

## PRODUÇÃO DE MILHO ESTIMADA PELO *SOFTWARE* AQUACROP E OBTIDA PELA CULTURA SOB DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO

NATÁLIA GRAMELISCH SILVESTRE<sup>1</sup>; GUSTAVO HADDAD SOUZA VIEIRA<sup>2</sup>; THIAGO LOPES ROSADO<sup>3</sup>; CARLOS MAGNO MULINARIO POLONI<sup>4</sup>; GUILHERME PETERLE<sup>5</sup> E MARCELO RODRIGO KRAUSE<sup>6</sup>

<sup>1</sup>IFES campus Santa Teresa, Rod. ES 080, km 93, 29.660-000, São João de Petrópolis, Santa Teresa, Espírito Santo, Brasil, e-mail: natygramelisch@gmail.com

<sup>2</sup>IFES campus Santa Teresa, Rod. ES 080, km 93, 29.660-000, São João de Petrópolis, Santa Teresa, Espírito Santo, Brasil, e-mail: ghsvieira@gmail.com

<sup>3</sup>IFES campus Santa Teresa, Rod. ES 080, km 93, 29.660-000, São João de Petrópolis, Santa Teresa, Espírito Santo, Brasil, e-mail: thiagolr@ifes.edu.br

<sup>4</sup>IFES campus Santa Teresa, Rod. ES 080, km 93, 29.660-000, São João de Petrópolis, Santa Teresa, Espírito Santo, Brasil, e-mail: poloniuf@gmail.com

<sup>5</sup>IFES campus Santa Teresa, Rod. ES 080, km 93, 29.660-000, São João de Petrópolis, Santa Teresa, Espírito Santo, Brasil, e-mail: guilhermepeterle15@gmail.com

<sup>6</sup>IFES campus Santa Teresa, Rod. ES 080, km 93, 29.660-000, São João de Petrópolis, Santa Teresa, Espírito Santo, Brasil, e-mail: agro.krause@gmail.com

### 1 RESUMO

Objetivou-se neste trabalho avaliar a correlação da produção de biomassa de milho estimada pelo *software* AquaCrop e a obtida pela cultura implantada sob diferentes lâminas de irrigação. O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, composto por 5 Tratamentos (T) de lâminas de irrigação, baseadas na demanda de evapotranspiração, sendo, T1 – 25%, T2 – 50%, T3 – 75%, T4 – 100%, T5 – 125% da evapotranspiração da cultura (ETc). As simulações foram realizadas pelo *software* AquaCrop, tendo como variáveis clima, solo, cultura e irrigação. Para o ciclo I, as variáveis altura de planta, produtividade e biomassa fresca total atingiram os maiores valores quando receberam as maiores lâminas de irrigação, para o ciclo II, estas variáveis apresentaram comportamento quadrático. A relação de resultados observados/simulados para biomassa fresca total, mostrou que os valores estimados pelo AquaCrop subestimaram os observados em campo durante os dois ciclos da cultura. Enquanto que os valores de biomassa seca para o ciclo I, em sua maioria, também foram subestimados, para o ciclo II, o T3 e o T4 apresentaram correspondência ideal de 1:1. O aplicativo AquaCrop se mostrou confiável para estimativa de milho nas condições deste estudo, sendo uma interessante ferramenta para fins de predição de produção e desenvolvimento da cultura.

**Palavra-chave:** modelagem agrícola, biomassa, estimativa, silagem.

SILVESTRE, N. G.; VIEIRA, G. H. S.; ROSADO, T. L.; POLONI, C. M. M.; PETERLE, G.; KRAUSE, M. R.

MAIZE PRODUCTION ESTIMATED BY AQUACROP SOFTWARE AND OBTAINED BY CROP UNDER DIFFERENT IRRIGATION DEPTHS

## 2 ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the correlation between corn biomass production estimated by AquaCrop software and that obtained by the crop implanted under different irrigation depths. The experiment was carried out in a completely randomized design consisting of 5 treatments (T) of irrigation depths, based on evapotranspiration demand, T1 - 25%, T2 - 50%, T3 - 75%, T4 - 100%, T5. - 125% of crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>). The simulations were performed by AquaCrop software, having as variables climate, soil, crop and irrigation. For cycle I, variables plant height, yield and total fresh biomass reached the highest values when they received the largest irrigation depths. For cycle II, these variables presented quadratic behavior. The relationship of observed / simulated results to total fresh biomass showed that the values estimated by Aquacrop underestimated those observed in the field during the two crop cycles. While dry biomass values for most of cycle I were also underestimated, for cycle II, T3 and T4 presented an ideal 1: 1 correspondence. The Aquacrop application proved reliable for corn estimation under the conditions of this study, being an interesting tool for crop production and development prediction purposes.

**Keywords:** agricultural modeling, biomass, estimation, silage

## 3 INTRODUÇÃO

A produção de milho (*Zea mays L.*) no Brasil tem se caracterizado pela realização do plantio em dois períodos distintos. Os plantios de verão, ou primeira safra, são realizados na época tradicional, durante o período chuvoso, não sendo regra para todas as regiões do país. Já a "safrinha" se refere ao milho de sequeiro, plantado extemporaneamente, em fevereiro ou março, predominantemente na região Centro-Oeste e nos estados do Paraná e São Paulo (DUARTE; GARCIA; MIRANDA, 2015).

Segundo Bergamaschi et al. (2004), o milho pertence ao grupo de plantas com metabolismo fotossintético do tipo C<sub>4</sub>, que se caracteriza pelo elevado potencial produtivo, no entanto, essa cultura apresenta um período crítico de sensibilidade ao estresse hídrico, que vai da pré-floração ao início do enchimento de grãos. Nessa etapa fenológica ocorre também elevada transpiração, já que a planta possui maior índice de área foliar.

Para estimar safras e quantificar perdas em grandes áreas de produção,

normalmente realiza-se o monitoramento de fatores como clima e solo, podendo ser utilizada a modelagem por meio de simulações para criar diferentes cenários para o crescimento e rendimento da cultura como forma de auxílio durante a safra (YOUNG, 2008), além de economizar tempo, trabalho e ter uma gama de recursos para o planejamento. A modelagem também tem se destacado em cenários de possíveis mudanças climáticas, em que as culturas podem expressar mudanças morfofisiológicas com reflexo sobre a produtividade (BARBOSA et al., 2019; LECERF et al., 2019).

A incerteza nas decisões introduziu a necessidade de desenvolvimento e melhoria contínua da modelagem agrícola (CAVALCANTE JÚNIOR, 2019) fazendo com que muitos pesquisadores começassem a testar os modelos desenvolvidos e identificar alterações que devem ser realizadas para que estes se adequem a determinadas regiões de simulação, proporcionando resultados confiáveis.

O AquaCrop é um *software* de simulação de crescimento e produtividade

de uma determinada cultura sob uma condição específica. O programa faz um balanço geral das condições que circundam e afetam o desenvolvimento da cultura, refletindo nos valores de rendimento final. O *software* AquaCrop vai além do contínuo solo-planta-atmosfera, fundamentando-se em quatro componentes: atmosfera, cultura, solo e manejo (RAES et al., 2009; STEDUTO et al., 2009). Hsiao et al. (2009), dizem que o modelo AquaCrop parte da premissa de que os parâmetros são aplicáveis à uma ampla gama de condições, ou seja, eles são conservativos, e não são específicos para determinado cultivo, lembrando que certamente há algumas diferenças entre cultivares.

Cavalcante Júnior (2019) aponta que detalhes dos processos simulados são descritos em três artigos (STEDUTO et al., 2009; RAES et al., 2009; HSIAO et al., 2009), no documento Irrigation and Drainage Paper N°. 66 'Resposta de rendimento da cultura à água' (STEDUTO et al., 2012) e no manual do modelo (RAES et al., 2012).

Segundo Hsiao et al. (2009), a cultura do milho foi a primeira a ser escolhida para parametrizar e testar o

modelo FAO AquaCrop, devido a existência de um conjunto de dados experimentais de 6 anos sobre a cultura, em Davis, CA. Onde esses dados foram utilizados para as simulações e posteriores comparações de resultados.

Diante do exposto, o trabalho teve como objetivo avaliar a correlação da produção de biomassa de milho estimada pelo *software* AquaCrop e a obtida pela cultura implantada sob diferentes lâminas de irrigação.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Instituto Federal do Espírito Santo – *Campus* Santa Teresa (19°48' 15" W, 40° 40' 46" S), a 130 metros de altitude, em casa de vegetação telada nas laterais e com cobertura de filme plástico translúcido. A cultura foi implantada em 2 períodos diferentes, de agosto a dezembro de 2017 (Ciclo I) e de dezembro de 2017 a abril de 2018 (Ciclo II). Ambos os ciclos receberam os mesmos tratamentos culturais. Na Tabela 1 estão apresentadas as duas épocas de semeadura com suas datas de plantio e fases fenológicas.

**Tabela 1.** Data de plantio e fases fenológicas na cultura do milho nas condições climáticas da região do Ifes – *Campus* Santa Teresa

Ciclo	Data de Plantio	Emergência (DAS)	Florescimento (DAE)	Maturidade Fisiológica (DAF)	Duração do Ciclo (Dias)
Ciclo I	17/08/2017	5	53	56	114
Ciclo II	19/12/2017	4	45	45	94

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, composto por 5 Tratamentos (T) de lâminas de irrigação, baseadas na demanda de água, sendo, T1 – 25%, T2 – 50%, T3 – 75%, T4 – 100%, T5 – 125% da evapotranspiração da cultura, com 5

repetições cada. As plantas foram cultivadas em vasos com volume de cinco litros, com espaçamento entre filas de 1 m e entre vasos de 0,5 m.

O substrato para plantio foi composto por 3 partes de solo e 1 parte de esterco bovino, além da calagem e

posterior adubação mineral para uma produtividade esperada acima de 5,5 Mg ha<sup>-1</sup>, realizada conforme o manual de recomendação de calagem e adubação para o ES – 5ª aproximação (PREZOTTI et al., 2007), para corrigir uma camada equivalente a 20 cm de solo. Aos 44 dias após a emergência, devido aos sintomas de deficiência observados, ocorreu adubação foliar com Zinco (Zn) na dosagem de 5 mL L<sup>-1</sup> do produto comercial Nutrifolha Zinco, que foi repetida uma semana após a primeira aplicação, utilizando-se uma dose de 3 mL L<sup>-1</sup>, para os dois ciclos de cultivo.

Utilizou-se a cultivar de milho híbrido comercial AG1051, de ciclo semiprecoce, grão amarelo e dentado, resistência ao acamamento, desenvolvido para produção de grãos, silagem e milho verde. Foram plantadas 3 sementes por vaso, a uma profundidade de 3 cm, e posteriormente realizado o desbaste, deixando-se apenas uma planta por vaso.

A estimativa da evapotranspiração foi realizada por meio de uma planilha eletrônica, utilizando-se o método de Hargreaves-Samani (HARGREAVES; SAMANI, 1985), representado pela Equação 1.

$$ET_0 = 0,0023 Ra (T_{\text{méd}} + 17,8) \sqrt{T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}}} \quad (1)$$

Em que: ET<sub>0</sub> - Evapotranspiração de referência, mm dia<sup>-1</sup>; Ra - Radiação extraterrestre, mm dia<sup>-1</sup>; T<sub>méd</sub> - Temperatura média, °C; T<sub>máx</sub> - Temperatura máxima, °C; T<sub>mín</sub> - Temperatura mínima, °C.

Na referida planilha, também foram inseridos dados de capacidade de campo (CC, 37,3%), ponto de murcha permanente (PMP, 17%), densidade do solo (Da, 1,056 g cm<sup>-3</sup>), fator f de sensibilidade da cultura ao estresse hídrico (f, 0,5) e profundidade efetiva do sistema radicular (Z, 40 cm), para que fossem obtidos, os valores da

Irrigação real necessária (IRN, 3,0 mm), Irrigação total necessária (ITN, 3,0 mm) e Capacidade total de água do solo (CTA, 5,94 mm), respectivamente.

A planilha foi atualizada diariamente com as seguintes informações: data; temperatura máxima; temperatura mínima; Kc da cultura onde o inicial foi 0,7, o médio de 1,20 e o final de 0,7 (ALLEN et al., 1998); e a lâmina da irrigação realizada.

A irrigação foi realizada por meio de uma proveta, sendo aplicado em cada vaso o volume de irrigação correspondente para cada tratamento, calculado com base na porcentagem da evapotranspiração. A aplicação da lâmina ocorreu normalmente pela manhã, sempre que a planilha indicou que a cultura estava muito próxima à umidade de segurança (fator f).

Realizou-se a colheita de forma manual, após a maturação fisiológica, caracterizada pela “camada preta” nos grãos de milho (grão com cerca de 13% de umidade), conforme descrito por Cruz et al. (2008).

A determinação da biomassa foi realizada apenas uma vez aos 109 DAE para o ciclo I e aos 90 DAE para o ciclo II, mediante a pesagem da amostra da parte aérea, obtendo-se, assim, a massa fresca. A determinação da massa seca foi feita por pesagens do material apenas uma vez ao final do ciclo, no mesmo período em que ocorreu a determinação da biomassa fresca, após secagem em estufa de circulação de ar forçada, a 65 °C por 72 horas. Os resultados foram extrapolados para produtividade, em Mg ha<sup>-1</sup>, de massa fresca e massa seca.

Para estimar a produtividade de grãos, foi calculado um estande, com espaçamento de 0,9 m entre linhas e 8 plantas por metro linear, totalizando 88.889 plantas ha<sup>-1</sup>. Através da massa de grãos de cada repetição, multiplicada pelo estande de plantas, foi possível obter a produtividade em t ha<sup>-1</sup>.

A avaliação de crescimento da cultura do milho ocorreu aos 5, 39, 60 e 87 dias após a emergência (DAE), com o uso de uma trena, considerando a altura a partir do nível do solo até o colar da última folha totalmente aberta, para a fase vegetativa, enquanto na fase reprodutiva, o parâmetro de referência para a altura foi do nível do solo até a inserção do pendão.

Os parâmetros do modelo AquaCrop, são constituídos por dois grupos. Sendo o primeiro considerado conservativo, em que os parâmetros devem continuar basicamente constantes em diferentes condições de cultivo e regimes hídricos. Estes parâmetros foram obtidos de cultivares de alto rendimento, sem limitação hídrica e de fertilidade, conforme relatado em Heng et al. (2009) e Hsiao et al. (2009). Dentre os parâmetros conservativos citam-se coeficientes de crescimento e declínio do dossel, coeficientes de transpiração, produtividade

de biomassa em relação ao uso de água, limite de depleção de água no solo, índice de colheita de referência, dentre outros, que podem ser consultados em Hsiao et al. (2009). O segundo grupo são os parâmetros que devem ser calibrados pelo usuário, pois são dependentes da região como a fenologia da cultura, características do solo e clima, além da cultivar utilizada e práticas de manejo empregadas (STETUTO et al., 2012).

Para o teste do modelo AquaCrop as variáveis de entrada de clima necessárias para executar o modelo foram: temperatura do ar máxima e mínima diárias. Os dados meteorológicos foram coletados com um termômetro de máxima e mínima instalado no interior da casa de vegetação. As características do perfil do solo (arquivo de entrada), necessários ao AquaCrop, foram: textura, saturação e ponto de murcha permanente (Tabela 2).

**Tabela 2.** Variáveis utilizadas como arquivos de entrada para a simulação dos dois ciclos

Variáveis	Ciclo I	Ciclo II
T Máx	47 °C	47 °C
Tmín	11 °C	19 °C
Plantio	17/08/2017	19/12/2017
Florescimento	14/10/2017	06/02/2018
Maturidade Fisiológica	09/12/2017	23/03/2018
Kc médio	1,20	1,20
Profundidade do Sistema Radicular	40 cm	40 cm
Textura	média	Média
Saturação	45%	45%
Ponto de Murcha Permanente	17%	17%
Densidade	1,056g cm <sup>-3</sup>	1,056g cm <sup>-3</sup>
Lâmina de Irrigação Aplicada	25% ETc - 186,3 mm	25% ETc - 195,3 mm
	50% ETc - 372,6 mm	50% ETc - 390,6 mm
	75% ETc - 558,9 mm	75% ETc - 585,9 mm
	100% ETc - 745,2 mm	100% ETc - 781,2 mm
	125% ETc - 931,5 mm	125% ETc - 976,5 mm

Os parâmetros avaliados referentes ao desempenho agrônômico durante o ciclo do milho foram (arquivos de saída) (Tabela 3): produtividade ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), duração do ciclo (dias), requerimento de

irrigação líquida (mm) e eficiência no uso da água na produtividade por água evapotranspirada ( $\text{kg m}^{-3}$ ), seguindo-se metodologia descrita por Vieira et al. (2015).

**Tabela 3.** Valores obtidos como arquivos de saída

Arquivos saída	Ciclo I	Ciclo II
Biomassa Fresca	25% ETc - 8,585 $\text{Mg ha}^{-1}$	25% ETc - 5,902 $\text{Mg ha}^{-1}$
	50% ETc - 15,273 $\text{Mg ha}^{-1}$	50% ETc - 16,272 $\text{Mg ha}^{-1}$
	75% ETc - 20,852 $\text{Mg ha}^{-1}$	75% ETc - 22,242 $\text{Mg ha}^{-1}$
	100% ETc - 28,554 $\text{Mg ha}^{-1}$	100% ETc - 24,028 $\text{Mg ha}^{-1}$
	125% ETc - 32,434 $\text{Mg ha}^{-1}$	125% ETc - 20,52 $\text{Mg ha}^{-1}$
Biomassa Seca	25% ETc - 3,01 $\text{Mg ha}^{-1}$	25% ETc - 2,96 $\text{Mg ha}^{-1}$
	50% ETc - 7,343 $\text{Mg ha}^{-1}$	50% ETc - 6,2 $\text{Mg ha}^{-1}$
	75% ETc - 10,434 $\text{Mg ha}^{-1}$	75% ETc - 8,15 $\text{Mg ha}^{-1}$
	100% ETc - 12,9 $\text{Mg ha}^{-1}$	100% ETc - 8,7 $\text{Mg ha}^{-1}$
	125% ETc - 14,07 $\text{Mg ha}^{-1}$	125% ETc - 8,07 $\text{Mg ha}^{-1}$
Duração do Ciclo	104 Dias	86 Dias

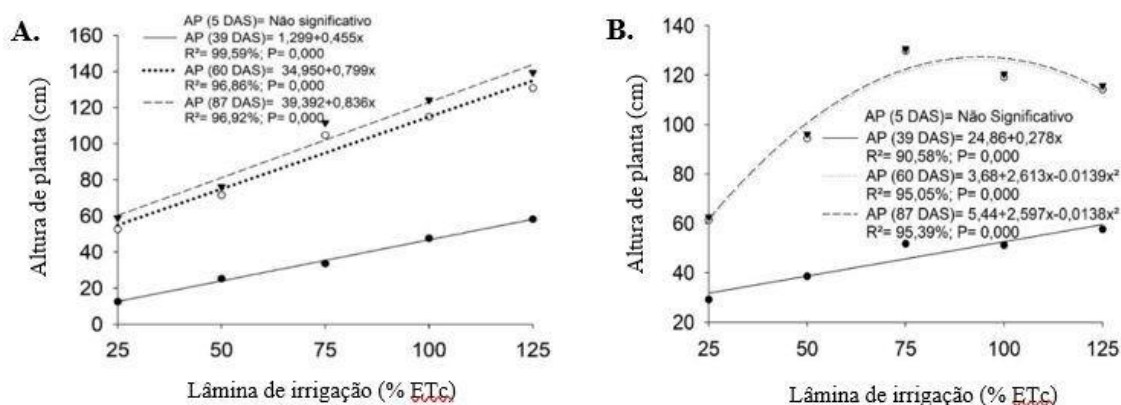
Para a Eficiência de Uso da água, foi feita a relação entre a biomassa produzida (kg) e a lâmina aplicada ( $\text{m}^3$ ).

Para verificar a normalidade, os dados que envolvem as lâminas de irrigação aplicadas e a produtividade da cultura do milho foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk). As variáveis de Biomassa para atenderem ao pressuposto foram transformadas em raiz quadrada. Após a verificação da normalidade dos dados, os tratamentos foram submetidos à análise de variância e comparados por meio da análise de regressão pelo método dos polinômios ortogonais. Para todos os procedimentos foi adotada probabilidade  $P < 0,05$ . Todas as análises estatísticas foram realizadas por meio do programa Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2011).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a variável altura de planta, a análise de variância indicou não haver efeito significativo ( $P > 0,05$ ) apenas na interação entre o quinto dia após a emergência (DAE) e a lâmina de irrigação, tanto no ciclo I quanto no ciclo II. Isso ocorreu devido ao fato de que até esta data todas as plantas receberam o mesmo volume de água proporcionando as mesmas condições de desenvolvimento para todos os tratamentos. Quanto às demais interações para esta variável, houve efeito significativo, verificando-se um comportamento linear em todo ciclo I pela análise de regressão (Figura 1A). Para o ciclo II, aos 39 DAE observou-se um comportamento linear, porém aos 60 e 87 DAE este comportamento tornou-se quadrático (Figura 1B).

**Figura 1.** Altura de plantas de milho em diferentes estádios de desenvolvimento (5, 39, 60 e 87 DAE) submetidas a diferentes lâminas de irrigação para o Ciclo I (A) e Ciclo II (B)



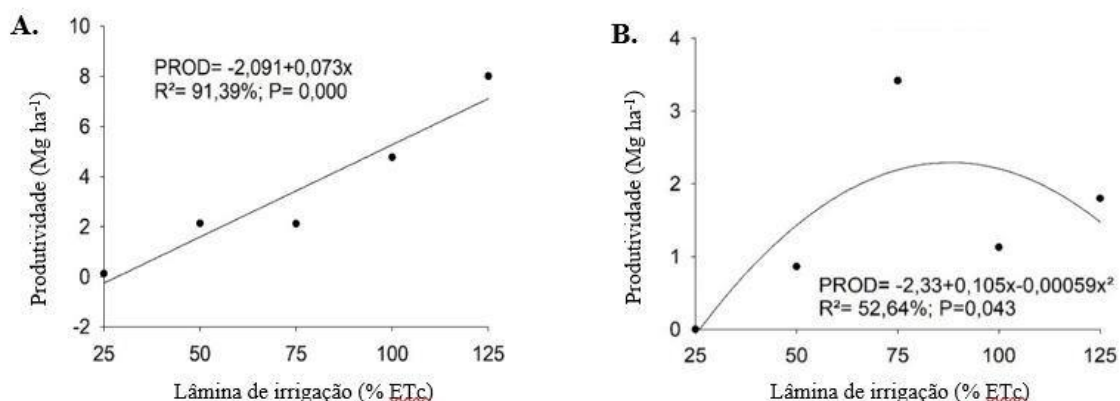
No ciclo I e no ciclo II, as plantas que receberam o tratamento T1 ficaram com tamanho inferior (60,29 cm e 61,74 cm respectivamente), quando comparados aos demais tratamentos. A maior altura de planta durante o ciclo I foi obtida no T5 (143,89 cm), enquanto no ciclo II o T4 (127,14 cm) propiciou maior altura. Isto ocorreu pelo déficit hídrico que levou ao fechamento estomático, redução da transpiração, redução da fotossíntese e da produção de fotoassimilados, resultando no pequeno desenvolvimento das plantas. Nascimento et al. (2017), ao aplicar lâminas de irrigação de 125%; 100%; 75%; 50% e 25% referente à  $ET_0$ , obteve o maior déficit hídrico na lâmina de 25%, e a altura de planta decresceu de acordo com a disponibilidade de água, obtendo as seguintes médias para esta variável: 224,77; 215,45; 194,24; 183,20 e 181,01 cm, respectivamente, comprovando o efeito negativo do déficit hídrico.

O T5, durante o ciclo II, se mostrou mais sensível ao excesso de água, que reduz a quantidade de  $O_2$  no solo, retardando o desenvolvimento das plantas. Alves et al. (2002) afirmam que, plantas que se desenvolvem nessas condições, são afetadas negativamente tanto em seu crescimento vegetativo, quanto em sua fase reprodutiva.

Em uma silagem, quanto maior a altura de planta, maior será a fração de colmo. Pinho et al. (2006) afirmam que, quanto menor for a participação das frações colmo e folhas na massa seca, maior será a participação das espigas, o que poderá proporcionar melhor valor nutritivo da silagem.

A produtividade seguiu um comportamento linear para o ciclo I (Figura 2A), apresentando maior produtividade quando ofertado maior volume de água, obtendo assim 7,03 Mg  $ha^{-1}$  no T5. Parizi et al. (2009) encontrou maior produtividade no tratamento de 100% da  $ET_0$  com 12,84 Mg  $ha^{-1}$ . Para o ciclo II (figura 2 B), o comportamento da produtividade foi quadrático, onde o maior valor foi obtido pelo T4 (2,27 Mg  $ha^{-1}$ ), o decréscimo desta variável ocorrido no T5 pode ter sido causado pelo excesso de água associado a elevadas temperaturas, como afirmam Dantas, Aragão e Alves (2001), que o estresse abiótico causado pelo alagamento reduz a produtividade na cultura do milho. Como as médias das temperaturas no ciclo II foram mais elevadas que no ciclo I, o sincronismo para ocorrência da polinização e a viabilidade do grão de pólen foram mais comprometidos, prejudicando significativamente a produtividade do ciclo II.

**Figura 2.** Produtividade de milho submetido a diferentes lâminas de irrigação para o Ciclo I (A) e Ciclo II (B)

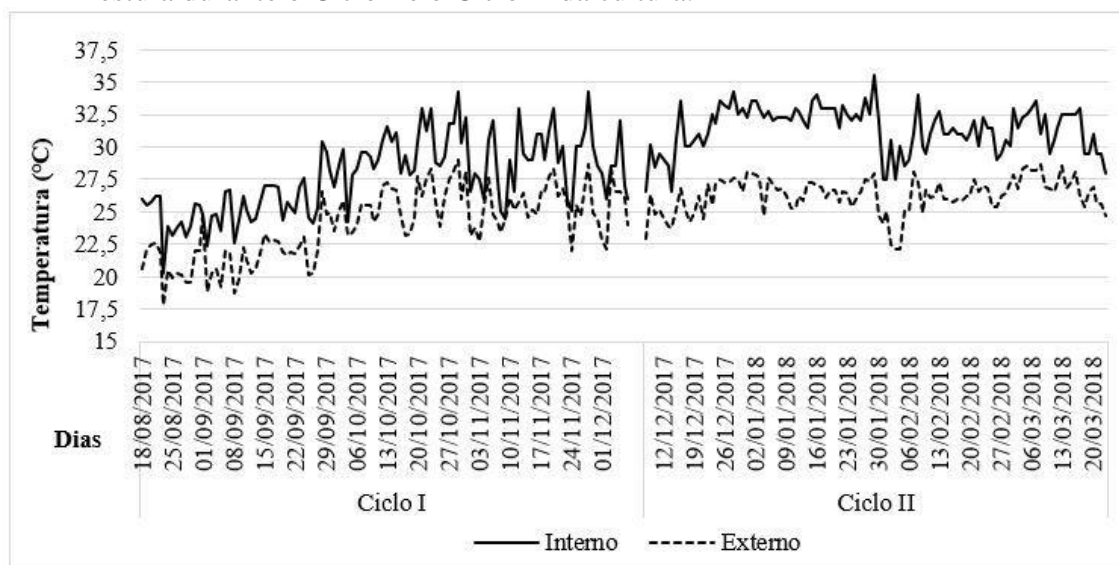


Marcondes et al. (2012), afirmam que uma das principais características que se buscam em um híbrido de milho para silagem, através de programas atuais de melhoramento, é a produção de grãos maior que 7.000 kg ha<sup>-1</sup>, o que foi encontrado apenas no T5 do ciclo I.

A temperatura no interior da casa de vegetação atuou como um fator limitante para o desenvolvimento e produtividade da cultura. Na Figura 3, é possível observar que na maioria dos dias, a temperatura média no interior da casa de

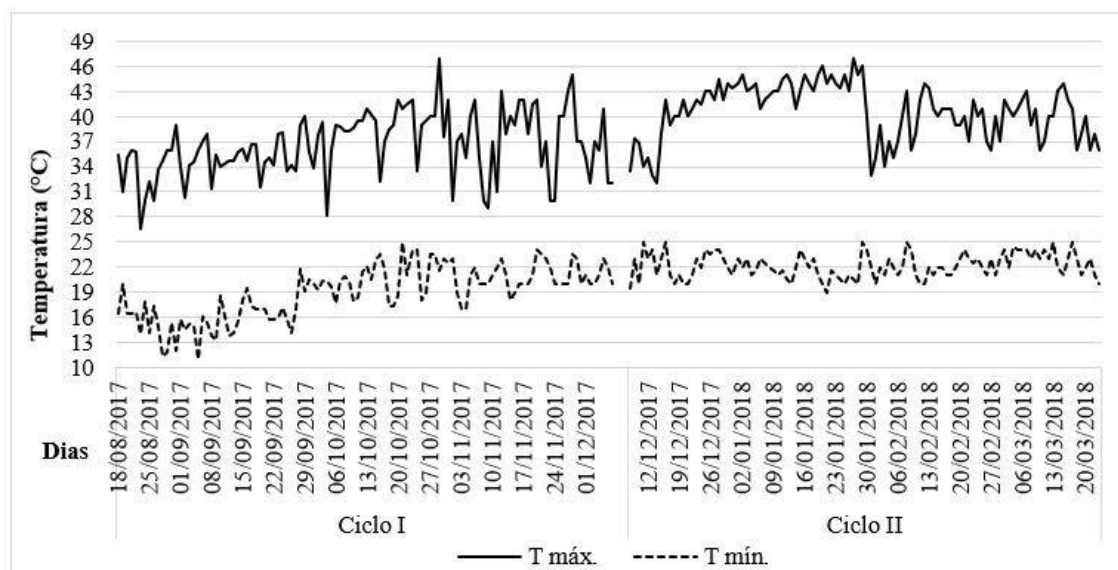
vegetação foi superior à temperatura externa, com a maior temperatura média atingida no interior de 34,25 °C, enquanto a externa foi de 29 °C durante o ciclo I, e, durante o ciclo II as médias atingiram 35,5 °C e 28,6 °C, respectivamente. As temperaturas máxima e mínima atingidas dentro da casa de vegetação são apresentadas na Figura 4, onde para o ciclo I a máxima foi de 47 °C e a mínima foi 11 °C, já para o ciclo II, estes valores foram de 47 °C e 19 °C, respectivamente.

**Figura 3.** Temperatura média no interior da casa de vegetação e temperatura média externa a estufa durante o Ciclo I e o Ciclo II da cultura.





**Figura 4.** Temperatura máxima e mínima no interior da casa de vegetação durante o Ciclo I e o Ciclo II da cultura.

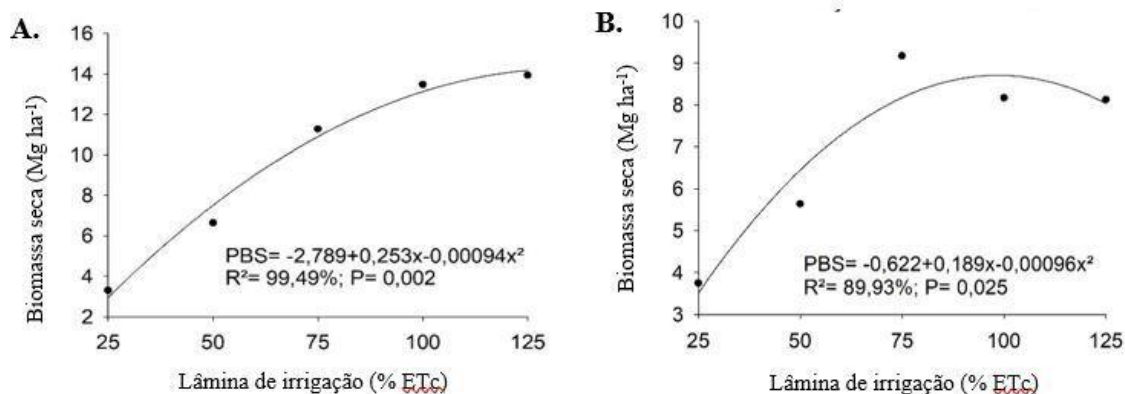


Estas temperaturas elevadas causaram escaldadura em algumas plantas atingindo sempre as folhas mais novas durante os dois ciclos da cultura. Durante o ciclo I, no período de florescimento, ocorreram danos aos pendões, o que veio a interferir na polinização, formando espigas que possuíam somente palha. O ciclo II também teve sua polinização comprometida devido à temperatura elevada ter afetado o sincronismo do florescimento. Balbinot, Delai e Werle (2011) estudando a viabilidade dos grãos de pólen de milho notou que em ambiente natural, à medida que a temperatura se elevou, a viabilidade do grão de pólen foi reduzida. Durante a polinização, temperaturas acima de 33 °C reduzem

sensivelmente a germinação do grão de pólen (LANDAU; SANS; SANTANA, 2009, n.p).

A variável biomassa seca em Mg ha<sup>-1</sup> (Figura 5A), apresentou comportamento quadrático para o ciclo I, porém o T5 ainda apresentou melhor valor de 14,15 Mg ha<sup>-1</sup>, o T1 apresentou a menor média, 2,9 Mg ha<sup>-1</sup>. Para o ciclo II, que também teve comportamento quadrático, o T4 apresentou melhor desempenho para biomassa seca em Mg ha<sup>-1</sup> (Figura 5B), com média de 8,7 Mg ha<sup>-1</sup>, o pior resultado foi obtido pelo T1 com 3,5 Mg ha<sup>-1</sup>. Costa, Pinho e Parry, (2008) verificaram que a redução do nível de água disponível afeta negativamente a produção de matéria seca da parte aérea das plantas de milho.

**Figura 5.** Produtividade de biomassa seca em  $\text{Mg ha}^{-1}$  submetida a diferentes lâminas de irrigação durante o Ciclo I (A) e Ciclo II (B)



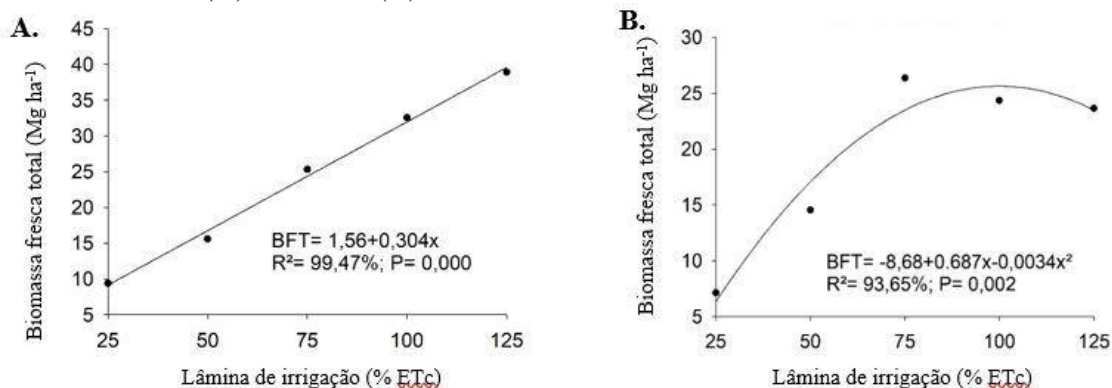
O excesso de água afeta negativamente a condutância estomática e reduz as taxas fotossintéticas e de crescimento, resultando na redução da produção de matéria seca na parte aérea e nas raízes (FERNANDEZ, 2006), o que pode explicar o decréscimo da biomassa seca do T5 no ciclo II.

Marcondes et al. (2012) afirmam que outra característica importante do híbrido para silagem é a produção de massa seca maior que  $18.000 \text{ kg ha}^{-1}$ , o que não foi obtido em nenhum dos ciclos da cultura. Para que os dispositivos metabólicos da planta sejam acionados, é necessária uma temperatura mínima, chamada de temperatura basal inferior ( $T_b$ ), onde a planta se desenvolve somente acima desta temperatura. A planta também possui uma temperatura basal superior ( $T_B$ ) e acima desta temperatura não ocorre atividade metabólica, atrasando seu desenvolvimento. Para a cultura do milho, os valores de  $T_b$  e  $T_B$  são de  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $32 \text{ }^\circ\text{C}$  respectivamente (ASSIS et al., 2006), isto explica a pequena produção de biomassa seca pelas plantas, principalmente durante

o ciclo II, onde a média das temperaturas foi superior ( $35,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ), e como consequência, a maioria das variáveis analisadas neste ciclo foram inferiores quando comparadas ao ciclo I.

A variável biomassa fresca total (colmo, folhas, palha e grãos) no ciclo I (Figura 6A), apresentou-se de forma linear, onde o maior valor foi obtido no T5,  $39,56 \text{ Mg ha}^{-1}$ , e o menor valor foi encontrado no T1,  $9,16 \text{ Mg ha}^{-1}$ . No ciclo II (Figura 6B), o maior valor foi encontrado no T4 ( $26,02 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), já que o comportamento dos dados obtidos foi quadrático, e a menor média também foi obtida no T1,  $6,37 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Brito et al. (2013), observaram incremento linear na formação de fitomassa de folhas e colmo de milho doce com o aumento da disponibilidade hídrica. Wu, Huang e Warrington (2011), ao estudarem o crescimento e a transpiração do milho em casa de vegetação sob deficiência hídrica, verificaram redução na formação de fitomassa de milho quando a umidade nos vasos é inferior a 90% da capacidade de campo.

**Figura 6.** Biomassa fresca total de milho submetidas a diferentes lâminas de irrigação no ciclo I (A) e ciclo II (B)



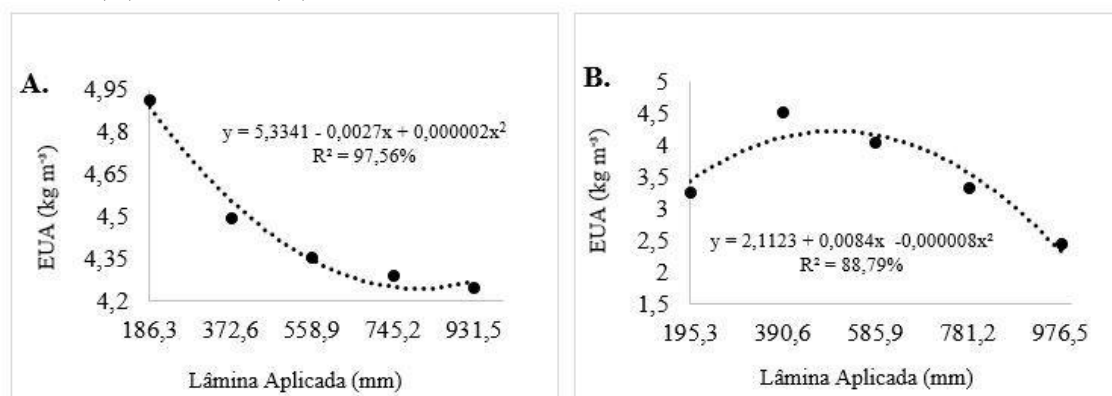
Segundo Neumann et al. (2007), citado por Neumann et al. (2017, p.55), híbridos para silagem devem ter uma produção de biomassa verde dentro da amplitude de 37.000 a 75.000 kg ha<sup>-1</sup> para que apresentem uma adequada bioeficiência econômica, assim, apenas o T5 do ciclo I se adequaria para ensilagem.

Durante o ciclo I, os tratamentos (T1, T2, T3, T4 e T5) consumiram as seguintes lâminas: 186,3; 372,6; 558,9; 745,2 e 931,5 mm respectivamente. No ciclo II estes valores foram de 195,3,

390,6; 585,9; 781,2 e 976,5 mm. Estas lâminas aplicadas foram utilizadas para a obtenção da eficiência do uso da água (EUA).

A EUA para produção de biomassa fresca total está representada na Figura 7A para o ciclo I e na Figura 7B para o ciclo II, onde a relação biomassa/lâmina aplicada se ajustaram a um modelo polinomial quadrático com um coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) de 97,56% e 88,79%, respectivamente, o que indica o bom ajuste do modelo.

**Figura 7.** Eficiência do uso da água para a produção total de biomassa fresca para o ciclo I (A) e ciclo II (B)



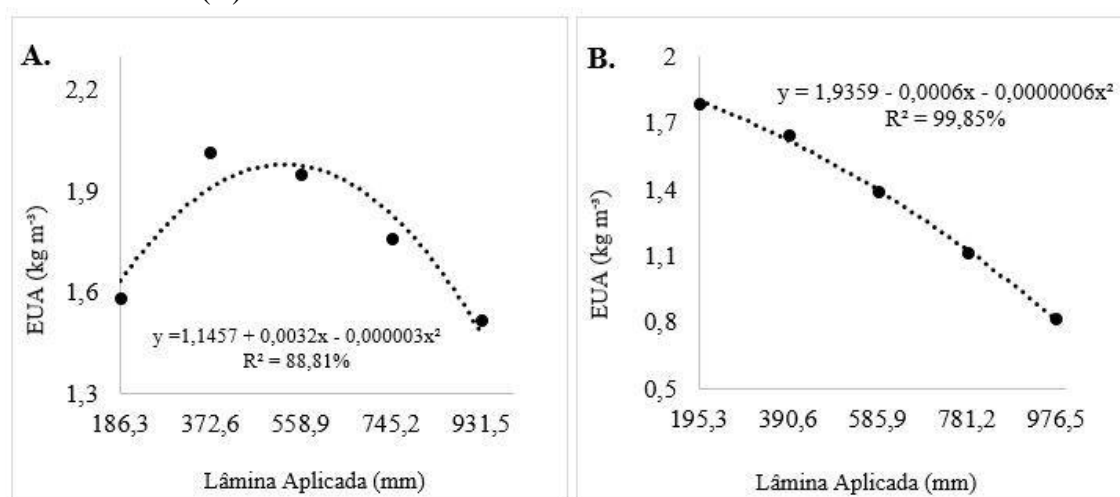
Durante o ciclo I, a lâmina de 25% da ETc foi a que apresentou a melhor EUA com 4,91 kg m<sup>-3</sup>, e conforme aumentou-se a lâmina aplicada a EUA diminuiu até chegar a 4,24 kg m<sup>-3</sup> na lâmina de 125%. Para o ciclo II, a melhor EUA foi

encontrada na lâmina de 50% da ETc, com 4,52 kg m<sup>-3</sup>. com o aumento da lâmina de irrigação, os tratamentos apresentaram redução deste valor, como no ciclo I, chegando a 2,46 kg m<sup>-3</sup> na lâmina correspondente a de 125%.

A EUA para produção de biomassa seca está representada na Figura 8A para o ciclo I e na Figura 8B para o ciclo II, onde a relação biomassa/lâmina aplicada se ajustou a um modelo polinomial quadrático com um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 88,81% e 99,85%, respectivamente, o que indica o bom ajuste do modelo. No ciclo I, a maior EUA para produção de biomassa seca foi na lâmina de 50% da ETc,  $2,01 \text{ kg m}^{-3}$ , enquanto a menor foi na lâmina de 125%, com  $1,51 \text{ kg m}^{-3}$ . Já para

o ciclo II, a maior EUA foi encontrada na lâmina de 25% com  $1,79 \text{ kg m}^{-3}$ , enquanto a menor foi de  $0,81 \text{ kg m}^{-3}$  na lâmina de 125% da ETc. Os resultados para biomassa seca tiveram comportamento semelhante ao de massa fresca, onde, ao aumentar o valor da lâmina aplicada, a EUA diminui, corroborando com a afirmação de Ben (2015), onde a EUA é inversamente proporcional à quantidade de água aplicada.

**Figura 8.** Eficiência do uso da água para a produção de biomassa seca para o ciclo I (A) e ciclo II (B)



Ben (2015), estudando a influência de lâminas de irrigação e densidade de plantas sobre o cultivo do milho safrinha, obteve um comportamento quadrático da EUA em função do aumento da lâmina de irrigação, onde a maior eficiência técnica foi estimada com a aplicação de uma lâmina de 43% da ETc, constatando-se uma EUA de  $2,79 \text{ kg m}^{-3} \text{ ha}^{-1}$ .

Ao trabalhar com cinco lâminas de irrigação e doses de fósforo em consórcio de milho verde e feijão caupi no PI, Blanco et al. (2011) observaram valor máximo de  $2,22 \text{ kg m}^{-3} \text{ ha}^{-1}$  de EUA em uma lâmina de 165 mm e o valor mínimo de  $0,97 \text{ kg m}^{-3} \text{ ha}^{-1}$  para a lâmina de 494 mm.

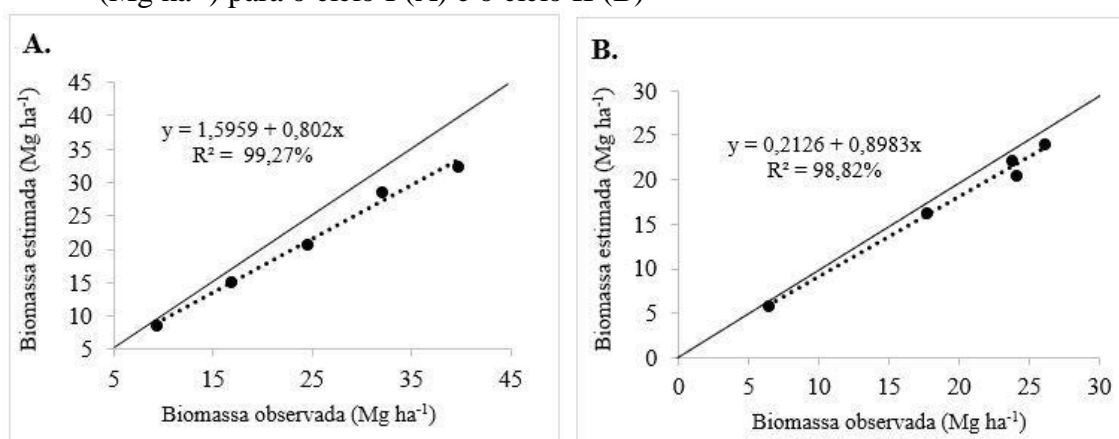
A correlação entre a biomassa fresca total simulada para o ciclo I (Figura

9A) e ciclo II (Figura 9B) se ajustaram a um modelo linear, com  $R^2$  de 99,27% e 98,82%, respectivamente, o que mostra um ajuste adequado do modelo. Os valores observados nos dois ciclos foram sempre maiores que os simulados (Tabela 2), logo, o Aquacrop subestimou os valores de biomassa fresca na porcentagem de 6,28%, 8,87%, 14,4%, 10,77% e 18,01% respectivamente para o T1, T2, T3, T4 e T5 do ciclo I e na porcentagem de 7,35%, 7,91%, 6,23%, 7,65% e 14,75% respectivamente no ciclo II. Esta subestimativa pode ser explicada pelo fato do AquaCrop ter encerrado o ciclo I aos 104 dias e o ciclo II aos 86 dias, quando na verdade estes ciclos foram até os 114 e 94 dias respectivamente, esta diferença de

dias pode ter influenciado no acúmulo de matéria seca, assim os valores observados foram maiores. Outro motivo desta variação pode ser o método utilizado para obter os valores de  $ET_0$ , já que em campo

foi utilizado o método de Hargreaves-Samani, o qual superestima estes valores quando comparado com o método de Penman Monteith, que foi utilizado nas simulações.

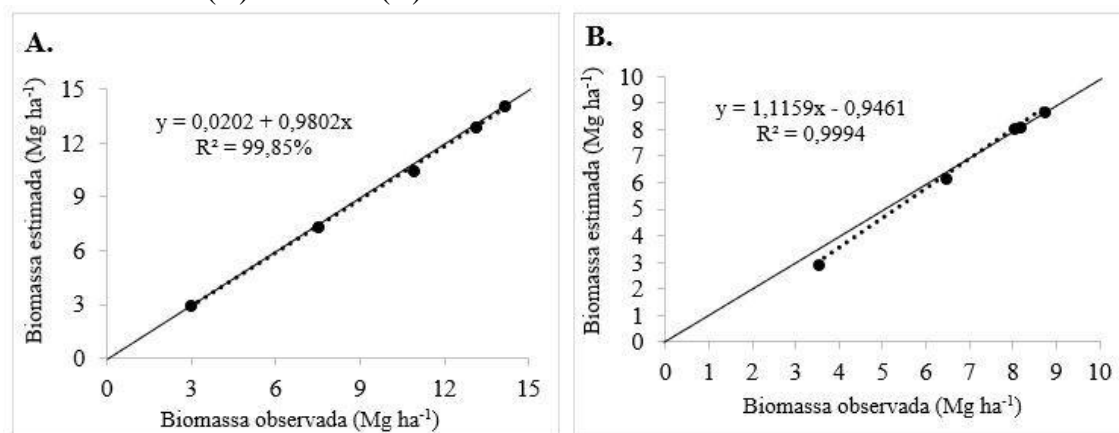
**Figura 9.** Relação entre os dados observados e os dados simulados para Biomassa total fresca ( $Mg\ ha^{-1}$ ) para o ciclo I (A) e o ciclo II (B)



Para a biomassa seca do ciclo I (Figura 10A) e do ciclo II (Figura 10B), o modelo também obteve um ajuste adequado com  $R^2$  de 99,85 e 99,94%, respectivamente. Para o ciclo I, apenas o valor simulado para o T1 superestimou o valor observado em 2,03%. Quanto aos demais valores simulados, todos subestimaram os valores observados no T2, T3, T4 e T5 em 2,22%, 4,27%, 1,60%

e 0,56%, respectivamente. Para o ciclo II, os valores simulados para o T1 e T2 subestimaram os valores observados em 15,42% e 3,57%, os valores simulados para T3 e T4 apresentaram correspondência ideal de 1:1, ou seja, coincidiram com os valores observados, e o valor simulado de T5 superestimou o valor observado em 0,87%.

**Figura 10.** Relação entre os dados observados e os dados simulados para biomassa seca no ciclo I (A) e ciclo II (B)



Para períodos acima de 30 DAE, conforme Costa e Barros (2001), as variações de crescimento são mais intensas e os processos físicos e biológicos são mais complexos de serem estimados. Segundo Cavero et al. (2000) o sistema radicular pode ter uma profundidade variável quando ocorre estresse hídrico, o que pode levar a uma diferença entre os resultados observados e simulados nos tratamentos que apresentam estas condições.

Anjos (2011), estudando a produtividade de milho em diferentes épocas de semeio em Arapiraca, Alagoas, pelo modelo AquaCrop, notou que a partir dos 62 DAE os valores observados superaram os valores estimados em 1,2%, seguindo essa tendência até o final do ciclo.

## 6 CONCLUSÃO

Os valores mais próximos do observado foram simulados no tratamento 2 (50% da  $ET_0$ ) para o ciclo I, e, no tratamento 3 (75% da  $ET_0$ ) para o ciclo II.

Em condições de campo, os melhores valores de biomassa fresca e seca observados foram obtidos no tratamento 5 (125% da  $ET_0$ ) para o ciclo I e, no tratamento 4 (100% da  $ET_0$ ), para o ciclo II.

Ao comparar os períodos de plantio, os melhores resultados apresentados foram obtidos para o ciclo I.

A lâmina de irrigação total que se tornou mais viável para o ciclo I foi a de 931,5 mm, já para o ciclo II, a lâmina de 585,9 mm foi a mais viável.

Os melhores resultados para EUA foram observados nos tratamentos que receberam menores lâminas de água (T1 e T2) para ambos os ciclos.

Para a produção de silagem, apenas o tratamento 5 do ciclo I possuiria as características mais próximas das necessárias para uma silagem de qualidade.

O aplicativo Aquacrop se mostrou confiável para estimativa de milho nas condições deste estudo, sendo uma interessante ferramenta para fins de predição de produção e desenvolvimento da cultura.

## 7 REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALVES, J. D.; MAGALHÃES, M. M.; GOULART, P. F. P.; DANTAS, B. F.; GOUVEA, J. A.; PURCINO, R. P.; MAGALHÃES, P. C.; FRIES, D. D.; LIVRAMENTOS, D. E.; MEYER, L. E.; SEIFFERT, M.; SILVEIRA, T. Mecanismo de tolerância da variedade de milho “Saracura” (BRS 4154) ao alagamento. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 1, n. 1, p. 41-52, 2002.
- ANJOS, F. A. **Simulação da produtividade de milho em diferentes épocas de semeio em Arapiraca, Alagoas, pelo modelo AquaCrop**. 2011. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) – Universidade Federal do Alagoas, Alagoas, 2011.
- ASSIS, J. P.; DOURADO NETO, D.; NASS, L. L.; MANFRON, P. A.; BONNECARRERE, R. A.G.; MARTIN, T. N. Simulação estocástica de atributos do clima e da produtividade

potencial de milho utilizando-se distribuição triangular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 41, n. 3, p. 539-543, 2006.

BALBINOT, A.; DELAI, R. M.; WERLE, A. J. K. Viabilidade do pólen de milho. **Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 4, n. 2, p. 133-142, 2011.

BARBOSA, M. A.; FERRAZ, R. L. S.; COUTINHO, E. L. M.; COUTINHO NETO, A. M.; SILVA, M. S.; FERNANDES, C.; RIGOBELLO, E. C. Multivariate analysis and modeling of soil quality indicators in long-term management systems. **Science of The Total Environment**, v. 657, p. 457-465, 2019.

BEN, L. H. B. **Influência de lâminas de irrigação e densidade de plantas sobre o cultivo do milho safrinha**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

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**, Brasília, DF, v. 39, n. 9, p. 831-839, 2004.

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, v. 46, n. 5, p. 524-530, 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. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 5, p. 1244-1254, 2013.

CAVALCANTE JÚNIOR, C. A. **Desempenho do modelo AquaCrop/fao® para cultivo do milho em Alagoas**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande Campina Grande, 2019.

CAVERO, J.; FARRE, I.; DEBAEKE, P.; FACI, J. M. Simulation of maize yield under water stress with the EPIC phase and CROPWAT models. **Agronomy Journal**, Madison, WI, v. 92, n. 4, p. 679-690, 2000.

COSTA, J. R.; PINHO, J. L. N.; PARRY, M. M. Produção de matéria seca de cultivares de milho sob diferentes níveis de estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 5, p. 443-450, 2008.

COSTA, L. C.; BARROS, A. H. C. Desenvolvimento e teste de um modelo de simulação de crescimento, desenvolvimento da cultura do milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 75-82, 2001.

CRUZ, J. C.; KARAM, D.; MONTEIRO, M. A. R.; MAGALHÃES, P. C. **A cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008.

DANTAS, B. F.; ARAGÃO, C. A.; ALVES, J. D. Cálcio e o desenvolvimento de aerênquimas e atividade celulase em plântulas de milho submetidas a hipóxia. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 251-257, 2001.

DUARTE, J. O.; GARCIA, J. C.; MIRANDA, R. A. **Cultivo do milho**. 9. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015.

FERNANDEZ, M. D. Changes in photosynthesis and fluorescence in response to flooding in emerged and submerged leaves of *Pouteria orinocoensis*. **Photosyntetica**, Praga, v. 44, n. 1, p. 32-38, 2006.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistic analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Transaction of ASAE**, St Joseph, v. 1, n. 2, p. 96-99, 1985.

HENG, L. K.; HSIAO, T.; EVELT, S.; HOWEL, T.; STETUTO, P. Validating the FAO AquaCrop Model for Irrigated and Water Deficient Field Maize. **Agronomy Journal**, Madison, WI, v. 1, n. 3, p. 488-498. 2009.

HSIAO, T. C.; HENG, L. K.; STEDUTO, P.; ROJAS-LARA, B.; RAES, D.; FERERES, E. AquaCrop: the FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: III. Parameterization and Testing for Maize. **Agronomy Journal**, Madison, WI, v. 101, p. 448-459, 2009.

LANDAU, E. C.; SANS, L. M. A.; SANTANA, D. P. **Cultivo do milho: clima e solo**. 5. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009.

Disponível em:

<[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01\\_17\\_168200511157.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_17_168200511157.html)> Acesso em: Abril de 2018.

LECERF, R.; CEGLAR, A.; LÓPEZ-LOZANO, R.; VELDE, M. V. D.; BARUTH, B. Assessing the information in crop model and meteorological indicators to forecast crop yield over Europe. **Agricultural Systems**, v. 168, p. 191-202, 2019.

MARCONDES, M. M.; NEUMANN, M.; MARAFON, F.; ROSÁRIO, J. G.; FARIA, M. V. Aspectos do melhoramento genético de milho para produção de silagem. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 5, n. 2, p. 173-192, 2012.

NASCIMENTO, F. N.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; RAMOS, H. M. Desempenho da produtividade de espigas de milho verde sob diferentes regimes hídricos. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 16, n. 1, p. 94-108, 2017.

NEUMANN, M.; LEÃO, G.F.M.; COELHO, M.G.; FIGUEIRA, D.N.; SPADA, C.A.; PERUSSOLO, L.F. Aspectos produtivos, nutricionais e bioeconômicos de híbridos de milho para produção de silagem. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 66, n. 253, p. 51-58, 2017.



PARIZI, A. R. C.; ROBAINA, A. D.; ANA CARLA DOS SANTOS GOMES, A. C. S.; FATIMA CIBELE SOARES, F. C.; CLEITON JOSÉ RAMÃO, C. J.; MARCIA XAVIER PEITER, M. X.; LEONARDO 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.

PINHO, R. G.; VASCONCELOS, R. C.; BORGES, I. D.; REZENDE, A. V. Influência da altura de corte das plantas nas características agrônômicas e valor nutritivo das silagens de milho e de diferentes tipos de sorgo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 5, n. 2, p. 266-279, 2006.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo: 5ª aproximação**. Vitória, 2007.

RAES, D.; STEDUTO, P.; HSIAO, T.; FERERES, E. **AquaCrop**. Version 4.0. Rome: FAO, 2012. Reference manual.

RAES, D.; STEDUTO, P.; HSIAO, T.C.; FERERES, E. AquaCrop – the FAO crop model to simulate yield response to water: II. Main algorithms and software description. **Agronomy Journal**, Madison, WI, v. 101, n. 3, p. 438-447, 2009.

STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; FERERES, E.; RAES, D. **Crop Yield Response to Water**. Rome: FAO, 2012. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 66). Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/016/i2800e/i2800e00.htm>. Acesso em: 9 jun. 2019.

STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; RAES, D.; FERERES, E. AquaCrop – the FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. **Agronomy Journal**, Madison, WI, v. 101, n. 3, p. 426-437, 2009.

VIEIRA, G. H. S.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; LO MONACO, P. A. V. Lâminas de irrigação em cana-de-açúcar para diferentes condições de disponibilidade hídrica. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 2, p. 137-148, 2015. Edição Especial IRRIGA & INOVAGRI.

WU, Y.; HUANG, M.; WARRINGTON, D. N. Growth and transpiration of maize and winter wheat in response to water deficits in pots and plots. **Environmental and Experimental Botany**, Paris, v. 71, n. 1, p. 65-71, 2011.

YOUNG, P. A. The based culture model: constructing the model of culture. **Educational & Technology Society**, v. 11, n. 2, p. 107-118, 2008.