

**Morfofisiologia e produção de milho-verde cultivado sob diferentes lâminas de água e doses de nitrogênio nas condições do cerrado goiano, Brasil**

**Morphophysiology and yield of green corn cultivated under different water depths and nitrogen doses in the cerrado conditions of Goiás, Brazil**

**Morfofisiología y producción de maíz cultivado bajo diferentes niveles de agua y dosis de nitrógeno en las condiciones del cerrado de Goiás, Brasil**

Recebido: 29/09/2020 | Revisado: 02/10/2020 | Aceito: 09/10/2020 | Publicado: 11/10/2020

**Eliaby José de Oliveira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8081-8165>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Brasil

E-mail: [ejosedoliveira@gmail.com](mailto:ejosedoliveira@gmail.com)

**Hyrandir Cabral de Melo**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9546-2539>

Universidade Federal de Goiás, Brasil

E-mail: [hyrandir@yahoo.com.br](mailto:hyrandir@yahoo.com.br)

**Frederico Rocha Rodrigues Alves**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2540-4699>

Universidade Federal de Goiás, Brasil

E-mail: [fred\\_rra@ufg.br](mailto:fred_rra@ufg.br)

**Aniela Pilar Campos de Melo**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5687-5928>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Brasil

E-mail: [aniela.pcdmelo@gmail.com](mailto:aniela.pcdmelo@gmail.com)

**Kênia Lorrany Trindade**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9096-1443>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Brasil

E-mail: [kenialorrany@hotmail.com](mailto:kenialorrany@hotmail.com)

**Thâmara de Mendonça Guedes**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1060-4476>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Brasil

E-mail: [guedes428@gmail.com](mailto:guedes428@gmail.com)

**Cleiton Mateus Sousa**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8616-4580>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Brasil

E-mail: [cleiton.sousa@ifgoiano.edu.br](mailto:cleiton.sousa@ifgoiano.edu.br)

## Resumo

Milho-verde é um cereal amplamente consumido no mundo todo, com alta demanda de produção. A produtividade do milho-verde está ligada à disponibilidade hídrica e de nitrogênio, sendo o conhecimento da interação entre estes fatores essencial para alcançar os melhores rendimentos da cultura, dependendo das condições edafoclimáticas de uma determinada região. No presente trabalho, investigamos o impacto de diferentes lâminas de água (50%, 75%, 100%, 125% da reposição hídrica da evapotranspiração) e de doses de nitrogênio (0, 70, 140, 210 kg N ha<sup>-1</sup>), além da interação entre esses dois fatores sobre a morfofisiologia e produção do milho-verde cv. Agrocerec 1051 cultivado em cerrado goiano. As diferentes lâminas de água e dosagens de nitrogênio não afetaram parâmetros fisiológicos como fotossíntese líquida, condutância estomática, transpiração e fluorescência. Em relação aos parâmetros morfológicos e de produção, a aplicação da lâmina de água de 125% promoveu aumento no comprimento da espiga sem palha (CESP), número de cariopses por fileira (NCF), diâmetro do colmo, massa verde da planta sem espiga (MVPSE) e no peso da espiga com palha. A adubação com dose de 210 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio aumentou comprimento da espiga com e sem palha (CECP e CESP), NCF, MVPSE, e o diâmetro e peso da espiga com palha (DECP e PECP). Houve correlação positiva entre a área foliar (AF) e os parâmetros de produtividade. A eficácia da adubação nitrogenada foi limitada pela disponibilidade hídrica para os parâmetros AF, altura da planta, número de folhas e comprimento e largura da folha de inserção da espiga.

**Palavras-chave:** *Zea mays*; Adubação de cobertura; Gotejamento; Trocas gasosas; AG-1051.

## Abstract

Corn is a cereal widely consumed worldwide, presenting high production demand. The productivity of green corn is linked to water and nitrogen availability, and knowledge of the interaction between these factors is essential to achieve the best crop yields depending on the edaphoclimatic conditions of a given region. In the present work, we investigated the impact of different water depths (50%, 75%, 100%, 125% of the water replacement of evapotranspiration) and nitrogen doses (0, 70, 140, 210 kg N ha<sup>-1</sup>), besides the interaction

between these two factors on the morphophysiology and production of green corn cv. Agrocerec 1051 grown in cerrado of Goiás, Brazil. The different water depths and nitrogen doses did not affect physiological parameters such as net photosynthesis, stomatal conductance, transpiration and fluorescence. Regarding the morphological and production parameters, 125% water depth application increased the length of the ear without straw (CESP), the number of karyopses per row (NCF), stem diameter, green mass of the plant without ear (MVPSE) and the weight of the ear with straw. Fertilization treatment of 210 kg ha<sup>-1</sup> of nitrogen increased the length of the ear with and without straw (CECP and CESP), NCF, MVPSE, as well as the diameter and weight of the ear with straw (DECP and PECP). There was a positive correlation between the leaf area (AF) and the productivity parameters. The effectiveness of nitrogen fertilization was limited by water availability for the parameters AF, plant height, number of leaves and length and width of the ear insertion leaf.

**Keywords:** *Zea mays*; Aover fertilization; Dripping; Gas exchange; AG-1051.

### Resumen

El maíz es un cereal de gran consumo global, presentando alta demanda de producción. La productividad del maíz está relacionada con la disponibilidad de agua y nitrógeno, y el conocimiento de la interacción entre estos factores es fundamental para lograr los mejores rendimientos de los cultivos en función de las condiciones edafoclimáticas de una región determinada. En este trabajo, investigamos el impacto de diferentes láminas de riego (50%, 75%, 100%, 125% del recambio hídrico de la evapotranspiración) y dosis de nitrógeno (0, 70, 140, 210 kg N ha<sup>-1</sup>), además de la interacción entre estos factores sobre la morfofisiología y producción del maíz cv. Agrocerec 1051 cultivado en el cerrado de Goiás, Brasil. Los diferentes niveles de agua y nitrógeno no afectaron parámetros fisiológicos como la fotosíntesis líquida, conductancia estomática, transpiración y fluorescencia. Respecto a los parámetros morfológicos y productivos, la aplicación de la lámina de riego de 125% aumentó la longitud de la mazorca sin cáscara (CESP), el número de cariósidos por fila (NCF), el diámetro del tallo, la masa verde de la planta sin mazorca (MVPSE) y el peso de la mazorca con cáscara. La fertilización con una dosis de 210 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno aumentó la longitud de la mazorca con y sin cáscara (CECP y CESP), NCF, MVPSE, así como el diámetro y peso de la mazorca con cáscara (DECP y PECP). Hubo una correlación positiva entre el área foliar (AF) y los parámetros de productividad. La efectividad de la fertilización con nitrógeno estuvo limitada por la disponibilidad de agua para los parámetros AF, altura de la planta, número de hojas, longitud y ancho de la hoja de inserción de la mazorca.

**Palabras clave:** *Zea mays*; Fertilización; Goteo; Intercambio gaseoso; AG-1051.

## 1. Introdução

O milho (*Zea mays* L.) é um dos mais antigos cereais cultivados de que se tem registro. Atualmente é cultivado em todas as regiões do mundo, provando ser uma cultura altamente adaptável às mais diversas condições ambientais e de solo. Em razão disso, tornou-se um dos cereais mais importantes a nível mundial, sendo empregado na alimentação humana sob variadas formas, através de grãos secos ou verdes. As espigas normalmente são colhidas no estágio R3 (quando as pontas das brácteas ficam flexíveis e estilos e estigmas secam). Nessa fase de colheita para consumo *in natura* na forma de grãos verdes, o produto é conhecido popularmente como milho-verde (Hossain et al., 2016).

O conhecimento a respeito das condições ideais de cultivo de milho-verde é de suma importância para obter uma produção satisfatória, sendo a dosagem de nutrientes fundamental para a cultura, a fim de promover um bom desenvolvimento das plantas, alcançando alto rendimento com qualidade de espigas que atendam a demanda do mercado. Entre os nutrientes, o nitrogênio (N) é o mais requerido quantitativamente pelas plantas, apresentando alta mobilidade no solo, necessitando monitoramento frequente de sua disponibilidade às plantas. N é um elemento limitante para o desenvolvimento dos vegetais por integrar biomoléculas muito abundantes, como proteínas, clorofila e ácidos nucleicos (Araújo et al., 2004). A importância do N na produção de milho-verde tem sido objeto de estudo em várias pesquisas (Freire et al., 2010; Machado Filho et al., 2018; Sousa et al., 2017).

A assimilação de N depende da disponibilidade de esqueletos orgânicos de carbono, cuja formação pode ser prejudicada pela pouca disponibilidade hídrica, que aumenta a resistência estomática, e que, por sua vez, dificulta o influxo de CO<sub>2</sub> à folha, desta forma prejudicando o processo de carboxilação (Kaiser, 1987).

A deficiência de N diminui significativamente a capacidade fotossintética, assimilação de CO<sub>2</sub> das folhas, levando a reduções no rendimento quântico fotossintético. A diminuição na capacidade de assimilação fotossintética de CO<sub>2</sub> está associada a reduções no conteúdo e na atividade da enzima Rubisco no ciclo de Calvin, responsável pela carboxilação e síntese dos fotoassimilados (Jin et al., 2015).

A disponibilidade de água no solo impacta diretamente as taxas de fotossíntese. Em condições hídricas ideais, processos fisiológicos como a absorção de nutrientes pelas raízes, a ascensão da seiva e o processo de transpiração, causando o resfriamento das folhas, ocorrem

sem prejuízos. A perda de água para a atmosfera é necessária, pois, no sentido inverso e simultâneo, ocorre o influxo de CO<sub>2</sub> através dos estômatos para o processo fotossintético, sendo a abertura estomática o principal mecanismo de controle das trocas gasosas nas plantas superiores (Silva et al., 2010).

O déficit hídrico restringe a atividade fotossintética pela redução da assimilação do CO<sub>2</sub> com fechamento dos estômatos impedindo processo de transpiração e o influxo de gás carbônico para interior do mesófilo. A fotossíntese é processo-chave pelo qual as plantas obtêm carboidratos para utilizar no seu desenvolvimento, a redução desse processo limita a área foliar consequentemente prejudica a produção de biomassa e produção de milho assim como a senescência das folhas são também é indicador do efeito do déficit hídrico (Bergamaschi & Matzenauer, 2014).

Silva et al. (2017) avaliaram o efeito da aplicação três lâminas de água (0%, 100% e 200% da ETo) e cinco doses de N (0%, 50%, 100%, 150% e 200% da dose recomendada), utilizando ureia no cultivo do milho AG-1051 em Latossolo no município de Arapiraca-AL. Observou-se que a lâmina de 100% promoveu as maiores taxas de fotossíntese líquida e transpiração, este resultado era previsto uma vez que sobre condições hídrica favorável tem-se menor resistência estomática e como consequência maior aporte de CO<sub>2</sub> para produção de fotossíntese.

Sabe-se da importância da água para produção de milho e os principais efeitos da sua limitação para produção, e embora existam muitos estudos com a cultura cultivada para diferentes finalidades, demandam-se estudos específicos para o cultivo de milho-verde envolvendo fatores de promoção de produção, especialmente se tratando de áreas com escassez de chuvas em longos períodos do ano, como a região central do Brasil, considerando as condições edafoclimáticas de cada ambiente de cultivo.

Portanto, este estudo teve como objetivo avaliar a influência de diferentes lâminas de água e doses de nitrogênio em cobertura na morfofisiologia e na produção de milho-verde cultivado nas condições do cerrado no estado de Goiás, Brasil.

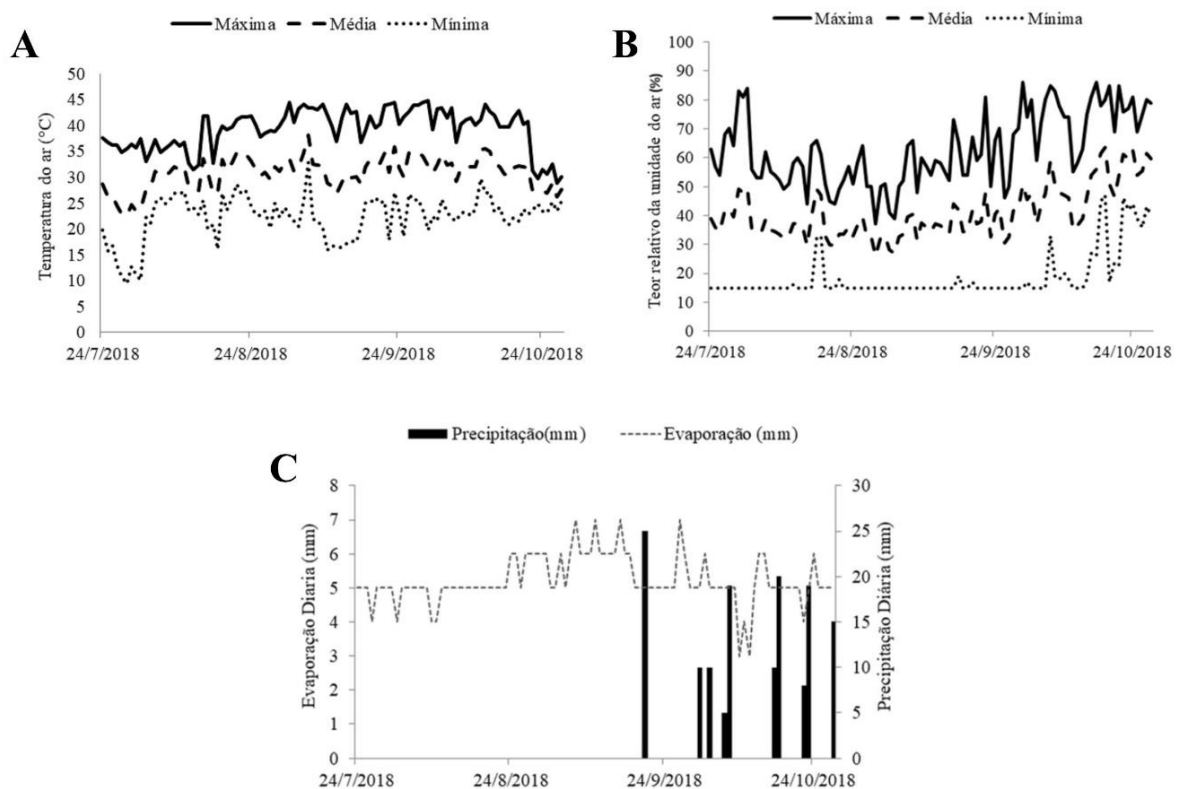
## **2. Metodologia**

### ***Caracterização da área experimental***

O experimento foi conduzido no período de julho a outubro de 2018 em condições de campo no bioma Cerrado na região do Vale do São Patrício, no município de Santa Isabel,

estado de Goiás, situado nas coordenadas cartesianas S 15°20'41.31'' e O 49°22'41.31'' do quadrante 22L, altitude de 578m. O clima da região é úmido e seco (Aw), segundo Koppen, com duas estações bem definidas, caracterizadas por verão chuvoso e inverno seco. A temperatura média é de 25°C e precipitação pluviométrica anual média de 1.300 mm. Dados de temperatura (Figura 1A), teor de umidade relativa do ar (Figura 1B), precipitação e evaporação (Figura 1C) foram registrados com um termohigrômetro e coletados diariamente durante o período experimental.

**Figura 1.** Registro das (A) temperaturas máxima, média e mínima (em °C), (B) teores relativos máxima, média e mínima de umidade do ar (em %) e (C) precipitação e evaporação na área de experimento durante julho a outubro de 2018.



Fonte: Autores.

A área do experimento está inserida na formação geológica denominada de complexo Barro Alto, tendo como material originário o produto de decomposição de rochas básicas com grande contribuição de material reprocessado (EMBRAPA/CNPS, 1999). O relevo local é predominantemente plano a suavemente ondulado. Uma amostra de solo foi coletada antes da instalação do experimento em concordância com o protocolo de (Arruda et al., 2014)

revelando a análise química (Tabela 1) e a composição granulométrica (42,5% de argila, 43,5% de areia e 14,0% de silte), avaliadas na camada de 0 - 20 cm.

**Tabela 1.** Caracterização química do solo na profundidade 0 - 20 cm na área experimental.

pH	MO	Ca	Mg	Al	H+Al	K	CTC	P	V	m	
CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	-----cmol dm <sup>-3</sup> -----							mg dm <sup>3</sup>	-----%-----	
4,4	23,0	1,30	0,61	0,39	4,23	32,0	6,22	2,0	32,0	16	

Fonte: Autores.

### *Delineamento experimental e cultivo das plantas*

O genótipo de milho utilizado foi o Agrocerec 1051 e sua base genética é um híbrido duplo, planta de porte alto, tipo de cariopse dentado amarelo, ciclo médio de 85 dias e a densidade de semeadura adotada de 50.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

O experimento constituiu de um delineamento em blocos completos casualizados com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas. A parcela principal constituiu de lâminas de água em relação a evapotranspiração da cultura (ETc) (50%, 75%, 100% e 125%) a subparcela constituiu as doses nitrogênio de em cobertura (0, 70, 140 e 210 kg N ha<sup>-1</sup>). As unidades experimentais foram constituídas de 6 linhas de semeadura com espaçamento de 0,60 m entre linhas e 3,8 m de comprimento. Foram consideradas áreas úteis para as avaliações as duas linhas centrais com 2 m em cada unidade experimental, descartando 0,9 m das frentes confrontantes das unidades experimentais entre os tratamentos e as demais linhas laterais como bordadura.

Foi adotado o sistema convencional de preparo do solo com a sequência de gradagem, subsolagem e gradagem. Foi confeccionado sulco de semeadura na profundidade de 0,1 m utilizando enxada. Posteriormente distribuiu-se o adubo de fundação. Em seguida, cobriu-se o adubo com uma camada de terra. A semeadura foi feita manualmente e a emergência das plântulas se iniciou após 6 dias.

A adubação de fundação foi feita segundo a análise química de solo (Tabela 1) em concordância com as recomendações da comissão de fertilidade de solos de Goiás (1988), utilizando as doses de 20 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, 110 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo e 50 kg ha<sup>-1</sup> de potássio.

A adubação de cobertura foi feita com adubo granulado ureia agrícola comum, particionado em duas vezes, sendo metade da dose aplicada na primeira fase do estágio de



desenvolvimento V4, quando as plantas apresentavam quatro folhas completamente expandidas, e o restante aplicado no estágio V8 com as plantas apresentando oito folhas completamente expandidas. As adubações foram feitas manualmente, distribuindo o adubo formando uma linha contínua próxima das plantas, acompanhando a linha de semeadura. O cultivo foi conduzido de acordo com as recomendações para lavouras comerciais, sendo utilizando somente controle químico quando necessário com base em vistorias diárias no experimento. Foram utilizadas aplicações de inseticidas e de fungicidas com ingredientes ativos registrados para a cultura. No tratamento de sementes, foi utilizado o inseticida Cropstar® na dose de 350 mL/60000 sementes e fungicida Derosal Plus® (carbendazim +tiram) na dose de 60 mL/60000 sementes. O manejo em pós-emergência de plantas daninhas não foi necessário pela pouca presença dessas plantas no período vegetativo, assim como não foi feita nenhuma intervenção para controle de doenças, pois não foram observados sintomas de doenças. Foram aplicados os inseticidas Connect® na dosagem de 750 mL<sup>-1</sup> para manejo de percevejo barriga verde (*Dichelops melacanthus*) aos 15 dias após a emergência (DAE) e Brillhante® (metomil) na dosagem de 600 mL<sup>-1</sup> para manejo de lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) aos 32 DAE.

O método de irrigação utilizado foi localizado pelo sistema de gotejamento em linhas individuais instaladas próximo à linha de semeadura. Após a semeadura, foram instaladas fitas gotejadoras Irritec® tipo P1 com emissores espaçados de 0,2 m e vazão de 1,5 L h<sup>-1</sup> e aplicada uma lâmina de irrigação de 8 mm para umedecer o solo para iniciar o processo de germinação (Pereira-Filho, 2002).

O início do tratamento com as lâminas de água foi aos 17 DAE. A diferenciação das lâminas em relação à evapotranspiração da cultura foi estimada de acordo com a fórmula  $ET_c = ECA \times K_p \times K_c$ , sendo:  $ET_c$ , a evapotranspiração da cultura (mm dia<sup>-1</sup>); ECA, a evaporação medida no Tanque (mm dia<sup>-1</sup>);  $K_p$ , o coeficiente de Tanque Classe A, igual a 0,75; e o coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) foi adotado de acordo com a fase de desenvolvimento sendo: fase I (0,30-0,50), fase II (0,80-0,85) e fase III (1,05-1,20) valores utilizados de acordo com (Albuquerque, 2010).

Foi adotado o turno de irrigação fixo de três dias. A evapotranspiração de referência foi calculada pelo método do tanque classe A (Conceição, 2001) com base nas leituras obtidas diariamente às 09h00min.

A lâmina bruta aplicada na cultura foi calculada pela equação  $LB = (ET_c \times K_c) / CUD$ , sendo: (LB), lâmina bruta (mm);  $ET_c$ , a evapotranspiração da cultura (mm dia<sup>-1</sup>); Coeficiente de uniformidade de distribuição (%), utilizada foi de 91,3%, obtido por teste de campo



utilizando a metodologia de Christiansen (1942) feito no sistema três dias antes de iniciar os tratamentos de diferenciação de lâminas, utilizando a equação  $CUD = qn/qa*100$ , sendo: CUD, coeficiente de uniformidade de distribuição (%); qn, vazão média das 25% menores descargas dos emissores ( $L h^{-1}$ ) e qa, vazão média ( $L h^{-1}$ ).

### ***Análises de trocas gasosas e fluorescência da clorofila a***

A radiação fotossinteticamente foi mensurada no dia da análise de trocas gasosas com *line quantum sensor* (LI-191, LI-COR Biosciences), ao meio dia, na altura do topo das plantas, sendo registrada uma radiação de  $1291 \mu mol m^{-2} s^{-1}$ . As variáveis fisiológicas (fotossíntese líquida, condutância estomática, transpiração e fluorescência) foram avaliadas aos 48 e 49 DAE, durante o período vegetativo. Essas avaliações foram feitas entre 08h00min e 11h00min em 4 plantas escolhidas ao acaso, em cada unidade experimental, utilizando o analisador de gases infravermelho, modelo LI-COR 6400XTR (Licor<sup>®</sup>, Nebraska, EUA), ajustado para temperatura constante da câmara em 24°C, com fonte de iluminação com luzes LED provendo  $1000 \mu mol \text{ fótons } m^{-2} s^{-1}$  em  $6 cm^2$  na folha do segundo nó, na região mediana, excetuando a nervura. A análise de fluorescência foi feita utilizando o fluorômetro modelo Hansatech PEA MK2 (Kings Lynn, England) em 4 folhas maduras completamente expandidas do segundo nó, da base para o ápice da planta de plantas escolhidas ao acaso, que não estivessem sombreadas. As folhas foram aclimatadas durante 20 minutos no escuro e depois saturadas com luz actínica de  $3000 \mu mol \text{ fótons } m^{-2} s^{-1}$ .

### ***Análises morfométricas***

As análises morfométricas na planta ocorreram aos 91 DAE, escolhendo 10 plantas ao acaso disponíveis dentro da área útil, que foram analisadas quanto ao diâmetro do colmo (DC), altura da planta (AP), comprimento da folha de inserção da espiga (CFE), largura da folha da espiga (LFE), utilizando uma fita métrica e paquímetro e também foram contados o número de folhas (NF). As 10 plantas analisadas foram picadas em pequenos fragmentos e pesadas em balança digital, modelo B1-C07 (Ideamart), obtendo a massa verde de planta sem espiga (MVPSE). A área foliar (AF) foi mensurada em 3 plantas de cada unidade experimental em todas as folhas destas plantas, através de um medidor de área foliar portátil, modelo CI-203 (CID Bioscience<sup>®</sup>), destacando-se a bainha e o limbo do caule com um corte.

Realizou-se a colheita das espigas primárias das 10 plantas utilizadas anteriormente nas análises morfométricas. Estas plantas apresentavam os estilos e estigmas secos e as pontas das brácteas flexíveis ao tato, coincidindo com o estágio R3, apresentando grãos pastosos. Foi feita pesagem individual das espigas em balança digital, obtendo o peso da espiga com palha (PECP).

Com auxílio de uma régua graduada, foram mensurados o comprimento da espiga com palha (CECP) e o comprimento da espiga sem palha (CESP) e determinados com um paquímetro o diâmetro da espiga com palha (DECP), o diâmetro da espiga sem palha (DESP) no terço médio da espiga. Por fim, foi contado o número de cariopses, por fileira (NCF). Em seguida, as espigas foram raladas em uma bandeja para se obter a massa fresca da cariopse (MFC).

### *Análises estatísticas*

Dada a natureza quantitativa das variáveis coletadas (Pereira et al., 2018), estes foram submetidos à análise de variância (ANOVA) ao nível de significância ( $p < 0,05$ ), com posterior ajuste de regressão para dados quantitativos isolados, utilizando o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2011). Para a escolha do modelo de regressão polinomial, foi adotado o critério de maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e equação que tenha coerência com o estudo. Quando houve interações em parâmetros quantitativos, a análise foi baseada em modelos de superfície de resposta.

### **3. Resultados e Discussão**

A produção vegetal é diretamente dependente da fotossíntese líquida das plantas. O acúmulo de fotoassimilados é produto direto do processo carboxilativo, que, por sua vez, depende de fatores e condições que favoreçam de forma satisfatória interação da planta com o ambiente. Em se tratando de fotossíntese, uma interação favorável permite a absorção de luz e de  $\text{CO}_2$  pelas plantas (Portes & Melo, 2014; Stewart et al., 2003). Estes fatores podem ser limitados tanto pela disponibilidade hídrica do solo quanto pela disponibilidade de nitrogênio (N) (Liu et al., 2018; Perdomo et al., 2016).

Observa-se na Tabela 2 o resumo geral das ANOVAs através do quadrado médio das variáveis fisiológicas, morfológicas e de produção. A ação pareada (interação entre os fatores doses de N e lâminas de água) não alterou parâmetros fisiológicos como a fotossíntese líquida

(A), a condutância estomática ( $g_s$ ), a transpiração ( $E$ ) e a eficiência quântica potencial do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ). Já aspectos morfológicos como número de folhas (NF), a área foliar (AF), a altura da planta (AP), o comprimento da folha de inserção da espiga (CFE), a largura da folha de inserção da espiga (LFE) e a massa fresca da cariopse (MFC) mostraram ser dependente da interação lâminas de água e doses de N. O comprimento de espiga com palha (CECP) diferiu apenas entre as doses de N. O comprimento de espiga sem palha (CESP), o diâmetro de espiga com palha (DECP), o diâmetro de espiga sem palha (DESP), o número de cariopse por fileira (NCF), o peso de espiga com palha (PECP), o diâmetro do colmo (DC) e a massa verde de planta sem espiga (MVPSE) não foram influenciados pela interação entre as lâminas de água e doses de N, produzindo apenas efeitos isolados para ambos os fatores.

A água e o N, na condição deste experimento, não foram limitantes à fotossíntese, não se observando efeito dos tratamentos nem sobre o potencial fotoquímico do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) nem sobre a fotossíntese líquida efetiva, assim como também não foram observadas variações entre tratamentos quanto à condutância estomática e quanto à taxa de transpiração (Tabela 2). Considerando a matéria orgânica já presente no solo (Tabela 1), o que implica contínua disponibilidade de N, mesmo no tratamento que não recebeu adubação, a lâmina de água foi iniciada em 50% da evapotranspiração (ETc), deduz-se que estes fatores não foram suficientemente limitantes a ponto de prejudicar as trocas gasosas. Sabe-se que as trocas gasosas sofrem pouca influência de N (Tóth et al., 2002) e da água (Farquhar & Sharkey, 1982) presente no solo a partir de um limiar de disponibilidade.

Na ausência de adubação de cobertura com N (dose 0), foi necessária uma lâmina de água acima de 100% para obter a maior área foliar (Figura 2A), enquanto, à medida que houve aumento na dose de N, ocorreu diminuição da necessidade de aplicação da lâmina de água para obter a maior área foliar, efeito esse mais expressivo na dose de 210 kg N ha<sup>-1</sup>. Observa-se que, especialmente sob lâmina 100%, à medida que se aumenta a dose de N, há aumento no NF (Figura 2B). O comprimento (Figura 2C) e a largura (Figura 2D) da folha da espiga foram influenciados tanto pela lâmina de água quanto pela dose de N, ocorrendo aumento tanto na menor dose de N com a maior lâmina de água, quanto na maior dose de N com 75% de reposição de água.

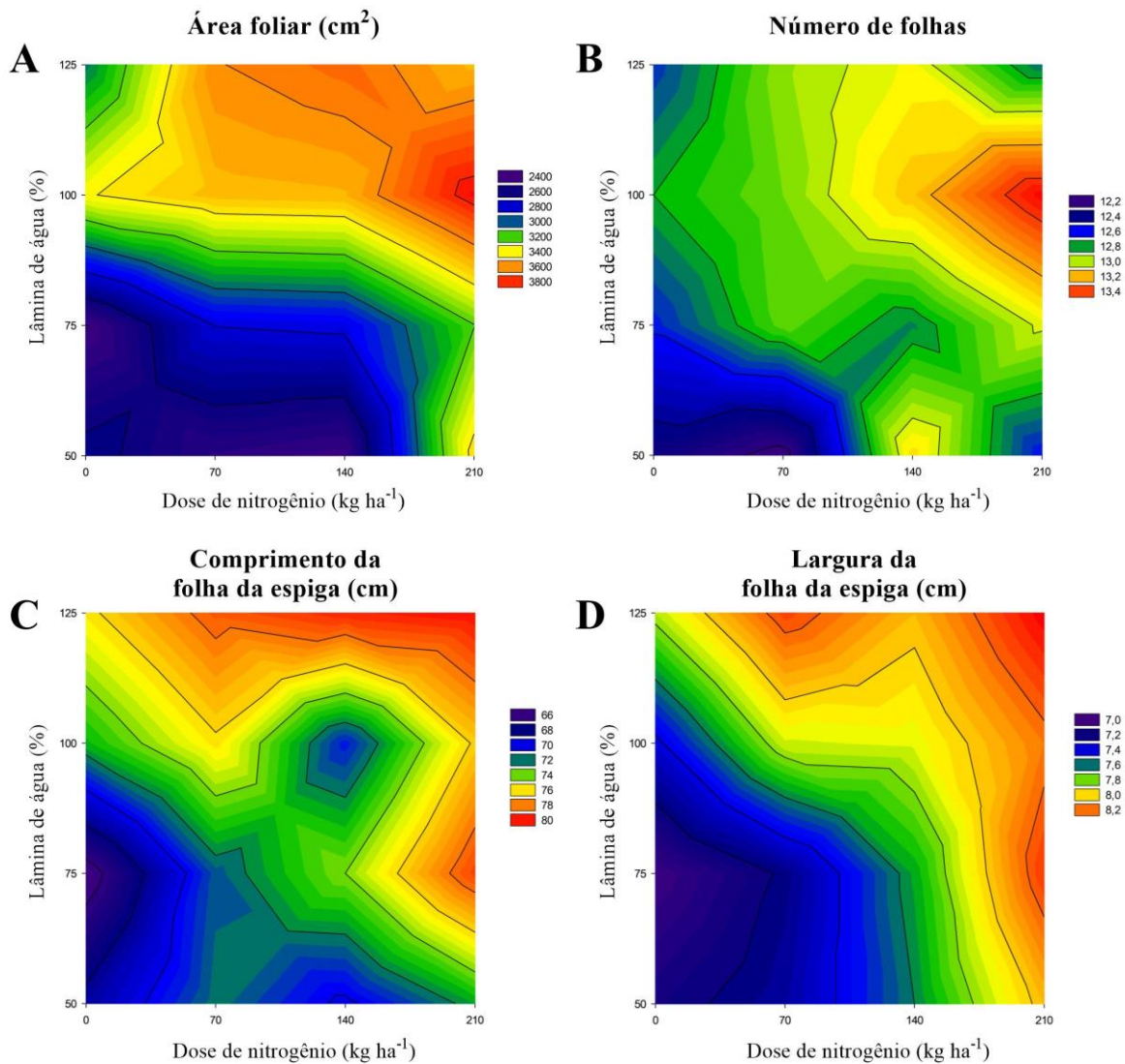
**Tabela 2.** Quadrados médios das variáveis fisiológicas, morfológicas e de produção de milho-verde submetido a diferentes doses de nitrogênio (DN) e lâminas de água (L) e da interação entre os dois fatores submetidos à análise de variância (ANOVA) ( $p < 0,05$ ), com posterior ajuste de regressão para dados quantitativos isolados.

Variável	Fontes de Variação			
	DN	L	DN x L	Regressão
A	47,05 <sup>ns</sup>	19,35 <sup>ns</sup>	30,73 <sup>ns</sup>	NS
E	6,83 <sup>ns</sup>	4,72 <sup>ns</sup>	3,57 <sup>ns</sup>	NS
gs	0,02 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	NS
Fv-fm	0,005 <sup>ns</sup>	0,0002 <sup>ns</sup>	0,0006 <sup>ns</sup>	NS
AF	8663367,42*	3343541,89*	713256,2*	*
NF	8,08 <sup>ns</sup>	6,05*	2,58*	*
CFE	1792,43*	1112,42*	255,02*	*
LFE	13,46*	21,323*	1,51*	*
AP	0,45 <sup>ns</sup>	0,09*	0,05*	*
CP	627,86*	9,11 <sup>ns</sup>	91,62*	*
MFC	17201405,9*	21581044,5*	1774871,4*	*
CECP	100,46 <sup>ns</sup>	110,83*	8,59 <sup>ns</sup>	NS
CESP	162,13*	133,41*	5,61 <sup>ns</sup>	NS
DECP	6,57*	5,63*	0,25 <sup>ns</sup>	NS
DESP	4,02*	2,62*	0,21 <sup>ns</sup>	NS
NCF	842,31*	432,13*	35,75 <sup>ns</sup>	NS
PECP	392061682,2*	398445057,3*	21171835,06 <sup>ns</sup>	NS
DC	1,88*	2,04*	0,47 <sup>ns</sup>	NS
MVPSE	11708356,7*	9258106,6*	784124,8 <sup>ns</sup>	NS

<sup>NS</sup> Não Significativo. \* Significativo.

Fonte: Autores.

**Figura 2.** Modelos de superfície de resposta das análises morfométricas em plantas de milho-verde submetidas a diferentes lâminas de água e doses de nitrogênio. (A) Área foliar (AF); (B) Número de folhas (NF); (C) Comprimento da folha da espiga (CFE) (D) Largura da folha da espiga (LFE).



Fonte: Autores.

A taxa fotossintética é mensurada em uma área específica da folha e, desta forma, mesmo que a fotossíntese não difira entre tratamentos, a produção total de fotoassimilados pode ser diferente se a área fotossintetizante total da planta for alterada em função do tratamento. Vários são os estudos que relacionam aumento de área foliar a aumento de fotoassimilados e, como consequência, de produção em milho (Kross *et al.*, 2015; Sangoi *et al.*, 2007). A importância da área foliar em relação à produção agrícola tem sido mencionada

até mesmo como fator estratégico na agricultura para garantia de segurança alimentar frente às mudanças climáticas (Shrinivasan *et al.*, 2017).

Embora não tenha sido observada alteração em fotossíntese líquida entre os tratamentos avaliados, houve alteração na área foliar (AF) (Tabela 1; Figura 2A) e no número de folhas (NF) (Tabela 1; Figura 2B). À medida que havia aumento na dose de N e na lâmina de água até 100% da (ETc) ocorria aumento na área foliar e no número de folhas. Ambos os parâmetros decresceram quando a lâmina de água foi elevada para 125% da (ETc). Entre as doses de 70 e 140 kg N ha<sup>-1</sup>, o aumento no comprimento (CFE) (Figura 2C) e na largura da folha da espiga (LFE) (Figura 2D) dependia de uma reposição hídrica superior a 100% da (ETc), enquanto a dose de N de 210 kg ha<sup>-1</sup> promoveu aumento no comprimento e largura destas folhas mesmo sob reposição de 75% da (ETc). Considerando que o aumento em comprimento e largura da folha na maior lâmina de água e maior dose de N não resultou em maior área foliar, o maior número de folhas é o fator mais importante ao aumento da área foliar em 100% da (ETc).

Aumento na área foliar em função de maior disponibilidade de água já era esperado visto que se trata do elemento mais abundante no corpo das plantas e do qual depende todo o metabolismo. O alongamento celular que permite expansão foliar dependente de disponibilidade de água tem sido objeto de estudo em milho há muitos anos (Hsiao *et al.*, 1970) se estendendo até os dias atuais (Jain *et al.*, 2019). Da mesma forma, o aumento de área foliar em função da disponibilidade de N também já era esperado, uma vez que se trata do nutriente mineral mais limitante ao crescimento das plantas por ser integrante de moléculas-chave do metabolismo, assim como em moléculas muito abundantes no corpo vegetal (Leghari *et al.*, 2016), como também promove aumento na durabilidade da área fotossinteticamente ativa (Imran *et al.*, 2015; Jasemi *et al.*, 2013). Os aumentos da área foliar assim como da durabilidade da área fotossinteticamente ativa podem promover a produtividade em milho como resultado de maior taxa de síntese de fotoassimilados.

Vários são os fatores que podem estar envolvidos na eficiência da adubação nitrogenada na produção de milho em função da disponibilidade de água no solo. Um deles é a própria absorção do nutriente pela planta, que aumenta com maior disponibilidade hídrica no solo (Wang *et al.*, 2017). Outro fator é a velocidade de transporte de seiva do xilema (Xu *et al.*, 2009), a qual contém N mineral que chegará às folhas, órgão prioritário de assimilação de N em milho (Murphy & Lewis, 1987). Nesse contexto, baixa disponibilidade hídrica no solo pode afetar a velocidade do fluxo de seiva em função da redução das trocas gasosas,



provocada pelo maior fechamento estomático como forma de a planta economizar água (Jain et al., 2019) e assim diminuir a quantidade de N disponível à assimilação nas folhas.

Curiosamente, a enzima nitrato redutase, que participa do metabolismo do N, tem sua atividade muito reduzida em milho sob deficiência hídrica (Bardzik et al., 1971), evidenciando uma possível forma de equilíbrio entre a assimilação e a capacidade de uso do N reduzido, pela planta, uma vez que os esqueletos de carbono necessários à assimilação do N também estariam em baixa produção numa condição de restrição hídrica em razão do fechamento estomático. Resposta similar foi observada por Foyer *et al.* (1998), comprovando, inclusive, uma correlação positiva entre a atividade da nitrato redutase e a assimilação de CO<sub>2</sub>. Essa resposta é fundamental como forma de proteção da planta, uma vez que a forma reduzida do NO<sub>3</sub><sup>-</sup> é o NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, o qual, depois de formado, precisa ser reduzido a NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, e se este íon não for assimilado será muito prejudicial à célula. Tanto NO<sub>2</sub><sup>-</sup> quanto NH<sub>4</sub><sup>+</sup> têm alto potencial de toxicidade, podendo provocar deslocamento indesejado de elétrons, não podendo, portanto, ser armazenados pela célula vegetal (Bremner, 1995; Britto et al., 2002).

Ainda sobre a influência da água na eficácia do N aplicado e seu metabolismo, estudos têm demonstrado que em milho as atividades das enzimas glutamina sintetase (GS), glutamato sintase (GOGAT) e glutamato desidrogenase (GDH) são diminuídas sob restrição hídrica, mas que estas enzimas mantêm maior atividade à medida em que há maior disponibilidade de N no solo (Li et al., 2017). Considerando que o produto da assimilação de N são biomoléculas orgânicas nitrogenadas, que, de forma direta ou indireta, promovem aumento de biomassa vegetal, a dinâmica na atividade de enzimas de redução ou assimilação do N em função da água, acima discutida, subsidia o entendimento da razão de ter ocorrido pouco aumento na área foliar quando do uso da mais alta dose de N em baixa disponibilidade hídrica, seguido de grande aumento em condição de alta disponibilidade hídrica (Figura 2A). Da mesma forma, também ocorreu aumento progressivo de MFC (Figura 5A) em função do aumento da dose de N, com efeito ampliado à medida que era aumentada a reposição de água.

No presente experimento, observou-se correlação significativa entre área foliar e os parâmetros de produção peso da espiga com palha (PECP) e sem palha (PESP) e número de cariopses por fileira (NCF) (Tabela 3). Embora não tenha sido observada correlação direta entre área foliar e massa fresca da cariopse (MFC), este fator também é diretamente correlacionado ao PECP, PESP e NCF.



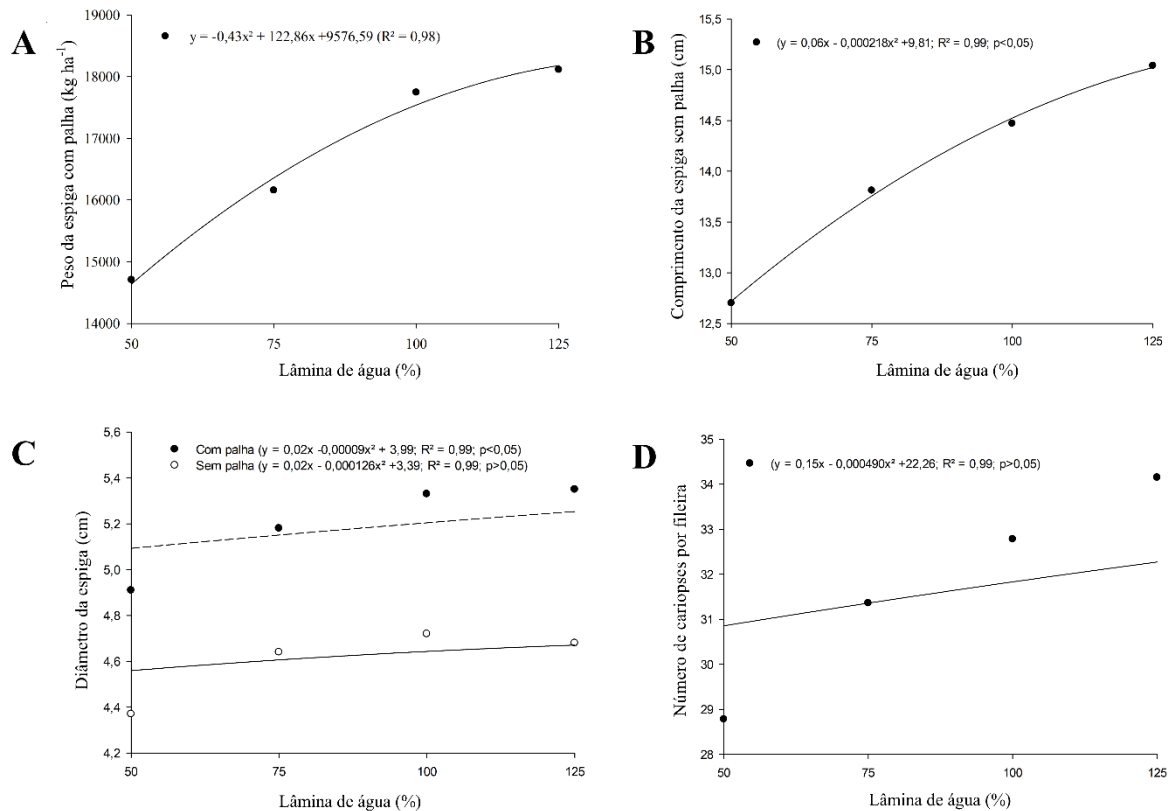
**Tabela 3.** Coeficientes de correlação de Pearson entre área foliar e parâmetros de produção de milho-verde submetidas a diferentes lâminas de água e doses de nitrogênio.

	Área Foliar	PESP	PECP	NCF	MFC
Área Foliar	1				
PESP	0,900*	1			
PECP	0,903*	0,988*	1		
NCF	0,774*	0,965*	0,950*	1	
MFC	0,687 <sup>ns</sup>	0,862*	0,891*	0,931*	1

ns: não significativo \*: diferença significativa pela ANOVA seguida de Teste F ( $p < 0,05$ ). Fonte: Autores.

Ao resolver a equação do PECP (Figura 3A), a maior produtividade obtida, de 18.215,34 kg ha<sup>-1</sup>, ocorreu quando se aplicou a lâmina de 125%, assim como o maior CESP (Figura 3B), de 13,90 cm, ocorreu aplicando a mesma lâmina. O maior diâmetro de espiga com palha (DECP) (Figura 3C) foi obtido com a lâmina de 100%, enquanto o maior diâmetro de espiga sem palha (DESP) (Figura 3C) ocorreu aplicando a lâmina de 75%. O maior número de cariopses por fileira (NCF) foi de 33,35, aplicando a lâmina de água de 125% (Figura 3D).

**Figura 3.** Resposta das análises morfométricas nas espigas de milho-verde submetidas a diferentes lâminas de água e doses de nitrogênio. (A) Peso de espiga com palha; (B) Comprimento de espiga sem palha; (C) Diâmetro de espiga com e sem palha; (D) Número de cariopse por fileira.



Fonte: Autores.

Considerando que a comercialização de milho-verde pode ocorrer tanto por peso da espiga com ou sem palha ou ainda por peso ou volume de cariopses, fica evidente a importância da maior área foliar influenciando positivamente o aumento de produção. Quando o objetivo é comercializar espiga verde, estabeleceu-se que o padrão comercial deve atender os critérios de comprimento maior que 15 cm, diâmetro maior que 3 cm e espigas isentas de pragas e doenças (Albuquerque *et al.*, 2008).

A sutil redução na área foliar em plantas do tratamento de 125% de reposição de água em relação ao de 100% não interferiu nos parâmetros de produção, visto ter ocorrido aumento progressivo até a lâmina de 125% no PECP (Figura 3A) no comprimento da espiga sem palha (CESP) (Figura 3B), no diâmetro da espiga com palha (DECP) (Figura 3C) e no número de cariopses por fileira (NCF) (Figura 3D). Na comercialização de milho-verde, o volume da

espiga, tendo como indicadores o comprimento e o diâmetro, também pode ser fator decisivo na elevação do valor do produto, e somado ao fato que os outros parâmetros de produção não sofreram redução, pode-se considerar que a lâmina de 125% de reposição de água favorece o aumento de produção do genótipo estudado nas condições edafoclimáticas do experimento.

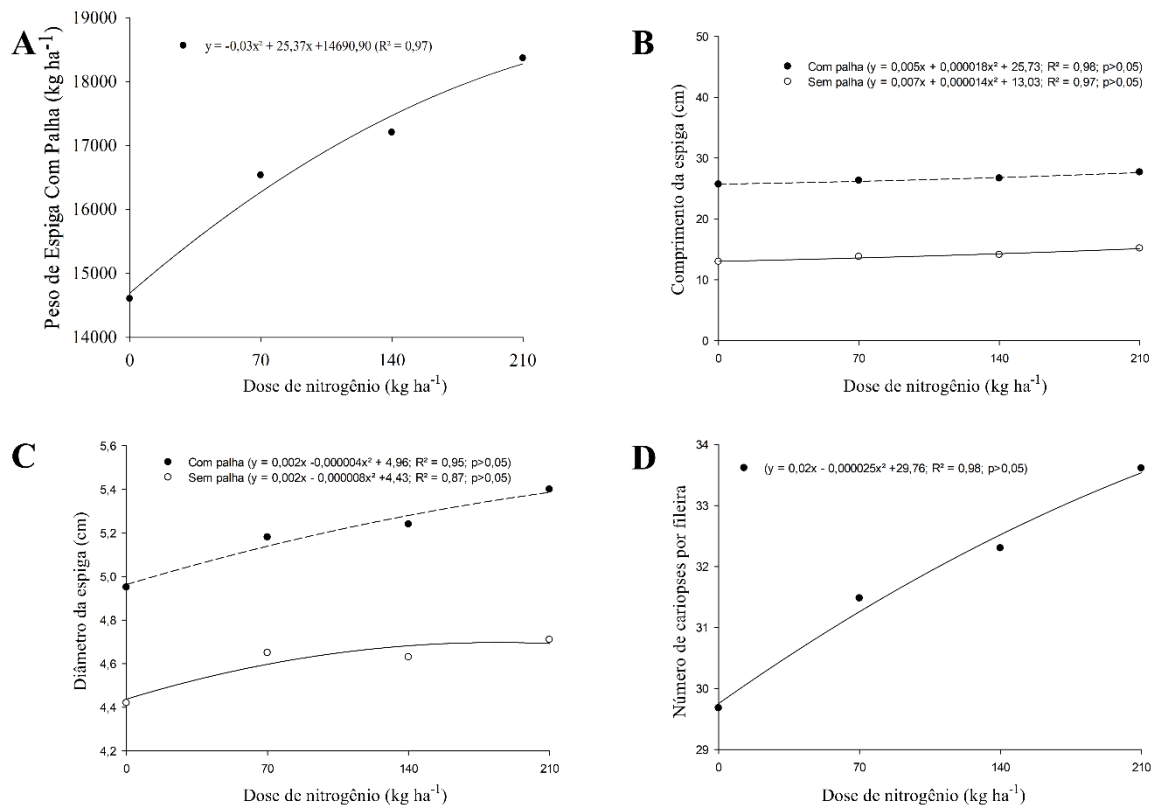
Em condições edafoclimáticas do Piauí, a cultivar AG1051 para milho-verde também teve melhor desempenho produtivo quando cultivada em ambiente com reposição de 125% da (ETc) (Nascimento et al., 2015), assim como melhor desempenho produtivo quanto ao diâmetro da espiga e número de grãos quando cultivada sob irrigação com lâmina de 340,57 mm, a máxima utilizada no experimento (Nascimento *et al.*, 2017). Embora a cultivar em estudo tenha tido desempenho produtivo parecido frente à alta disponibilidade hídrica nas condições edafoclimáticas do cerrado goiano e do Piauí, são importantes novos estudos para cultivo em outros ambientes, uma vez que se trata de uma cultura sensível à condição de solo (Tolk et al., 1999) e de fatores relacionados ao clima (Jalota et al., 2010).

Ao resolver a equação de peso de espiga com palha (PECP) (Figura 4A), obteve-se a maior produtividade, 18.695,6 kg ha<sup>-1</sup>, adubando com a dose de 210 kg ha<sup>-1</sup> de N, assim como os maiores comprimentos de espiga com e sem palha (CECSP) (Figura 4B) foram de 27,57 cm e 15,11 cm, respectivamente, quando aplicada a dose máxima de N. O mesmo comportamento foi observado para diâmetro de espiga com palha (DECP) (Figura 4C), com valor de 5,55 cm, enquanto o maior diâmetro de espiga sem palha (DESP) (Figura 4C) foi obtido com a dose de 140 kg ha<sup>-1</sup>. A maior quantidade de número de cariopses por fileira (NCF), 32,85, foi obtida com 210 kg ha<sup>-1</sup> de N (Figura 4D).

Assim como observado quanto à reposição de água, quanto maior a dose de N aplicada no solo, maiores foram o PECP (Figura 4A), o CECSP e CESP (Figura 4B), o DECP (Figura 4C) e o NCF (Figura 4D). Ou seja, considerando o peso ou o volume do milho-verde, o N atuou no aumento de produção até a última dose testada. Nas condições edafoclimáticas da Paraíba, em neossolo regolítico e reposição hídrica para manter o solo com 70% da capacidade de campo, a cultivar AG1051 teve aumento progressivo de comprimento e diâmetro da espiga até o limite de 239 kg N ha<sup>-1</sup>, porém a produtividade de espigas e de grãos teve melhor desempenho com a aplicação de 191 kg N ha<sup>-1</sup> (Fernandes et al., 2017). Esta mesma cultivar para milho-verde na condição edafoclimática de Ipameri (GO) em latossolo vermelho-amarelo distrófico, sem irrigação, teve melhor desempenho produtivo de espigas com ou sem palha com 150 kg N ha<sup>-1</sup> (Costa et al., 2015). Tendo esses dados como referência, fica claro que, embora sendo o mesmo genótipo, o ambiente e as condições de cultivo influenciam muito a produção de milho-verde. E mais, como a discrepância nos valores

requeridos de N para a maior produção de milho-verde é grande, presume-se que o tratamento hídrico nos experimentos parece influenciar na resposta da planta à aplicação de N.

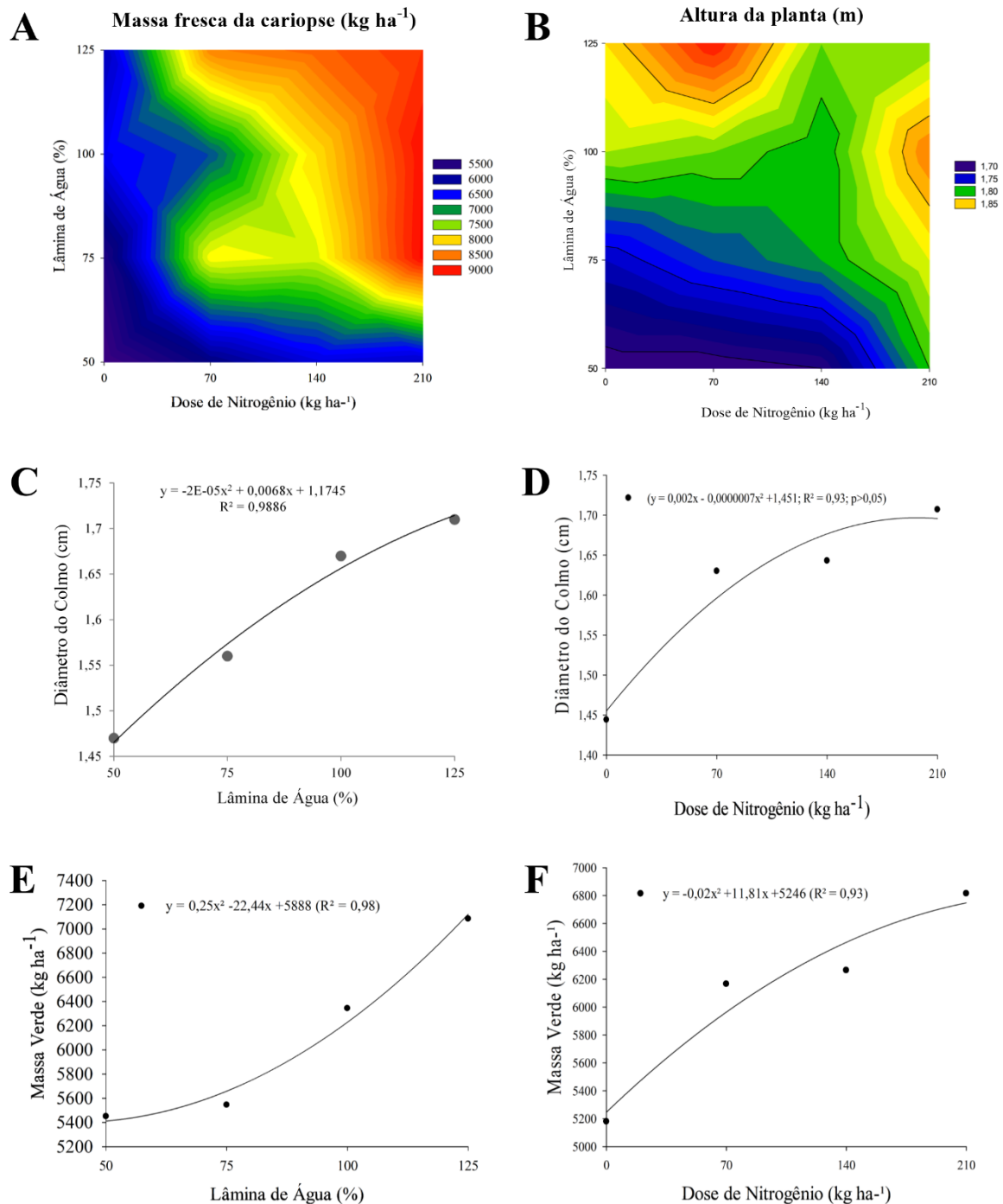
**Figura 4.** Resposta das análises morfométricas nas espigas de milho-verde submetidas a diferentes lâminas de água e doses de nitrogênio. (A) Peso de espiga com palha (PECP); (B) Comprimento de espiga com e sem palha (CECSP); (C) Diâmetro de espiga com e sem palha (DECSP); (D) Número de cariopse por fileira (NCF).



Fonte: Autores.

Na Figura 5A, observa-se que, especialmente, sob a dose de 70 kg ha<sup>-1</sup>, à medida que havia aumento na dose de N, ocorria aumento da massa fresca da cariopse, aplicando lâmina de 125%. Enquanto à medida que houve aumento na dose de N, ocorreu diminuição da necessidade de aplicação da lâmina para se obter o maior peso de massa fresca da cariopse, efeito esse mais expressivo na dose de 210 kg N ha<sup>-1</sup> e lâmina de 75%.

**Figura 5.** Modelos de superfície de resposta para as variáveis (A) massa fresca da cariopse e (B) altura da planta; e resposta das análises morfométricas nas espigas de milho-verde submetidas a diferentes lâminas de água e doses de nitrogênio para (C-D) diâmetro do colmo e (E-F) massa verde da planta sem espiga.



Fonte: Autores.

Tendo em vista que, após a colheita do milho-verde, a biomassa vegetal restante pode ser utilizada na alimentação animal, de forma imediata ou para ensilar, plantas que obtiveram maiores áreas foliares, maior diâmetro de caule e maior altura possuem maior potencial de aproveitamento para este fim. Neste caso, observou-se que o maior efeito sobre a altura da planta foi a reposição hídrica com ótimo em 100% e dose de N satisfatória a partir de 70 kg N ha<sup>-1</sup> (Figura 5B). O maior diâmetro do colmo (DC), 11,72 cm, foi obtido utilizando a lâmina de 125% (Figura 5C) e dose de 210 kg ha<sup>-1</sup> N (Figura 5D). Ao se traduzir estes fatores à produtividade de massa verde, percebeu-se que tanto na maior dose de N quanto na maior reposição hídrica foi onde se encontrou maior produtividade de biomassa. A maior produção de massa verde sem espiga (MVPSE), 6.844,1 kg ha<sup>-1</sup> foi obtida aplicando a lâmina de 125% para obter 6.989,25 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 5E) ou adubando com a dose de 210 kg ha<sup>-1</sup> N (Figura 5F). Embora não tenha sido feita avaliação nutricional da massa verde, outros trabalhos têm mostrado que a qualidade requerida dessa biomassa para alimentação animal é fortemente incrementada pela adubação nitrogenada (Melo et al., 1999; Neumann et al., 2005).

#### 4. Considerações Finais

Variações na disponibilidade hídrica e de nitrogênio testadas não influenciaram parâmetros fisiológicos como a fotossíntese líquida, condutância estomática, transpiração e fluorescência da clorofila durante o estágio vegetativo analisado. Futuros trabalhos devem ser desenvolvidos para avaliar se há ou não mudanças importantes nestes parâmetros também durante a fase reprodutiva.

O aumento nas doses de nitrogênio incrementou os parâmetros área foliar, número de folhas, comprimento da folha da espiga, largura da folha da espiga e massa fresca da cariopse.

O aumento na reposição de água promoveu aumento nos parâmetros comprimento da folha da espiga, largura da folha da espiga e altura de planta.

A eficácia da adubação nitrogenada sobre o aumento da área foliar foi limitada pela disponibilidade hídrica, ocorrendo o mesmo para os parâmetros número de folhas, comprimento e largura da folha da espiga e altura da planta.

Para se obter maior peso de espiga com palha, comprimento de espiga sem palha, comprimento de espiga com palha, número de cariopses, diâmetro do colmo, diâmetro de espiga com palha e massa verde sem espiga, a melhor dose de nitrogênio a ser utilizada foi

210 kg N ha<sup>-1</sup> e lâmina de água de 125% da reposição da evapotranspiração para o cultivo de milho-verde no período seco do ano, nas condições do cerrado goiano.

## Referências

Albuquerque, C. J. B., Pinho, R. G. V., Silva, R. da. (2008) Produtividade de Híbridos de Milho-Verde Experimentais e Comerciais. *Journal of Bioscience*, Uberlândia, 24(2), 69-76.

Albuquerque, P. E. P. de. (2010) Estratégias de Manejo de Irrigação: Exemplos de Cálculo. Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica 136, Sete Lagoas.

Araújo, L. A. N., Ferreira, M. E., Cruz, M. C. P. (2004) Adubação Nitrogenada na Cultura do Milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 39(8), 771-777.

Arruda, M. R. de., Moreira, A., Pereira, J. C. R. (2014) Amostragem e Cuidados na Coleta de Solo Para Fins de Fertilidade. Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos 115. 18 p. Manaus-AM.

Bardzik, J. M., Marsh, H. V., & Havis, J. R. (1971). Effects of water stress on the activities of three enzymes in maize seedlings. *Plant physiology*, 47(6), 828–831. [doi.org/10.1104/pp.47.6.828](https://doi.org/10.1104/pp.47.6.828)

Bergamaschi, H. & Matzenauer, R. (2014) O milho e o clima. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, p. 11.

Bremner, J. M. (1995) Recent research on problems in the use of urea as a nitrogen fertilizer. In: Ahmad N. (eds) *Nitrogen Economy in Tropical Soils*. Developments in Plant and Soil Sciences, vol 69. Springer, Dordrecht. [doi.org/10.1007/978-94-009-1706-4\\_30](https://doi.org/10.1007/978-94-009-1706-4_30)

Britto, D. T., Kronzucker, H. J. (2002) NH<sub>4</sub><sup>+</sup> Toxicity in higher plants: a critical review. *Journal of plant physiology*. 159(6), p.567-584. [doi.org/10.1078/0176-1617-0774](https://doi.org/10.1078/0176-1617-0774)

Christiansen, J. E. (1942) *Irrigation by sprinkling*. Berkeley: University of California. 124p.



Comissão De Fertilidade De Solos De Goiás (1988) Recomendações de Corretivos e Fertilizantes Para Goiás. 5ª Aproximação. Informativo Técnico, 1. UFG/EMGOPA. 101p. Goiânia-GO.

Conceição, M. A. F. (2001) Determinação da Evapotranspiração de Referência com Base na Evaporação do Tanque Classe A na Região Noroeste de São Paulo. EMBRAPA Uva e Vinho. Comunicado Técnico 37. 4, Jales-SP.

Costa, F. R., Damaso, L. D., Mendes, R. C., Marques, D. D., Rodrigues, F. (2015) Desempenho de Híbridos de Milho para Consumo in natura em Diferentes Doses de Nitrogênio. Revista Científica, Jaboticabal-SP, 43(2), 109-116.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (1999) Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa Serviço de Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 412p.

Farquhar, G. D., Sharkay, T. D. (1982) Stomatal Conductance and Photosynthesis. Annual Review of Plant Physiology 33, 317-345. doi.org/10.1146/annurev.pp.33.060182.001533

Fernandes, J. D., Chaves L. H. G., Monteiro Filho, A. F., Vasconcellos, A., Silva, J. R. P. da. (2017) Crescimento e Produtividade de Milho sob Influência de Parcelamento e Doses de Nitrogênio. Revista Espacios, 38(8).

Ferreira, D. F. (2011) Sisvar: a computer statistical analysis system. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, 35(6), 1039-1042.

Foyer, C. H., Valadier, M. H., Migge, A., Becker, T. W. (1998) Drought-Induced Effects on Nitrate Reductase Activity and mRNA and on the Coordination of Nitrogen and Carbon Metabolism in Maize Leaves. Plant Physiol, 117, 283-292. doi.org/10.1104/pp.117.1.283

Freire, F. M., Viana, M. C. M., Mascarenhas, M. H. T., Pedrosa, M. W., Coelho, A. M., Andrade, C. de L. T. de. (2010) Produtividade Econômica e Componentes da Produção de Espigas Verdes de Milho em Função da Adubação Nitrogenada. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, Teresina, 9(3), 213-222. doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v9n3p213-222

Hossain, F., Muthusamy, V., Bhat, J. S. K., Jha, S. K., Zunjare, R., Das, A. Sarika, K., Kumar, R. Maize. In: Singh, M.; Kumar, S. (2016) Broadening the Genetic Base of Grain Cereals, India.

Hsiao, T. C., Acevedo, E., Henderson, D. W. (1970) Maize Leaf Elongation: Continuous Measurements and Close Dependence on Plant Water Status. *Science*, 168(3931), 590-591.

Imran, S., Arif, M., Khan, A., Khan, M. A., Shah, W., Latif, A. (2015) Effect of Nitrogen Levels and Plant Population on Yield and Yield Components of Maize. *Adv Crop Sci Tech.*, 3(2).

Jain, M., Kataria, S., Hirve. M., Prajapati, R. (2019) Water Deficit Stress Effects and Responses in Maize. In: Hasanuzzaman, M.; Hakeem, K.; Nahar, K.; Alharby H. (eds) *Plant Abiotic Stress Tolerance*. Springer, Cham, p. 129-151. doi:10.1007/978-3-030-06118-0\_5

Jalota, S. K., Singh, S., Chahal, G. B. S., Ray, S. S., Panigrahy, S., Singh, B., Singh, K.B. (2010) Soil Texture, Climate and Management Effects on Plant Growth, Grain Yield and Water Use by Rainfed Maize–Wheat Cropping System: Field And Simulation Study. *Agricultural Water Management*. 97(1), p.83–90. doi.org/10.1016/j.agwat.2009.08.012

Jasemi, M., Darab, F., Naser, R. (2013) Effect of Planting Date and Nitrogen Fertilizer Application on Grain Yield and Yield Components in Maize. *American-Eurasian Journal Agriculture & Environmental Sciences*, 13, 914-919.

Jin, X., Yang, G., Tan, C., Zhao, C. (2015) Effects of Nitrogen Stress on the Photosynthetic CO<sub>2</sub> Assimilation, Chlorophyll Fluorescence and Sugar-Nitrogen Ratio in Corn. *Scientific Reports*, 5,(9311). doi.org/10.1038/srep09311

Kaiser, W. M. (1987) Effects of water deficit on photosynthetic capacity. *Physiologia Plantarum* 71(1), 142-149. doi.org/10.1111/j.1399-3054.1987.tb04631.x

Kross, A., McNairn, H., Lapen, D., Sunohara, M., Champagne, C. (2015) Assessment of Rapideye Vegetation Indices for Estimation of Leaf Area Index and Biomass in Corn and

Soybean Crops. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 34, 235–248. doi.org/10.1016/j.jag.2014.08.002

Leghari, S. J., Wahocho, A. W., Laghari, G. M., Hafeezlaghari, A., Mustafabhabhan, G., Talpur, K. H., Bhutto, T. A., Wahocho, S. A., Lashari, A. A. (2016) Role of nitrogen for plant growth and development: a review. *Advances in Environmental Biology*, 10(9), 209.

Li, G., Zhao, B., Dong, S., Zhang, J., Liu, P., Vyn, T. J. (2017) Interactive Effects of Water and Controlled Release Urea on Nitrogen Metabolism, Accumulation, Translocation, and Yield in Summer Maize. *The Science of Nature*, 104, 9-10. doi.org/10.1007/s00114-017-1491-3

Liu, Z., Gao, J., Gao, F., Liu, P., Zhao, B., Zhang, J. (2018) Photosynthetic Characteristics and Chloroplast Ultrastructure of Summer Maize Response to Different Nitrogen Supplies. *Front. Plant Sci.*, 9, 576. doi: 10.3389/fpls.2018.00576

Machado Filho, G. C., Nascimento, I. R., Sakai, T. R. P., Rocha, W. S., Santos, M. M. dos. (2018) °Brix e Produção de Espigas de Milho-verde em Função de Épocas de Adubação Nitrogenada. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, Guarapuava-PR, 11(1), 33-41. doi: 10.5935/PAeT.V11.N1.04

Melo, W. M. C., Von Pinho, R. G., Von Pinho, E. V. R., Carvalho, M. L. M., Fonseca, A. H. (1999) Parcelamento da adubação nitrogenada sobre o desempenho de cultivares de milho para produção de silagem. *Revista Ciência e Agrotecnologia*, 23(3), 608-616.

Murphy, A. T., & Lewis, O. A. M. (1987) Effect of Nitrogen Feeding Source on the Supply of Nitrogen from Root to Shoot and the Site of Nitrogen Assimilation in Maize (*Zea mays* L. CV. R201). *New Phytologist*, v.107, p.327-333. doi.org/10.1111/j.1469-8137.1987.tb00184.x

Nascimento, F. N. do, Bastos, E. A., Cardoso, M. J., Andrade Júnior, A. S. de, & Ramos, H. M. (2017) Desempenho da Produtividade de Espigas de Milho-verde sob Diferentes Regimes Hídricos. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, Teresina-PI, 16(1), 94-108. dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v16n1p94-108

Nascimento, F. N. do, Bastos, E. A., Cardoso, M. J., Andrade Júnior, A. S. de, Ribeiro, V. Q. (2015) Parâmetros Fisiológicos e Produtividade de Espigas Verdes de Milho sob Diferentes Lâminas de Irrigação. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 14(2), 167-181. doi: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v14n2p167-181>

Neumann, M., Sandini, I. E., Lustosa, S. P. C., Ost, P. R., Romano, M. A., Falbo, M. K., Pansera, E. R. (2005) Rendimentos e Componentes de Produção da Planta de Milho (*Zea mays* L.) para Silagem, em Função de Níveis de Adubação Nitrogenada em Cobertura. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 4(3), 418-427. doi: 10.18512/1980-6477/rbms.v4n3p418-427

Perdomo, A. J., Carmo-Silva, E., Hermida-Carrera, C., Flexas, J., Galmés, J. (2016) Acclimation of Biochemical and Diffusive Components of Photosynthesis in Rice, Wheat, and Maize to Heat and Water Deficit: Implications for Modeling Photosynthesis. *Front Plant Sci.*, 7, 1719. doi: 10.3389/fpls.2016.01719

Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., Shitsuka, R. (2018). Metodologia da pesquisa científica. [e-book]. Santa Maria, RS: UFSM, NTE. Recuperado de [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic\\_Computacao\\_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1)

Pereira Filho, I. A. (2002) O Cultivo do Milho-verde. Sete Lagoas-MG: Embrapa Milho e Sorgo. 217p.

Portes, T. A., & Melo, H. C. de. (2014) Light Interception, Leaf Area and Biomass Production as a Function of The Density of Maize Plants Analyzed Using Mathematical Models. *Acta Sci., Agron.*, Maringá-PR, 36(4). doi.org/10.4025/actasciagron.v36i4.17892

Sangoi, L., Schmitt, A., Zanin, C. G. (2007) Área Foliar e Rendimento de Grãos de Híbridos de Milho em Diferentes Populações de Plantas. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 6(3), 263-271. doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v6n03p%25p

Shrinivasan, V., Kumar, P., Long, S. P. (2017) Decreasing, not Increasing, Leaf Area will Raise Crop Yields under Global Atmospheric Change. *Global Change Biology*, 23(4), 1626–1635. [doi.org/10.1111/gcb.13526](https://doi.org/10.1111/gcb.13526)

Silva, C. B., Silva, T., Silva, J. C., Cruz, R., Alves, M. C., Santos, M. A. (2017) Trocas Gasosas do Milho Verde Submetido a Diferentes Lâminas de Irrigação e Doses de Nitrogênio. IV Inovagri International Meeting. XXVII Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem (CONIRD). III Simpósio Latino-Americano de Salinidade (SBS). 8p. [doi: 10.7127/iv-inovagri-meeting-2017-res3790594](https://doi.org/10.7127/iv-inovagri-meeting-2017-res3790594)

Silva, C. D. S., Santos, P. A. A., Lira, J. M. S., Santana, M. C., Silva Júnior, C. D. (2010) Curso diário das trocas gasosas em plantas de feijão-caupi submetidas à deficiência hídrica. *Revista Caatinga*, 23(4), 7-13.

Sousa, Í. M. de, Rocha, D. R. da, Cunha, C. S. M., Gonçalves, I. C. R., Castro, J. I. A. (2017) Adubação Nitrogenada e Modos de Disponibilização de Micronutrientes na Produção de Milho-verde. *Revista Agropecuária Científica no Semiárido*, Patos-PB, 13(1), 15-21. [dx.doi.org/10.30969/acsa.v13i1.762](https://dx.doi.org/10.30969/acsa.v13i1.762)

Stewart, D. W., Costa, C., Dwyer, L. M., Smith, D. L., Hamilton, R. I. & Ma, B. L. (2003), Canopy Structure, Light Interception, and Photosynthesis in Maize. *Agronomy Journal*, 95(6) 1465-1474. [doi:10.2134/agronj2003.1465](https://doi.org/10.2134/agronj2003.1465)

Tolk, J. A., Howell, T. A., Evett, S. R. (1999) Effect of Mulch, Irrigation, and Soil Type on Water Use and Yield of Maize. *Soil & Tillage Research*, 50(2), 137-147. [doi.org/10.1016/S0167-1987\(99\)00011-2](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(99)00011-2)

Tóth, V. R., Mészáros, M., Veres, S., Nagy, J. (2002) Effects of the Available Nitrogen on the Photosynthetic Activity and Xanthophyll Cycle Pool of Maize in Field. *Journal of Plant Physiology*, 159(6), 627–634. [doi.org/10.1078/0176-1617-0640](https://doi.org/10.1078/0176-1617-0640)

Wang, Y., Janz, B., Engedal, T., Neergaard, A. de. (2017) Effect of Irrigation Regimes and Nitrogen Rates on Water Use Efficiency and Nitrogen Uptake in Maize. *Agricultural Water Management*, 179, 271–276. [doi.org/10.1016/j.agwat.2016.06.007](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.06.007)

Xu, L., Niu, J., Li, C., Zhang, F. (2009) Growth, Nitrogen Uptake and Flow in Maize Plants Affected by Root Growth Restriction. *Journal of Integrative Plant Biology*, 51(7), 689–697. doi: 10.1111/j.1744-7909.2009.00843.x

**Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Eliaby José de Oliveira – 35%

Hyrandir Cabral de Melo – 25%

Frederico Rocha Rodrigues Alves – 15%

Aniela Pilar Campos de Melo – 10%

Kênia Lorrany Trindade – 5%

Thâmara de Mendonça Guedes – 5%

Cleiton Mateus Sousa – 5%