejamento, submetida a cinco níveis de irrigação (40, 80, 120, 160 e 200% da ET_c) e quatro doses de nitrogênio (0, 75, 150 e 225 kg ha⁻¹). A interação entre as lâminas de irrigação e as doses de nitrogênio não foi significativa, uma justificativa para isso é que o solo com umidade acima da capacidade de campo fez com que boa parte do nitrogênio tenha sido lixiviado, dessa forma, foram analisados apenas os efeitos dos tratamentos de níveis de irrigação, sem desdobramentos. Os maiores valores de altura do dossel (247,2 cm), índice de área foliar (4,4 m² m⁻²), número de grãos por espiga (635 grãos), massa de grãos por espiga (195,0 g) e produtividade agrícola (8,4 t ha⁻¹) são obtidos com lâminas de irrigação equivalente a 160% da ET_c. A maior eficiência no uso da água foi de 38,5 kg mm⁻¹, é obtida com lâmina total de água de 172,4 mm (40% da ET_c).

Palavras-chave: altura do dossel, número de grãos por espiga, massa de grãos por espiga.

SOARES, M. A. S.; TEODORO, I.; SILVA, S.; CANTARELLI, A. L. D.; FERREIRA JÚNIOR, R. A.; MOURA, A. H.

PHENOLOGY, PRODUCTION COMPONENTS AND AGRICULTURAL YIELD OF MAIZE UNDER IRRIGATION DEPTHS IN RIO LARGO REGION, ALAGOAS

2 ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the growth, development and agricultural yield of maize crop under irrigation depths, in Rio Largo region, Alagoas, Brazil. The statistical design was randomized blocks in split-plot scheme, with twenty treatments and four replications. The crop was irrigated by drip system, submitted to five irrigation levels (40, 80, 120, 160 and 200% of the ET_c) and four nitrogen fertilization doses (0, 75, 150 and 225 kg ha⁻¹ of N). The interaction between irrigation depths and nitrogen doses was not significant, a justification for this is that the soil with moisture above the field capacity caused the leaching of large part of the nitrogen, and so, only the effects of the irrigation levels were analyzed, without unfolding. The highest values of canopy height (247.2 cm), leaf area index (4.4 m² m⁻²), number of grains per ear (635.0 grains), grain mass per ear (195.0 g) and agricultural yield (8.4 t ha⁻¹) are obtained with irrigation levels equivalent to 160% of the ET_c . The highest water use efficiency was 38.5 kg mm⁻¹ obtained with total water depth of 172.4 mm (40% of the ET_c).

Keywords: canopy height, number of grains per ear, grain mass per ear.

3 INTRODUÇÃO

A cultura do milho no estado de Alagoas ocupa uma área de 26,2 mil hectares, com produtividade agrícola de 1,1 t ha⁻¹, que resulta numa produção anual de 28,6 mil toneladas (CONAB, 2019). Conforme a Secretaria de Estado da Agricultura, Pecuária, Pesca e Aquicultura, para atender a demanda de 500 mil toneladas ao longo do ano, são importadas 471,4 mil toneladas de milho (ALAGOAS, 2015). A alternativa para aumentar a produção e reduzir a importação de milho em Alagoas é elevar o rendimento agrícola das lavouras alagoanas que é considerado muito baixo, em relação ao potencial produtivo das cultivares atualmente disponíveis no mercado.

A principal causa da baixa produtividade agrícola do milho em Alagoas, relatada por diversos pesquisadores (MORAIS et al., 2017; SOUZA et al., 2004; COSTA et al., 2016) é a irregularidade de chuvas, que apesar de 70% do total anual ocorrerem da primeira quinzena de abril até a segunda quinzena de agosto, durante esse período mais chuvoso do ano, às vezes ocorrem veranicos de até

sete dias que causam deficiências de água no solo e estresse hídrico nas plantas.

A técnica agrônômica para mitigar ou eliminar os efeitos da deficiência hídrica na agricultura é a irrigação. E, o método mais utilizado para estimar as necessidades de irrigação nas culturas agrícolas é o balanço hídrico, conhecido também como a contabilidade da quantidade de água que entra e que sai em um determinado volume de solo. O uso dessa técnica atrelada ao conhecimento das relações entre as variáveis de crescimento e de produção do milho com as características hídricas do solo e a quantidade de água aplicada via irrigação que proporciona a produtividade física máxima e a maior eficiência no uso da água (EUA), são essenciais para aumentar os rendimentos agrônômicos dos cultivos agrícolas.

As reduções de crescimento e de produtividade agrícola da cultura do milho dependem da fase de desenvolvimento fenológico que ocorrem déficits e excessos hídricos. Bem como, a tolerância ou resistência das cultivares aos estresses hídricos e a duração e intensidade de falta e excesso de água no solo podem interferir no grau de danos às lavouras (MACHADO, 2016). Vale ressaltar também que a

produtividade física máxima pode ocorrer, em alguns casos, quando a necessidade hídrica da cultura, expressa pela evapotranspiração da cultura (ET_c), ultrapassar o valor de 100%. Isso ocorre 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_2 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 (SILVA et al., 2019a).

Almeida (2016), verificou que a altura do dossel vegetativo do milho irrigado com 150% da evapotranspiração da cultura (ET_c) atinge 219 cm e com 50% e 70% da ET_c pode chegar a 198 e 207 cm, respectivamente. Para Parizi et al. (2009), após estudarem o efeito de diferentes estratégias de irrigação suplementar sobre a produção de grãos e seus componentes na cultura do milho, a lâmina de irrigação equivalente a 100% da evapotranspiração de referência (ET_o) proporciona o maior número de grãos por espiga (411,5 grãos por espiga) e esse é um componente de produção decisivo da produtividade agrícola do milho.

No presente trabalho, o objetivo foi avaliar o crescimento, desenvolvimento e rendimento agrícola do milho (*Zea mays* L.) submetido a lâminas de irrigação e doses de nitrogênio na região de Rio Largo, Alagoas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Centro de Ciências Agrárias da

Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, AL (09°28'02" S e 35°49'43" W, 127 m de altitude), numa área de 3.040,0 m², de Latossolo Amarelo coeso argissólico, com textura média/argilosa e declividade inferior a 2% (MORAIS et al., 2017). O clima é, pela classificação de Thornthwaite e Mather, quente e úmido (B₁), megatérmico (A'), com deficiência de água moderada no verão (s), com grande excesso de água no inverno (w₂), e a precipitação pluvial média anual da região é 1.800 mm.

O delineamento estatístico utilizado foi blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, com cinco lâminas de irrigação (40%, 80%, 120%, 160% e 200% da ET_c) nas parcelas de 20 linhas com 8,0 m de comprimento e espaçamento de 0,80 m (128,0 m²), em que as lâminas de irrigação foram determinadas com base no estudo feito por Barbosa (2017). Nas subparcelas foram colocadas quatro doses de nitrogênio (0, 75, 150 e 225 kg ha⁻¹). Mas nesse trabalho, foi avaliado apenas o efeito da irrigação, pois não houve interação significativa nos níveis de 1 e 5% de probabilidade pelo teste F para as variáveis analisadas.

O preparo do solo foi realizado com duas gradagens: uma pesada e profunda (\pm 30 cm) e outra niveladora. A adubação de fundação (nível = 100 kg de P₂O₅ e 94 kg de K₂O por hectare) foi feita com base na análise química do solo (Tabela 1), visando uma produtividade agrícola média de 10,0 t ha⁻¹ de grãos, conforme Coelho (2007). A adubação nitrogenada foi realizada aos 15 dias após o plantio (DAP) de acordo com os tratamentos de cada subparcela e a fonte de nitrogênio utilizada foi a ureia.

Tabela 1. Resultados da análise química do solo da área experimental, na região de Rio Largo, AL, 2017.

Camada (cm)	pH (água)	Ca	Mg	Ca+Mg	Al	H+Al	SB	T	t	%V	%M
0-20	6,5	2,3	1,0	3,3	0,04	5,9	3,6	9,5	3,6	38,1	1,1
20-40	6,1	1,4	0,6	2	0,25	6,8	2,3	9,1	2,5	25,3	9,8
Camada (cm)	Na	P	K	Cu	Fe	Zn	Mn	PST	MO		
	(mg dm ⁻³)							%			
0-20	37	36	65	0,6	273	2	10,9	1,7	3,0		
20-40	35	11	59	0,3	341	0,5	3,2	1,7	1,9		

SB: Soma de bases; T = Capacidade de Troca Catiônica total, CTC pH 7,0; t = Capacidade de Troca Catiônica efetiva; %V: Saturação de bases; %M: Saturação de alumínio; PST = porcentagem de sódio trocável; MO: matéria orgânica.

Fonte: Central analítica de Alagoas (2017).

O plantio foi realizado em 19 de novembro de 2017, colocando-se duas sementes a cada 25 cm e quando as plantas estavam com quatro folhas totalmente expandidas foi realizado o desbaste para ficar com a densidade de 50.000 plantas por hectare. A irrigação foi realizada de forma que em cada linha de plantio se colocou uma mangueira gotejadora de 16 mm de diâmetro, emissores a cada 0,2 m, vazão por emissor de 1,12 L h⁻¹ equivalente a 5,6 L h⁻¹ m⁻¹, pressão de serviço de 7 m.c.a. e intensidade de aplicação de 7,0 mm h⁻¹. O turno de rega adotado foi de dois dias e como o cultivo foi realizado em época de seca, os tratamentos receberam a mesma lâmina de irrigação até os 20 dias após o plantio para garantir a germinação e evitar a morte precoce das plantas por falta de água.

As variáveis agrometeorológicas - precipitação pluvial (P), velocidade do vento (U), umidade relativa do ar (HR) e evapotranspiração de referência (ET_o) - foram cedidas pelo Laboratório de Irrigação

e Agrometeorologia (LIA), que mantém uma estação automática de aquisição de dados ao lado da área do experimento. Essas variáveis foram monitoradas até o estágio R6 (110 DAP), que corresponde à maturação fisiológica dos grãos, uma vez que a partir deste período não há mais interferência da umidade do solo diretamente na qualidade e quantidade de grãos.

O balanço hídrico foi feito pelo método de Thorntwaite e Mather (1955), conforme metodologia recomendada (PEREIRA, 2002). A ET_c foi calculada multiplicando-se a ET_o pelo coeficiente de cultura (Kc). O Kc utilizado foi o da *Food Agriculture Organization* (FAO), cujos valores da fase inicial, intermediário e final foram 0,40, 1,2 e 0,6, respectivamente. O Kc inicial foi corrigido pelo método gráfico, em função da ET_o e da frequência de irrigação. O Kc intermediário e Kc final, foram corrigidos conforme a Equação 1 (ALLEN et al., 1998):

$$Kc_{\text{final}} = Kc_{\text{final}}(\text{tab}) + [0,04 (U_2 - 2) - 0,004 (RH_{\text{min}} - 45)] (H/3)^{0,3} \quad (1)$$

Em que,
Kc_{final} (tab) – é o valor fornecido no boletim da FAO – 56;

U₂ – é o valor médio para velocidade do vento diário medido a 2 m de altura sobre a grama durante a última fase de crescimento,

RH_{\min} – é o valor da umidade relativa mínima diária média durante a última fase de crescimento (%), $20\% \leq RH_{\min} \leq 80\%$,
 H – é a altura média final das plantas (m), para $0,1 \text{ m} \leq H \leq 10 \text{ m}$.

O desenvolvimento das plantas foi monitorado com observações diárias, logo após a semeadura, e a data de ocorrência de cada estágio fenológico foi considerada quando 50% +1 das plantas apresentaram as características pré-definidas do referido estágio (MAGALHÃES; DURÃES, 2006).

As análises de crescimento foram realizadas quinzenalmente a partir dos trinta dias após o plantio, com base nas variáveis altura do dossel (AD) e índice de área foliar (IAF), em 20 plantas marcadas por parcela. O IAF foi calculado pela equação: $IAF = AF.G.(NP/\epsilon)$, também utilizada por Barbosa (2017), em que, AF é a área foliar (m^2), ϵ é o espaçamento médio entre linhas (m), G é o comprimento da linha de contagem das plantas (m) e NP é o número de plantas na linha de contagem. A área foliar foi determinada pela equação utilizada por Sangoi et al. (2011): $AF = 0,75C.L.(NF+2)$, em que 0,75 é o fator de correção de forma das folhas, C é o comprimento da “folha +3”, L é a largura da “folha +3” e NF é o número de folhas totalmente expandidas por planta. As curvas de IAF foram estimadas pelo modelo polinomial quadrático e a da altura do dossel pelo modelo exponencial de primeira ordem.

A colheita foi realizada no dia 19/03/18 (120 DAP). Em seguida, foram selecionadas quarenta espigas de milho para a análise das variáveis número de grãos por espiga (NGE) e massa de grãos por espiga (MGE). A produtividade agrícola foi obtida a partir da pesagem de todos os grãos colhidos na área útil ($38,4 \text{ m}^2$) de cada parcela, conforme a equação proposta por Soares et al. (2019): $PA = 10.000 (M / C.\epsilon)$, em que, PA é a produtividade agrícola (kg ha^{-1}), M é a massa colhida na área amostrada (kg), C é o comprimento total das linhas

colhidas (m), ϵ é o espaçamento entre linhas (m) e 10.000 é o fator de conversão para hectare.

Uma vez que o cálculo da lâmina diária de água via estimativa da ET_c não permite determinar também rendimento agrícola, foi realizado um ajuste de modelo matemático para representar o comportamento da planta frente às lâminas aplicadas. Pois, essa metodologia permite estimar o nível de rendimento a ser obtido em função da lâmina total que se pretende aplicar. Esse modelo de função de resposta da cultura às lâminas de irrigação foi obtido por curvas de regressão quadrática de acordo com a Equação: $Y = b_0 + b_1X + b_2X^2$, em que, Y é a produtividade, X é lâmina de irrigação aplicada e b_0 , b_1 e b_2 são os coeficientes da equação. A equação utilizada para estimar a lâmina de irrigação que proporciona a produtividade máxima foi deduzida igualando-se a zero a primeira derivada da função de produção, conforme as Equações: $X_{\max} = -b_1/2b_2$, em que, X_{\max} é a lâmina de irrigação que proporciona o maior rendimento (kg ha^{-1}). Posteriormente, o rendimento máximo (Y_{\max}) foi estimado substituindo-se X por X_{\max} na equação de regressão, metodologia também utilizada por Silva et al., (2019b).

A eficiência no uso da água (EUA), em quilogramas de milho por milímetro de água, foi calculada de acordo com a equação: $EUA = PA / W$, também utilizada por Silva et al. (2019a), em que, PA é a produtividade agrícola (kg ha^{-1}) e W é o volume total de água utilizado (chuva efetiva mais irrigação, em mm).

Os dados foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade pelo teste F, utilizando o programa estatístico Sisvar (Sistema de Análise de Variância). Os gráficos gerados nesse estudo foram feitos pelo software Microcal Origin 6.0.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

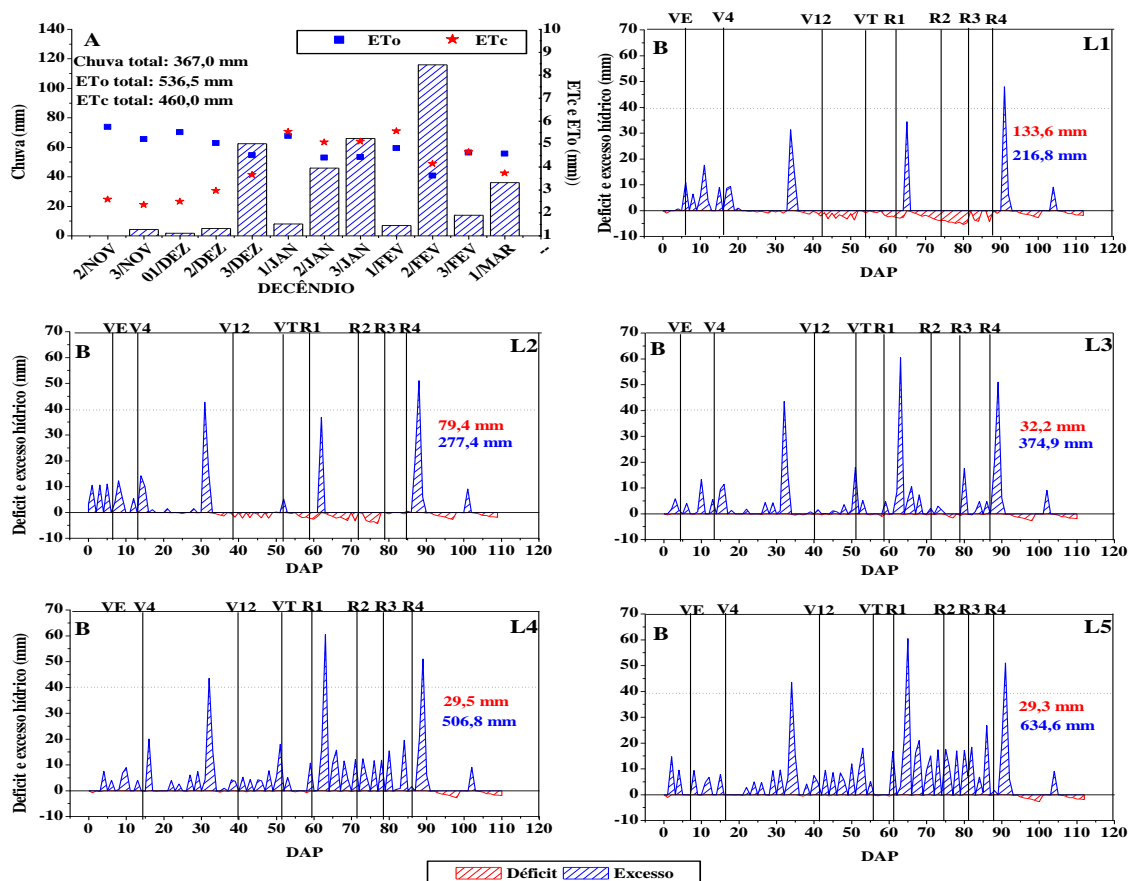
5.1 Variáveis agrometeorológicas

A precipitação pluvial durante os 110 dias de cultivo foi de 367 mm, considerada inferior às exigências de água do milho, que é em média de 400 a 600 mm (MACHADO, 2016). Na fase vegetativa (55 dias) e reprodutiva (55 dias) ocorreram 118 e 249 mm de chuva, respectivamente. Os dois períodos mais chuvosos foram o terceiro

decêndio de dezembro (42 DAP) com 71 mm e o terceiro decêndio de janeiro (73 DAP) com 66 mm.

A ET_0 total durante o cultivo (110 dias) foi 536,5 mm, com a máxima diária de 6,3 mm aos 19 DAP (08/12/2017) e média de 4,6 mm dia^{-1} . A ET_c total foi 460,0 mm, com média de 4,0 mm dia^{-1} e aos 60 DAP (18/01/2018), quando as plantas se encontravam no estágio fenológico de florescimento, ocorreu a ET_c máxima diária de 6,3 mm (Figura 1).

Figura 1. (A) - Chuva, ET_0 e ET_c decendiais. (B) - Balanço hídrico da cultura do milho com déficits e excessos hídricos nos tratamentos L1, L2, L3, L4 e L5, na região de Rio Largo, AL, no período novembro de 2017 a março de 2018. DAP: dias após o plantio; Estádios fenológicos: VE - emergência, V4 - 4ª folha desenvolvida, V12 - 12ª folha desenvolvida, VT - pendoamento, R1 - florescimento, R2 - grão leitoso, R3 - grão pastoso e R4 - grão farináceo; L1, L2, L3, L4 e L5: lâminas de irrigação, respectivamente 40, 80, 120, 160 e 200% da ET_c .



5.2 Balanço hídrico

Os déficits hídricos na cultura do milho, contabilizados através do balanço hídrico de Thorntwaite e Mather (1955), na região de Rio Largo, AL, no período de 19 de novembro de 2017 a 19 de março de 2018, foram de 134, 79, 32, 30, 29 mm e os excessos hídricos foram de 217, 277, 375, 507, 635 mm, nos tratamentos L1, L2, L3, L4 e L5, respectivamente (Figura 1). Todavia, a deficiência hídrica observada nos tratamentos L3, L4 e L5 ocorreu após o estágio fenológico de grão farináceo. Portanto não influenciou severamente o crescimento e o rendimento de grãos da cultura do milho.

O déficit hídrico ocorrido no tratamento L1, na fase vegetativa, foi 33 mm, na fase reprodutiva 100 mm, e do VT (pendoamento) ao R1 (florescimento) foi 17 mm. Esse último período (R1) de deficiência hídrica é o mais crítico para a cultura do milho porque isso pode inviabilizar a fecundação dos estilo-estigmas, reduzindo assim o número de grãos por espigas e, conseqüentemente, a produtividade. Nas parcelas irrigadas com 80% da ET_c (L2), durante a fase vegetativa, houve deficiência

hídrica de 16 mm e excesso hídrico de 154 mm. Na fase reprodutiva, o déficit hídrico foi de 63 mm e o excesso foi de 123 mm. Nos tratamentos L3, L4 e L5 ocorreram excessos hídricos de 158, 198 e 243 mm durante a fase vegetativa e na fase reprodutiva foram de 217, 308 e 392 mm, respectivamente.

A precipitação pluvial efetiva (P efetiva) foi maior nos tratamentos L1 e L2 com 133 e 129 mm, respectivamente. Isso aconteceu porque o solo, submetido a déficit hídrico, teve umidade sempre abaixo da capacidade de campo. Nos tratamentos L3, L4 e L5, irrigados com 120, 160 e 200% da ET_c , o solo estava sempre com umidade acima da capacidade de armazenamento e a maior parte da chuva percolava ou escoava superficialmente. Nos tratamentos L1, L2, L3, L4 e L5 foram aplicadas as lâminas de irrigação totais de 39, 138, 316, 454 e 585 mm, devido aos déficits hídricos ocorridos durante o ciclo da cultura. Os somatórios das lâminas de irrigação com a precipitação efetiva foram 172, 267, 396, 530 e 661 mm, nos tratamentos irrigados com 40% (L1), 80% (L2), 120% (L3), 160% (L4) e 200% (L5) da ET_c , respectivamente (Tabela 2).

Tabela 2. Tratamentos (L), irrigação total (IT-mm), precipitação pluvial efetiva total (P efetiva - mm), irrigação mais precipitação efetiva (mm) e irrigação mais precipitação efetiva (em percentagem da evapotranspiração da cultura - % da ET_c), na região de Rio Largo, AL, no período de novembro de 2017 a março de 2018.

L	IT (mm)	P efetiva (mm)	IT + P efetiva (mm)	% da ET_c
L1	39	133,4	172,48	40%
L2	138	129,1	266,8	80%
L3	316	79,5	395,7	120%
L4	454	75,8	530,21	160%
L5	585	75,8	660,73	200%

5.3 Altura do dossel

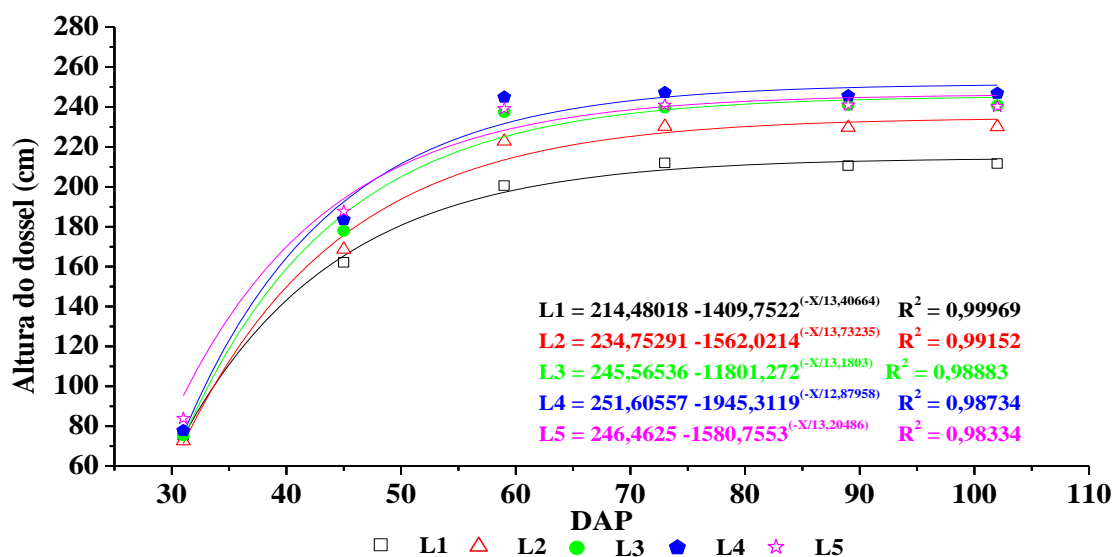
A altura do dossel em relação às lâminas de irrigação aplicadas ajustaram-se

muito bem ao modelo exponencial de primeira ordem, com coeficientes de determinação (R^2) de 0,99, 0,99, 0,98, 0,98 e 0,98, respectivamente para os tratamentos

L1, L2, L3, L4 e L5 (Figura 2). Os valores máximos da altura do dossel foram observados aos 73 DAP: 212, 230, 240, 247 e 241 cm, respectivamente para os tratamentos L1, L2, L3, L4 e L5, com diferença de 16,5% (35 cm) na altura do dossel no tratamento L4 em relação ao L1. A justificativa para redução da altura do dossel nos tratamentos irrigados com 40 e 80% da ET_c é que, conforme Taiz e Zeiger (2013), plantas em condições de deficiência hídrica tendem a fechar seus estômatos e, conseqüentemente, reduz a taxa fotossintética, o crescimento e a fixação de CO_2 . Os resultados relativos ao período de

ocorrência da altura máxima, corroboram com os obtidos por Costa et al. (2016), que verificaram maior altura do dossel de 229 cm com a variedade Jabotão aos 70 DAP e que a partir desse momento o crescimento da cultura se estabiliza porque os fotoassimilados são direcionados para a produção e acumulação de amido nos grãos. Barbosa (2017), avaliando a resposta da cultivar de milho AG 7088 sob diferentes lâminas de irrigação e adubação nitrogenada nos tabuleiros costeiros de Alagoas, observou maior altura do dossel de 244 cm aos 75 DAP, valor similar ao deste trabalho.

Figura 2. Altura do dossel (cm) do milho, em função das lâminas de irrigação, na região de Rio Largo, AL, no período de 20/12/17 a 02/03/18. DAP: dias após o plantio; L1, L2, L3, L4 e L5: lâminas de irrigação, respectivamente 40, 80, 120, 160 e 200% da ET_c .



A maior altura de dossel na fase vegetativa foi de 247 cm observada nas áreas irrigadas com 530 mm, correspondente a 160% ET_c (Figura 2). Blanco et al. (2011), estudando o efeito de lâminas de irrigação no milho verde, na região de Teresina, PI, observaram maior altura do dossel de 219 cm com irrigação total de 603 mm. Almeida (2016), analisando o comportamento do milho submetido a déficits e excessos hídricos, verificou menores alturas do dossel (198 e 207 cm), com irrigação equivalente a 50% e 70% da ET_c e maior altura do dossel

(219 cm) nos tratamentos submetidos ao nível de irrigação de 150% ET_c . Com base nesses dados, afirma-se que a altura do dossel possui forte ligação com a produtividade agrícola e por isso é uma variável que deve ser observada nas estimativas de produção.

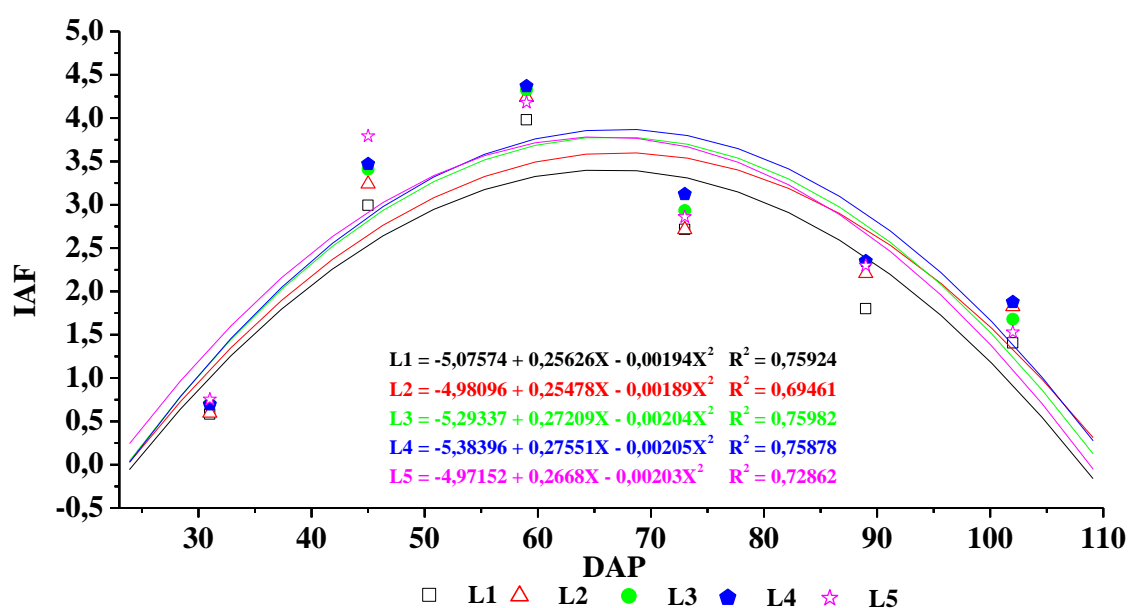
5.4 Índice de área foliar

O IAF em relação às lâminas de irrigação mostrou bom ajuste ao modelo matemático de regressão quadrático, com

(R^2) de 0,75, 0,69, 0,75, 0,75 e 0,72, respectivamente nos tratamentos L1, L2, L3, L4 e L5 (Figura 3). Dentre os tratamentos, o IAF do milho irrigado atingiu valor máximo aos 59 DAP, durante o estágio de polinização, média de 4,2, com o maior valor observado de 4,4 na L4 e o menor de 4,0 na L1. A redução, em relação ao valor máximo do IAF, foi de 10%. Referente ao tratamento irrigado com 40% da ET_c , a justificativa para ocorrência dessa redução é que as plantas submetidas ao déficit hídrico têm como consequência imediata a diminuição da expansão celular, com redução da área

foliar. Esse fato causa decréscimo da taxa de crescimento da planta e do IAF (BERGAMASCHI; MATZENEVER, 2014). Quando as plantas atingiram o IAF máximo e começaram translocar os fotoassimilados para a espiga, o IAF começou a decrescer devido à senescência das folhas mais velhas, assim como foi encontrado resultados idênticos em trabalhos semelhantes a este (BARBOSA, 2017; COSTA et al., 2016). Silva et al. (2015), verificaram que o maior valor do IAF resulta em maiores produtividades.

Figura 3. Valores do IAF do milho, em função das lâminas de irrigação, na região de Rio Largo, AL, no período de 20/12/17 a 02/03/18. DAP: dias após o plantio; L1, L2, L3, L4 e L5: lâminas de irrigação, respectivamente 40, 80, 120, 160 e 200% da ET_c .



5.5 Rendimento agrônômico

Na Tabela 3, observa-se que houve diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F entre as

lâminas de irrigação e as variáveis: número de grãos por espiga (NGE), massa de grãos por espiga (MGE) e produtividade agrícola (PA). Para a análise dessas variáveis foi feita a regressão polinomial quadrática.

Tabela 3. Análise de variância e os valores dos quadrados médios dos componentes de produção: número de grãos por espiga (NGE); massa de grãos por espiga (MGE - g) e produtividade agrícola (PA – t ha⁻¹), em função das lâminas de irrigação, na região de Rio Largo, AL, no período de 20/12/17 a 02/03/18.

Fontes de Variação	¹ GL	Valores de Quadrados Médios		
		NGE	MGE	PA
Bloco	3	2.634,10 ^{NS}	479,86 ^{NS}	2,42 ^{NS}
Lâminas de irrig. (L)	4	12.352,91*	4.104,47*	7,97*
Erro	12	3.927,76	1.158,65	2,13
² CV (%)	--	10,26	18,51	18,76

¹Graus de liberdade; ²Coefficiente de variação; *significativo à nível de 5% de probabilidade; ns não significativo pelo teste F.

Os resultados da interação entre lâminas de irrigação e doses de nitrogênio não foram significativos pelo teste F para todos os componentes de produção avaliados e para a produtividade agrícola. Por isso, os efeitos dos tratamentos de níveis de irrigação sobre essas variáveis foram avaliados de forma independentes, sem desdobramentos. A justificativa para não interação entre esses tratamentos é que, quando o solo se encontra com o teor de umidade acima da capacidade de campo e o volume de água via irrigação ou precipitação pluvial excede a evapotranspiração, ocorre um arraste do nitrogênio para as camadas mais profundas do solo, deixando assim o nutriente fora do alcance das raízes da planta.

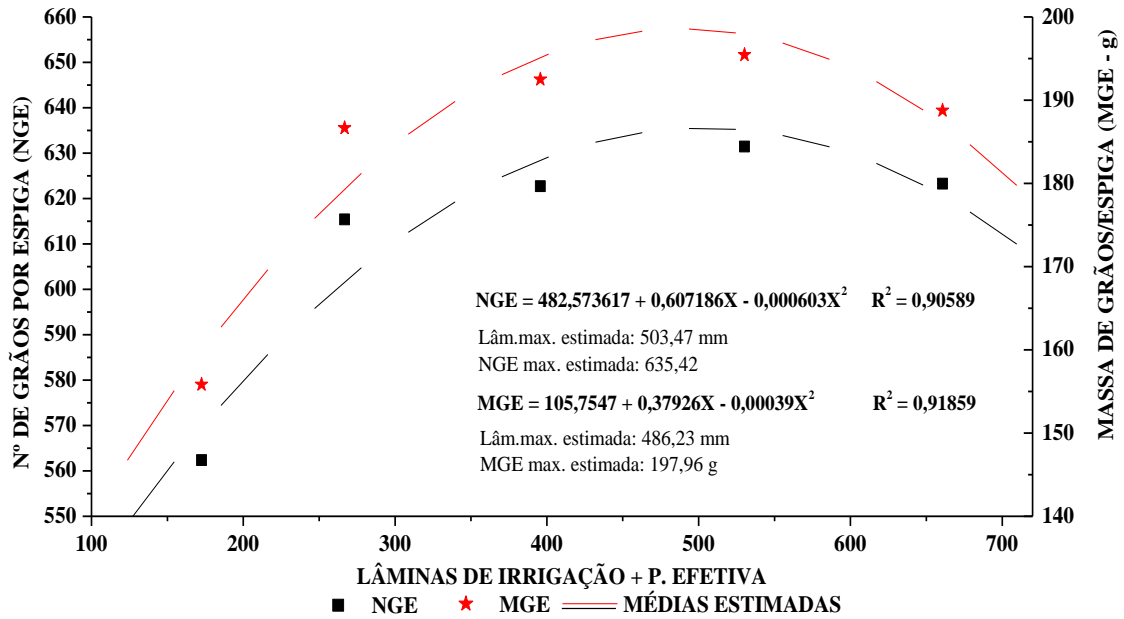
5.5.1 Número e massa de grãos por espiga

Os valores máximos observados de NGE e MGE foram 635 grãos e 195 g, respectivamente obtidos com o tratamento correspondente a 160% da ET_c (L4) e os menores valores observados em ambas variáveis foram 562 grãos e 155 g,

respectivamente encontrado no tratamento correspondente a 40% da ET_c (L1). Um incremento de 12,9% no NGE e 25,8% na MGE no tratamento L4 em relação ao tratamento L1. Essa redução do número e da massa de grãos por espiga, em plantas submetidas à restrição hídrica se deve à baixa taxa de suprimento de assimilados aos ovários, provocando abortamento de grãos (SCHUSSLER; WESTGATE, 1991). E a ocorrência de déficit hídrico, principalmente nas fases de floração e enchimento de grãos, é responsável pela redução do número e da massa de grãos por espiga que são componentes determinantes da produtividade agrícola.

O número e a massa de grãos por espiga em função dos níveis de irrigação ajustaram-se ao modelo matemático de regressão polinomial quadrático com os valores dos coeficientes de determinação (R²) de 0,90 e 0,91, respectivamente. Ao utilizar as lâminas de 503 e 486 mm, equivalente a 151 e 146 da ET_c, o valor máximo estimado em função dos valores de produção para o NGE e MGE foi de 635 grãos e 197 g, respectivamente (Figura 4).

Figura 4. Número de grãos por espiga (NGE) e Massa de grãos por espiga (MGE) de milho, em função das lâminas de irrigação mais a precipitação efetiva, na região de Rio Largo, AL, no período de 20/12/17 a 02/03/18.



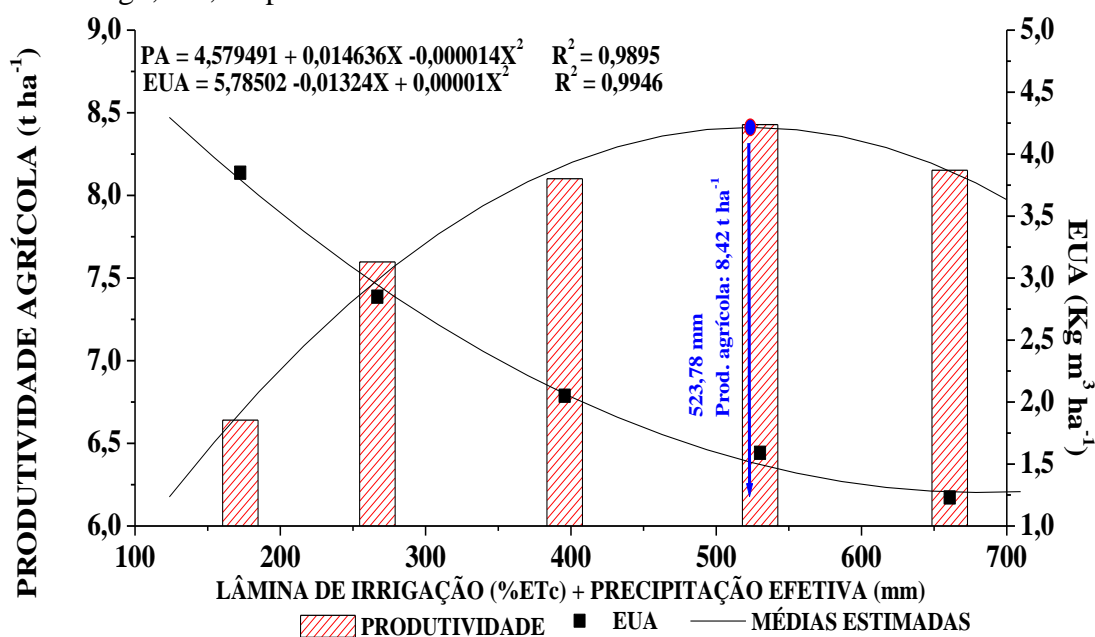
Avaliando o efeito de diferentes manejos de irrigação e drenagem na cultura do milho em dois anos consecutivos, Faraco et al. (2016) observaram que no primeiro experimento o maior número de grãos por espiga foram 485 grãos, obtido com a aplicação de 780 mm de água; e no experimento seguinte foram 488 grãos com a lâmina de irrigação mais precipitação pluvial de 710 mm. Em áreas irrigadas com 50 e 70% da ET_c , Almeida (2016) constatou menores resultados de NGE, com valores de 307 e 297 grãos por espiga,

respectivamente. No presente estudo foi observada a mesma tendência.

5.5.2 *Produtividade agrícola, produtividade física máxima e eficiência no uso da água*

A produtividade agrícola em função das lâminas de irrigação mostrou efeito significativo pelo teste F a 5% de probabilidade (Tabela 3) e os dados se ajustaram ao modelo de regressão quadrático, com coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,98 (Figura 5).

Figura 5. Produtividade agrícola (PA - t ha⁻¹) do milho e eficiência no uso da água (EUA - kg·⁻³ ha⁻¹), sob diferentes lâminas de irrigação mais precipitação efetiva, na região de Rio Largo, AL, no período de 20/12/17 a 02/03/18.



A produtividade agrícola física máxima estimada pela função de produção polinomial de segundo grau foi de 8,4 t ha⁻¹ e superou a média nacional que é 4,9 t ha⁻¹, conforme dados da CONAB (2019), em aproximadamente 41,6% (3,5 t ha⁻¹), com 528 mm (irrigação mais precipitação efetiva) durante o ciclo de produção. Os maiores rendimentos agrícolas do milho têm ocorrido quando o consumo de água está entre 500 e 800 mm bem distribuídos durante todo o ciclo da cultura (SALES et al. 2016).

Os tratamentos submetidos ao déficit hídrico foram menos produtivos, com médias de 6,6 t ha⁻¹ e 7,6 t ha⁻¹, respectivamente nos tratamentos L1 e L2; já o incremento foi de 21,1% no tratamento L4 em relação ao L1 e de 9,6% em relação ao L2. A redução de produtividade nas parcelas irrigadas com 40% da ET_c (L1) foi devido ao déficit hídrico de 80 mm na fase de pendoamento e enchimento de grãos e no tratamento irrigado com 80% da ET_c (L2) ocorreu 40 mm de deficiência de água na fase de enchimento de grãos.

Analisando os déficits hídricos em quatro fases fenológicas, em dois experimentos consecutivos, Almeida (2016) observou que os tratamentos mais prejudicados foram os submetidos à restrição hídrica de 50% na fase de pendoamento e floração da cultura, com redução média na produtividade de 22,6 e 26,1%, respectivamente. De acordo com Magalhães, Carneiro e Paiva (2002), dois dias de estresse hídrico no florescimento diminuem o rendimento em mais de 20% e de quatro a oito dias diminuem em mais de 50%.

A produtividade agrícola teve incremento diretamente proporcional ao aumento das lâminas de irrigação até o tratamento L4. Porém, o rendimento de grãos começou a cair nas parcelas irrigadas com 200% da ET_c (L5), cuja produtividade foi de 8,1 t ha⁻¹. Uma explicação para isso é que o excesso de água acarreta injúrias nas plantas e conseqüentemente diminuição da produtividade. Magalhães e Durães (2006) observaram que a alta umidade no solo, devido a excessos hídricos, pode causar

morte das plantas no início da fase reprodutiva e também pode inviabilizar os grãos de pólen de milho.

A eficiência no uso da água (EUA) decresceu com o aumento da lâmina de irrigação aplicada, cujos valores foram de 38,5, 28,5, 20,5, 15,9 e 12,3 quilogramas de grãos por milímetro por hectare ($\text{Kg mm}^{-1}\text{ha}^{-1}$), respectivamente nos tratamentos L1, L2, L3, L4 e L5 e ajustaram-se ao modelo de regressão quadrático, com (R^2) igual a 0,99 (Figura 5). Esses resultados corroboram com os de Brito et al. (2013), que verificaram maior eficiência em lâminas de irrigação inferiores (60 a 40% da ET_c), porém, esses percentuais de irrigação proporcionaram estresses hídricos às plantas que implicaram em menor crescimento e produtividade. Conforme Souza et al. (2016), a EUA diminui com o aumento da lâmina de irrigação porque esses fatores são inversamente proporcionais. Uma explicação para essa redução de eficiência com o aumento da lâmina de irrigação, conforme Barbosa (2017), é a teoria de Justus Von Liebig (1803-1873) que formulou a “Lei dos Mínimos”, a qual afirma que os fatores de produção não surtem efeitos em quantidade adequada se um estiver em falta. Isso explica porque a água deixou de ser um fator limitante no rendimento de grãos enquanto outros fatores passaram a limitar a produtividade.

6 CONCLUSÕES

Os maiores valores de altura do dossel (247,2 cm), índice de área foliar (4,4), número de grãos por espiga (635,0 grãos) e massa de grãos por espiga (195,0 g) são obtidos com lâminas de irrigação equivalente a 160% da evapotranspiração da cultura.

A produtividade agrícola física máxima de $8,4 \text{ t ha}^{-1}$, na região de Rio Largo, AL, é obtida com a lâmina de irrigação mais precipitação pluvial efetiva de 524 mm (aproximadamente 160 % da ET_c) e a maior eficiência no uso da água é 38,5 quilogramas de grãos por milímetro de água, obtida com 172 mm (irrigação mais precipitação efetiva) que corresponde a 40% da ET_c .

7 AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL) pela concessão de bolsa, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Universidade Federal de Alagoas (UFAL), pelo apoio e oportunidade de desenvolver a pesquisa.

8 REFERÊNCIAS

ALAGOAS. **Milho é a nova aposta da SEAPE**. Alagoas, 2015. Disponível em: <http://www.agricultura.al.gov.br/sala-de-imprensa/clipping/2015/janeiro/Agencia%20Alagoas%20de%20Janeiro%202015%20-%20Milho%20e%20a%20nova%20aposta%20da%20seapa.pdf/view?searchterm=demanda%20de%20gr%C3%A3os>. Acessado em: 10 abr. 2020.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. (Irrigation and Drainage Paper, 56). Disponível em: https://appgeodb.nancy.inra.fr/biljou/pdf/Allen_FAO1998.pdf. Acesso em: 09 abr. 2020.

ALMEIDA, B. M. **Déficit e excesso hídrico na cultura do milho (*Zea mays* L.) em ambiente protegido**. 2016. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11152/tde-28042016-113144/publico/Bruno_Marcal_de_Almeida_versao_revisada.pdf. Acessado em: 09 abr. 2020.

BARBOSA, W. S. S. **Milho cultivado sob diferentes lâminas de irrigação e adubação nitrogenada**. 2017. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2017. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/1938/1/Milho%20cultivado%20sob%20diferentes%20l%C3%A2minas%20de%20irriga%C3%A7%C3%A3o%20e%20aduba%C3%A7%C3%A3o%20nitrogenada.pdf>. Acessado em: 09 abr. 2020.

BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **O milho e o clima**. Porto Alegre: Emater-RS/Ascar. 2014.

BLANCO, F. F.; CARDOSO, M. J.; FREIRE FILHO, F. R.; VELOSO, M. E. C.; NOGUEIRA, C. C. P.; DIAS, N. S. Milho verde e feijão-caupi cultivados em consórcio sob diferentes lâminas de irrigação e doses de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 5, p. 524-530, maio 2011. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/38900/1/PABv46n05.pdf>. Acessado em: 09 abr. 2020

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. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 5, p. 1244-1253, 2013. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/14061/13019>. Acessado em: 09 abr. 2020

COELHO, A. M. **Manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. (Circular Técnica, 96). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/486122>. Acessado em: 09 abr. 2020

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira: grãos**. Brasília, DF, v. 6, n. 12, p. 1-126, set. 2019. Safra 2018/2019, décimo segundo levantamento. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/safra-graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acessado em: 27 jun. 2020.

COSTA, C. T.; TEODORO, I.; SILVA, S.; CUNHA, F. N.; SOARES, F. A. L.; MORAIS, W. A.; SILVA, N. F.; GOMES, F. H. F.; CABRAL, B. S. Agronomic performance, production components and agricultural productivity of maize (*Zea mays* L.) cultivars. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 41, p. 4375-4383, 2016. Disponível em: <https://academicjournals.org/journal/AJAR/article-authors/BDBE35A61396>. Acessado em: 10 abr. 2019.

FARACO, J. R.; CASTRO, N. M. R.; LOUZADA, J. A.; SILVA, P. R. F.; SCHOENFELD, R., MAASS, M. B.; PAGLIARINI, N. Rendimento de grãos e eficiência do uso de água da

cultura do milho em áreas de cultivo de arroz inundado com diferente manejo de irrigação e drenagem. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 274-290, 2016. Disponível em: <https://http://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/1986>. Acessado em: 10 abr. 2019

MACHADO, J. R. A. **O excesso de chuvas e a cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/8900890/artigo---o-excesso-de-chuvas-e-a-cultura-do-milho>. Acessado em: 10 abr. 2019.

MAGALHÃES, P. C.; CARNEIRO, N. P.; PAIVA, E. **Fisiologia do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. (Circular Técnica, 22). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/486995>. Acessado em: 05 mai. 2019.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Fisiologia da produção de milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. (Circular técnica, 76). Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/19620/1/Circ_76.pdf. Acessado em: 05 mai. 2019.

MALDANER, L. J.; HORING, K.; SCHNEIDER, J. F.; FRIGO, J. P.; AZEVEDO, K. D.; GRZESIUCK, A. E. Exigência agroclimática da cultura do milho (*Zea mays L.*). **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Cascavel, v. 3, n. 1, p. 13-23, 2014. Disponível em: https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/36915/pdf_11. Acessado em: 05 mai. 2019.

Microcal(TM) Origin, Versão 6.0, microcal software, INC. 1991-1999.

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**, Sete Lagoas, v. 16, n. 1, p. 109-119, 2017. Disponível em: <http://rbms.cnpms.embrapa.br/index.php/ojs/article/view/794>. Acessado em: 10 abr. 2020.

PARIZI, A. R. C.; ROBAINA, A. D.; GOMES, A. C. S.; SOARES, F. C.; RAMÃO, C. J.; PEITER, M. X.; CALEGARO, L. Efeito de diferentes estratégias de irrigação suplementar sobre a produção de grãos e seus componentes na cultura do milho. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 3, p. 254-267, 2009. Disponível em: <http://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3416>. Acessado em: 10 abr. 2020.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2002. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/38826387/agrometeorologia-fundamentos-e-aplicacoes-praticas>. Acessado em: 10 abr. 2020.

SALES, R. M.; LOUZADA, J. M.; OLIVEIRA, E. C.; PINHEIRO, M. A. B.; SALES, R. M. Estimativa das necessidades hídricas do milho cultivado nas condições edafoclimáticas de São Mateus – ES. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 13 n. 23, p. 598-609, 2016. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/d2f9/775d60071ab5078ddbc57cea8226dfc8cf8c.pdf>. Acessado em: 10 abr. 2020.

SANGOI, L.; SCHWEITZER, C.; SILVA, P. R. F.; SCHMITT, A.; VARGAS, V. P.; CASA, R. T.; SOUZA, C. A. Perfilamento, área foliar e produtividade do milho sob diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 6, p. 609-616, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011000600006>. Acessado em: 05 abr. 2020.

SCHUSSLER, R. J. E.; WESTGATE, M. E. Maize kernel set at low potential: II. Sensivity to reduced assimilates at pollination. **Crop Science**, Flórida, v. 31, n. 1, p. 1196-1203, 1991. Disponível em: <https://doi.org/10.2135/cropsci1991.0011183X003100050024x>. Acessado em: 10 abr. 2020.

SILVA, M. R.; MARTIN, T. N.; PAVINATO, P. S.; BRUM, M. S. Estimando a necessidade de nitrogênio na produção de grãos e silagem. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 3, p. 12-24, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n302rc>. Acessado em: 10 abr. 2020.

SILVA, S.; SOARES, M. A. S.; NASCIMENTO, R.; TEODORO, I.; SILVA, C. S.; COSTA, C. T. S.; CARDOSO, J. A. F.; FERREIRA JUNIOR, R. A.; LYRA, G. B.; MORAIS, M. A. F.; CUNHA, J. X. L.; MOURA, A. H. Physiological and productive responses of maize submitted to irrigation depths at different seasons of cultivation. **International Journal of Development Research**, v. 9, n. 12, p. 32529-32536, 2019a. Disponível em: <http://www.journalijdr.com/physiological-and-productive-responses-maize-submitted-irrigation-depths-different-seasons>. Acesso em: 09 abr. 2020.

SILVA, S.; SOARES, M. A. S.; NASCIMENTO, R.; TEODORO, I.; SILVA, C. S.; CUNHA, J. X. L.; MOURA, A. B. A.; CANTARELLI, A. L. D.; MOURA, A. H.; CAVALCANTE JÚNIOR, C. A. Economic indexes of maize under levels of water, nitrogen and planting seasons. **International Journal of Development Research**, v. 9, n. 10, p. 30999-30999, out. 2019b. Disponível em: <http://www.journalijdr.com/economic-indexes-maize-under-levels-water-nitrogen-and-planting-seasons>. Acesso em: 09 abr. 2020.

Sisvar, DEX/UFLA, Versão 5.3 (Build 77), Daniel Furtado Ferreira, 1999-2010.

SOARES, M. A. S.; SILVA, S.; TEODORO, I.; CANTARELLI, A. L. D.; RODRIGUES, G. N.; CUNHA, J. L. X. L.; MOURA, A. B. A.; MOURA, A. M.; MOURA, A. C. A.; GOMES FILHO, J. Production Components and Agricultural Productivity of Corn under Nitrogen Doses and Planting Times. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 41, n. 4, p. 1-9, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.9734/jeai/2019/v41i630423>. Acessado em: 07 de abr. de 2020.

SOUZA, E. J.; CUNHA, F. F.; MAGALHÃES, F. F.; SILVA, T. S.; SANTOS, O. F. Eficiência do uso da água pelo milho doce em diferentes lâminas de irrigação e adubação nitrogenada em cobertura. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 10, n. 4, p. 750-757, 2016. Disponível em: https://inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/396/pdf_284. Acessado em: 03 mar. 2020

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

THORNTWAITE, C.W.; MATHER, J. R. **Instructions and tables for computing potencial evapotranspiration and the water balance**. Ceteron: Rexel Institute Of Technology-Laboratory, 1955. Disponível em: <https://www.scienceopen.com/document?vid=6e2e7015-871e-4d68-a6a2-9fffe3164e76>. Acessado em: 02 abr. 2020.