



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**CHRISLENE NOJOSA DIAS FERNANDES**

**LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E ADUBAÇÕES SILICATADA, NITROGENADA E  
POTÁSSICA NA CULTURA DO MILHO VERDE NA REGIÃO DE IGUATU- CE**

**FORTALEZA**

**2020**

CHRISLENE NOJOSA DIAS FERNANDES

LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E ADUBAÇÕES SILICATADA, NITROGENADA E  
POTÁSSICA NA CULTURA DO MILHO VERDE NA REGIÃO DE IGUATU- CE

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.

Orientador: Prof. Dr. Thales Vinícius de Araújo Viana

Coorientador: Prof. Dr. Carlos Newdmar Vieira Fernandes

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na  
Publicação Universidade  
Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- F3991 Fernandes, Chrislene Nojosa Dias.  
Lâminas de irrigação e adubações silicatada, nitrogenada e potássica na cultura do milho verde na região de Iguatu-CE / Chrislene Nojosa Dias Fernandes. – 2020.  
143 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias,  
Programa de Pós- Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2020.  
Orientação: Prof. Dr. Thales Vinicius de Araújo Viana.  
Coorientação: Prof. Dr. Carlos Newdmar Vieira  
Fernandes.
1. Déficit hídrico. 2. Adubação. 3. Micronutriente. I. Título.

CDD 630

---

CHRISLENE NOJOSA DIAS FERNANDES

LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E ADUBAÇÕES SILICATADA, NITROGENADA E  
POTÁSSICA NA CULTURA DO MILHO VERDE NA REGIÃO DE IGUATU- CE

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Thales Vinícius de Araújo Viana (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará – UFC

---

Prof. Dr. José Bruno Rego de Mesquita  
Universidade Federal do Ceará – UFC

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Albanise Barbosa Marinho  
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira – UNILAB

---

Prof. Dr. Alexandre Reuber Almeida da Silva  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE

---

Dr<sup>ª</sup>. Krishna Ribeiro Gomes  
Universidade Federal do Ceará – UFC

A Deus, por permitir vivenciar esse momento único.

Aos meus queridos pais, José Luciano Saraiva Dias e Rita Nojosa Dias, por todo apoio, amor e dedicação, ao meu amado irmão Christiano Nojosa Dias (*In memoriam*), aos meus amados, marido Carlos Newdmar Vieira Fernandes e ao meu filho Miguel Nojosa Fernandes, por dar sentido e razão para lutar pelos meus objetivos.

## AGRADECIMENTOS

À CAPES, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

A Deus pela oportunidade da vida, por suas bênçãos, fidelidade e presença em minha vida.

Aos meus pais, toda a minha gratidão pelo esforço, estímulo e dedicação para a minha realização pessoal e profissional.

A Universidade Federal do Ceará (UFC), especialmente ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do curso e pelo apoio moral e material.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), pela permissão da realização dos trabalhos na área experimental, sendo fundamental na execução do presente estudo.

Ao Prof<sup>o</sup>. Orientador, Dr<sup>o</sup>. Thales Vinícius de Araújo Viana, por toda a atenção, confiança e orientação

Ao Prof<sup>o</sup>. Coorientador, Dr<sup>o</sup>. Carlos Newdmar Vieira Fernandes, por todo o auxílio, atenção, confiança, orientação e ensinamentos tantas vezes compartilhados na realização deste trabalho.

Aos professores e pesquisadores examinadores da tese, Prof. Titular Francisco Marcus Lima Bezerra, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Albanise Barbosa Marinho, Prof. Dr. Alexandre Reuber Almeida da Silva e Dra. Krishna Ribeiro Gomes, pela atenção, colaboração e empenho na correção do trabalho.

Aos mestrandos e doutorandos do DENA – UFC, pela amizade, convivência e auxílio.

Aos bolsistas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), pelo apoio na condução desta pesquisa, pela valiosa contribuição de campo e laboratório, pela amizade e pelo profissionalismo.

Ao meu amado marido, Newdmar Fernandes, pela fundamental ajuda, aprendizado, companheirismo, paciência, amor, dedicação, apoio e carinho, nessa vitória.

Às minhas amigas Valderina Teles e Robevânia Borges, pelo apoio, ajuda e companheirismo.

A todos os professores do curso de Agronomia, em especial ao professor Raimundo Nonato Távora Costa e a Professora Albanise Barbosa Marinho, por acreditar em mim, mesmo

quando eu não acreditava. E aos que fazem parte da família DENA, por todos os ensinamentos e embasamentos científicos.

A todos os colegas de curso e de vida, em especial, ao Alexandre Reuber, pela amizade e agradável convivência.

A todas as pessoas que sempre me incentivaram, desde a proferição de uma simples palavra de motivação e conforto, principalmente, em momentos difíceis, até uma forte ligação de convivência com muita alegria, diversão e amizade verdadeira, que já sinto imensa saudade.

Não vos inquieteis com coisa alguma, mas apresentai as vossas necessidades a Deus, em orações e súplicas, acompanhadas de ação de graças. E a paz de Deus, que ultrapassa todo o entendimento, guardará os vossos corações e pensamentos em Cristo Jesus.

(Fp 4, 6-7)

## RESUMO

No semiárido nordestino, o cultivo de milho verde é uma prática típica da agricultura familiar, com importância social, econômica e alimentar. Essa cultura aliada a técnica da irrigação possibilita o cultivo também ao longo do período seco. Assim, estimar a correta lâmina de água torna-se decisivo para o sucesso na produtividade dos cultivos. Além disso, estudos apontam que a aplicação exógena de silício tem resultado em benefícios aos vegetais, conferido maior tolerância aos estresses, o que pode permitir a redução da lâmina de água aplicada. Ao longo do ciclo da cultura, o nitrogênio (N) e o potássio (K) são absorvidos em maiores quantidades e enquadram-se perfeitamente a técnica da fertirrigação, devido à alta solubilidade em água e mobilidade no solo. Entretanto, a interação entre diferentes doses de nutrientes minerais essenciais pode reforçar, diminuir, mascarar, ou, mesmo, reverter às respostas dos vegetais a um determinado nutriente, o que torna imperativo definir os efeitos interativos das aplicações simultâneas desses nutrientes em condições fertirrigadas para a cultura em questão. Nesse contexto, o objetivo geral desta pesquisa foi estudar os efeitos das interações lâminas de irrigação *versus* doses de silício, aplicadas via foliar; e de doses de nitrogênio *versus* doses de potássio, fertirrigadas, na cultura do milho, visando à produção de espigas verdes do híbrido AG1051. Para isso, foram conduzidos dois experimentos de campo, na área experimental pertencente ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *campus* Iguatu, Ceará, no período de agosto a novembro de 2017. No experimento I, foram avaliadas lâminas de irrigação e doses de silício, sendo as lâminas correspondentes a: 50; 75; 100; 125 e 150% da evapotranspiração potencial da cultura,  $ET_c$  ( $mm\ dia^{-1}$ ), com o silício aplicado via foliar correspondendo a 0; 50; 100 e 200% da dose recomendada de Si, para a cultura do milho, por parte do fabricante da fonte empregada. No experimento II, foram avaliadas doses de nitrogênio e de potássio, aplicadas por fertirrigação, correspondentes a 0; 50; 100 e 200% da dose recomendada de N ( $170\ kg\ ha^{-1}$ ) e K ( $40\ kg\ ha^{-1}$ ). Em ambos, as variáveis de crescimento analisadas foram: a altura da planta, o diâmetro do colmo, a massa seca das folhas, do colmo e total aos 15; 30; 45; 60 e 75 dias após a semeadura; e as produtivas: o diâmetro, o comprimento e a massa da espiga sem palha, a massa da espiga com palha e a produtividade. Os dados obtidos com as variáveis de crescimento foram submetidos à análise de variância, pelo teste F, segundo o delineamento experimental em blocos ao acaso em esquema de parcelas subdivididas, onde as épocas de avaliação das referidas variáveis constituíram as subparcelas. Já os dados obtidos com as variáveis produtivas foram submetidos à análise de variância, pelo teste F, e analisados de acordo com o delineamento experimental em blocos ao acaso em esquema de

parcelas subdivididas. No caso de comprovação dos efeitos significativos nas interações entre os fatores estudados, os dados das variáveis foram plotados em superfícies de respostas. Para os casos em que foi comprovado efeito significativo para o fator de forma isolada, os dados das variáveis foram estudados através da análise de regressão. No experimento I, as lâminas de irrigação e as diferentes épocas influenciaram significativamente as variáveis de crescimento, com respostas lineares crescentes para ambos os fatores estudados, com exceção da variável diâmetro do colmo, que respondeu de forma quadrática aos fatores estudados. As lâminas de irrigação influenciaram positivamente a produção da cultura do milho verde, onde a lâmina de irrigação de 600 mm referente a 150% da ETc, proporcionou a maximização das respostas das variáveis produtivas analisadas. A aplicação foliar de silício nas doses estudadas não foi capaz de proporcionar efeitos favoráveis para a cultura do milho verde. No experimento II, as doses de nitrogênio e as diferentes épocas influenciaram significativamente as variáveis de crescimento vegetativo estudadas com respostas lineares crescentes para ambos os fatores estudados, sendo os melhores valores obtidos com a maior dose de N avaliada, 340 kg ha<sup>-1</sup>, e aos 75 dias após a semeadura, com exceção do diâmetro do colmo que se comportou de forma quadrática para o fator época, com o máximo valor aos 52 dias após a semeadura. As doses de nitrogênio influenciaram positivamente a produção da cultura do milho verde, com a maior dose avaliada proporcionando os maiores valores para as variáveis produtivas analisadas. Já as doses de potássio não influenciaram as variáveis estudadas

**Palavras-chave:** *Zea mays* L.. Déficit hídrico. Adubação.

## ABSTRACT

In the northeastern semiarid, the cultivation of green maize is a typical practice of family farming, with social, economic and food importance. This culture combined with the irrigation technique allows cultivation also during the dry period. Thus, estimating the correct water depth becomes decisive for successful crop productivity. In addition, studies indicate that the exogenous application of silicon has resulted in benefits to vegetables, conferring greater tolerance to stresses, which may allow the reduction of the water layer applied. Throughout the crop cycle, nitrogen (N) and potassium (K) are absorbed in greater quantities and fit the fertigation technique perfectly, due to the high water solubility and mobility in the soil. However, the interaction between different doses of essential mineral nutrients can reinforce, decrease, mask, or even revert to the responses of vegetables to a certain nutrient, which makes it imperative to define the interactive effects of simultaneous applications of these nutrients under conditions fertigated for the culture in question. In this context, the general objective of this research was to study the effects of interactions between irrigation blades versus silicon doses, applied via foliar; and doses of nitrogen versus potassium doses, fertigated, in the corn crop, aiming at the production of green ears of the hybrid AG1051. For this, two field experiments were conducted, in the experimental area belonging to the Federal Institute of Education, Science and Technology of Ceará (IFCE), campus Iguatu, Ceará, from August to November 2017. In experiment I, slides were evaluated irrigation and silicon doses, the blades corresponding to: 50; 75; 100; 125 and 150% of the potential evapotranspiration of the culture,  $E_{Tc}$  (mm day<sup>-1</sup>), with silicon applied via leaf corresponding to 0; 50; 100 and 200% of the recommended dose of Si, for corn, by the manufacturer of the source used. In experiment II, nitrogen and potassium doses, applied by fertigation, corresponding to 0; 50; 100 and 200% of the recommended dose of N (170 kg ha<sup>-1</sup>) and K (40 kg ha<sup>-1</sup>). In both, the growth variables analyzed were: plant height, stem diameter, leaf dry mass, stem and total at 15; 30; 45; 60 and 75 days after sowing; and the productive ones: the diameter, length and mass of the ear without straw, the mass of the ear with straw and productivity. The data obtained with the growth variables were subjected to analysis of variance, using the F test, according to the randomized block design in a subdivided plot scheme, where the times of assessment of the referred variables constituted the sub-parcels. The data obtained with the productive variables were subjected to analysis of variance, using the F test, and analyzed according to the randomized block design in a split plot scheme. In the case of proving the significant effects on the interactions between the factors studied, the data of the variables were plotted on response

surfaces. For cases in which a significant effect for the factor was found in isolation, the data of the variables were studied through regression analysis. In experiment I, the irrigation depths and the different seasons significantly influenced the growth variables, with increasing linear responses for both factors studied, with the exception of the stem diameter variable, which responded quadratically to the factors studied. The irrigation depths positively influenced the production of green corn, where the irrigation depth of 600 mm referring to 150% of ETc, provided the maximization of the responses of the analyzed productive variables. The foliar application of silicon in the studied doses was not able to provide favorable effects for the cultivation of green corn. In experiment II, nitrogen doses and different seasons significantly influenced the vegetative growth variables studied with increasing linear responses for both factors studied, with the best values obtained with the highest N dose evaluated, 340 kg ha<sup>-1</sup>, and at 75 days after sowing, with the exception of the stem diameter that behaved quadratically for the season factor, with the maximum value at 52 days after sowing. The nitrogen doses positively influenced the production of the green corn crop, with the highest dose evaluated providing the highest values for the productive variables analyzed. Potassium doses did not influence the variables studied

**Keywords:** *Zea mays* L.. Water deficit. Fertilization.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Localização da área experimental no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Campus Iguatu, Ceará, 2017.....	54
Figura 2	– Plantas (A) e espigas (B) de milho verde, híbrido duplo AG1051. Iguatu, Ceará, 2017.....	57
Figura 3	– Semeadura do milho híbrido AG1051. Iguatu, Ceará, 2017.....	58
Figura 4	– Vista parcial do conjunto motobomba. Iguatu, Ceará, 2017.....	59
Figura 11	– Croqui do bloco experimental com lâminas de irrigação e com adubação silicatada, evidenciando as parcelas e as subparcelas experimentais. Iguatu, Ceará, 2017.....	67
Figura 12	– Vista da subparcela experimental do experimento com lâminas de irrigação e com adubação silicatada. Iguatu, Ceará, 2017.....	68
Figura 13	– Superfície de resposta para a altura da planta (cm), milho híbrido AG1051, em resposta às lâminas de irrigação (mm) e às épocas de avaliação (DAS), Iguatu, Ceará, 2017.....	73
Figura 14	– Superfície de resposta para o diâmetro do colmo (mm) de plantas de milho, híbrido AG1051, em resposta às lâminas de irrigação (mm) e às épocas de avaliação (DAS), Iguatu, Ceará, 2017.....	75
Figura 15	– Superfície de resposta para a massa seca das folhas ( $\text{g planta}^{-1}$ ) de milho, híbrido AG1051, em resposta às lâminas de irrigação (mm) e às épocas de avaliação (DAS), Iguatu, Ceará, 2017.....	76
Figura 16	– Superfície de resposta para a massa seca do colmo ( $\text{g planta}^{-1}$ ) de milho, híbrido AG1051, em resposta às lâminas de irrigação (mm) e às épocas de avaliação (DAS), Iguatu, Ceará, 2017.....	78
Figura 17	– Superfície de resposta para a massa seca total ( $\text{g planta}^{-1}$ ) de milho, híbrido AG1051, em resposta às lâminas de irrigação (mm) e às épocas de avaliação (DAS), Iguatu, Ceará, 2017.....	79

Figura 18 – Diâmetro da espiga de milho verde sem palha, híbrido AG1051, em resposta às lâminas de irrigação (mm), Iguatu, Ceará, 2017.....	82
Figura 19 – Comprimento de espigas de milho verde sem palha, híbrido AG1051, em resposta às lâminas de irrigação (mm), Iguatu, Ceará, 2017.....	82
Figura 20 – Massa da espiga de milho com palha, híbrido AG1051, em resposta às lâminas de irrigação (mm), Iguatu, Ceará, 2017.....	84
Figura 21 – Massa da espiga de milho sem palha, híbrido AG1051, em resposta às lâminas de irrigação (mm), Iguatu, Ceará, 2017.....	85
Figura 22 – Produtividade de milho sem palha, híbrido AG1051, em resposta às lâminas de irrigação (mm), Iguatu, Ceará, 2017.....	86
Figura 23 – Distribuição do sistema de irrigação em campo utilizado no experimento com dosagens de nitrogênio e de potássio. Iguatu, Ceará, 2017.....	97
Figura 24 – Área experimental com a cultura do milho verde utilizada no experimento com doses de nitrogênio e de potássio. Iguatu, Ceará, 2017.....	99
Figura 25 – Croqui experimental com a distribuição dos tratamentos com fertirrigações nitrogenada e potássica. Iguatu, Ceará, 2017.....	99
Figura 26 – Croqui do bloco experimental com os tratamentos com dosagens de nitrogênio e de potássio, evidenciando as parcelas e as subparcelas experimentais. Iguatu, Ceará, 2017.....	100
Figura 27 – Superfície de resposta para a altura da planta (cm), milho híbrido AG1051, em resposta às doses de nitrogênio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e às épocas de avaliação (DAS), Iguatu, Ceará, 2017.....	104
Figura 28 – Superfície de resposta para o diâmetro do colmo (mm) de plantas de milho, híbrido AG1051, em resposta às doses de nitrogênio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e às épocas de avaliação (DAS), Iguatu, Ceará, 2017.....	106
Figura 29 – Superfície de resposta para a massa seca das folhas ( $\text{g planta}^{-1}$ ) de milho, híbrido AG1051, em resposta às doses de nitrogênio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e às épocas de avaliação (DAS), Iguatu, Ceará, 2017.....	108

Figura 30 – Superfície de resposta para a massa seca do colmo (g planta <sup>-1</sup> ) de milho, híbrido AG1051, em resposta às doses de nitrogênio (kg ha <sup>-1</sup> ) e às épocas de avaliação (DAS), Iguatu, Ceará, 2017.....	110
Figura 31 – Superfície de resposta para a massa seca do colmo (g planta <sup>-1</sup> ) de milho, híbrido AG1051, em resposta às doses de potássio (kg ha <sup>-1</sup> ) e às épocas de avaliação (DAS), Iguatu, Ceará, 2017.....	112
Figura 32 – Superfície de resposta para a massa seca total (g planta <sup>-1</sup> ) de milho, híbrido AG1051, em resposta às doses de nitrogênio (kg ha <sup>-1</sup> ) e às épocas de avaliação (DAS), Iguatu, Ceará, 2017.....	114
Figura 33 – Diâmetro de espigas de milho, híbrido AG1051, em resposta às doses de nitrogênio (kg ha <sup>-1</sup> ), Iguatu, Ceará, 2017.....	116
Figura 34 – Comprimento de espigas de milho, híbrido AG1051, em resposta às doses de nitrogênio (kg ha <sup>-1</sup> ), Iguatu, Ceará, 2017.....	117
Figura 35 – Massa da espiga de milho com palha, híbrido AG1051, em resposta às doses de nitrogênio (kg ha <sup>-1</sup> ), Iguatu, Ceará, 2017.....	118
Figura 36 – Massa da espiga de milho sem palha, híbrido AG1051, em resposta às doses de nitrogênio (kg ha <sup>-1</sup> ), Iguatu, Ceará, 2017.....	119
Figura 37 – Produtividade de milho verde, híbrido AG1051, em resposta às doses de nitrogênio (kg ha <sup>-1</sup> ), Iguatu, Ceará, 2017.....	121

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados mensais das variáveis meteorológicas durante a condução do experimento, Iguatu, Ceará, 2017.....	55
Tabela 2 – Caracterização física do solo da área experimental, na camada de 0 a 0,2 m. Iguatu, Ceará, 2017.....	55
Tabela 3 – Caracterização química do solo da área experimental, na camada de 0,0 a 0,2 m. Iguatu, Ceará, 2017.....	56
Tabela 4 – Valores do coeficiente de cultura (Kc) utilizados nas diferentes fases do cultivo do milho, híbrido AG1051. IFCE, Iguatu, CE, 2017.....	62
Tabela 5 – Percentuais da evapotranspiração da cultura (ETc) e lâminas totais de irrigação aplicadas (Li) durante o ciclo da cultura em cada tratamento. Iguatu, Ceará, 2017.....	64
Tabela 6 – Distribuição percentual das doses de nitrogênio e de potássio aplicadas em cobertura, via fertirrigações. IFCE, Iguatu, CE, 2017.....	65
Tabela 7 – Descrição dos tratamentos do experimento com lâminas de irrigação e com adubação silicatada na cultura do milho verde. IFCE, Iguatu, CE, 2017.....	66
Tabela 8 – Resumo da análise de variância para a altura de planta (AP), o diâmetro do colmo (DC), a massa seca da folha (MSF), a massa seca do colmo (MSC) e a massa seca total (MST) das plantas de milho verde em função das lâminas de irrigação (L) e das doses de silício (Si) em diferentes épocas de avaliação (E), Iguatu, Ceará, 2017.....	72
Tabela 9 – Resumo da análise de variância para o diâmetro e o comprimento da espiga de milho verde sem palha (DESP e CESP), para a massa da espiga de milho verde com palha (MECP) e sem palha (MESP) e para a produtividade de milho verde (PROD) em função de lâminas de irrigação (L) e das doses de silício (Si), Iguatu, Ceará, 2017.....	81
Tabela 10 – Distribuição percentual das doses de nitrogênio e de potássio aplicadas em cobertura, via fertirrigações. IFCE, Iguatu, CE, 2017.....	98

Tabela 11 – Descrição dos tratamentos com doses de aplicação de N e de K, com respectivos percentuais em relação a dose recomendada, utilizados na cultura do milho verde. IFCE, Iguatu, CE, 2017.....	98
Tabela 12 – Resumo da análise de variância para a altura de planta (AP), o diâmetro do colmo (DC), a massa fresca da folha (MFF), a massa fresca do colmo (MFC) e a massa fresca total (MFT) das plantas de milho verde em função das doses de nitrogênio (N) e das doses de potássio (K), em diferentes épocas de avaliação (E), Iguatu, Ceará, 2017.....	103
Tabela 13 – Resumo da análise de variância para o diâmetro e o comprimento da espiga de milho verde sem palha (DESP e CESP), para a massa da espiga de milho verde com palha (MECP) e sem palha (MESP) e para a produtividade de milho verde (PROD) em função de doses de nitrogênio (N) e de potássio (K), Iguatu, Ceará, 2017.....	115

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>21</b>
<b>1.1</b>	<b>Hipóteses.....</b>	<b>23</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>23</b>
<i>1.2.1</i>	<i>Objetivo geral.....</i>	<i>23</i>
<i>1.2.2</i>	<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>23</i>
<b>2</b>	<b>CAPÍTULO 1 - REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>25</b>
<b>2.1</b>	<b>Cultura do milho.....</b>	<b>25</b>
<b>2.2</b>	<b>Aspectos gerais.....</b>	<b>25</b>
<b>2.3</b>	<b>O milho verde.....</b>	<b>27</b>
<i>2.3.1</i>	<i>Híbrido AG1051.....</i>	<i>28</i>
<b>2.4</b>	<b>Características fisiológicas de plantas de milho.....</b>	<b>28</b>
<b>2.5</b>	<b>Exigências climáticas.....</b>	<b>29</b>
<b>2.6</b>	<b>Exigências nutricionais do milho.....</b>	<b>30</b>
<b>3</b>	<b>LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO.....</b>	<b>30</b>
<b>4</b>	<b>SILÍCIO.....</b>	<b>31</b>
<b>4.1</b>	<b>Silício nas plantas.....</b>	<b>32</b>
<b>5</b>	<b>FERTIRRIGAÇÃO.....</b>	<b>35</b>
<b>6</b>	<b>ADUBAÇÃO NITROGENADA.....</b>	<b>37</b>
<b>7</b>	<b>ADUBAÇÃO POTÁSSICA.....</b>	<b>38</b>
<b>8</b>	<b>CAPÍTULO 2 - INTERAÇÃO ENTRE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E ADUBAÇÃO SILICATADA NA CULTURA DO MILHO VERDE.....</b>	<b>50</b>
<b>9</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>52</b>
<b>10</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>54</b>
<b>10.1</b>	<b>Caracterização da área experimental.....</b>	<b>54</b>
<i>10.1.1</i>	<i>Local do experimento.....</i>	<i>54</i>
<i>10.1.2</i>	<i>Clima da região.....</i>	<i>54</i>
<i>10.1.3</i>	<i>Solo da área experimental.....</i>	<i>55</i>
<b>10.2</b>	<b>Cultura e condução do cultivo.....</b>	<b>56</b>
<i>10.2.1</i>	<i>Semeadura e estabelecimento da cultura.....</i>	<i>57</i>
<b>10.3</b>	<b>Sistema de irrigação.....</b>	<b>58</b>
<b>10.4</b>	<b>Manejo da irrigação.....</b>	<b>61</b>

<b>10.5</b>	<b>Manejo da adubação.....</b>	<b>64</b>
<b>10.6</b>	<b>Delineamento experimental e descrição do experimento.....</b>	<b>66</b>
<b>10.7</b>	<b>Variáveis analisadas.....</b>	<b>68</b>
<b>10.7.1</b>	<b><i>Análise de crescimento.....</i></b>	<b>68</b>
<b>10.7.1.1</b>	<b><i>Altura da planta.....</i></b>	<b>69</b>
<b>10.7.1.2</b>	<b><i>Diâmetro do colmo.....</i></b>	<b>69</b>
<b>10.7.1.3</b>	<b><i>Massa seca da parte aérea.....</i></b>	<b>69</b>
<b>10.7.2</b>	<b><i>Características produtivas.....</i></b>	<b>69</b>
<b>10.7.2.1</b>	<b><i>Diâmetro da espiga sem palha (DESP).....</i></b>	<b>70</b>
<b>10.7.2.2</b>	<b><i>Comprimento da espiga sem palha (CESP).....</i></b>	<b>70</b>
<b>10.7.2.3</b>	<b><i>Massa da espiga com palha (MECP).....</i></b>	<b>70</b>
<b>10.7.2.4</b>	<b><i>Massa da espiga sem palha (MESP).....</i></b>	<b>70</b>
<b>10.7.2.5</b>	<b><i>Produtividade (PROD).....</i></b>	<b>70</b>
<b>10.8</b>	<b>Análises estatísticas.....</b>	<b>70</b>
<b>11</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>72</b>
<b>12</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>88</b>
<b>13</b>	<b>CAPÍTULO 3 - INTERAÇÃO ENTRE DOSES DE NITROGÊNIO E DE POTÁSSIO, APLICADAS VIA FERTIRRIGAÇÃO, NA CULTURA DO MILHO VERDE.....</b>	<b>92</b>
<b>14</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>94</b>
<b>15</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>96</b>
<b>15.1</b>	<b>Caracterização da área experimental.....</b>	<b>96</b>
<b>15.1.1</b>	<b><i>Local do experimento.....</i></b>	<b>96</b>
<b>15.1.2</b>	<b><i>Clima da região.....</i></b>	<b>96</b>
<b>15.1.3</b>	<b><i>Solo da área experimental.....</i></b>	<b>96</b>
<b>15.2</b>	<b>Cultura e condução do cultivo.....</b>	<b>96</b>
<b>15.2.1</b>	<b><i>Semeadura e estabelecimento da cultura.....</i></b>	<b>96</b>
<b>15.3</b>	<b>Sistema de irrigação.....</b>	<b>96</b>
<b>15.4</b>	<b>Manejo de irrigação.....</b>	<b>97</b>
<b>15.5</b>	<b>Manejo da adubação.....</b>	<b>97</b>
<b>15.6</b>	<b>Delineamento experimental e descrição do experimento.....</b>	<b>98</b>
<b>15.7</b>	<b>Variáveis analisadas.....</b>	<b>100</b>
<b>15.7.1</b>	<b><i>Análise de crescimento.....</i></b>	<b>100</b>

15.7.1.1	<i>Altura da planta</i> .....	100
15.7.1.2	<i>Diâmetro do colmo</i> .....	100
15.7.1.3	<i>Massa seca da parte aérea</i> .....	100
<b>15.7.2</b>	<b><i>Características produtivas</i></b> .....	<b>101</b>
15.7.2.1	<i>Diâmetro da espiga sem palha (DESP)</i> .....	101
15.7.2.2	<i>Comprimento da espiga sem palha (CESP)</i> .....	101
15.7.2.3	<i>Massa da espiga com palha (MECP)</i> .....	101
15.7.2.4	<i>Massa da espiga sem palha (MESP)</i> .....	101
15.7.2.5	<i>Produtividade (PROD)</i> .....	101
<b>15.8</b>	<b>Análises estatísticas</b> .....	<b>101</b>
<b>16</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>103</b>
<b>17</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>124</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>125</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O milho é uma gramínea pertencente à família *Poaceae* (antiga *Gramineae*), espécie *Zea mays* L., com sinais de origem na América Central e no México, que pode ser cultivada em diferentes regiões do planeta, por possuir uma diversidade de genótipos que possibilitam grande adaptabilidade da cultura aos climas tropicais, subtropicais e temperados.

No semiárido nordestino, o cultivo de milho para a produção, consumo e comercialização na forma verde é uma atividade típica da agricultura familiar. Nessa perspectiva, a espécie pode ser considerada uma hortaliça, pois visando essa finalidade a sua colheita ocorre quando os grãos encontram-se no estado leitoso, com 70 a 80% de umidade, e com ciclo produtivo que dura aproximadamente 90 dias no verão e de 120 dias no inverno. Quanto à rentabilidade econômica no estágio verde, observa-se superioridade nas receitas líquidas obtidas, quando comparadas ao milho comercializado em grãos secos, pois se trata de um produto com boa aceitação dentre os consumidores e com alto valor agregado.

Dentre os materiais genéticos tradicionalmente adotados nos cultivos locais, o híbrido AG1051 tem sido bastante utilizado na agricultura familiar e destacando-se pelos bons resultados como milho grão e rendimento de polpa, sendo o preferido dos produtores para a obtenção de espigas verdes. Seu ciclo cultural possui uma duração situada entre 90 - 120 dias. Este material, quando comparado aos demais híbridos comerciais, apresenta dentre as suas vantagens, a coloração mais adequada para o comércio de milho verde *in natura*.

Segundo Silva *et al.* (2006), em pesquisa realizada nos municípios com maiores produções de milho híbrido na região do Estado do Ceará, o município de Iguatu se destacou, por apresentar a maior renda média estadual com a produção de milho híbrido e milho variedade, alcançando, na época, valores na ordem de R\$ 833,20 ha<sup>-1</sup> e R\$ 518,71 ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Esses resultados evidenciam a importância dessa atividade na geração de renda e de emprego para a população do setor agropecuário local, onde a cultura além de integrar a dieta humana e o raçãoamento animal, coopera com a redução do êxodo rural através da fixação do homem no campo. Indicadores de rentabilidade apontam que a cultura de milho híbrido é bastante rentável, tornando os produtores competitivos.

Entretanto, o fator que com maior frequência e intensidade afeta o rendimento da cultura do milho no semiárido é a disponibilidade de água. Assim, a irrigação torna-se de grande importância na otimização da produção de alimentos, necessitando-se de estudos com diferentes lâminas de irrigação no intuito de se determinar, para as condições locais, as necessidades hídricas da cultura. Concomitantemente, a fertirrigação, que proporciona a

aplicação de adubos juntamente com a água de irrigação, soma-se ao sistema de produção cultural para assegurar eficiência na maximização do potencial genético da cultura.

Apesar de não ser considerado um elemento essencial para o crescimento e para o desenvolvimento das plantas, o silício (Si), tem sido associado a diversos efeitos benéficos. Pesquisas apontam que a sua presença no tecido vegetal, especialmente, quando estes são constituintes de plantas submetidas a algum tipo de estresse, seja ele de caráter biótico ou abiótico, aumenta a eficiência do uso da água pelo vegetal através da formação de uma camada dupla de sílica cuticular, que devido ao acúmulo do Si nos órgãos de transpiração, reduz a perda de água, podendo ser de grande importância em regiões onde o período de estiagem é longo e severo, levando a supor que a aplicação exógena desse elemento poderá contribuir com a maximização do desempenho agrônomo das culturas agrícolas, sob condições limitadas de água. Todavia, estudos voltados para essa temática para a cultura em questão ainda são escassos.

Quanto aos macronutrientes, o nitrogênio (N) é o mais exigido pela cultura do milho, sendo este um dos principais fatores edáficos que limitam o crescimento e o rendimento de grãos na espécie, pois o mesmo exerce importante função nos processos bioquímicos da planta; por isso, seus maiores efeitos são relacionados ao crescimento e ao desenvolvimento, que direta ou indiretamente, afetam a produtividade da cultura. Depois do nitrogênio, o potássio (K) é o elemento que a cultura do milho absorve em maiores quantidades, sendo em torno de 30% do total absorvido pela espécie exportado para os grãos, exercendo influência positiva na massa individual de grãos e no número de grãos por espiga, gerando um grande impacto na qualidade da cultura.

Entretanto, a interação entre diferentes doses de nutrientes minerais essenciais pode reforçar, diminuir, mascarar, ou, mesmo, reverter às respostas dos vegetais às variações simples (unitárias) de um determinado nutriente. Assim, os nutrientes não devem ser avaliados isoladamente, pois a interação entre o nitrogênio e o potássio obedece à lei do mínimo, ou seja, quando o nitrogênio é aplicado em quantidade suficiente para haver elevação da produção, essa passa a ser limitada pelos baixos teores de potássio aplicados ao solo e vice-versa. Portanto, o estudo associado desses dois nutrientes é de grande relevância para a cultura do milho verde, a fim de se encontrar as combinações das doses ótimas, capazes de maximizarem a produtividade, especialmente, em condições fertirrigadas. Além disso, essas definições precisas das doses que serão aplicadas podem possibilitar reduções de custos, com menores desperdícios de insumos e com diminuição de impactos ambientais negativos, resultando em benefícios para produtores, consumidores e para o ambiente.

Dessa forma, o estudo das interações lâminas de irrigação *versus* doses de silício, aplicadas via foliar, e de doses de nitrogênio *versus* doses de potássio, fertirrigadas, poderão ser de grande valia para os produtores de milho verde da região semiárida, no tocante à eficiência do uso da água e à produtividade de espigas, entre outros, em um panorama de carência de estudos locais para a cultura, fornecendo dados e promovendo conhecimento, inovação, sustentabilidade e competitividade para os produtores da região de Iguatu-CE.

## **1.1 Hipóteses**

O uso de combinações de lâminas de água com doses de silício, aplicadas via foliar, possibilitará a identificação de um possível efeito benéfico desse elemento para a cultura do milho verde, quando submetida a estresse hídrico, bem como identificará a lâmina de água e a dose de silício ótimas, capazes de proporcionarem o máximo potencial de crescimento e de produtividade de espigas de milho verde sob condições de clima semiárido.

O uso de combinações de doses de nitrogênio e de doses de potássio possibilitará encontrar a melhor relação entre as doses ótimas, de N e de K, capazes de expressarem o máximo potencial de crescimento e de produtividade de espigas de milho verde, em condições de clima semiárido.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

O objetivo geral desta pesquisa foi estudar os efeitos das interações lâminas de irrigação *versus* doses de silício, aplicadas via foliar, e de doses de nitrogênio *versus* doses de potássio, fertirrigadas, na cultura do milho, visando à produção de espigas verdes, em condições de semiárido.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

Testar combinações entre lâminas de água e doses de silício, aplicadas via foliar, visando identificar a que proporcione o melhor crescimento e a maior produção de biomassa pela cultura do milho destinada à produção de espigas verdes.

Identificar a combinação de lâmina de irrigação e de dose de silício que proporcione a melhor produtividade na cultura do milho, destinada à produção de espigas verdes.

Verificar a capacidade de atenuação do silício nos efeitos adversos causados pelo estresse hídrico no crescimento, na produção de biomassa e na produtividade na cultura do milho, destinada à produção de espigas verdes.

Avaliar o efeito de doses de nitrogênio e de doses potássio aplicadas por meio da fertirrigação e identificar a combinação destas que proporcione o melhor crescimento e a maior produção de matéria seca pela cultura do milho, destinada à produção de espigas verdes.

Identificar a combinação de doses de nitrogênio e de doses de potássio que proporcione a melhor produtividade na produção da cultura do milho destinada à produção de espigas verdes.

## 2 CAPÍTULO 1 - REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 CULTURA DO MILHO

#### 2.2 Aspectos gerais

O milho é uma gramínea pertencente à família *Poaceae* (antiga *Gramineae*), espécie *Zea mays* L., pertence à tribo *Maydeae*, que existe há pelo menos 8 ou 10 mil anos, com sinais de origem na América Central ou no México. Trata-se de uma planta herbácea, monóica, robusta, ereta e anual, com altura variando entre um a quatro metros, com grande capacidade de acumulação de fotoassimilados e com excelência na produção de grãos (MAGALHAES; SOUZA, 2011). É uma espécie que pode ser cultivada em diferentes regiões do planeta, por possuir uma diversidade de genótipos que possibilita grande adaptabilidade aos climas tropicais, subtropicais e temperados (DUARTE *et al.*, 2016).

No mundo, o milho é a principal fonte energética alimentar, sendo largamente cultivado e consumido em todos os continentes, como alimento humano, como ração animal e como matéria prima para a indústria, servindo de insumo para centenas de produtos dos sistemas agroindustriais e, principalmente, devido ao seu alto prestígio no mundo do agronegócio (OLIVEIRA *et al.*, 2009, SANTOS *et al.*, 2016).

No *ranking* mundial, o Brasil tem se destacado como o terceiro maior produtor de grãos de milho, depois dos Estados Unidos e da China, e o segundo maior exportador de grãos, com uma safra em 2018/2019 de área cultivada dedicada à cultura no país de 17.495,4 mil hectares semeados, alta de 5,3% quando comparada a 2017/2018 com rendimento médio de 5.715 quilos por hectare, alta de 18%, com produtividade em torno de 99.984,1 mil toneladas, 23,9% superior ao evidenciado na safra anterior (CONAB, 2019).

Para a safra 2019/2020, estima-se uma área total de 18,5 milhões hectares, com colheita de 102,3 milhões de toneladas, sendo a primeira safra de 25,3 milhões de t, a segunda safra deverá ter uma produção de 75,9 milhões de t, com área total de 13,8 milhões de ha, com um crescimento de 7% em relação à safra anterior, e o milho terceira safra deverá alcançar uma produção de 1,17 milhão de t, com uma área plantada de 511,2 mil a (CONAB, 2020).

Segundo Contini *et al.* (2019), a produção de milho cresceu em decorrência do aumento da demanda doméstica, associado à evolução da avicultura e da suinocultura, e da demanda externa com o crescimento acentuado das exportações. Assim, o milho tem representativo destaque na cadeia produtiva de suínos e de aves, pois nestas, são consumidos

cerca de 70% do milho produzido no mundo e entre 70 e 80% do milho produzido no Brasil (MIRANDA *et al.*, 2012).

No território brasileiro, o milho ocupa uma área cultivada considerável, gerando empregos no setor agrícola, bem como, na indústria para a produção de cola, de amido, de óleo, de álcool, de flocos alimentícios, de bebidas e de outros (SILVA *et al.*, 2012). Além disso, se colhido antes de maduro, é conhecido popularmente como milho verde, e pode ser consumido cozido ou assado, na espiga, processado para curau, pamonha, bolos, biscoitos, sorvetes e outros tipos de processamentos (PEREIRA FILHO, 2003; MATOS, 2007).

O ciclo de cultivo da planta de milho é bastante variado, com ocorrências de cultivares extremamente precoces, com presença de polinização aos 30 dias após a emergência, bem como, cultivares extremamente tardias, com ciclos de até 300 dias. Entretanto, nas condições brasileiras, o ciclo da cultura do milho varia de 110 a 180 dias, período compreendido entre a emergência e o florescimento, e que de acordo com a classificação são denominadas como superprecoce, precoce ou normal (FORNASIERI FILHO, 2007).

Segundo Gasques *et al.* (2018), na safra 2016/2017 a produção brasileira teve uma colheita recorde de 97,8 milhões de toneladas, estimando-se que na próxima década poderia atingir entre 121,4 e 182,7 milhões de toneladas. Em 2017/2018, o estado do Mato Grosso foi o principal produtor nacional, no qual, juntamente com Paraná, Goiás, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais produziram 74,2% da safra nacional de milho. As exportações constituem a variável mais forte a impulsionar a produção de milho, projetadas para crescer 51,1%, correspondendo a um volume de 39,0 milhões de toneladas, resultante da importância do milho no mercado nacional e internacional e pelo crescimento acentuado do milho de segunda safra (CONTINI *et al.*, 2019).

Portanto, a cultura do milho vem, a cada ano, sendo cada vez mais, explorada e adotada em diferentes regiões. Com isso, emerge a necessidade de estudos que venham aprimorar o cultivo do milho às condições edafoclimáticas de cada região, seguida de boas práticas culturais como adubação, controle de pragas, doenças e irrigação, ou seja, todo o manejo adequado do sistema de produção para uma superioridade em produtividade e em qualidade de grãos (DUARTE *et al.*, 2016).

A busca por uma maior eficiência na produção agrícola tem sido constante em toda a cadeia produtiva, principalmente para o agricultor, pois em uma economia globalizada e de alta competitividade, que tem por objetivo obter a máxima produtividade com o menor custo de produção, é imprescindível que o mesmo se torne competitivo e sustentável (CRUZ *et al.* 2009).

### 2.3 O milho verde

No semiárido nordestino o milho, na forma verde, é uma cultura típica da agricultura familiar, onde os seus cultivos, majoritariamente, são realizados em áreas inferiores a 20 hectares, notadamente, com importância na cadeia social, econômica e alimentar do brasileiro, sendo uma das culturas mais cultivadas tanto para a subsistência, como para a venda local (BRITO *et al.*, 2013; SOUZA FILHO *et al.*, 2016). Conforme Moraes (2009), utilizando-se a irrigação e o escalonamento da produção, a exploração da cultura é realizada durante todo o ano, permitindo um fluxo constante do produto para a comercialização.

O milho verde é considerado uma hortaliça, pois a colheita ocorre quando os grãos encontram-se no estado leitoso, com 70 a 80% de umidade, e com ciclo produtivo que dura aproximadamente 90 dias no verão e 120 dias no inverno, ou seja, o milho é colhido e consumido ainda fresco e antes da total conversão do açúcar em amido, processo que tem que ser realizado com agilidade, pois dependendo da condição climática, pode provocar a perda das suas características em poucas horas, exigindo precisão do produtor na colheita e rapidez na comercialização (PEREIRA FILHO, 2003; MATOS, 2007).

A qualidade do milho verde, no mercado *in natura*, é tratada com relevância e mensurada pelas características sensoriais de aparência, como cor, sabor e textura (KWIATKOWSKI; CLEMENTE, 2007). Além disso, permite o aproveitamento das plantas do milho e do restante das espigas, não comerciais, para a alimentação animal, e maior retorno de capital por área plantada (ALBUQUERQUE *et al.*, 2008; SOUZA FILHO *et al.*, 2016).

A comercialização do milho verde é realizada com base em alguns atributos como o elevado peso e porcentagem de espigas comerciais, onde a exigência do padrão comercial são espigas maiores que 15 cm de comprimento e 3 cm de diâmetro, e ainda, empalhamento das espigas e a coloração do grão (ALBUQUERQUE *et al.*, 2008).

Quanto à rentabilidade econômica no estágio verde, observa-se superioridade nos lucros quando comparada ao milho comercializado em grãos secos, pois se trata de um produto com boa aceitação e com alto valor agregado ao produto, e seus derivados (VIEIRA *et al.*, 2010).

Apesar da importância, os produtores cultivam o milho verde inadequadamente, assim, estudos das práticas de agricultura irrigada aliadas ao adequado manejo de adubação são necessários para a produtividade e para a sustentabilidade nos processos produtivos (DANTAS JUNIOR *et al.*, 2016).

### 2.3.1 Híbrido AG1051

Segundo Castro (2010), o genótipo AG 1051 é um híbrido duplo, semiprecoce, caracterizado por apresentar grão amarelo e dentado, alta resistência ao acamamento, altura de inserção da primeira espiga de 1,60 m e altura da planta de 2,60 m, desenvolvido para produção de grãos, de silagem e de espigas verdes. Tratam-se de plantas de porte alto, podendo ser cultivadas tanto no verão como na safrinha, possui amplitude de época e de regiões de plantio, excelente sistema radicular, além de atingir uma produção de 335 a 550 sacos de 25 kg e população de 45 a 50 mil plantas por hectare (ARAÚJO *et al.*, 2014; SEMENTES AGROCERES, 2014). Segundo Ferreira *et al.* (2010), a produtividade média desse material genético é da ordem de 9.000 kg ha<sup>-1</sup>.

Esse híbrido tem sido bastante utilizado na agricultura familiar se destacando pelos bons resultados como milho grão, e rendimento de polpa (AGUIAR *et al.*, 2008), sendo o preferido dos produtores para a obtenção de espigas verdes, com ciclo aproximado entre 90 - 120 dias (BLANCO *et al.*, 2011; DUARTE *et al.*, 2016), e quando comparado a alguns híbridos comerciais, apresenta a melhor coloração para o comércio de milho verde *in natura* (ALBUQUERQUE *et al.*, 2008).

Moraes *et al.* (2010) observaram que dentre outros materiais genéticos o híbrido AG 1051, foi superior na massa de espigas despalhadas, com 79% de espigas verdes comercializáveis. Da mesma forma, Castro *et al.* (2013) identificaram que o híbrido AG 1051 foi um dos melhores, quanto a massa de espigas verdes empalhadas e comercializáveis, o número e massa de espigas verdes despalhadas comercializáveis, e o melhor quanto ao rendimento de grãos. Ressalta-se, ainda, que as espigas verdes têm comprimento e diâmetro adequados para o padrão comercial (NETO *et al.*, 2017).

Assim, Costa *et al.* (2015) afirmam que o híbrido AG1051 é indicado para o mercado de milho verde, possuindo espigas de excelente qualidade e boa produtividade de espigas empalhadas.

## 2.4 Características fisiológicas de plantas de milho

O milho é uma gramínea anual que apresenta alta eficiência na utilização de luz e CO<sub>2</sub>, característica inerente às plantas de metabolismo C4 (MAGALHAES; SOUZA, 2011), onde o fator que com maior frequência e intensidade afeta o rendimento da cultura é a disponibilidade de água (DANTAS JUNIOR *et al.*, 2016), pois o déficit hídrico afeta o

metabolismo das plantas e provoca o fechamento estomático, causando redução da taxa fotossintética (CRUZ *et al.*, 2010). O conhecimento das diferentes fases de crescimento e das demandas hídricas e nutricionais em cada uma delas é essencial para o eficiente manejo da cultura. Logo, é relevante enfatizar os diversos estádios de crescimento da planta desde a emergência até a maturidade fisiológica (MAGALHAES; SOUZA, 2011).

Basicamente, o ciclo da cultura do milho compreende os seguintes estádios de desenvolvimento: germinação e emergência, estádios vegetativos: V3 (três folhas completamente desenvolvidas), V6 (seis folhas desenvolvidas), V9 (espigas facilmente visíveis), V12 (grãos em potencial - duas a quatro folhas basais), V15 (fixação do rendimento), V18 (raízes aéreas em crescimento), Vt (pendoamento), estádios reprodutivos: R1(embonecamento e polinização), R2 (grão bolha d'água), R3 (grão Leitoso), conforme a descrição proposta por Pereira Filho (2003).

Todavia, cabe enfatizar que existe uma grande variação nos tipos de materiais genéticos, com variedades de menor custo, que são os casos das sementes de menor potencial de produção até os de maior custo, normalmente, híbridos, com maior potencial produtivo, e ainda, diferenças nas características de textura dos grãos, na cor e no ciclo (ALBUQUERQUE *et al.*, 2008).

Ressalta-se, ainda, que para se conhecer a eficiência do crescimento e a capacidade de adaptação às condições ambientais de uma dada espécie ou de uma variedade, deve-se ter como base o estudo das interações dos índices fisiológicos: taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>, transpiração, condutância estomática e concentração interna de CO<sub>2</sub> e dos fatores ambientais que os afetam como: luz, temperatura, concentração de CO<sub>2</sub> e disponibilidade de água e nutrientes, e em particular o estado hídrico da planta (TAIZ *et al.*, 2017).

## **2.5 Exigências climática**

A cultura do milho responde à interação de todos os fatores climáticos, podendo considerar os de maior influência, a radiação solar, a precipitação e a temperatura, pois atuam com eficiência e de forma direta nas atividades fisiológicas da produção de grãos e de matéria seca (CRUZ *et al.*, 2011).

Adapta-se bem às condições climáticas semiáridas de temperaturas altas, em torno de 24 e 30°C, radiação solar elevada e adequada disponibilidade hídrica do solo (CRUZ *et al.*, 2010). Assim, o clima mais favorável é aquele que apresenta verões quentes e úmidos durante

o ciclo vegetativo, acompanhado de invernos secos, facilitando a colheita e o armazenamento (MAGALHAES *et al.*, 2002).

Quanto ao regime pluvial, regiões onde a precipitação varia de 250 mm até 5.000 mm anuais possibilitam a instalação da cultura, com consumo de água no ciclo em torno de 600 mm (MORAES *et al.*, 2009; CRUZ *et al.*, 2010).

A radiação solar incidente fotossinteticamente ativa (PAR) situa-se na faixa de comprimento de onda de 400 a 700 nanômetros (KUNTZ, 2005).

## **2.6 Exigências nutricionais do milho**

Segundo Coelho *et al.* (2010), as maiores exigências nutricionais da cultura referem-se ao nitrogênio (N) e ao potássio (K) e, em seguida, cálcio (Ca), magnésio (Mg) e fósforo (P) e que a extração dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg aumenta linearmente com o aumento da produtividade. Já os micronutrientes ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdênio (Mo) e cloro (Cl) são exigidos em menores quantidades ( $\text{mg kg}^{-1}$ ). Entretanto, a deficiência de qualquer um deles, seja macronutriente ou micronutriente, pode causar efeitos nos processos metabólicos, um exemplo é a deficiência de um macronutriente, como o N, provocando redução na produtividade (PEREIRA FILHO, 2003).

As aplicações de nutrientes via marcha de absorção e do acúmulo de matéria seca, em função dos estádios fenológicos da cultura do milho são de fundamentais relevâncias tanto para subsidiar estratégias de definição das quantidades, quanto para predizer as quantidades mínimas que devem ser devolvidas ao solo, em concordância com a absorção e as épocas de maior exigência da planta por cada elemento (PINHO *et al.*, 2009). Entretanto, vale ressaltar, que a quantidade e a proporcionalidade dos nutrientes absorvidos pelas plantas, dependem tanto das características intrínsecas do vegetal, como dos fatores externos ao qual foram submetidos, exigindo ajustes para cada caso, devido à ocorrência de variações na idade cronológica com a região de cultivo e com a época de plantio (NOGUEIRA *et al.*, 2014).

## **3 LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO**

O semiárido do Nordeste brasileiro tem como característica intrínseca a ocorrência de déficits hídricos praticamente ao longo de todo o ano, devido à irregularidade das precipitações pluviais naturais no tempo e no espaço, e ao manejo inadequado dos cultivos irrigado, que resultam em redução da produção de gêneros agrícolas na região, evidenciando a

importância a ser dada para a adoção da prática da irrigação, no intuito de uma menor dependência das condições climáticas adversas às culturas e aumentando as chances de se obter uma colheita mais rentável (FERNANDES, 2010).

O fator que com maior frequência e intensidade afeta o rendimento da cultura do milho é a disponibilidade de água (DANTAS JUNIOR *et al.*, 2016). Assim, a irrigação torna-se uma alternativa viável, com importância na otimização da produção de alimentos, na geração de empregos e de renda e na promoção do desenvolvimento sustentável, principalmente para os pequenos produtores da região (SILVA *et al.*, 2012; LUNA *et al.*, 2013). Outro aspecto relevante é a possibilidade de escalonamento da produção, com reposição de água via irrigação, atendendo a demanda comercial (KWIATKOWSKI; CLEMENTE, 2007).

No intuito de se determinar as necessidades hídricas de uma cultura, o estudo de diferentes lâminas de irrigação, merece importante destaque, por se tratar de uma maneira bastante prática para estimar a quantidade de água que a cultura necessita para crescer e para produzir em certa região (AZEVEDO; BEZERRA, 2008), tornando-se a adoção da correta lâmina um decisivo fator para o sucesso da produtividade dos cultivos irrigados (SOUZA; ANDRADE, 2010), uma vez que as lâminas ótimas de irrigação podem variar em função das condições edafoclimáticas da região (SOUZA *et al.*, 2016).

Dentro desse enfoque, têm-se buscado estudar a resposta do milho verde a diferentes lâminas de irrigação. Em Sumé, Dantas Junior *et al.* (2016) e em Pombal, Brito *et al.*, 2013, ambas no estado da Paraíba, foram necessários 528 e 680,4 mm, correspondentes a 100 e a 80% da ETc), respectivamente, para alcançarem as maiores porcentagens de espigas comerciais e para os maiores pesos das espigas, nesta ordem. Em Chapadão do Sul – MS, Souza *et al.*, 2016 e em Teresina – PI, Blanco *et al.*, 2011 utilizaram 346,63 mm (85% ETc) no Inverno/primavera e 278,3 mm (50% ETc) no Verão/Outono para alcançarem os maiores pesos e as qualidades superiores de espigas, e 530 mm para a maior produtividade técnica de espigas verdes de milho, com palha e sem palha.

#### **4 SILÍCIO**

Na crosta terrestre, o silício (Si) é o segundo elemento mais abundante em teor total, porém, cada solo difere quanto a sua capacidade de fornecimento de Si às plantas (CHAVES *et al.*, 2013). Os solos argilosos liberam Si e Al<sup>3+</sup> dos minerais de argila, apresentando maior quantidade de filossilicatos quando comparados aos solos arenosos, que são ricos em quartzo (SiO<sub>2</sub>), que são de difícil decomposição química (DEMATTE *et al.*, 2011).

O silício não é considerado um elemento essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, contudo, a sua disponibilidade tem sido associado a diversos efeitos benéficos como: tolerância a estresses hídricos e salinos; menor transpiração; maior resistência das plantas às doenças e às pragas; tolerância à toxicidade por metais pesados; promoção de crescimento e nodulação em leguminosas; efeito na atividade de enzimas e na composição mineral; melhoria da arquitetura da planta, o que facilita a mecanização; redução no acamamento e conseqüente aumento da taxa fotossintética e de produtividade (LIMA *et al.*, 2011).

Em função destes benefícios, o Ministério da Agricultura, pelo Decreto Lei número 4954, aprovado em 14 de Janeiro de 2004, que dispõe sobre a legislação de fertilizantes, considerou o silício (Si) como um micronutriente benéfico (MARAFON; ENDRES, 2011), embora a essencialidade deste elemento ainda não tenha sido demonstrada pelas pesquisas (OLIVEIRA, 2009), pois outros estudos surgem de forma contraditória por não se ter o conhecimento exato das funções do silício nas plantas, da sua atuação fisiológica, das plantas mais beneficiadas e das doses adequadas para cada tipo de cultura (RODRIGUES *et al.*, 2011).

A presença do silício (Si) nos tecidos vegetais, especialmente quando estes são submetidos a algum tipo de estresse, seja ele de caráter biótico ou abiótico, tem resultado em benefícios aos vegetais (CHAVES *et al.*, 2013). A eficiência do uso da água pelo vegetal é aumentada pela formação de uma camada dupla de sílica cuticular, que reduz a perda de água por transpiração, devido ao acúmulo do Si nos órgãos de transpiração (SILVA *et al.*, 2012). Em regiões onde o período de estiagem é longo e severo, a eficiência no uso de água pode ser de grande importância, sobretudo, para as gramíneas (MA *et al.*, 2001).

De acordo com Kaya *et al.* (2006), o uso do silício aumentou a tolerância ao estresse hídrico nas mudas de milho. Segundo Dantas Junior *et al.* (2011), estudando o efeito do silício no desenvolvimento do milho irrigado, as variáveis de crescimento foram influenciadas pela interação entre lâminas de irrigação e doses de silicato, e as plantas submetidas a déficit hídrico, na presença de silício, não apresentaram redução na massa da matéria seca da parte aérea, porém ressalta a importância de maiores estudos do efeito da adubação com silício em milho, uma vez que as pesquisas relacionadas ao efeito do silício em diversas plantas são discordantes.

#### **4.1 Silício nas plantas**

A adubação com silício, apesar de diversos efeitos benéficos às plantas, apresenta em muitos casos efeitos contraditórios, devido essencialmente à falta de conhecimento e de

informações das funções do silício e de como exatamente ele atua fisiologicamente nas plantas. De modo geral, as quantidades de silício variam nas plantas de 0,1 a 10% do total de sua matéria seca, e podem ser denominadas acumuladoras ou não acumuladoras de silício aquelas com teores foliares superiores a 1% e menores que 0,5% da massa seca, respectivamente (MA *et al.*, 2001). Importantes culturas da família das gramíneas (Poaceae) como o arroz, a cana-de-açúcar, o milho e o trigo têm a capacidade de acumular silício (Si), com teores variando de acordo com o genótipo (BARBOSA FILHO *et al.*, 2001).

Segundo Rodrigues *et al.* (2011), a absorção desse elemento benéfico pelas raízes ocorre na forma de ácido monossilícico ( $H_4SiO_4$ ), por transportadores de membrana específicos de forma passiva ou ativa e via xilema, podendo ser regulado pela transpiração ou por processo ativo. Depois de absorvido, o ácido monossilícico é depositado principalmente nas paredes das células da epiderme, contribuindo consideravelmente no fortalecimento estrutural da planta, na resistência ao acamamento e ao ataque de pragas e de doenças, além de diminuir a transpiração entre outros benefícios.

Esse micronutriente destaca-se especialmente por conferir proteção e amenizar os efeitos de estresses de natureza biótica (ataques de pragas e de doenças) e/ou abiótica (hídrico e fitotoxidez) pela deposição de Si junto à cutícula das folhas (DAYANANDAM *et al.*, 1983), acontecendo em regiões em que a água é perdida em grande quantidade, ou seja, na epiderme foliar, onde o silício ocorre com maior frequência através da associação do Si com constituintes da parede celular, causando nas plantas uma resistência mecânica às enzimas de degradação (BISCARO; OLIVEIRA, 2014).

Dessa forma, a tolerância a estresses hídricos e menor transpiração, ocorre pela acumulação de silício nas lâminas foliares ou órgãos de transpiração, provocando a formação de uma dupla camada de sílica cuticular, a qual, pelo aumento da espessura, promove uma redução da transpiração, diminuindo a abertura dos estômatos e limitando a perda de água das plantas, aumentando a eficiência do seu uso pelo vegetal (FARIA, 2000; NWUGO; HUERTA, 2008).

Souza *et al.* (2014), estudando compostos nitrogenados, proteínas e aminoácidos em milho sob diferentes níveis de silício e deficiência hídrica, observaram que a deficiência hídrica foi amenizada pela aplicação de Si sobre o conteúdo de água, quando comparadas as plantas sob estresse hídrico e sem aplicação de Si, porém esse efeito foi observado nos tratamentos com menores doses de Si.

Em folhas de cana-de-açúcar, ricas em silício, os espaços interfibrilares seriam preenchidos pelo elemento, causando redução do movimento da água através da parede celular,

gerando economia de água pela planta e diminuindo a taxa de transpiração (SILVA; CASAGRANDE, 1983).

A dupla camada formada pelo acúmulo de Si nas lâminas foliares, aumenta a resistência à penetração das hifas de fungos (YOSHIDA *et al.*, 1962; RAVEN, 2003). Dessa forma, a maior resistência das plantas às doenças e às pragas acontece pela força mecânica dos colmos, imposta pela maior rigidez estrutural dos tecidos e das paredes celulares, melhorando a arquitetura das plantas, favorecendo o aumento da penetração de luz no dossel em função do crescimento mais ereto das folhas e conseqüente redução do sombreamento, e aumentos na eficiência fotossintética (TAKAHASHI, 1995; SAVANT *et al.*, 1999; NASCIMENTO *et al.*, 2009). Com isso, favorece indiretamente o crescimento e a produção vegetal causado pelo aumento no teor de clorofila nos tecidos foliares (MA; YAMAJI, 2008). Além disso, à redução da transpiração e à melhora na estrutura da planta, conseqüentemente implicam no aumento da produtividade, fato comprovado na pesquisa de Silveira Junior *et al.* (2003), trabalhando com a cana-de-açúcar.

No solo, a atividade dos elementos tóxicos podem ser diminuídas pela presença dos ânions silicatos que aumentam o pH do solo, precipitando-os em compostos insolúveis ou formando polímeros de baixa disponibilidade para as plantas (RODRIGUES *et al.*, 2011). Além disso, a diminuição da toxidez de elementos potencialmente tóxicos, como o Al, pode ocorrer dentro da planta, pelo estímulo do efeito do Si no sistema de antioxidantes, que favorece a complexação dos íons metálicos, promove a imobilização destes metais durante o crescimento vegetal ou compartimentação em vacúolos, citoplasma ou na parede celular (NEUMAM; NIEDEN, 2001; LIANG *et al.*, 2007).

Outra forma da resistência da planta ser aumentada pelo Si é através do estímulo à maior exudação de ácidos orgânicos, como evidenciados em plantas de milho (KIDD, PROCTOR, 2001). Essas informações são sustentadas por trabalhos com a interação do silício/alumínio com relevante papel na diminuição da toxicidade do Al no tecido vegetal. Shi *et al.* (2005) demonstraram, em plantas de arroz, que a presença de Si diminuiu as concentrações de cádmio na parte aérea e nas raízes.

Quanto ao estresse salino, o Si estimula o sistema antioxidante, ou seja, as enzimas, ajudando a garantir a integridade e a estabilidade da membrana celular (ZUCCARINI, 2008). Autores como Gunes *et al.* (2008), entendem que esse nutriente benéfico deve estar envolvido tanto em atividades metabólicas ou fisiológicas das plantas sob estresse salino, como parece criar condições de tolerância a este tipo de estresse (SCHMIDT *et al.*, 1999).

O silício também está envolvido no aumento da fixação de N<sub>2</sub> em leguminosas, porque pode aumentar os mecanismos de defesa da planta e promover, por meio da biossíntese de isoflavonóides, a indução da síntese de flavonóides indutores dos genes da nodulação, que são as moléculas sinalizadoras envolvidas nos estágios iniciais de formação dos nódulos (DAKORA, 2005).

## 5 FERTIRRIGAÇÃO

A técnica de aplicar adubos juntamente com a água de irrigação é definida pelo termo fertirrigação (ALENCAR *et al.*, 2009). Assim, para o sucesso dessa técnica, é necessário à interação entre duas especialidades agronômicas, onde os manejos da irrigação e da fertilização somam-se para assegurar eficiência na maximização do potencial genético da cultura (SILVA *et al.*, 2016).

Segundo Frizzone *et al.* (2012), as áreas irrigadas são responsáveis por mais de 40% da produção agrícola total, e para este desempenho, conta com a contribuição efetiva da fertirrigação. Esta, por sua vez, possibilita o uso dos mesmos equipamentos de irrigação, e apresenta uma série de vantagens com relação ao método convencional de adubação, contribuindo para a eficiência do fornecimento dos nutrientes para diversas culturas (PINTO *et al.*, 2011).

Para o êxito da fertirrigação é fundamental, uma boa uniformidade de aplicação de água do sistema de irrigação, que influencia diretamente o manejo, a qualidade, a eficiência e o custo da irrigação, assim como o desempenho da cultura no campo (AZEVEDO *et al.*, 2014), uma vez que, uma baixa uniformidade de distribuição de água causa desuniformidade de plantio por algumas plantas receberem mais água e fertilizantes do que outras (SANTOS *et al.*, 2003).

Apesar de todos os métodos de irrigação serem compatíveis com a fertirrigação, os mais indicados são os pressurizados, em que a água é distribuída sob pressão e em condutos forçados, oferecendo aplicações com maior controle (MENDONÇA; MARQUES, 2014).

Como vantagens, a prática da fertirrigação possibilita a flexibilidade em mudanças nas relações entre nutrientes; a aplicação de fertilizantes nos locais de maior absorção, onde ocorre maior densidade de raízes e prontamente acessíveis às plantas, minimizando as perdas gasosas, por escoamento superficial, por lixiviação; menor perda de nitrogênio por volatilização, uma vez que os fertilizantes estão dissolvidos em água; menor compactação do solo devido ao menor trânsito de máquinas e comodidade na aplicação (CARRIJO *et al.*, 2004; TEIXEIRA *et al.*, 2007). Além disso, permite o parcelamento da adubação em cultivos

agrícolas, conferindo aumento na eficiência de absorção dos nutrientes, uma vez que estes poderão ser fornecidos de acordo com a marcha de absorção da cultura, além de facilitar a incorporação do fertilizante ao solo, proporcionar economia de mão de obra, de energia, de fertilizantes e redução nos problemas ambientais (OLIVEIRA *et al.*, 2016).

No entanto, a adoção dessa técnica requer um manejo adequado, com mão de obra qualificada para evitar o desperdício de insumos, o entupimento de gotejadores e a corrosão do sistema de irrigação, pois os excessos de aplicações de fertilizantes podem levar a salinização dos solos, afetando o desenvolvimento e produção das culturas (SILVA, 2014; FRIZZONE *et al.*, 2012).

Coelho (2010), estudando o milho cultivado em condições fertirrigadas, no outono/inverno, encontrou os melhores resultados parcelando o N em três a quatro vezes via água de irrigação, quando comparado à aplicação convencional em duas vezes, conseguindo um maior aporte de nutriente ao longo do ciclo, que se estendeu em 150 dias de cultivo.

Entre os nutrientes aplicados por este método, os fertilizantes potássicos merecem especial atenção, pois principalmente em solos com baixa CTC, o  $K^+$  apresenta suscetibilidade a perdas por processos erosivos em áreas irrigadas, apesar de apresentar boa solubilidade (ERNANI *et al.*, 2007; SOUSA, *et al.*, 2013).

O nitrogênio (N) e o potássio (K) são os nutrientes mais exportados pelas plantas de milho (SILVA *et al.*, 2013; DANTAS JUNIOR *et al.*, 2016), sendo os elementos aplicados com maior frequência via fertirrigação e enquadram-se perfeitamente com essa técnica devido à alta mobilidade no solo e quase 100% de solubilidade em água (OLIVEIRA *et al.*, 2016). Diferentes culturas têm se beneficiado com o uso da fertirrigação na otimização do uso de fertilizantes, tanto no que confere a produtividade quanto à qualidade dos produtos, notadamente os que são irrigados por sistemas localizados (OLIVEIRA; VILLAS BÔAS, 2008).

Portanto, a irrigação associada à fertirrigação, é a prática agrícola que quando bem manejada, pode promover o aumento de produtividade na agricultura, inclusive em regiões com baixa disponibilidade hídrica e, até mesmo, em solos arenosos e de pouca fertilidade (MAROUELLI; SOUSA, 2011).

## 6 ADUBAÇÃO NITROGENADA

O correto suprimento de nitrogênio (N) na planta, promove um satisfatório desenvolvimento radicular, podendo alterar as propriedades química e física do solo e obter como resultado grãos de melhor qualidade (SILVA *et al.*, 2013).

O N exerce importante função nos processos bioquímicos da planta, por isso, seus maiores efeitos ocorrem nas características da planta relacionadas ao crescimento e ao desenvolvimento, que direta ou indiretamente, afetam a produtividade da cultura, atuando nas moléculas de compostos orgânicos, como os aminoácidos e as proteínas. É ativador de enzimas na realização de processos vitais da planta (metabolismo primário), como síntese de proteína, absorção iônica, fotossíntese, respiração, multiplicação e diferenciação celular (CANCELLIER *et al.*, 2011; OKUMARA; MARIANO; ZACCHEO, 2011).

Porém, o uso descontrolado de adubos nitrogenados por parte dos produtores, sem seguir as recomendações das empresas ou de uma prévia análise de solo, onera o custo de produção e conseqüentemente reduz o potencial genético das cultivares (COSTA *et al.*, 2015). Desta forma, considerar as perdas por lixiviação, volatilização, o risco da poluição ambiental, tanto dos rios por eutrofização ou até mesmo do ar pela formação de gases, é fundamental para o uso racional da adubação nitrogenada, principalmente para aumentar a produtividade da cultura e diminuir o custo de produção (FAGERIA *et al.*, 2007; GAO *et al.*, 2014). Por outro lado, a deficiência de N reduz a área foliar e o tamanho da planta, devido retardar a divisão celular nos pontos de crescimento do milho, o que reflete negativamente sobre a produção (FANCELLI; DOURADO NETO, 2008).

Além desses, outros fatores relevantes são as condições edafoclimáticas, o sistema de cultivo, a época de semeadura, a resposta do material genético, a rotação de culturas, a época e o modo de aplicação, as fontes de N e os aspectos econômicos e operacionais, que aparecem com grande importância para a tomada de decisão quanto à dose de N a ser adotada, tanto no aspecto econômico quanto ambiental, para o manejo da adubação de N (OKUMARA; MARIANO; ZACCHEO, 2011).

O nitrogênio tem sido intensamente estudado por vários pesquisadores nos últimos anos, principalmente pela crescente preocupação com a poluição do meio ambiente em decorrência do manejo inadequado de fertilizantes nitrogenados, que poluem por nitratos os recursos hídricos e por óxido nitroso a atmosfera, procurando sistemas de manejo que possam aumentar a eficiência da adubação com maior aproveitamento do N pelo milho (DUETE *et al.*, 2008), e ainda, obter informações sobre doses de N a serem adotadas para cultivares de milho,

na busca da máxima produtividade econômica, quando colhidos para o consumo in natura, visando ao mercado de milho verde (COSTA *et al.*, 2015).

No Brasil, dos ensaios em campo com adubação nitrogenada na cultura do milho, cerca de 70 a 90% respondem a aplicação de nitrogênio, e vários autores mostram respostas generalizadas, sob diferentes condições de clima, de solo e de sistemas de cultivo (CRUZ *et al.*, 2005), porém, a maioria dos resultados apontam um aumento de produtividade (VON PINHO *et al.*, 2009). Assim, segundo Dantas *et al.* (2014), o fornecimento adequado de nutrientes na cultura aumenta o rendimento produtivo, sendo importante o conhecimento de fontes e de doses adequadas de N no milho.

Vale ressaltar que o milho habitualmente requer o uso de adubação nitrogenada na semeadura e em cobertura para complementar a quantidade suprida pelo solo, pois é uma cultura que necessita de grandes quantidades de nitrogênio quando se deseja atingir elevadas produtividades (CRUZ *et al.*, 2011).

Os fertilizantes nitrogenados mais utilizados no Brasil são a ureia ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ), o nitrato de amônio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) e o sulfato de amônio ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ), e têm como características a alta solubilidade em água e a pronta disponibilidade para a planta (CONTIN, 2007).

Assim, a adubação nitrogenada na cultura do milho é uma das principais limitações para se alcançar altas produções de milho (VASCONCELOS *et al.*, 2016) e, segundo Teixeira *et al.* (2007), se o suprimento de água for limitado, a absorção de nutrientes, em especial o N, será comprometida.

## **7 ADUBAÇÃO POTÁSSICA**

O potássio (K) é o elemento que a cultura do milho absorve em maiores quantidades, sendo em torno de 30%, exportados para os grãos (DANTAS JUNIOR *et al.*, 2016). O potássio exerce influência positiva na massa individual de grãos e no número de grãos por espiga gerando um grande impacto na qualidade da cultura (RODRIGUES *et al.*, 2014).

Até pouco tempo, em ensaios de campo, o milho respondia ao fósforo e ao nitrogênio com mais frequência do que ao potássio, mas, nos últimos anos, essa realidade tem sido outra, devido principalmente a aspectos relacionados a altas exigências e exportações de K, pelo uso intensivo do solo, de rotação de culturas, de híbridos, do milho como planta forrageira e de maiores potenciais de produtividade, que esgotam o K no solo e acabam por gerar resultados com aumentos significativos de produção em função da aplicação de potássio (COELHO *et al.*, 2010).

Os solos da região tropical, com predomínio de solos intemperizados (Latosolos e Argissolos), apresentam normalmente baixos teores de K (geralmente inferiores a  $1,5 \text{ mmolc dm}^{-3}$ ), tornando-se indispensável a complementação desse nutriente para produtividades sustentáveis, uma vez que, diversas funções estruturais e metabólicas são dependentes de K (OTTO *et al.*, 2010).

As principais fontes de reposições do K para a solução são os adubos potássicos e o K trocável, uma vez que o suprimento de K para as plantas é oriundo da solução e dos sítios de troca dos coloides do solo, que estão em equilíbrio com o K não trocável e com o K estrutural dos minerais, e este pode ser adsorvidos as cargas negativas em solos com maior CTC, e prontamente disponíveis às plantas em solos com baixa CTC, ou ainda, lixiviado principalmente com o uso da irrigação (OTTO *et al.* 2010; FARIA *et al.*, 2012). Porém, quando corretamente manejado, recomenda-se realizar a aplicação desse nutriente, inclusive pela irrigação, conforme as plantas se desenvolvam, visando reduzir perdas e aumentar a eficiência no sistema solo – planta - nutriente, de utilização do potássio (SILVA *et al.*, 2016).

O potássio é comumente encontrado em três compostos: cloreto (KCl); sulfato ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ); e nitrato ( $\text{KNO}_3$ ), sendo que o cloreto de potássio (KCl) é o fertilizante potássico mais utilizado pelos agricultores no mundo devido, principalmente, a alta concentração de potássio e a melhor relação custo/benefício (NOVAIS *et al.*, 2007).

A máxima absorção do potássio ocorre no estágio vegetativo (30 a 40 dias de desenvolvimento), com taxa de absorção superior a do nitrogênio e a do fósforo, sugerindo maior necessidade de potássio na fase inicial, como um elemento de "arranque" (COELHO, 2010).

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, R. A. DE; SILVEIRA, P. M. DA; MOREIRA, J. A. A.; WANDER, A. E. Análise econômica de diferentes práticas culturais na cultura do milho (*Zea mays* L.). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.38, n.4, p.241-248, 2008.
- ALBUQUERQUE, C. J. B.; VON PINHO, R. G.; SILVA, R. Produtividade de híbridos de milho verde experimentais e comerciais. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.24, n.2, p.69-76, 2008.
- ALENCAR, C. A. B. de; CUNHA, F. F. da; MARTINS, C. E.; CÓSER, A. C., ROCHA, W. S. D. da; ARAÚJO, R. A. S. A. Irrigação de pastagem: atualidade e recomendações para uso e manejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, [s.l], v.38, p.98-108, 2009.
- ARAÚJO, K. K. S; CAMPOS, A. J. de; GOMES, M. A. Diferentes embalagens na qualidade pós-colheita de milho verde 'AG 1051'. **Revista Agrotecnologia**, Anápolis-GO, v.5, n.1, p.129-142, 2014.
- AZEVEDO, B. M. DE A.; FERNANDES, C. N. V.; AMARGO, D. C.; GARCIA, A. C.; VIANA, T. V. de A.; CAMPÊLO, A. R. Fertirrigação potássica do cajueiro com diferentes fontes e formas de diluição do cloreto de potássio. **Irriga**, Botucatu, v.19, n.2, p.325-332, 2014.
- AZEVEDO, J. H. O.; BEZERRA, F. M. L. Resposta de dois cultivares de bananeira a diferentes lâminas de irrigação. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.39, n.1, p.28-33, 2008.
- BARBOSA FILHO, M. P.; SNYDER, G. H.; FAGERIA, N. K. Silicato de cálcio como fonte de silício para o arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.25, p.325-330, 2001.
- BISCARO, G. A. **Sistemas de irrigação localizada**. In: Fertirrigação. Dourados-MS, Ed. UFGD, 256p, 2014.
- BLANCO, F. F.; CARDOSO, M. J.; FREIRE FILHO, F. R.; VELOSO, M. E. C.; NOGUEIRA, C. C. P.; DIAS, N. S. Milho verde e feijão-caupi cultivados em consórcio sob diferentes lâminas de irrigação e doses de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.46, n.5, p.524-530, 2011.
- BRITO, M. E. B.; ARAUJO FILHO, G. D. de; WANDERLEY, J. A. C.; MELO, A. S. de; COSTA, F. B. da; 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.
- CANCELLIER, L. L.; AFFÉRI, F. S.; CARVALHO, E. V. de; DOTTO, M. A.; LEÃO, F. F. Eficiência no uso de nitrogênio e correlação fenotípica em populações tropicais de milho no Tocantins. **Revista Ciência Agronômica**, Tocantins, v.42, n.1, p.139-148, 2011.
- CARRIJO, O. A; SOUZA, R. B de; MAROUELLI, W. A.; ANDRADE, R. J. de. **Fertirrigação de Hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças. 2004. 12p. Circular técnica, n.32.

CASTRO, R. S. de. **Rendimentos de espigas verdes e de grãos de cultivares de milho após a colheita da primeira espiga como minimilho**. Mossoró, 2010. 90 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia Área de Concentração Agricultura Tropical) - Universidade Federal Rural do Semiárido.

CASTRO, R. S.; SILVA, P. S. L.; CARDOSO, M. J. Baby corn, green corn, and dry corn yield of corn cultivars. **Horticultura Brasileira**, [s.l], v.31, n.1, p.100-105, 2013

CHAVES, L. H. G.; NETO, J. D.; FERNANDES, J. D., ALVES, H. S.; RIBEIRO, P. H. P. Adubação silicatada e lâminas de irrigação no crescimento e produção da cana-de-açúcar. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v.06, n.03, p.67-78, 2013.

COELHO, A. M. Manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho. **Jornal Eletrônico da Embrapa Milho e Sorgo**. Sete Lagoas-MG, ed. 23, 2010. Disponível em: [http://www.cnpms.embrapa.br/grao/24\\_edicao/grao\\_em\\_grao\\_artigo\\_01.htm](http://www.cnpms.embrapa.br/grao/24_edicao/grao_em_grao_artigo_01.htm). Acesso em: 07 de jun. de 2017.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. de; PITTA, G. V. E.; ALVES, V. M. C.; HERNANI, L. C. Cultivo do Milho: Fertilidade de solos: **Nutrição e adubação do milho**. [s.l], Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 6 ed., 11 p. (Sistema de Produção, 1). Disponível em: [http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho\\_6\\_ed/feraduba.htm](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_6_ed/feraduba.htm). Acesso em: 23 de maio de 2017.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira – grãos**: [s.l], v. 7 - Safra 2019/20, n.7 - Sétimo levantamento, abril 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?limitstart=0>. Acesso em: 13 jul. 2020.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira – grãos**: [s.l], v. 6 - safra 2018/19 - n. 12 - Décimo segundo levantamento setembro 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?start=10>. Acesso em: 06 jul. 2020.

CONTIN, T. L. M. **Ureia tratada com o inibidor da urease NBPT na adubação de cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo**. Campinas- SP, 2007, 75 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) Instituto Agronômico.

CONTINI, E.; MOTA, M. M.; MARRA, R.; BORGHI, E.; MIRANDA, R. A. de; SILVA, A. F. da; SILVA, D. D. da; MACHADO, J. R. de A.; COTA, L. V.; COSTA, R. V. da; MENDES, S. M. Embrapa. **Série desafios do Agronegócio Brasileiro (NT2) Milho** - Caracterização e Desafios Tecnológicos. Brasília – DF, p. 1- 45, 2019.

COSTA, F. R.; DAMASO, L. F.; MENDES, R. C.; MARQUES, D. D.; RODRIGUES, F. Desempenho de híbridos de milho para consumo in natura em diferentes doses de nitrogênio. **Científica**, Jaboticabal, v.43, n.2, p.109-116, 2015.

CRUZ, J. C.; GARCIA, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. **Caracterização dos sistemas de produção de milho para altas produtividades**. Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas, MG, dezembro, 2009.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, J. H. M.; OLIVEIRA, M. F.; MATRANGOLO, W. J. R.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. de. **Cultivo do milho**. [s.l]. 6. ed. Set./2010. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/27037/1/Plantio.pdf>. Acesso em: 26 set. 2017.

CRUZ, J. C.; PEREIRA, F.T.F.P.; PEREIRA FILHO, I.A.; COELHO, A.M. **Resposta de cultivares de milho à adubação nitrogenada em cobertura**. Sete Lagoas: EMBRAPA. Dezembro, 2005. p.65 (Comunicado Técnico 116).

CRUZ, J. C.; SILVA, G. H. da; PEREIRA FILHO, I. A.; GONTIJO NETO, M. M.; MAGALHÃES, P. C. **Sistema de produção de milho Safrinha de alta produtividade**: Safras 2008 e 2009. Sete Lagoas: EMBRAPA, Circular técnica 160, 10p, 2011.

DAKORA, F.D. **Silicon nutrition and N<sub>2</sub> fixation in symbiotic legumes**. III Silicon in Agriculture Conference. [s.l]. Univesidade Federal de Uberlândia, p133. 2005.

DANTAS JUNIOR, E. E.; CHAVES, L. H. G.; COSTA, F. A. M. da; KORNDORFER, G. H. Desenvolvimento de milho irrigado e adubado com silicato de cálcio e magnésio. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.5, n.4, p.337-350, 2011.

DANTAS JUNIOR, E. E.; CHAVES, L. G.; FERNANDES, J. D. Lâminas de irrigação localizada e adubação potássica na produção de milho verde, em condições semiáridas. **Revista espacios**, Fortaleza, v.37, n.27, 2016.

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

DAYANANDAM, P., KAUFMAN, P. B., FRAKIN, C. I. Detection of silica in plants. **American Journal of Botany**, [s.l]. v.70, p.1079-1084. 1983.

DEMATTE, J. L. I.; PAGGIARO, C. M.; BELTRAME, J. A.; RIBEIRO, S. S. Uso de silicatos em cana-de-açúcar. **Informações Agronômicas**, [s.l]. n.133, p.7-12, 2011.

DUARTE, E. C. da C.; GONÇALVES, A. C. de M.; TORRES, M. N. N.; SIMPLICIO, S. F.; RIBEIRO, R. X.; SOUZA, R. F. de; SOUZA JUNIOR, S. P. de. Manejo de herbicidas no controle de plantas daninhas e sua influência no crescimento e produção do milho híbrido AG 1051. **Revista AGROTEC**; [s.l].v.37, n.1, p.71-80, 2016.

DUETE, R. R. C., MURAOKA, T., SILVA, E. C. da; TRIVELIN, P. C. O.; AMBROSANO, E. J. Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (15N) pelo milho em latossolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, [s.l]. v.32, p.161-171, 2008.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F. C. Potássio. In: Novais, R. F.; Venegas, V. H. A.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. (ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Cap.9, p.501-589, 2007.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B.; CUTRIM, V. A. Produtividade de arroz irrigado e eficiência de uso do nitrogênio influenciadas pela fertilização nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.07, p.1029-1034, 2007.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: 2.ed., Agropecuária. 360p. 2008.

FARIA A. F.; ALVAREZ, V. V. H., MATTIELLO, E. M., LIMA, N. J. C., FELIX, de B. N.; NOGUEIRA, de P. H. Capacidade de suprimento de potássio em solos de minas gerais-brasil. **Spanish journal of soil Science**, [s.l].v.2, issue 1, 2012.

FARIA, R. **Efeito da acumulação de silício e a tolerância das plantas de arroz do sequeiro ao déficit hídrico do solo**. 2000. 125 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Solos, Universidade Federal de Lavras. Viçosa, 2000.

FERNANDES, C. N. V. **Instalação e calibração de um lisímetro de precisão com uma célula de carga**. 2010. 63 f. Monografia (Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

FERREIRA, H. de A.; SOUZA, A. dos S.; SOUSA, D. A. de; SOUZA, A. dos S.; MARACAJÁ, P. B. Componentes de produção e produtividade do milho submetido a doses de nitrogênio no semiárido paraibano. **Revista Verde**, Mossoró- RN, v.5, n.4, p. 90-96, 2010.

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

FRIZZONE, J. A.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R.; FARIA, M. A. **Microirrigação: Gotejamento e microaspersão**, 1 ed., 356p, ed. Eduem, Maringá, 2012.

GASQUES, J. G.; SOUZA, G. da S.; BASTOS, E. T. Tendências do agronegócio brasileiro para 2017-2030. In: RODIGUES, R. (Org.). **Agro é paz: análises e propostas para o Brasil alimentar o mundo**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz, 2018. p. 31-68.

GAO, M., QIU, J.; LI, C.; WANG, L.; LI, H.; GAO, C. Modeling nitrogen loading from a watershed consisting of cropland and livestock farms in China using Manure-DNDC. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s.l]. v.185, p.88-98, 2014.

GUNES, A.; PILBEAM, D. J.; INAL, A.; COBAN, S. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, in growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, [s.l]. v.39, n.13-14, p.1885-1903, 2008.

IBGE - **Levantamento Sistemático da produção Agrícola**: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil / Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. - Fev. 2015; v.1, n.1 - Rio de Janeiro: IBGE. 2017. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2017-04/estimativa-de-producao-cresce-e-safra-recorde-de-2017-sera-251-maior>. Acesso em: 24 de abr. de 2017.

KAYA, C., TUNA, L.; HIGGS, D. Effects of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water-stress conditions. **Journal of Plant Nutrition**, [s.l]. v.29, p.1469-1480, 2006.

KIDD, P., PROCTOR, J. The growth response of ecotypes of *Holcus lanatus* L. from different soil types in northwestern europe to aluminum and silicon. **Fresenius Environmental Bulletin**, [s.l]. v.10, p.590-594, 2001.

KUNTZ, R. P. **Produtividade do milho em função do arranjo e da população de plantas no sistema de plantio direto na palha**. 2005, 115 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2005.

KWIATKOWSKI A.; CLEMENTE, E. Características do milho doce (*Zea mays* L.) para industrialização. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, Paraná, v.1, n.2, p.93-103, 2007.

LIANG, Y. C.; SUN, W.; ZHU, Y. G.; CHRISTIE, P. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. **Environmental Pollution**, [s.l]. v.147, n.2, p. 422-428, 2007.

LIMA, M. de A.; CASTRO, V. F. de C.; VIDAL, J. B.; ENÉAS FILHO, J. Aplicação de silício em milho e feijão-de-corda sob estresse salino. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.42, n.2, p.398-403, 2011.

LUNA, N. R. de S.; ANDRADE, E. M de; CRISÓSTOMO, L. A; MEIRELES, A. C. M.; AQUINO, D. do N. Dinâmica do nitrato e cloreto no solo e a qualidade das águas subterrâneas do distrito de irrigação Baixo Acaraú, CE. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista – RR, v.7, n.1, p.53-62, 2013.

MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plant. In: DATNOFF, L. E.; KORNDÖRFER, G. H.; SNYDER, G. **Silicon in Agriculture**. New York: Elsevier Science. [s.l]. p.17-39, 2001.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Functions and transport of silicon in plants. **Cellular and Molecular Life Sciences**, Basel, v.65, p.3049-3057, 2008.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; CARNEIRO, N. P.; PAIVA, E. **Fisiologia do Milho**. 1. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002, 23 p. (Circular Técnica).

MAGALHAES, P. C.; SOUZA, T. C. de. **Cultivo do Milho: Ecofisiologia**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 8 ed., 18 p. (Sistema de Produção, 1). Disponível em: [http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho\\_8\\_ed/ecofisiologia.htm](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_8_ed/ecofisiologia.htm). Acesso em: 24 de abr. de 2017.

MARAFON, A. C.; ENDRES, L. **Adubação silicatada em cana-de-açúcar**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2011. 46 p. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros), Disponível em: [http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes\\_2011/doc\\_165.pdf](http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2011/doc_165.pdf). Acesso em: 05 de maio de 2017.

MAROUELLI, W. A; SOUSA, V. F. de; Irrigação e fertirrigação. In: SOUSA, V. F. DE; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. (Ed.). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2011. p. 771.

MATOS, E. H. da S. **Cultivo do Milho Verde**. Dossiê técnico. Brasília, CDT (Centro de apoio ao desenvolvimento tecnológico/ UnB, 2007. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/downloads/Cultivo%20do%20Milho%20Verde.pdf>. Acesso em: 05 de maio de 2017.

MENDONÇA, F. C.; MARQUES, P. A. A. Manejo hídrico na agricultura. In: PALHARES, J. C. P.; GEBLER, L. (Ed.). **Gestão Ambiental na Agropecuária**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 2p. 490.

MIRANDA, R. A.; DUARTE, J. O.; GARCIA, J. C. de. **Cultivo do Milho: Economia da Produção**. [s.l.]. Embrapa Milho e Sorgo, 2012. 7 ed., 13p. (Sistema de Produção, 1). Disponível em: [http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho\\_8\\_ed/economia.htm#topo](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_8_ed/economia.htm#topo). Acesso em: 05 de maio de 2017.

MORAES, A. R. A. de. **A cultura do milho verde**. 2009. [s.l.]. Artigo em Hypertexto. Disponível em: [http://www.infobibos.com/Artigos/2009\\_2/MilhoVerde/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2009_2/MilhoVerde/index.htm). Acesso em: 8 de maio de 2017.

MORAES, A. R. A.; RAMOS JÚNIOR, E. U.; GALLO, P. B.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; SWASAKI, E. DUARTE, A. P.; BERNINI, C. S.; GUIMARÃES, P. S.; Desempenho de oito cultivares de milho verde na safrinha, no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [s.l.]. v.9, n.1, p.79-91, 2010.

NASCIMENTO, C. W. A.; CUNHA, K. P. V.; RODRIGUES, F. A. Silício e tolerância de plantas a metais pesados. In: RIBEIRO, M. R.; NASCIMENTO, C. W. A.; RIBEIRO FILHO, M. R. *et al.* **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 273-318.

NETO, J. C. S.; NETO, A. L. dos; SANTOS, W. M. dos; BARROS, D. T. S.; SOUZA, A. A. de; NETO, J. C. de A. Performance of irrigated green corn cultivars in different plant populations at sowing. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.21, n.4, p.267-272, 2017.

NEUMAM, D.; NIEDEN, U. Silicon and heavy metal tolerance of higher plants. **Phytochemistry**, [s.l.], v.56, p.685–692, 2001.

NOGUEIRA, F. P.; SILVA, M. V. T. da; OLIVEIRA, F. L. de; CHAVES, S. W. P.; MEDEIROS, J. F. de. Crescimento e marcha de absorção de nutrientes da melanciaira fertirrigada com diferentes doses de N e K. **Revista Verde**, Pombal, v.9., n.3, p.35- 42, 2014.

NOVAIS, R. F.; VENEGAS, V. H. A.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Cap.9, p.501-589, 2007.

NWUGO, C. C.; HUERTA, A. J. Effects of silicon nutrition on cadmium uptake, growth and photosynthesis of rice plants exposed to low-level cadmium. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.311, p.73-86, 2008.

- OKUMARA, R. S.; MARIANO, D. C.; ZACCHEO, P. V. C. Uso de fertilizante nitrogenado na cultura do milho: uma revisão. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v.4, n.2, p.226-244, 2011.
- OLIVEIRA, F. A. de.; CAVALCANTE, L. F.; SILVA, I. de F da; PEREIRA, W. E.; OLIVEIRA, J. C. de; FILHO, J. F. da C. Crescimento do milho adubado com nitrogênio e fósforo em um Latossolo Amarelo, **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Piracicaba, v.4, n.3, p.238-244, 2009.
- OLIVEIRA, J. M. de; REZENDE, R.; FREITAS, P. S. L. de.; MALLER, A.; HARA, A. T.; SANTOS, F. A. S. Fertirrigação na cultura da rúcula (*Eruca sativa miller*) conduzida em ambiente protegido. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 3, p. 438-448, 2016.
- OLIVEIRA, M. V. A. M.; VILLAS-BÔAS, R. L. Uniformidade de distribuição do potássio e do nitrogênio em sistema de irrigação por gotejamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, p.95-103, 2008.
- OTTO, R.; VITTI, G. C.; LUZ, P. H. de C. Manejo da adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l], v.34, n.4, p.1137-1145, 2010.
- PEREIRA FILHO, I. A.; VASCONCELOS, C. A; CRUZ, J. C. Adubação para o Cultivo do Milho Verde. In: PEREIRA FILHO, I. A. (Ed.). **O Cultivo do milho-verde**. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2003. p. 68-79.
- PINHO, R. G. V.; BORGES, I. D.; PEREIRA, J. L. DE A. R. P.; REIS, M. C. DOS R. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [s.l], v.8, n.2, p.157-173, 2009.
- PINTO, O. R. de O.; AZEVEDO, B. M. de; MARINHO, A. B.; FERNANDES, C. N. V.; VIANA, T. V. de A.; BRAGA, E. S. Adubação nitrogenada na cultura do sorgo granífero pelo método convencional e por fertirrigação. **Agropecuária Técnica**, Areia, v. 32, n. 1, p 132-140, 2011.
- RAVEN J, A. Cycling silicon-the role of accumulation in plant. *New Phytologist*, Oxford, v.158. p. 419-421, 2003.
- RODRIGUES, F. A.; OLIVEIRA, L. A.; KORNDÖRFER, A. P.; KORNDÖRFER, G. H. Silício: um elemento benéfico e importante para as plantas. **Informações Agronômicas**, [s.l], n.134, p.14-20, 2011.
- RODRIGUES, M. A. de; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; GARCIA, C. M. P.; ANDREOTTI, M. Adubação com KCl revestido na cultura do milho no Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.2, p.127-133, 2014.
- SANTOS, M. A.; BATISTA, P. S. C.; LOPES, M. F.; SILVA, M. G. de M.; BERTO, A. L. F. Desempenho agrônômico de milho consorciado com feijão-de-corda em diferentes populações e arranjos de plantas no semiárido mineiro. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v.10, n.3, p.201-208, 2016.

SANTOS, R. A.; HERNANDEZ, F. B. T.; FERREIRA, E. J. S.; VANZELA, L. S.; LIMA, R. C. Uniformidade de distribuição de água em irrigação por gotejamento em sub-superfície instalado na cultura de pupunheiras (*Bactris gasipaes* H. B. K.). *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA*, 32, 2003, Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: CONBEA, 2003. Disponível em: <http://www.agr.feis.unesp.br/c2003rsantos.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2017.

SAVANT, N. K.; KORNDORFER, G. H.; DATNOFF, L. E. *et al.* Silicon nutrition and sugarcane production: a review. **Journal of Plant Nutrition**, [s.l], v.22, n.12, p.1853-1903, 1999.

SCHMIDT, R. E.; ZHANG, X.; CHALMERS, D. R. Response of photosynthesis and superoxide dismutase to silica applied to creeping bentgrass grown under two fertility levels. **Journal of Plant Nutrition**, [s.l], v.22, p.1763-1773, 1999.

SEMENTES AGROCERES. **Guia de híbridos**. [s.l], 2014 Disponível em: <http://www.sementesagroceres.com.br/pages/ManuaisTecnicos.aspx>. Acesso em: 03 jun. 2017.

SHI, X.; ZHANG, C.; WANG, L.; ZHANG, F. Effect of Si on the distribution of Cd rice seedlings. **Plant and Soil**, [s.l], v.272, p.479-482, 2005.

SILVA, A. A.; SILVA, T. S.; VASCONCELOS, A. C. P. de; LANA, R. M. Q. Influência da aplicação de diferentes fontes de MAP revestido com polímeros de liberação gradual na cultura do milho. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.28, Supplement 1, p.240-250, 2012.

SILVA, A. O. da. A fertirrigação e o processo de salinização de solos em ambiente protegido. **Revista Nativa Pesquisas Agrárias e Ambientais**, Sinop, v.2, n.3, p.180-186, 2014.

SILVA, D. M. F. da S.; KLAN, A. S.; LIMA, P. V. P. S. Produção de milho híbrido no Estado do Ceará: aspectos tecnológicos, competitivos, geração de emprego e renda. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 44, n.1, 2006.

SILVA, F. C.; SILVA, M. M. da; LIBADI, P. L. Aplicação de nitrogênio no cultivo de milho, sob sistema plantio direto: efeitos na qualidade física do solo e características agrônômicas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.34, n.6, suplemento 1, p.3513-3528, 2013.

SILVA, J. L. de A.; SILVA JUNIOR, M. J. da S.; BARBOSA, M. R. B.; MEDEIROS, J. F. de M.; SILVA, A. E. A. da. Desenvolvimento da melancia fertirrigada com nitrogênio e potássio controlados pela solução do solo. **Agropecuária Científica no Semiárido**, [s.l], v.12, n.2, p.121-131, 2016.

SILVA, J. N. da; SILVA, J. L. de S.; SOUZA, L. C. de; SIQUEIRA, J. A. M.; NEVES, M. G.; OLIVEIRA, L. M. de; COELHO, C. C. R.; CONCEIÇÃO, A. G. C. da; NETO, C. F. de O. Conteúdo Relativo de Água, Transpiração e Condutância Estomática em Folhas de Sorgo Submetidas ao Estresse Hídrico e a Diferentes Concentrações de Silício. *In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO*, 29, 2012, Águas de Lindóia. **Anais [...]**. Águas de Lindóia: CNMS, 2012. Disponível em:

[http://www.abms.org.br/eventos\\_antteriores/cnms2012/02555.pdf](http://www.abms.org.br/eventos_antteriores/cnms2012/02555.pdf). Acesso em: 20 abr. 2020. p. 1-7.

SILVA, L. C. F.; CASAGRANDE, J. C. **Nutrição mineral da cana-de-açúcar (macronutrientes)**. In: INSTITUTO DO AÇÚCAR E ÁLCOOL. Adubação da cana de - açúcar no Brasil. Piracicaba: PLANALSUCAR, 1983. p. 77-96. (Coleção, 2).

SILVEIRA JUNIOR, E. G.; PENATTI, C.; KORNDÖRFER, G. H.; CAMARGO, M. S. Silicato de cálcio e calcário na produção e qualidade da cana-de-açúcar – Usina Catanduva. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., 2003, Ribeirão Preto. **Anais** [...]. Ribeirão Preto: CBCS, 2003. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2003. p. 66.

SOUSA, G. de; AZEVEDO, B. M. de; OLIVEIRA, J. R. R. de; MESQUITA, T. de O.; VIANA, T. V. de A.; Ó, L. M. G. do. Adubação potássica aplicada por fertirrigação e pelo método convencional na cultura do amendoim. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.10, p.1055–1060, 2013.

SOUZA FILHO, A. L.; OLIVEIRA, F. H. T.; PRESTON, W.; SILVA, G. F.; CARVALHO, S. L. Nitrogen and phosphate fertilizer on green corn grown in succession to the melon crop. **Horticultura Brasileira**, [s.l.], v.34, n.3, p.392-397, 2016.

SOUZA, E. J. de; CUNHA, F. F. da; MAGALHÃES, F. F.; SILVA, T. R. da; SANTOS, O. F. Dos. Características da espiga do milho doce produzido sob diferentes lâminas de irrigação e doses nitrogenadas. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.24, n.1, p. 50-62, 2016.

SOUZA, I. H.; ANDRADE, E. M. Manejo da irrigação. In: ANDRADE, E. M.; PEREIRA, O. J.; DANTAS, F. E. R. (Eds). **Semiárido e manejo dos recursos naturais: uma proposta de uso adequado do capital natural**. Fortaleza, p. 239-260, 2010.

SOUZA, L. C. de.; SIQUEIRA, J. A. M.; SILVA, J. L. de S.; SILVA, J. N. da; COELHO, C. C. R.; NEVES, M. G.; OLIVEIRA NETO, C. F. de; LOBATO, A. K. da S. Compostos nitrogenados, proteínas e aminoácidos em milho sob diferentes níveis de silício e deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [s.l.], v.13, n.2, p.117-128, 2014.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R. *et al.* **Science of the rice plant: physiology**. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1995. p. 420-433.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.

TEDESCO, M. J.; BOHNEM, H.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174p. (Boletim Técnico, 5). 1995.

TEIXEIRA, L. A. J.; NATALE, W.; MARTINS, A. L. M. Nitrogênio e Potássio via fertirrigação e adubação convencional-estado nutricional das bananeiras e produção de frutos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.29, n.1, p.153-160, 2007.

VASCONCELOS, A. C. P. de; SIQUEIRA, T. P.; LANA, R. M. Q.; FARIA, M. V. de; NUNES, A. A.; LANA, A. M. Q. Seed inoculation with *Azospirillum brasilense* and N fertilization of corn in the Cerrado biome. **Revista Ceres**, Viçosa, v.63, n.5, p.732-740, 2016.

VIEIRA, M. A.; CAMARGO, M. K.; DAROS, E.; ZAGONEL, J.; KOEHLER, H. S. Cultivares de milho e população de plantas que afetam a produtividade de espigas verdes. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.32, n.1, p.81-86. 2010.

VON PINHO, R. G.; RIVERA, A. A. C.; BRITO, H. N.; LIMA, T. G. Avaliação agronômica do cultivo de milho em diferentes níveis de investimento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, n.1, p.39-46, 2009.

YOSHIDA, S.; OHNISHI, Y.; KITAGISHI, K. Histochemistry of silicon in rice plant. **Soil Science and Plant Nutrition**, [s.l], v.8, p.107-111, 1962.

ZUCCARINI, P. Effects of silicon on photosynthesis, water relations and nutrient uptake of *Phaseolus vulgaris* under NaCl stress. **Biologia Plantarum**, [s.l], v.52, n.1, p.157-160, 2008.

## 8 CAPÍTULO 2 - INTERAÇÃO ENTRE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E ADUBAÇÃO SILICATADA NA CULTURA DO MILHO VERDE

### RESUMO

No semiárido, um manejo adequado da irrigação se faz imprescindível devido aos escassos recursos hídricos regionais e para que ocorram produtividades compensatórias para o produtor. A aplicação do silício tem resultado em benefícios aos vegetais, como tolerância a estresses hídricos e salinos, dentre outros. Nesse sentido, objetivou-se, com o presente trabalho, estudar os efeitos da interação lâminas de irrigação *versus* doses de silício, aplicadas via foliar, na cultura do milho, híbrido AG1051, visando a produção de espigas verdes. Para tanto, foi conduzido um experimento de campo, na área experimental do *campus* Iguatu do IFCE, Ceará, sob delineamento em blocos ao acaso, no esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As lâminas foram correspondentes a: 50; 75; 100; 125 e 150% da evapotranspiração potencial da cultura, ETc (mm dia<sup>-1</sup>); com o silício aplicado via foliar, correspondendo a 0; 50; 100 e 200% da dose recomendada para a cultura do milho pelo fabricante da fonte utilizada. As variáveis de crescimento analisadas foram: a altura da planta, o diâmetro do colmo, a massa seca das folhas, do colmo e total; e as produtivas: o diâmetro, o comprimento e a massa da espiga sem palha, a massa da espiga com palha e a produtividade. As lâminas de irrigação e as diferentes épocas influenciaram significativamente as variáveis de crescimento estudadas com resposta linear crescente para ambos os fatores estudados, com exceção do diâmetro do colmo que se comportou de forma quadrática. As lâminas de irrigação influenciaram positivamente a produção da cultura do milho verde, com a lâmina de irrigação de 600 mm, equivalente a 150% da ETc, proporcionando os maiores valores para as variáveis produtivas analisadas. A aplicação foliar de silício não proporcionou efeito benéfico para a cultura do milho verde, não tendo proporcionado redução do consumo de água pela cultura, nem incrementos de produtividade. Os valores do Kc do milho, utilizados nesse estudo, devem ser melhor avaliados e calibrados a fim de promover uma recomendação de irrigação mais eficiente para a cultura na região de estudo.

**Palavras chave:** *Zea mays* L, Estresse hídrico, Micronutriente.

## CHAPTER 2 - INTERACTION BETWEEN IRRIGATION BLADES AND SILICATE FERTILIZATION IN THE CROP OF GREEN CORN

### ABSTRACT

In the semiarid region, adequate irrigation management is essential due to the scarce regional water resources and for compensatory productivity to occur for the producer. The application of silicon has resulted in benefits to vegetables, such as tolerance to water and saline stresses, among others. In this sense, the objective of this study was to study the effects of the interaction between irrigation blades versus silicon doses, applied via foliar, in corn culture, aiming at the production of green ears. To this end, a field experiment was conducted in the experimental area of the Iguatu campus of IFCE, Ceará, under a randomized block design, in a split plot scheme, with four replications. The slides were corresponding to: 50; 75; 100; 125 and 150% of the potential evapotranspiration of the culture,  $ET_c$  (mm day<sup>-1</sup>); with silicon applied via foliar, corresponding to 0; 50; 100 and 200% of the recommended dose for maize culture by the manufacturer of the source used. The growth variables analyzed were: plant height, stem diameter, leaf, stem and total dry mass; and the productive ones: the diameter, length and mass of the ear without straw, the mass of the ear with straw and productivity. The irrigation depths and different seasons significantly influenced the growth variables studied with increasing linear response for both factors studied, with the exception of the stem diameter that behaved in a quadratic way. The irrigation depths positively influenced the production of the green corn crop, with the irrigation depth of 600 mm, equivalent to 150% of the  $ET_c$ , providing the highest values for the productive variables analyzed. The foliar application of silicon did not provide a beneficial effect for the cultivation of green corn, and did not provide a reduction in water consumption by the crop, nor increased productivity. The  $K_c$  values of corn, used in this study, should be better evaluated and calibrated in order to promote a more efficient irrigation recommendation for the crop in the study region.

**Keywords:** *Zea mays* L, Water stress, Micronutrient.

## 9 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é o cereal mais cultivado no Brasil, sendo ainda um dos principais cereais produzidos no mundo em regiões de variáveis disponibilidades de água, de nutrientes e de intensas radiações solares, como as tropicais e as subtropicais, que favorecem a alta produção de biomassa pela espécie (DANTAS JUNIOR *et al.*, 2016). No semiárido nordestino, o cultivo do milho, voltado para a produção de espigas verdes, é uma atividade típica da agricultura familiar, na maioria em pequenas áreas, notadamente, com importância na cadeia social, econômica e alimentar (BRITO *et al.*, 2013; SOUZA FILHO *et al.*, 2016).

Entretanto, a variabilidade na distribuição espacial e temporal das chuvas na região semiárida do nordeste brasileiro favorece a escassez de água, gerando a ocorrência de déficits hídricos praticamente o ano todo. Diante de tal cenário, a irrigação se destaca como a alternativa mais viável para se alcançar níveis requeridos de produção agrícola, permitindo números maiores de safras por ano, além de reduzir a dependência das condições climáticas (BEZERRA *et al.*, 2020).

Dessa forma, é crescente a evolução dos empreendimentos agrícolas irrigados na região Nordeste brasileira, sendo que, em meados de 2006, a região ultrapassou 1 milhão de hectares (Mha) irrigados. Contudo, na última década, a região tem experimentado uma relativa estabilidade ou retração de áreas, como consequência da redução dos investimentos para ampliação da infraestrutura hídrica e da própria escassez no suprimento de água experimentada nos últimos anos. No Ceará, os números evidenciam uma crescente ascensão da área equipada para irrigação do ano 1960 (11.389 ha) até 2006 (117.381 ha), tendo sofrido uma drástica redução para 70.449 ha, muito em função da crise hídrica enfrentada (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2017).

Nesse enfoque, o uso da irrigação na Região tem gerado preocupação no que diz respeito ao elevado consumo de água, que se dá em muitos casos, devido ao manejo inadequado, fato que é contraditório, uma vez que, para usufruir plenamente dos benefícios da irrigação é necessário que o manejo seja adequado, visando evitar os efeitos negativos causados pelo excesso ou pelo déficit de água nos cultivos agrícolas (AZEVEDO *et al.*, 2018).

Dentre os principais aspectos relacionados ao manejo, a lâmina de irrigação pode ser definida como sendo a quantidade de água a ser suprida para complementar as precipitações efetivas, objetivando atender as necessidades hídricas da cultura (BERNARDO *et al.*, 2009). Dentro desse enfoque, têm-se buscado estudar a resposta do milho verde a diferentes lâminas de irrigação. Em Sumé, Dantas Junior *et al.* (2016) e em Pombal, Brito *et al.* (2013), ambas no

estado da Paraíba, foram necessários 528 (equivalente a 100% da ETc) e 680,4 mm (80% da ETc) para a maior porcentagem de espigas comerciais e o maior peso da espiga, respectivamente. Em Chapadão do Sul - MS (SOUZA *et al.*, 2016) encontraram uma lâmina de 346,63 mm (85% da ETc) no inverno/primavera, e 278,3 mm (50% da ETc) no verão/outono, que proporcionaram os maiores peso e qualidade de espigas, e em Teresina-PI (BLANCO *et al.*, 2011) evidenciaram uma lâmina de 530 mm para a maior produtividade técnica de espigas verdes de milho, com palha e sem palha.

Portanto, diante de um cenário cada vez maior de escassez hídrica torna-se primordial a busca e a adoção de estratégias capazes de aumentar a eficiência do uso da água na produção agrícola. Dentre as estratégias apontadas como possibilidade de auxílio à redução do consumo de água pelas plantas, o silício, elemento que não é considerado como essencial para o crescimento e o desenvolvimento das plantas, tem sido associado a diversos efeitos benéficos, pois a sua presença no tecido vegetal, especialmente quando submetido a algum tipo de estresse (LIMA *et al.*, 2011), pode aumentar a eficiência do uso da água pelo vegetal através da formação de uma camada dupla de sílica cuticular, que reduz a perda de água por transpiração, devido ao acúmulo do Si nos órgãos de transpiração, podendo ser de grande importância em regiões onde o período de estiagem é longo e severo (SILVA *et al.*, 2012).

Nesse contexto, apesar da comunidade científica já ter desenvolvido diversos estudos envolvendo lâminas de irrigação com cultivares de milho, poucas foram as informações direcionadas ao cultivo do milho verde para consumo *in natura*, principalmente no que diz respeito à associação com o silício, como estratégia visando a redução da quantidade de água a ser aplicada, majorando a eficiência de uso da água. Por isso, busca-se através dessa pesquisa gerar informações que possam aprimorar o cultivo do milho verde na região Nordeste brasileira, sobretudo no que diz respeito a economia de água e ao aumento da eficiência da irrigação.

Nesse sentido, objetivou-se, com o presente trabalho, estudar os efeitos da interação lâminas de irrigação *versus* doses de silício, aplicadas via foliar, na cultura do milho, visando a produção de espigas verdes nas condições edafoclimáticas do município de Iguatu, CE.

## 10 MATERIAL E MÉTODOS

### 10.1 Caracterização da área experimental

#### 10.1.1 Local do experimento

O experimento foi conduzido entre os meses de agosto e novembro de 2017, a campo aberto, na área experimental pertencente ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *campus* Iguatu, Ceará, (Figura 1), localizado nas coordenadas geográficas 06° 21' S; 39° 17' O e altitude de 217,8 m em relação ao nível do mar.

Figura 1 - Localização da área experimental no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE). Campus Iguatu, Ceará, 2017



Fonte: Foto da Autora obtida por meio de drone.

#### 10.1.2 Clima da região

O clima na região é do tipo BSw'h', semiárido e muito quente, conforme metodologia de Köppen. A precipitação anual média histórica no município de Iguatu é de  $867 \pm 304$  mm (1932 a 2011), enquanto que a evapotranspiração potencial média é de  $1.988$  mm ano<sup>-1</sup>, com maiores valores durante os sete meses de menores precipitações (junho a dezembro), conforme Santos *et al.* (2017).

Durante a condução do experimento, as condições meteorológicas foram monitoradas por uma estação meteorológica automática, pertencente ao INMET, instalada nas

imediações da área experimental, dentro da área agrícola do *campus*. Os dados das variáveis meteorológicas coletados durante os experimentos estão apresentados como valores médios mensais (temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento), totalização mensal (precipitação) e média diária (evapotranspiração), na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados mensais das variáveis meteorológicas durante a condução do experimento, Iguatu, Ceará, 2017

Mês	Temperatura do ar (°C)	Umidade relativa do ar (%)	Velocidade do vento (m s <sup>-1</sup> )	Precipitação (mm)	EToPM* (mm dia <sup>-1</sup> )
Agosto	28,21	44,37	2,47	0,0	5,65
Setembro	28,76	40,66	2,85	0,0	6,07
Outubro	29,77	43,55	2,41	15,6	5,67
Novembro	29,72	47,33	2,31	0,0	5,24

\*ETo PM - Evapotranspiração de referência, quantificada pela metodologia de Penman-Monteith/FAO

Fonte: Estação Meteorológica automática do INMET (Iguatu-A319).

### 10.1.3 Solo da área experimental

Antes da instalação dos experimentos, foram coletadas amostras na camada de 0 a 0,20 m de profundidade, com o auxílio de um trado do tipo holandês. Em seguida, as amostras foram homogeneizadas e submetidas a análises laboratoriais para a estimativa das características físicas (Tabela 2) e químicas (Tabela 3), conforme recomendações da Embrapa (1997).

Tabela 2 – Caracterização física do solo da área experimental, na camada de 0 a 0,2 m. Iguatu, Ceará, 2017

Características	Profundidade (m)
	0 a 0,2
Areia grossa (g kg <sup>-1</sup> )	388
Areia fina (g kg <sup>-1</sup> )	354
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	204
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	54
Classe Textural	Franco - Arenosa
Densidade do solo (g cm <sup>3</sup> )	1,5

Fonte: Laboratório de Solos, Água e Tecidos Vegetais do IFCE - Campus Limoeiro, 2017

\*CEes = condutividade elétrica do extrato de saturação.

Tabela 3 – Caracterização química do solo da área experimental, na camada de 0,0 a 0,2 m. Iguatu, Ceará, 2017

Profundidade	Características Químicas											
	g kg <sup>-1</sup>			mmolc dm <sup>3</sup>						%		
(0 a 0,2m)	C	MO	N	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup>	SB	V	PST	CEes
	14,25	24,56	1,53	3,61	37,5	20	0,16	N. D.	24,56	100	0	0,4

Fonte: Laboratório de Solos, Água e Tecidos Vegetais do IFCE - Campus Limoeiro, 2017

MO= matéria orgânica; PST=Porcentagem de sódio trocável; V%= Saturação por bases –  $(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^{+} + K^{+} / CTC) \times 100$ ; CTC = Capacidade de troca de cátions –  $[Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^{+} + K^{+} + (H^{+} + Al^{3+})]$ ; SB = Soma de bases  $(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^{+} + K^{+})$ , \*CEes = condutividade elétrica do extrato de saturação.

## 10.2 Cultura e condução do cultivo

A pesquisa foi realizada com a cultura do milho, híbrido duplo AG 1051 (Figura 2), que apresenta como principais características o ciclo semiprecoce, o porte de planta alto e a inserção da espiga alta.

O híbrido duplo AG 1051 é bastante utilizado na agricultura familiar, tendo como principal finalidade o uso para a produção de milho verde, podendo também ser utilizado para a silagem, por apresentar grande quantidade de massa verde de alta digestibilidade, além de proporcionar bons resultados como milho grão. Essas características associadas a grande difusão por parte dos produtores locais e aceitação por parte dos consumidores, motivaram a sua escolha (AGUIAR *et al.*, 2008, SEMENTES AGROCERES, 2014). As sementes foram adquiridas em casa agropecuária do comércio local.

O preparo da área experimental iniciou-se em julho de 2017, constando de aração profunda, seguida de gradagens cruzadas. Posteriormente, com o intuito de remover restos culturais do solo, realizou-se a limpeza e o nivelamento do terreno, com o auxílio de enxada e de rastelo, eliminando possibilidades de interferências na aplicação dos tratamentos, e, sobretudo, favorecendo a disposição do sistema de irrigação.

Figura 2 – Plantas (A) e espigas (B) do milho verde, híbrido duplo AG1051. Iguatu, Ceará, 2017

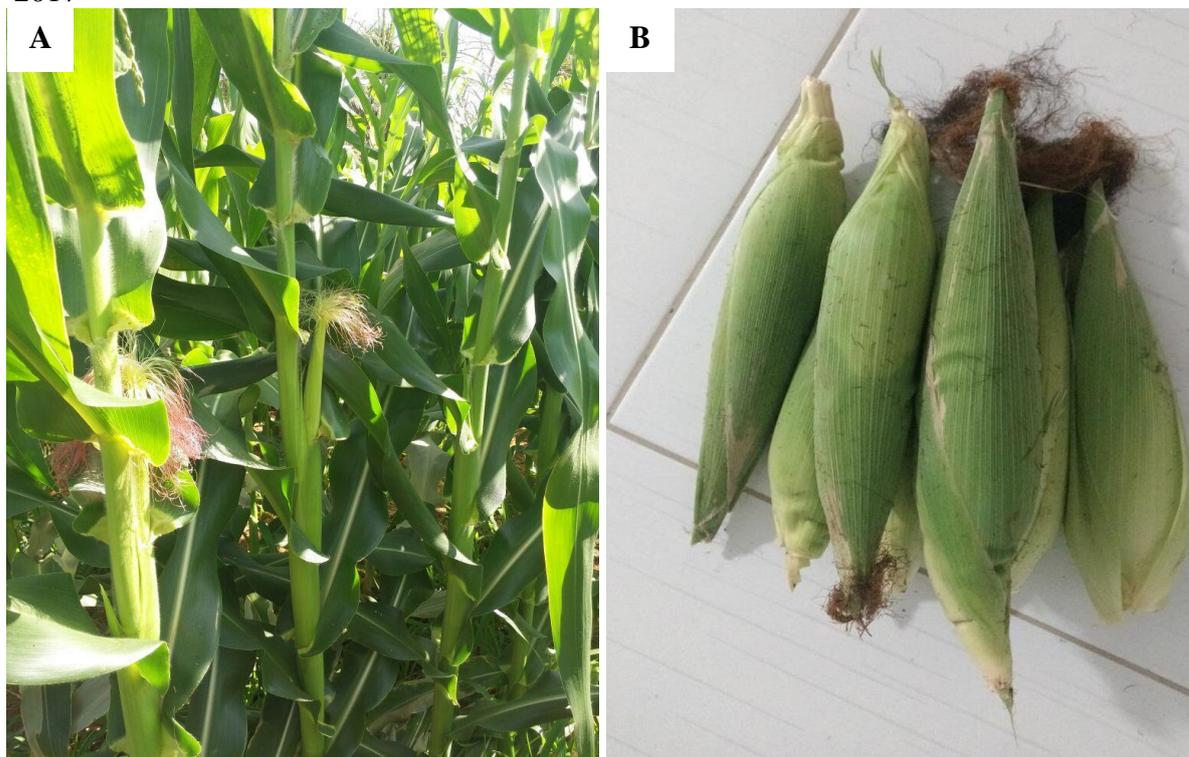


Foto: Autora, 2017

### 10.2.1 Semeadura e estabelecimento da cultura

Antes da semeadura, foi efetuada uma irrigação na área experimental visando elevar a umidade do solo até a capacidade de campo, a fim de possibilitar um bom índice de emergência das plantas.

A semeadura foi realizada diretamente no solo em 15 de agosto de 2017, seguindo o espaçamento de 1,0 m entre linhas e de 0,2 m entre plantas, que corresponde a um estande de 50.000 plantas por hectare. Para se garantir a uniformidade na emergência das plantas constituintes das parcelas, foram semeadas duas sementes por cova, a uma média de 4 cm de profundidade da superfície do solo (Figura 3).

A emergência se deu a partir do 5º dia após a semeadura (DAS) e no 14º DAS procedeu-se o desbaste das plântulas, deixando-se apenas 1 planta por cova. Aos 14 DAS, ocorreu o início da diferenciação dos tratamentos lâminas de irrigação, conforme descrição a posterior.

Os tratamentos culturais durante a condução do experimento consistiram em: duas capinas manuais; monitoramentos dos estados fitossanitário e nutricional, realizados durante todo o ciclo da cultura, e a colheita manual (aos 81 DAS).

Figura 3 - Semeadura do milho híbrido AG1051. Iguatu, Ceará, 2017



Foto: Autora, 2017

### 10.3 Sistema de irrigação

O sistema de irrigação foi instalado em julho de 2017, tendo como fonte de alimentação hídrica um poço tubular, cuja água apresentava uma condutividade elétrica média de  $0,8 \text{ dS m}^{-1}$  ao longo do período experimental. A água era bombeada e armazenada em um reservatório com capacidade para 3.000 L e deste bombeada para a área de cultivo.

O método de irrigação adotado foi do tipo localizado, com sistema em gotejamento superficial formado por: conjunto eletrobomba (bomba centrífuga acoplada a um motor de 1 cv), figura 4; cabeçal de controle, com filtro de disco, manômetro e registros; sistema de injeção de fertilizantes operado por meio de um sistema by-pass, contendo um injetor venturi (Figura 5); linha principal em PVC (PN 40), com diâmetro nominal (DN) de 50 mm; linhas de derivação em polietileno com DN de 25 mm; registros de 25 mm no início de cada linha de derivação; linhas laterais constituídas por fita gotejadora em polietileno flexível de 16 mm de diâmetro, com gotejadores autocompensantes integrados, e espaçados entre si por uma distância de 0,2 m, com vazão individual de  $1,6 \text{ L h}^{-1}$ , a uma pressão de serviço de  $1 \text{ kgf cm}^{-2}$  (Figuras 6 e 7).

Para se controlar os tratamentos com as lâminas, utilizaram-se os registros de 16 mm de diâmetro instalados no início da cada linha lateral.

Figura 4 - Vista parcial do conjunto motobomba. Iguatu, Ceará, 2017



Foto: Autora, 2017

Figura 5 - Vista parcial do cabeçal de controle e do sistema de injeção de fertilizantes. Iguatu, Ceará, 2017



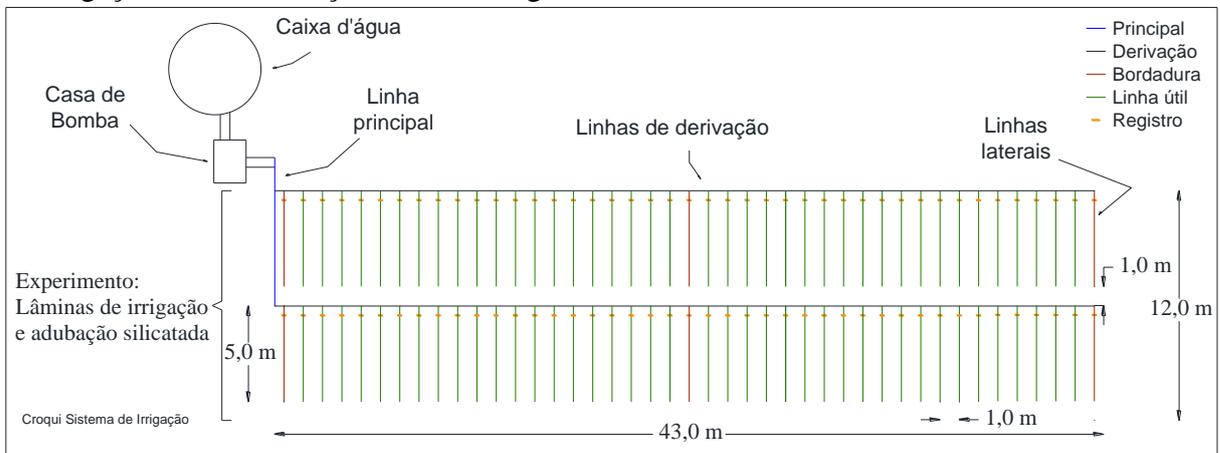
Foto: Autora, 2017

Figura 6 - Vista da área com sistema de irrigação instalado. Iguatu, Ceará, 2017



Foto: Autora, 2017

Figura 7 - Distribuição do sistema de irrigação em campo utilizado no experimento com lâminas de irrigação e com adubação silicatada. Iguatu, Ceará, 2017



Fonte: Autora, 2017

Após a instalação do sistema de irrigação, foi realizado o teste de uniformidade do sistema por meio do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), estabelecido por Christiansen (1942), onde o valor encontrado foi de 98% (Equação 01), adotando-se a metodologia proposta por Keller e Karmeli (1975), além do levantamento das condições de pressão e de vazão.

$$CUC = \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - \underline{q}|}{n \cdot \underline{q}} \right) \cdot 100 \quad (01)$$

em que,

CUC - coeficiente de uniformidade de Christiansen (%);

$q_i$  - vazão coletada no gotejador de ordem  $i$  ( $L h^{-1}$ );

$\underline{q}$  - média das vazões coletadas nos gotejadores ( $L h^{-1}$ );

$n$  - número de gotejadores coletados.

#### 10.4 Manejo da irrigação

O manejo da irrigação foi conduzido com base na reposição da evapotranspiração diária da cultura,  $ET_c$ , a partir da quantificação da evapotranspiração de referência,  $ET_o$ , e do uso do coeficiente de cultura,  $K_c$ .

A evapotranspiração de referência,  $ET_o$ , foi estimada pelo método de Penman-Monteith, FAO-56 (ALLEN *et al.*, 1998) (Equação 02), e os dados meteorológicos necessários para o método foram obtidos da estação automatizada do INMET instalada próxima a área experimental, dentro do *campus* do IFCE.

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{(T + 273)} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (02)$$

em que,

$ET_o$  - evapotranspiração de referência,  $mm \text{ dia}^{-1}$ ;

$\Delta$  - inclinação da tangente à curva de pressão de saturação do vapor d'água, no ponto dado pela temperatura do ar,  $kPa \text{ } ^\circ C^{-1}$ ;

$R_n$  - saldo de radiação,  $MJ \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ;

$G$  - fluxo de calor sensível no solo,  $MJ \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ;

$\gamma$  - coeficiente psicrométrico;

$u_2$  - velocidade do vento a 2,0 m de altura,  $m \text{ s}^{-1}$ ;

$e_s$  - pressão de saturação do vapor d'água,  $kPa$ ;

$e_a$  - pressão atual do vapor d'água,  $kPa$ ;  $e$ ,

$T$  - temperatura média diária,  $^\circ C$ .

Em virtude da estação meteorológica do INMET fornecer apenas a radiação solar global e a velocidade do vento a 10 m de altura, diariamente foi realizado o balanço de radiação para obtenção do saldo de radiação, assim como, a conversão da velocidade do vento para 2 m de altura, ambos necessários para inserção na equação de Penman-Monteith, FAO-56 e cálculo da ETo.

A evapotranspiração da cultura, ETc, foi estimada a partir da equação 03:

$$ETc = ETo \cdot Kc \quad (03)$$

em que,

ETc - evapotranspiração da cultura, mm dia<sup>-1</sup>;

ETo - evapotranspiração de referência, mm dia<sup>-1</sup>; e,

Kc - coeficiente de cultura para cada estágio de desenvolvimento (adimensional).

Os valores do coeficiente de cultura (Kc) utilizados foram os recomendados por Santos *et al.* (2014) para a região semiárida de Mossoró – RN, na cultura do milho verde, cultivar AG1051, em quatro fases do estágio de desenvolvimento, Tabela 4.

Tabela 4 - Valores do coeficiente de cultura (Kc) utilizados nas diferentes fases do cultivo do milho, híbrido AG1051. IFCE, Iguatu, CE, 2017

Fases		Duração (dias)	Kc
I	Inicial	16	0,50
II	Desenvolvimento vegetativo	20	0,64
III	Floração	27	1,12
IV	Maturação fisiológica	14	1,11

Fonte: Santos *et al.* (2014)

A lâmina de irrigação (LL) foi estimada através da equação 04, sendo manejada diariamente seguindo o balanço hídrico climatológico sequencial, simplificado.

$$LL = (ETc \cdot Ft) - Pe \quad (04)$$

Em que,

LL - lâmina líquida de irrigação, mm dia<sup>-1</sup>;

ETc - evapotranspiração da cultura (Eq. 3), mm dia<sup>-1</sup>;

Ft - é o fator de ajuste devido ao tratamento, sendo 0,50; 0,75; 1,00; 1,25 e 1,5 (respectivamente para 50, 75, 100, 125 e 150% da ETc); e,

Pe - precipitação efetiva, mm dia<sup>-1</sup>.

A precipitação efetiva, ou seja, a diferença entre a precipitação total e a perda de água por percolação profunda e escoamento superficial, foi calculada de acordo com Marouelli *et al.*, (1996), com base na precipitação e na lâmina de água necessária para restabelecer a capacidade máxima de armazenamento de água do solo, não acumulando para o dia seguinte ( $Pe \leq ETC$ ) e desprezando as precipitações abaixo de 5 mm.

A lâmina bruta de irrigação foi estimada diariamente conforme a equação 05.

$$LB = \left( \frac{LL}{CUC} \right) \quad (05)$$

em que,

LB - lâmina bruta de irrigação, em mm dia<sup>-1</sup>;

LL - lâmina líquida de irrigação, em mm dia<sup>-1</sup>; e,

CUC - coeficiente de uniformidade de Christiansen, decimal.

O tempo de irrigação adotado foi quantificado conforme a equação 06.

$$Ti = \frac{LB \cdot E_L \cdot E_g \cdot F_c}{q_g} \quad (06)$$

Em que:

Ti - tempo de irrigação, h;

LB - lâmina bruta de irrigação, mm;

E<sub>L</sub> - espaçamento entre linhas de irrigação, m;

E<sub>g</sub> - espaçamento entre gotejadores, m;

F<sub>c</sub> - fator de cobertura do solo, adimensional; e,

q<sub>g</sub> - vazão do gotejador, L·h<sup>-1</sup>.

O fator de cobertura (F<sub>c</sub>) adotado em todos os tratamentos foi de 1,0, ao longo de todo o ciclo da cultura, devido à proximidade das linhas laterais.

A diferenciação dos tratamentos de lâminas iniciou-se no 14º DAS, sendo as respectivas lâminas totais aplicadas apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Percentuais da evapotranspiração da cultura (ETc) e lâminas totais de irrigação aplicadas (Li) durante o ciclo da cultura em cada tratamento. Iguatu, Ceará, 2017

Tratamento	ETc (%)	Li total (mm)
L <sub>50</sub>	50	229
L <sub>75</sub>	75	321
L <sub>100</sub>	100	413
L <sub>125</sub>	125	507
L <sub>150</sub>	150	600

Fonte: Autor (2017)

### 10.5 Manejo da adubação

A quantificação das doses de nutrientes aplicados foram definidas de acordo com a análise do solo da área experimental e com as recomendações propostas por Pereira Filho (2003) para a cultura do milho verde. As doses de nutrientes e respectivas fontes comerciais utilizadas foram: 170 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio (ureia - 45% de N); 60 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo (superfosfato simples - 18% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 40 kg ha<sup>-1</sup> de potássio (cloreto de potássio - 60% de K<sub>2</sub>O).

A dose de fósforo foi aplicada em sua totalidade na adubação de fundação, 167 g por linha de plantas (Figura 8). Enquanto que, as doses de N e K foram parceladas e aplicadas em cobertura por meio de fertirrigações, de acordo com a marcha de absorção da planta (Tabela 4), adaptada de Coelho (2006).

Figura 8 - Adubação de fundação com fósforo, por meio de sulcos. Iguatu, Ceará, 2017



Foto: Autor, 2017

Tabela 6 - Distribuição percentual das doses de nitrogênio e de potássio aplicadas em cobertura, via fertirrigações. IFCE, Iguatu, CE, 2017

Distribuição de nutrientes por aplicação					
Aplicação	Época (DAS)	Nitrogênio (%)	Nitrogênio (kg ha <sup>-1</sup> )	Potássio (%)	Potássio (kg ha <sup>-1</sup> )
1	7	5	8,5	5	2
2	14	5	8,5	5	2
3	21	10	17	10	4
4	28	20	34	25	10
5	35	20	34	25	10
6	42	15	25,5	20	8
7	49	10	17	10	4
8	56	10	17	-	-
9	63	5	8,5	-	-
Total		100	170	100	40

Fonte: Autor (2017), adaptada a partir de Coelho (2006).

Para a realização das fertirrigações periódicas foram utilizados volumes padrões de calda de 20 litros, suficientes para a dissolução dos fertilizantes e para uma adequada distribuição do nutriente na área cultivada. A taxa de injeção no sistema de irrigação foi ajustada em 90 L h<sup>-1</sup>.

Após as fertirrigações, o sistema de irrigação continuava operando durante o tempo necessário para a aplicação total da lâmina de irrigação, o que possibilitava a lavagem das tubulações e reduzia os riscos de entupimentos.

## 10.6 Delineamento experimental e descrição do experimento

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, com vinte tratamentos e quatro blocos. Os tratamentos foram arranjados em parcelas subdivididas, 5 x 4, sendo que os cinco tratamentos com lâminas de irrigação corresponderam aos níveis de irrigação de 50; 75; 100; 125 e 150% da ETc (mm dia<sup>-1</sup>), constituindo as parcelas experimentais. As subparcelas foram constituídas pelas quatro doses de adubação silicatada, sendo 0 (controle); 0,75; 1,5; 3,0 g L<sup>-1</sup>, correspondentes a 0; 50; 100 e 200 % da dose recomendada de Si, pelo fabricante, para a cultura do milho. Os tratamentos foram arranjados conforme Tabela 7.

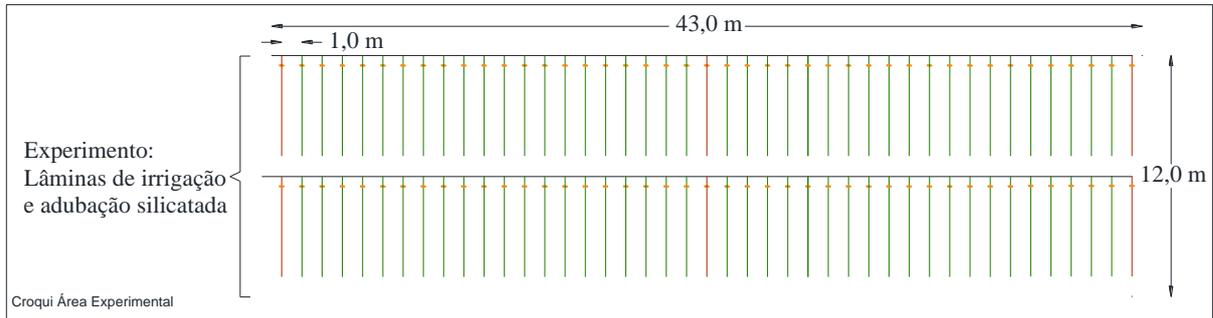
Tabela 7 - Descrição dos tratamentos do experimento com lâminas de irrigação e com adubação silicatada na cultura do milho verde. IFCE, Iguatu, CE, 2017

	Tratamentos*	%ETc	Si (g L <sup>-1</sup> )
T1	L <sub>50</sub> Si <sub>0</sub>	50	0,00
T2	L <sub>50</sub> Si <sub>0,75</sub>	50	0,75
T3	L <sub>50</sub> Si <sub>1,5</sub>	50	1,50
T4	L <sub>50</sub> Si <sub>3</sub>	50	3,00
T5	L <sub>75</sub> Si <sub>0</sub>	75	0,00
T6	L <sub>75</sub> Si <sub>0,75</sub>	75	0,75
T7	L <sub>75</sub> Si <sub>1,5</sub>	75	1,50
T8	L <sub>75</sub> Si <sub>3</sub>	75	3,00
T9	L <sub>100</sub> Si <sub>0</sub>	100	0,00
T10	L <sub>100</sub> Si <sub>0,75</sub>	100	0,75
T11	L <sub>100</sub> Si <sub>1,5</sub>	100	1,50
T12	L <sub>100</sub> Si <sub>3</sub>	100	3,00
T13	L <sub>125</sub> Si <sub>0</sub>	125	0,00
T14	L <sub>125</sub> Si <sub>0,75</sub>	125	0,75
T15	L <sub>125</sub> Si <sub>1,5</sub>	125	1,50
T16	L <sub>125</sub> Si <sub>3</sub>	125	3,00
T17	L <sub>150</sub> Si <sub>0</sub>	150	0,00
T18	L <sub>150</sub> Si <sub>0,75</sub>	150	0,75
T19	L <sub>150</sub> Si <sub>1,5</sub>	150	1,50
T20	L <sub>150</sub> Si <sub>3</sub>	150	3,00

Fonte: Autor (2017)

A área total ocupada pelo experimento foi de 516 m<sup>2</sup> (12 x 43 m), constituída por duas linhas de derivação, cada uma com o total de 43 linhas laterais cultivadas com milho verde, com 5,0 m cada e espaçadas de 1,0 m, para a aplicação dos tratamentos com lâminas e com adubação foliar silicatada (Figura 9). As duas linhas laterais das extremidades e a mediana (22<sup>a</sup>), de cada uma das linhas de derivação, foram utilizadas como bordaduras.

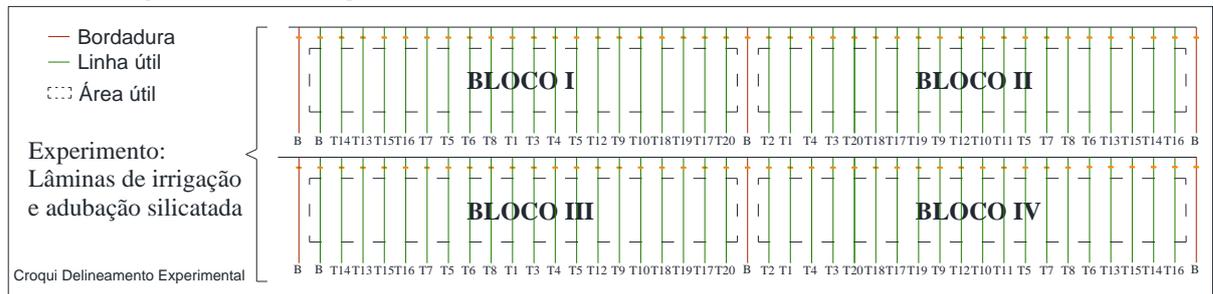
Figura 9 - Área experimental com a cultura do milho verde utilizada no experimento com lâminas de irrigação e com adubação silicatada. Iguatu, Ceará, 2017



Fonte: Autora, 2017

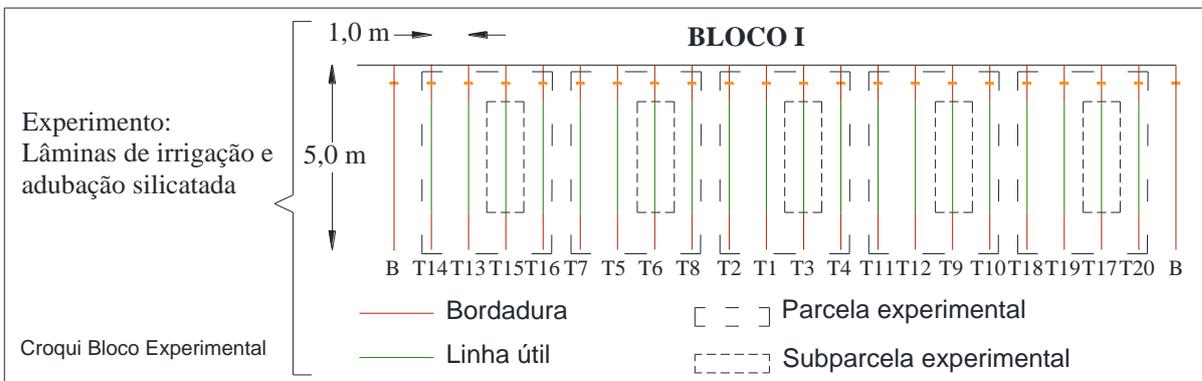
Cada bloco foi constituído por 20 linhas, excetuadas as bordaduras, Figuras 10 e 11. Cada parcela no bloco foi constituída por 4 linhas, totalizando 20 m<sup>2</sup> (4 linhas de 5 m de comprimento, espaçadas de 1 m). Cada linha individual constituiu uma subparcela, com 5 m<sup>2</sup> de área, contendo 25 plantas, caracterizando um nível de adubação foliar com silício.

Figura 10 - Croqui experimental com a distribuição dos tratamentos com lâminas de irrigação com adubação silicatada. Iguatu, Ceará, 2017



Fonte: Autora, 2017

Figura 11 – Croqui do bloco experimental com lâminas de irrigação e com adubação silicatada, evidenciando as parcelas e as subparcelas experimentais. Iguatu, Ceará, 2017



Fonte: Autora, 2017

Em cada subparcela (linha lateral), o primeiro e o último metro foram considerados como bordadura; assim, a área útil efetiva de cada subparcela foi de  $3 \text{ m}^2$ , contendo 15 plantas (espaçamento de 0,2 m entre plantas, na linha) (Figura 12).

Figura 12 - Vista da subparcela experimental do experimento com lâminas de irrigação e com adubação silicatada. Iguatu, Ceará, 2017



Foto: Autora, 2017

O silício foi aplicado através de pulverizações foliares semanais, dos 15 aos 75 DAS, totalizando nove aplicações. Como fonte de silício utilizou-se um fertilizante comercial com composição (Ca 5,8%, Mg 1,2%, S 1,3%, Cu 3%, Si 10%), conforme tabela de recomendação do fabricante para a cultura do milho.

## 10.7 Variáveis analisadas

### 10.7.1. Análise de crescimento

Para a análise de crescimento foram realizadas ao todo cinco coletas de plantas para avaliação, aos 15; 30; 45; 60 e 75 DAS (dias após a semeadura). As variáveis analisadas foram:

### *10.7.1.1 Altura da planta*

Com o auxílio de uma trena métrica graduada em centímetros (cm), foi mensurada a altura de planta, medindo-se do nível do solo ao ponto de inserção da lâmina foliar mais alta e representada pelo valor médio referente às plantas avaliadas.

### *10.7.1.2 Diâmetro do colmo*

Com o auxílio de um paquímetro digital, foi mensurado o diâmetro do colmo, medido no primeiro entrenó da planta, expressos em milímetros (mm), representado pelo valor médio referente às plantas avaliadas.

### *10.7.1.3 Massa seca da parte aérea*

Para a obtenção da massa seca da folha (MSF), da massa seca do colmo (MSC) e da total (MS) foram coletadas, da área útil da parcela, uma planta de cada repetição, realizando-se o corte das plantas rente à superfície do solo. Em seguida, as mesmas foram decompostas em colmo, folhas, pendão e frutos, e pesadas em balança de precisão e acondicionadas em sacos de papel, previamente identificados por tratamento.

Em seguida, as amostras foram levadas para secagem em estufa com circulação de ar, à temperatura de 65°C até peso constante. Neste momento, as amostras foram submetidas a uma nova pesagem em balança de precisão para a determinação da massa seca por partição e total.

## **10.7.2 Características produtivas**

Para as avaliações das características produtivas foram tomadas as medidas de quatro plantas diferentes, identificadas em campo como a 14<sup>a</sup>; 15<sup>a</sup>; 16<sup>a</sup> e 17<sup>a</sup> planta de cada fileira, dentro da área útil de cada subparcela, adaptando-se à metodologia utilizada por Carmo *et al.* (2012).

A colheita ocorreu de forma manual aos 81 DAS, ocasião em que foram retiradas as espigas e avaliadas as seguintes variáveis:

#### *10.7.2.1 Diâmetro da espiga sem palha (DESP)*

Medição na região com maior diâmetro da espiga com o auxílio de um paquímetro graduado em milímetros (mm).

#### *10.7.2.2 Comprimento da espiga sem palha (CESP)*

Medição realizada com o auxílio de uma régua graduada em centímetros (cm).

#### *10.7.2.3 Massa da espiga com palha (MECP)*

Estimada através da média da massa das espigas colhidas nas quatro plantas avaliadas, utilizando-se uma balança de precisão.

#### *10.7.2.4 Massa da espiga sem palha (MESP)*

Estimada através da média da massa das espigas colhidas nas quatro plantas avaliadas, utilizando-se uma balança de precisão.

#### *10.7.2.5 Produtividade (PROD)*

O rendimento do milho foi avaliado pela massa total de espigas verdes por hectare, estimada através da massa média da espiga com palha e do estande de plantas por hectare.

### **10.8 Análises estatísticas**

Os dados obtidos nas variáveis de crescimento (altura da planta, diâmetro do colmo, massa seca da parte aérea) foram submetidos à análise de variância, segundo o delineamento experimental em blocos ao acaso em esquema de parcelas subdivididas, onde os diferentes níveis de lâminas foram analisados nas parcelas, e os diferentes níveis de silício via foliar nas subparcelas e as épocas de avaliação das referidas variáveis nas subsubparcelas.

Já os dados obtidos nas variáveis produtivas foram submetidos à análise de variância e analisados de acordo com o delineamento experimental em blocos ao acaso em

esquema de parcelas subdivididas, onde os diferentes níveis de lâminas foram analisados nas parcelas, e os diferentes níveis de silício via foliar nas subparcelas.

Os dados das variáveis avaliadas foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 1 e 5% de probabilidade. No caso de comprovado efeito significativo nas interações entre os fatores estudados, os dados foram analisados segundo os procedimentos inerentes à análise de regressão linear múltipla e os dados médios foram plotados em superfícies de respostas.

Para as variáveis em que foi comprovado efeito significativo para o fator em estudo de forma isolada, os dados foram submetidos à análise de regressão, com o objetivo de estimar o modelo matemático que melhor representasse a relação funcional entre as variáveis analisadas e os tratamentos aplicados, sendo representados por gráficos de linhas de tendências.

As análises foram realizadas utilizando-se dos programas Microsoft Excel<sup>®</sup> (versão 2010), ASSISTAT<sup>®</sup> (versão 7.6 beta) e Table Curve<sup>®</sup> 3D v4.0.01.

## 11 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo da análise de variância para os dados de altura de planta (AP), o diâmetro do colmo (DC), a massa seca da folha (MSF), a massa seca do colmo (MSC) e a massa seca total (MST) em função dos fatores lâminas de irrigação (L) e doses de silício (Si), em diferentes épocas (E), pode ser observado na Tabela 8.

Os resultados apresentados mostram que as lâminas de irrigação e as diferentes épocas influenciaram significativamente todas as variáveis estudadas, tanto no estudo do fator isolado como na interação entre os fatores, ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F. Já as doses de silício não influenciaram as variáveis estudadas.

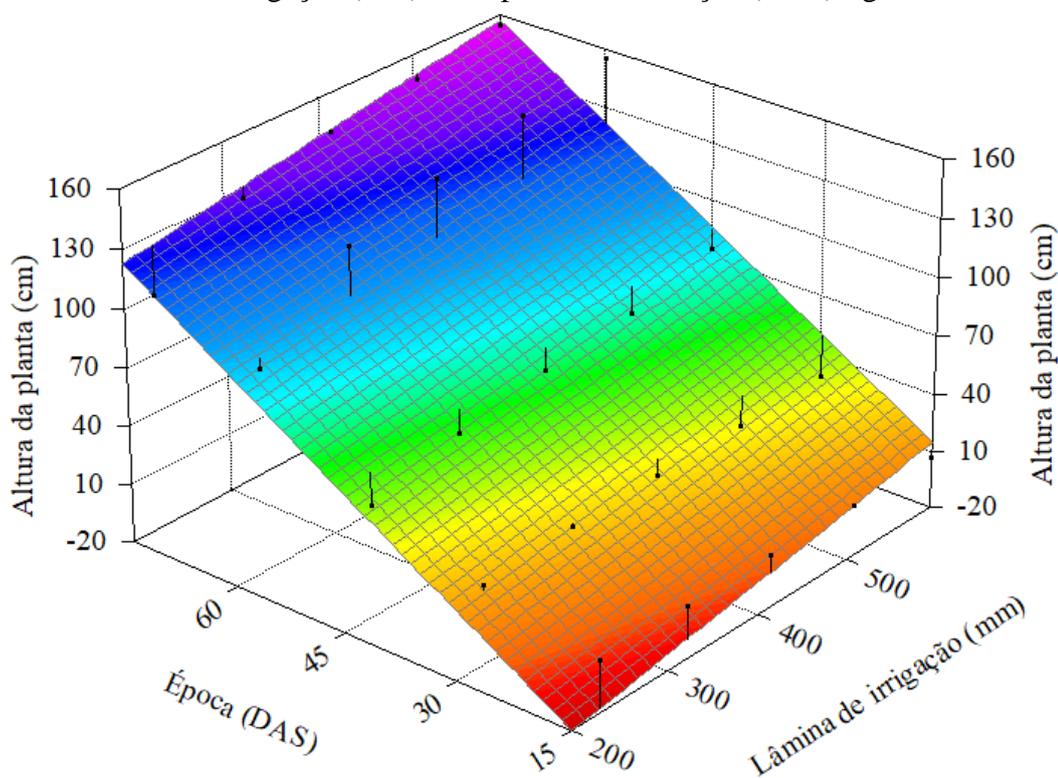
Tabela 8 - Resumo da análise de variância para a altura de planta (AP), o diâmetro do colmo (DC), a massa seca da folha (MSF), a massa seca do colmo (MSC) e a massa seca total (MST) das plantas de milho verde em função das lâminas de irrigação (L) e das doses de silício (Si), em diferentes épocas de avaliação (E), Iguatu, Ceará, 2017

Fonte de variação	GL	Quadrado médio				
		AP	DC	MSF	MSC	MST
Blocos	3	2559,81**	46,234**	290,24*	616,92*	3976,10*
Lâminas (L)	4	13736,12**	102,917**	1161,91**	3652,47**	25168,64**
Resíduo (L)	12	255,76	4,554	50,72	122,06	735,61
Silício (Si)	3	233,67 <sup>ns</sup>	8,616 <sup>ns</sup>	56,89 <sup>ns</sup>	290,14 <sup>ns</sup>	1480,61 <sup>ns</sup>
L x Si	12	311,89 <sup>ns</sup>	13,839 <sup>ns</sup>	59,44 <sup>ns</sup>	189,60 <sup>ns</sup>	1019,80 <sup>ns</sup>
Resíduo (Si)	45	403,83	15,016	65,69	162,99	874,12
Épocas (E)	4	272931,86**	4727,928**	14312,45**	30696,42**	215394,06**
L x E	16	2284,39**	7,432**	233,78**	805,67**	7785,34**
Si x E	12	39,16 <sup>ns</sup>	3,978 <sup>ns</sup>	25,70 <sup>ns</sup>	68,67 <sup>ns</sup>	381,81 <sup>ns</sup>
L x Si x E	48	63,87 <sup>ns</sup>	2,104 <sup>ns</sup>	26,29 <sup>ns</sup>	74,52 <sup>ns</sup>	406,44 <sup>ns</sup>
Resíduo (E)	240	71,62	2,410	29,78	73,89	428,91
Total	319	-	-	-	-	-
CV - L (%)	-	22,94	10,38	39,08	52,24	50,37
CV - Si (%)	-	28,83	18,84	44,48	60,37	54,91
CV - E (%)	-	12,14	7,55	29,95	40,64	38,46

GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação; \* = Significativo a 5%, \*\* = significativo a 1% e <sup>ns</sup> = não significativo

Na Figura 13 está representada a superfície de resposta e o modelo matemático para a variável altura de planta em função das lâminas de irrigação (mm) e da época de avaliação (DAS).

Figura 13 – Superfície de resposta para a altura da planta (cm), milho híbrido AG1051, em resposta às lâminas de irrigação (mm) e às épocas de avaliação (DAS), Iguatu, Ceará, 2017<sup>1</sup>



$$\text{Altura} = -72,8654^{**} + 0,086^{**}(\text{Lam}) + 2,3767^{**}(\text{Epo})$$

$$R^2 = 0,9024$$

<sup>1</sup>(\*\*) significativo a 1%, pelo teste “t”.

Observa-se que a altura da planta cresce linearmente com os incrementos dos fatores lâminas de irrigação e época de avaliação, sendo que, de acordo com a equação, cada incremento unitário da lâmina de irrigação e da época de avaliação proporciona aumento da altura da planta da ordem de 0,086 e 2,3767 cm, respectivamente. O maior valor obtido para a variável foi de 156,99 cm, para a maior lâmina de avaliada de 600 mm (equivalente a 150% da ETc, evapotranspiração da cultura) e a última época de coleta de dado, aos 75 DAS (dias após a semeadura).

A maior altura da planta obtida para a lâmina relativa a 150% da ETc é 11,41% superior à obtida quando se aplicou uma lâmina de 100% da ETc (413 mm), aos 75 DAS, que foi de 140,91 cm. Tais resultados evidenciam que os valores de Kc utilizados nesse trabalho, que foram obtidos por Santos *et al.* (2014), estão subdimensionados para a cultura e a localidade da presente pesquisa. No entanto, mesmo o maior valor aqui observado, está abaixo do obtido por Blanco *et al.* (2011), que ao avaliarem o desempenho de milho verde (híbrido AG-1051) e

feijão-caupi cultivados em consórcio sob lâminas de irrigação e doses de fósforo em Teresina, PI, obtiveram resposta polinomial quadrática para a variável em questão em função da lâminas de irrigação, com valor máximo de 2,19 m para 603 mm de água aplicados.

Da mesma forma desta pesquisa, Campelo *et al.* (2019), ao avaliarem a cultura do milho híbrido AG 1051 sob lâminas de irrigação e adubação nitrogenada em dois ciclos de produção, na cidade de Fortaleza, CE, obtiveram resposta linear para a altura das plantas, com os maiores valores obtidos de 2,06 e 2,03 m, para os ciclos I e II e lâminas de 555,7 e 506 mm, respectivamente.

Os resultados obtidos corroboram com a literatura que, em geral, relatam a ocorrência de redução no porte de plantas quando as mesmas são submetidas a déficit hídrico em comparação com as que se desenvolvem em condições adequadas de fornecimento de água. Tal fato se dá devido à redução da turgescência das células e de outros fatores envolvidos nos processos fisiológicos, uma vez que para existir alongamento celular são necessários níveis mínimos de turgescência celular (SANTOS *et al.*, 2012).

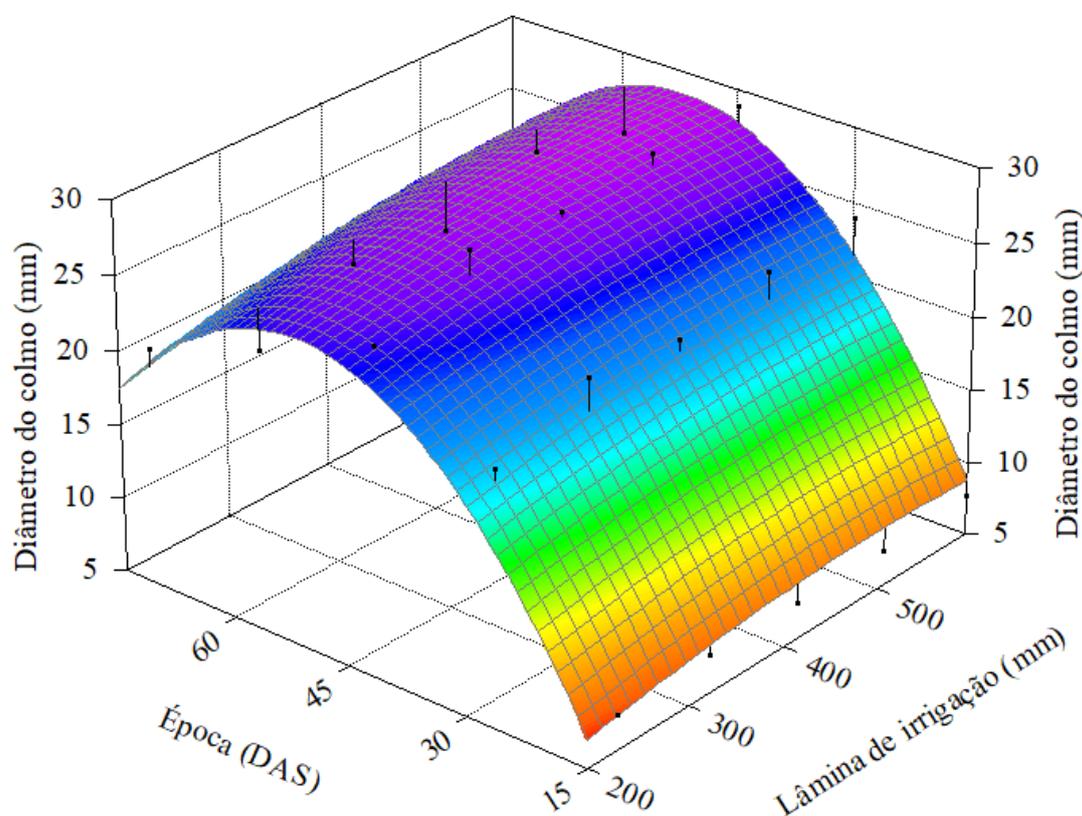
Também nesse sentido, Oliveira *et al.* (2014) afirmam que, com a redução da umidade do solo, que podem ser provocadas por lâminas de irrigação insuficientes, há também uma redução na absorção de água pelas raízes que afeta diversos processos fisiológicos da planta. Assim, o processo de fotossíntese é afetado devido ao fechamento estomático ocorrente do déficit hídrico, o que resulta em decréscimo de crescimento vegetativo, podendo chegar à paralisação do mesmo.

Na Figura 14 está representada a superfície de resposta e o modelo matemático para o diâmetro do colmo em função das lâminas de irrigação (mm) e das épocas de avaliação (DAS).

Pela Figura 14, observa-se que o modelo matemático que melhor se adequou para a resposta da variável foi do tipo polinomial quadrático. Por meio do modelo proposto pode-se estimar que o máximo valor para o diâmetro do colmo foi de 28,47 mm, para a maior lâmina aplicada (600 mm) aos 52 DAS. Esse valor é superior em 1,76% ao obtido com a lâmina de 100% da ETc (413 mm), também aos 52 DAS.

Ainda pelo modelo, pode-se inferir que o maior valor obtido é superior em 33,9% ao calculado para a lâmina de 600 mm aos 75 DAS, que foi de 21,24 mm. Tais observações, associadas aos coeficientes do modelo apresentado, evidenciam que o diâmetro do colmo foi mais fortemente influenciado pela época de avaliação quando comparado à lâmina de irrigação.

Figura 14 - Superfície de resposta para o diâmetro do colmo (mm) de plantas de milho, híbrido AG1051, em resposta às lâminas de irrigação (mm) e às épocas de avaliação (DAS), Iguatu, Ceará, 2017<sup>1</sup>



$$\begin{aligned} \text{Diâmetro} = & -15,1668^* + 0,0226(\text{Lam}) + 1,4272^{**}(\text{Epo}) - 0,000024(\text{Lam})^2 - 0,0141^{**}(\text{Epo})^2 + \\ & 0,0000837(\text{Lam})(\text{Epo}) \\ & R^2 = 0,9425 \end{aligned}$$

<sup>1</sup>(\*\*) significativo a 1% e (\*) 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

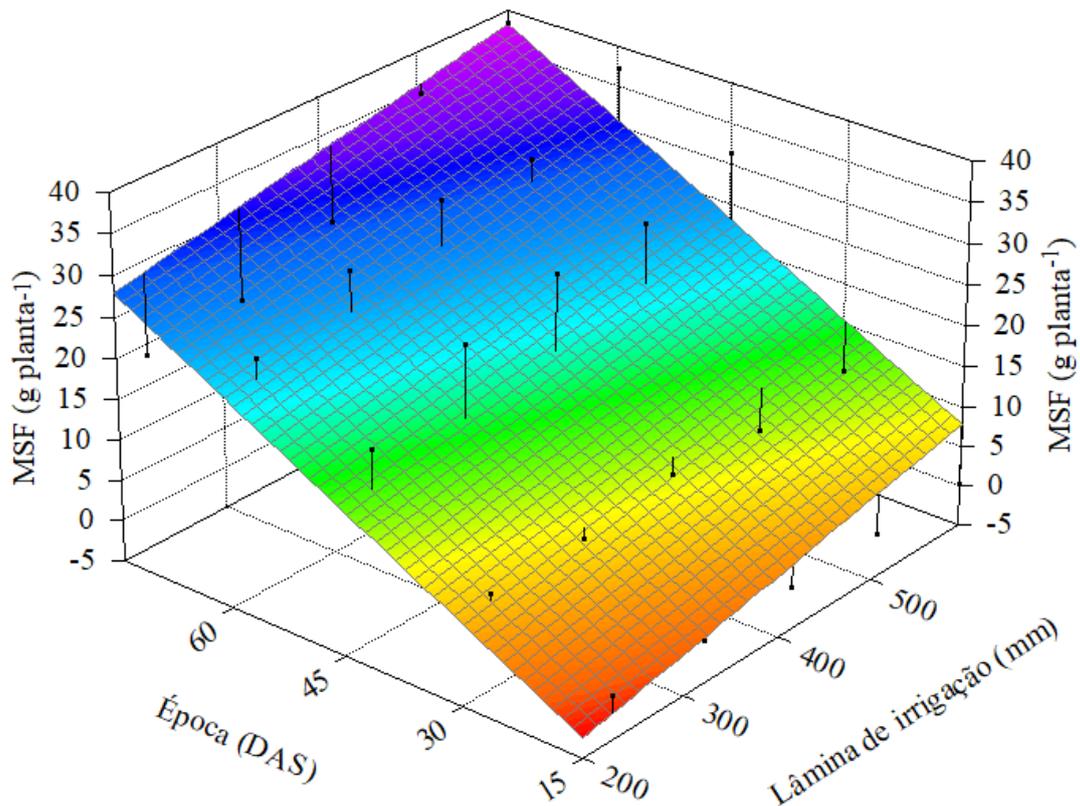
Diferente do resultado aqui encontrado, Oliveira *et al.* (2014) obtiveram resposta quadrática para o comportamento do diâmetro do colmo de plantas de milho em função de distintas lâminas de irrigação com base na evaporação diária de um mini tanque evaporimétrico em Itumbiara, GO, sendo que o maior valor observado foi de 26,76 mm para a lâmina de 150% da evaporação, valor este, abaixo do obtido no presente estudo.

Plantas de milho com maior diâmetro do colmo apresentam tendência a uma maior produtividade, uma vez que, esta variável é de grande importância para um maior rendimento de espigas, pois quanto maior seu diâmetro, maior será a capacidade de armazenamento de fotoassimilados pela planta, que irão contribuir para o desenvolvimento e produção das espigas (OLIVEIRA *et al.*, 2014). Um diâmetro do colmo maior ainda está relacionado com a resistência da planta ao acamamento ou quebra (KAPPES *et al.*, 2014).

Com relação à época de avaliação, a redução no diâmetro do colmo observada a partir dos 52 (DAS) deve estar relacionada à translocação dos fotoassimilados para a produção de grãos, fase em que a cultura demanda uma grande quantidade de água e de nutrientes (MAGALHÃES; DURÃES, 2006).

Na Figura 15 está representada a superfície de resposta e o modelo matemático para a massa seca das folhas em função das lâminas de irrigação (mm) e das épocas de avaliação (DAS).

Figura 15 – Superfície de resposta para a massa seca das folhas ( $\text{g planta}^{-1}$ ) de milho, híbrido AG1051, em resposta às lâminas de irrigação (mm) e às épocas de avaliação (DAS), Iguatu, Ceará, 2017<sup>1</sup>



$$\text{MSF} = -15,3362^{**} + 0,0259^{*}(\text{Lam}) + 0,5071^{**}(\text{Epo})$$

$$R^2 = 0,7758$$

<sup>1</sup>(\*\*) significativo a 1% e (\*) 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

Observa-se um ajuste do tipo linear crescente para a massa seca das folhas em relação aos fatores lâminas de irrigação e épocas de avaliação, com incremento unitário de  $0,0259 \text{ g planta}^{-1}$  para cada acréscimo unitário da lâmina de irrigação e  $0,5071 \text{ g planta}^{-1}$  para acréscimos unitários da época de avaliação. A maior MSF de  $38,25 \text{ g planta}^{-1}$  foi estimada para

a maior lâmina aplicada de 600 mm (equivalente a 150% da ETc) e na última época de avaliação, aos 75 DAS.

Pelo resultado obtido pode-se inferir mais uma vez que a lâmina relativa a 150% da ETc foi superior à lâmina de 100% da ETc, sendo que para essa última o valor estimado para a variável em questão (33,39 g planta<sup>-1</sup>) foi aos 75 DAS 12,7% inferior em comparação ao obtido para a maior lâmina.

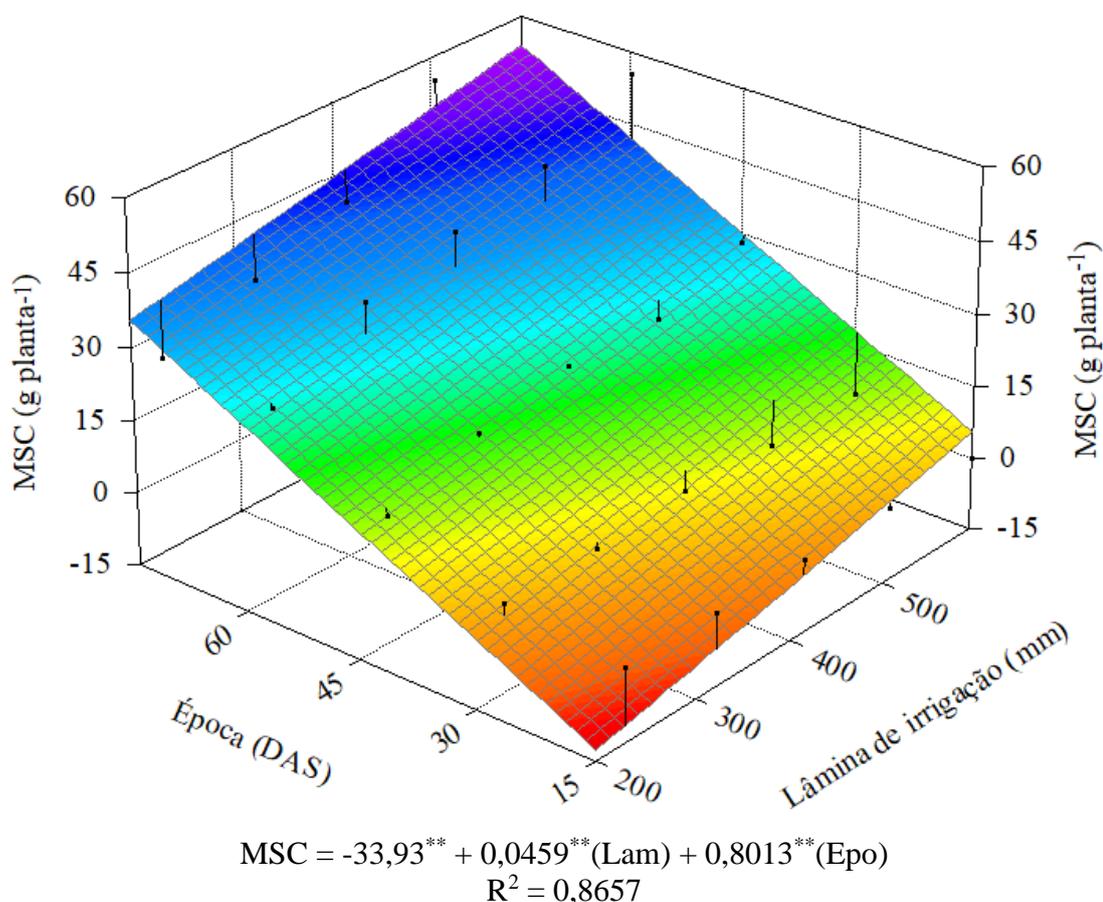
Em experimento com lâminas de irrigação na cultura do milho em Pombal, PB, Brito *et al.* (2013) também obtiveram resposta linear para a fitomassa das folhas das plantas de milho em função das lâminas aplicadas, obtendo os maiores valores para a maior lâmina avaliada de 854,6 mm referente a 120% da ETc. Os autores em questão destacam que a resposta linear obtida pode estar associada a limitação do Kc utilizado no estudo, podendo-se prever que estes são limitados para o cultivo de milho na região de estudo, fato esse que também pode ser afirmado com relação ao Kc descrito por Santos *et al.* (2014).

A resposta positiva da massa seca das folhas para os incrementos de lâminas em ambos os trabalhos está relacionada à tensão de turgor necessária para que haja fluxo de material orgânico na planta, uma vez que, com as células túrgidas, resultado de uma disponibilidade hídrica adequada, o produto da fotossíntese pode ser usado para transformar o CO<sub>2</sub> do ar em moléculas mais complexas que, depois de formadas, são conduzidas às células dreno por meio do floema utilizando a energia da pressão exercida pela solução, esse processo resulta então em crescimento e em formação de fitomassa pela planta (BRITO *et al.*, 2013; TAIZ *et al.*, 2017).

Para a massa seca do colmo, observando a Figura 16, onde está apresentada a superfície de resposta e o modelo matemático em função das lâminas de irrigação e da época de avaliação (DAS), constatou-se crescimento linear para a variável em função dos dois fatores estudados, com incrementos de 0,0459 e 0,8013 g planta<sup>-1</sup> para acréscimos unitários de mm de irrigação e DAS, respectivamente, atingindo o maior valor de 53,73 g planta<sup>-1</sup> para 600 mm de água (150% da ETc) e 75 DAS.

Comparando-se o valor da MSC obtido com o melhor tratamento de 150% da ETc aos 75 DAS (53,73 g planta<sup>-1</sup>) com o resultado estimado para a lâmina de 100% da ETc (45,12 g planta<sup>-1</sup>) observa-se que o mesmo foi superior em 19,02%, constatando-se mais uma vez que a lâmina de 100% da ETc obtida por meio dos valores de Kc propostos por Santos *et al.* (2014) não foi satisfatória para o máximo desempenho da cultura.

Figura 16 – Superfície de resposta para a massa seca do colmo ( $\text{g planta}^{-1}$ ) de milho, híbrido AG1051, em resposta às lâminas de irrigação (mm) e às épocas de avaliação (DAS), Iguatu, Ceará, 2017<sup>1</sup>

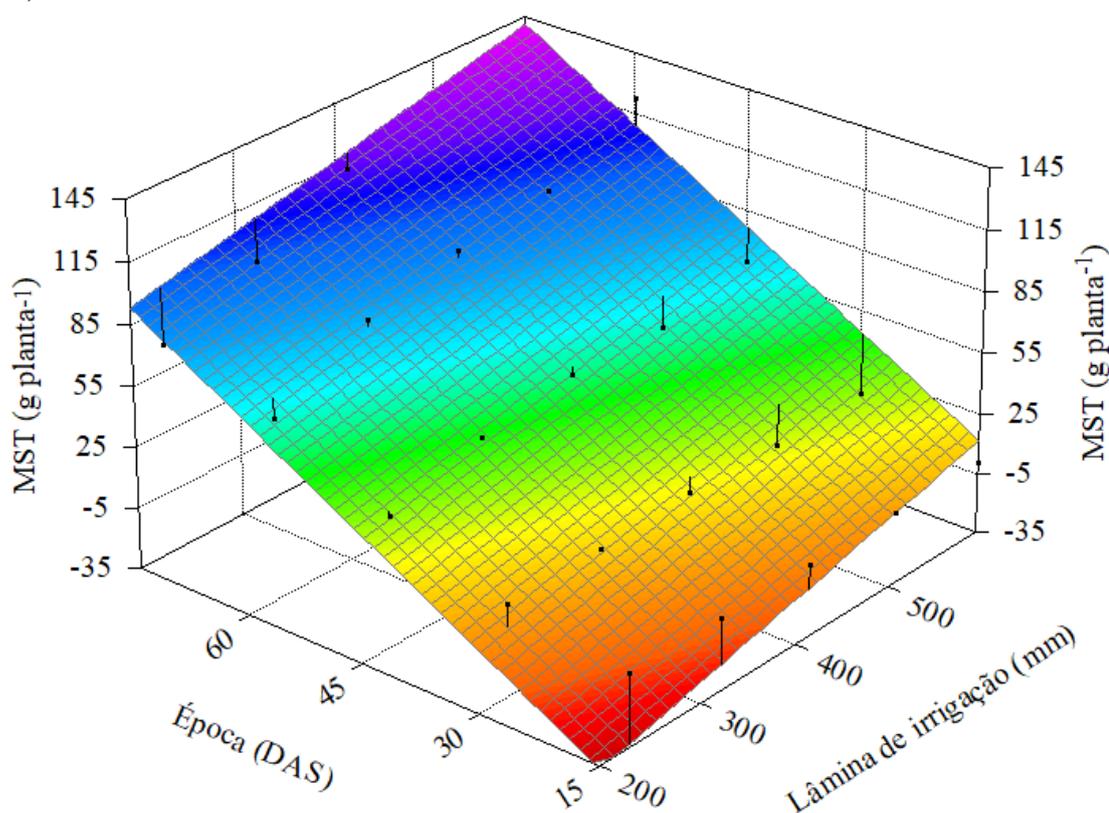


<sup>1</sup>(\*\*) significativo a 1% de probabilidade, pelo teste “t”.

Tal observação corrobora com a afirmação de que a demanda sazonal de água pelo milho, quantidade de água que o milho verde utiliza durante o ciclo, pode variar com as condições climáticas da região onde é cultivado. Tal fato é reforçado pelo presente estudo, pois mesmo utilizando-se valores de  $K_c$  obtidos para o mesmo híbrido e em condição climática semelhante, clima semiárido, a quantidade de água não foi suficiente para a demanda da mesma. Ressalta-se que, os períodos de florescimento e de enchimento de grãos são os mais críticos com relação à necessidade de água pela cultura de forma que estresse hídrico nessa fase pode causar diversos prejuízos para o agricultor, notadamente reduzindo o crescimento e a produtividade da cultura (NASCIMENTO *et al.*, 2015).

Na Figura 17 apresenta-se a superfície de resposta e o modelo matemático para a variável massa seca total em função das lâminas de irrigação (mm) e das épocas de avaliação (DAS).

Figura 17 – Superfície de resposta para a massa seca total (g planta<sup>-1</sup>) de milho, híbrido AG1051, em resposta às lâminas de irrigação (mm) e às épocas de avaliação (DAS), Iguatu, Ceará, 2017<sup>1</sup>



$$\text{MST} = -93,1179^{**} + 0,1207^{**}(\text{Lam}) + 2,1547^{**}(\text{Epo})$$

$$R^2 = 0,8614$$

<sup>1</sup>(\*\*) significativo a 1% de probabilidade, pelo teste “t”.

Seguindo o comportamento das variáveis anteriores, a MST também apresentou crescimento linear em função dos dois fatores estudados, com incrementos de 0,1207 e 2,1547 g planta<sup>-1</sup> para acréscimos unitários de mm de irrigação e DAS, respectivamente, até atingir o maior valor obtido de 140,96 g planta<sup>-1</sup> para 600 mm de água e 75 DAS, valor esse superior em 19,07% com relação ao obtido para a lâmina de 100% da ETc na mesma época de avaliação.

O desenvolvimento satisfatório de espécies vegetais em virtude do acúmulo de massa seca oriundo da síntese de carboidratos está condicionado à existência dos fatores água e luz de forma adequada para os vegetais (RODRIGUES; URCHEI, 1994). Tal afirmação é evidenciada nesse estudo, pela resposta obtida para todas as variáveis vegetativas, onde o aumento da oferta hídrica favoreceu o desenvolvimento da cultura, contudo não chegando a resposta máxima, provavelmente em função das lâminas aplicadas não terem suprido totalmente a necessidade vegetal.

O incremento da disponibilidade hídrica, de forma adequada, também está associado ao aumento da absorção de nitrogênio, fato que contribui de forma substancial para o aumento linear da biomassa de plantas de milho (CAMPELO *et al.*, 2019).

Em experimento com a cultura do milho verde, em Pombal, Paraíba, Brito *et al.* (2013), ao avaliarem os aspectos fisiológicos das plantas, observaram que as lâminas de irrigação avaliadas influenciaram principalmente a fotossíntese (A), a condutância estomática (gs), a transpiração (E) e a eficiência intrínseca da carboxilação (A/Ci), tendo os autores obtido resposta linear crescente para A, gs e A/Ci. Os autores ainda acrescentam que a variável fisiológica mais sensível ao estresse hídrico foi a condutância estomática. Assim, sob condição de estresse, a planta tende a fechar os seus estômatos, fato que vem a refletir na formação de carboidratos por meio da fotossíntese e no acúmulo em fitomassa na planta, como observado no presente estudo.

Por outro lado, quando a planta está submetida a uma melhor disponibilidade hídrica no solo, o fluxo de seiva pelos vasos se torna facilitado, gerando um maior fluxo de seiva para a parte aérea, com conseqüente maior fluxo de água para a atmosfera e assim uma maior assimilação de CO<sub>2</sub>. Dessa forma, a planta pode transformar CO<sub>2</sub> em moléculas orgânicas, a serem usadas nas demandas do vegetal (TAIZ *et al.*, 2017). Assim, com uma melhor disponibilidade hídrica, presume-se maior produção de compostos orgânicos que proporcionaram um maior crescimento para as plantas de milho verde com aumento da massa seca total.

No resumo da análise de variância, para o diâmetro e o comprimento da espiga de milho verde sem palha (DESP e CESP), a massa da espiga de milho verde com palha (MECP) e sem palha (MESP) e a produtividade de milho verde (PROD), em função dos fatores lâminas de irrigação e doses de silício, pode-se verificar que somente houve efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade para o fator lâminas de irrigação, tendo as doses de silício e a interação entre os fatores não apresentado efeito significativo pelo teste F (Tabela 9).

Tabela 9. Resumo da análise de variância para diâmetro e comprimento da espiga de milho verde sem palha (DESP e CESP), massa da espiga de milho verde com palha (MECP) e sem palha (MESP) e produtividade de milho verde (PROD) em função de lâminas de irrigação (L) e doses de silício (Si), Iguatu, Ceará, 2017

FV	GL	Quadrado médio				
		DESP	CESP	MECP	MESP	PROD
Blocos	3	41,05 <sup>ns</sup>	34,15 <sup>*</sup>	2543,16 <sup>*</sup>	1163,70 <sup>*</sup>	6357929,96 <sup>*</sup>
Lâmina (L)	4	1079,88 <sup>**</sup>	122,16 <sup>**</sup>	57942,14 <sup>**</sup>	28504,72 <sup>**</sup>	144855404,71 <sup>**</sup>
Resíduo a	12	19,69	9,37	552,11	279,42	1380289,14
Silício (Si)	3	27,76 <sup>ns</sup>	6,06 <sup>ns</sup>	1661,80 <sup>ns</sup>	559,24 <sup>ns</sup>	4154515,83 <sup>ns</sup>
L x Si	12	18,38 <sup>ns</sup>	7,72 <sup>ns</sup>	603,50 <sup>ns</sup>	375,49 <sup>ns</sup>	1508751,16 <sup>ns</sup>
Resíduo b	45	32,43	9,35	1000,37	599,64	2500928,68
Total	79	-	-	-	-	-
CV - L (%)	-	14,09	22,06	17,56	19,55	17,56
CV - Si (%)	-	18,09	22,03	23,63	28,65	23,63

\*\* significativo a 1% pelo teste F; \* significativo a 5% pelo teste F; (ns) não significativo pelo teste F. FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade.

Na Figura 18, pode-se observar o comportamento do diâmetro da espiga de milho sem palha em função das lâminas de irrigação. Constata-se um comportamento linear crescente para incrementos na lâmina de irrigação aplicada, sendo que o maior valor obtido para a variável foi de 41,16 mm para a maior lâmina avaliada, de 600 mm (150% da ETc). Tal valor é 31,01 % superior ao obtido para a lâmina recomendada de 413 mm, que equivaleu a 100% da ETc. Ainda pelo modelo, observa-se que cada incremento unitário de mm de irrigação agrega um aumento de 0,0521 mm no diâmetro da espiga de milho verde sem palha.

Para a variável comprimento da espiga sem palha, pode-se observar na Figura 19, que o comportamento foi linear crescente em função das lâminas de irrigação, com o maior valor obtido de 17,04 cm para a lâmina de 600 mm (150% da ETc). O maior valor obtido foi superior em 22,93% ao proporcionado pela lâmina de 100% da ETc (413 mm), tendo sido observado incremento unitário de 0,017 cm no comprimento da espiga para cada adição unitária de mm de irrigação.

Semelhante ao observado no presente estudo, Blanco *et al.* (2011) em experimento com a cultura do milho verde, híbrido AG-1051, consorciada com o feijão caupi sob lâminas de irrigação e doses de fósforo em Teresina, PI também observaram respostas lineares positivas para as variáveis diâmetro e comprimento da espiga de milho verde em função das lâminas aplicadas. Cabe destacar que os autores em questão obtiveram os maiores valores para as variáveis diâmetro e comprimento da espiga de 5,4 cm e 24,7 cm, respectivamente, contudo tais valores foram relativos à espiga com palha.

Figura 18 – Diâmetro da espiga de milho verde, híbrido AG1051, sem palha em resposta às lâminas de irrigação (mm), Iguatu, Ceará, 2017

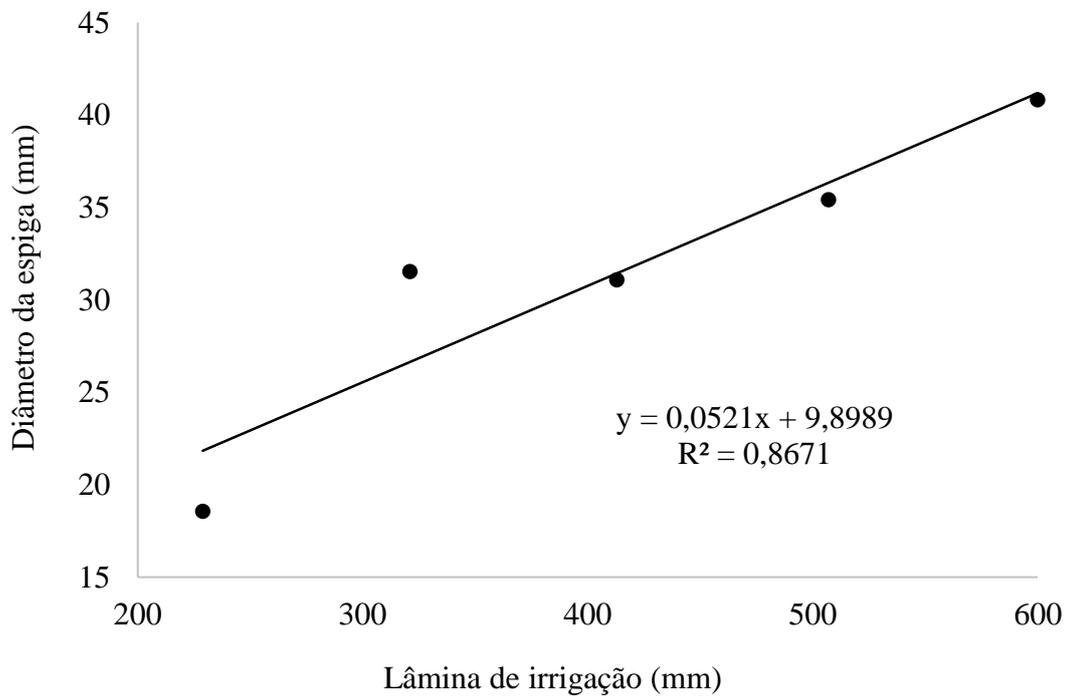
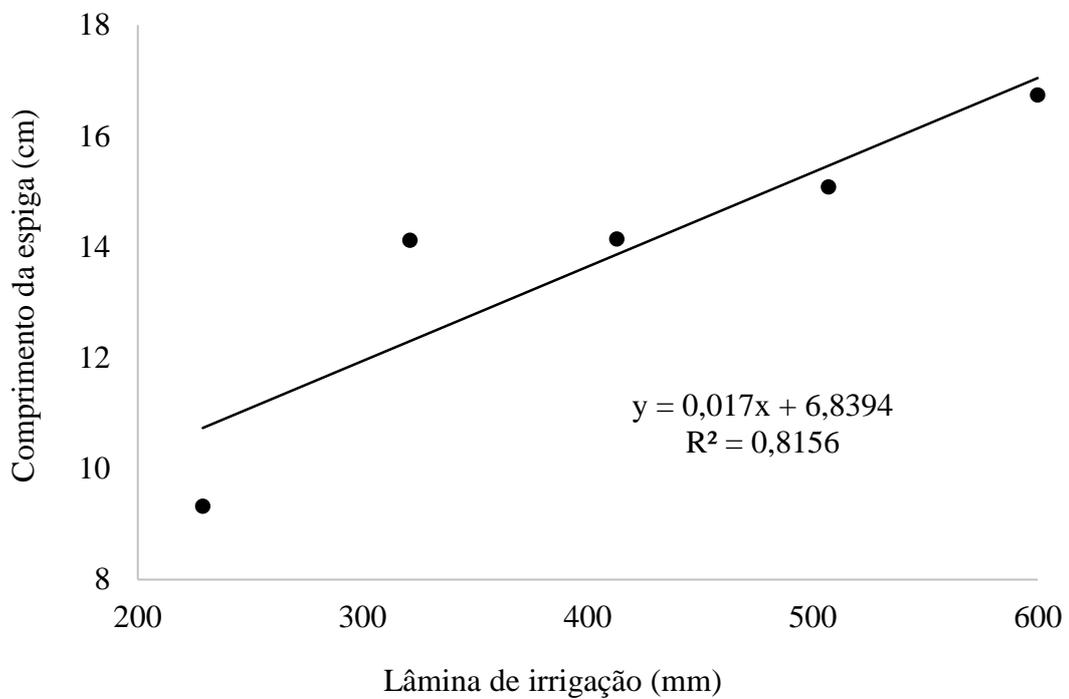


Figura 19 – Comprimento de espigas de milho verde, híbrido AG1051, sem palha em resposta às lâminas de irrigação (mm), Iguatu, Ceará, 2017



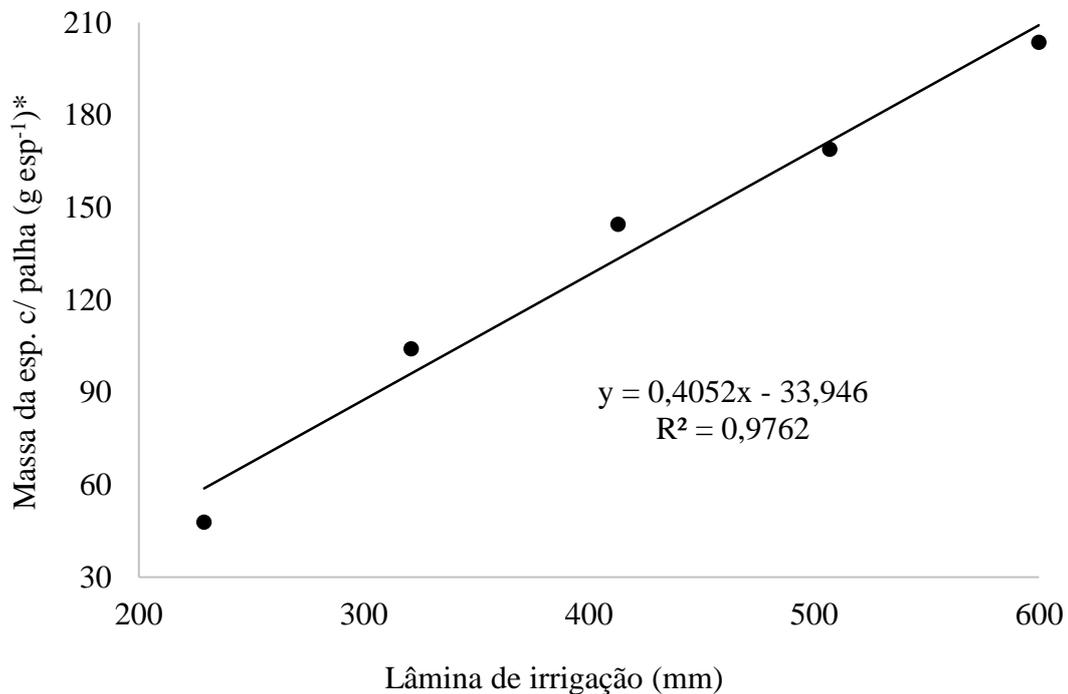
Analisando os componentes de produtividade do milho verde em função de diferentes regimes hídricos, também em Teresina, PI e com híbrido AG-1051, Nascimento *et al.* (2017) obtiveram respostas lineares positivas para as variáveis diâmetro e comprimento da espiga com e sem palha em função do aumento da disponibilidade hídrica para a cultura. Os autores avaliaram cinco lâminas de irrigação a partir de 25% da ETo em intervalos regulares até 125% da ETo, variando de 165,51 mm a 340,57 mm de água aplicados ao longo do ciclo da cultura.

Tais resultados, evidenciam a forte dependência das características das espigas de milho verde do híbrido AG-1051 em relação a aplicação de água, sendo que essa resposta, apesar de ter se mostrado como comportamento positivo aos incrementos de irrigação, tem sua amplitude variável, haja visto que os comportamentos aqui apresentados foram obtidos para diferentes intervalos de lâminas de irrigação avaliados pelos diferentes pesquisadores.

Na Figura 20, tem-se a variação da massa da espiga de milho com palha em função das lâminas de irrigação. Pelo modelo linear crescente, obtido para incrementos na lâmina de irrigação aplicada, estimou-se o maior valor alcançado para a variável de 209,2 g esp<sup>-1</sup> para a maior lâmina avaliada de 600 mm (150% da ETc). Esse valor é 56,8 % superior ao obtido para a lâmina recomendada de 413 mm, que equivale a 100% da ETc. O incremento unitário na variável para cada mm de irrigação aplicado foi de 0,4052 g esp<sup>-1</sup>.

A massa de espigas de milho trata-se de um fator importante para a cultura do milho, uma vez que, dentre os caracteres de maior importância pesquisados por Liao *et al.* (2014), a massa da espiga de milho se destacou por contribuir positivamente para o rendimento de grãos. Tal fato também foi observado por Bocanski *et al.* (2009), quando os autores observaram efeitos significativos da massa da espiga para o rendimento de grãos destacando a importância desse para a produtividade da cultura.

Figura 20 – Massa da espiga de milho com palha, híbrido AG1051, em resposta às lâminas de irrigação (mm), Iguatu, Ceará, 2017



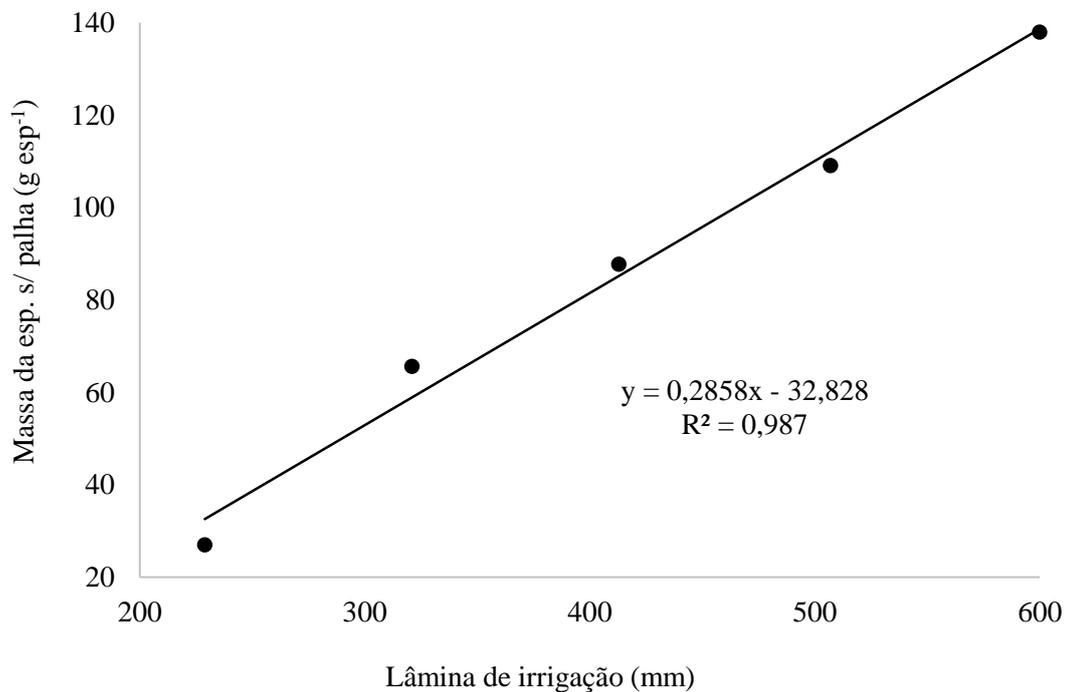
\* g esp<sup>-1</sup> – gramas por espiga

A variação da massa da espiga sem palha apresentada na Figura 21 seguiu o padrão de resposta das demais variáveis, tendo sido constatado também efeito linear positivo das lâminas de irrigação. Pelo modelo estimou-se que o maior valor obtido para a variável foi de 138,7 g esp<sup>-1</sup> para a maior lâmina avaliada de 600 mm (150% da ETc), valor esse superior em 61,72% ao obtido para a lâmina recomendada de 413 mm que equivale a 100% da ETc. O incremento unitário na variável para cada mm de irrigação aplicado foi de 0,2858 g esp<sup>-1</sup>.

Em Chapadão do Sul, MS, Souza *et al.* (2016), avaliando o comportamento de milho verde em função de lâminas de irrigação de 50 a 125% da ETc, obtiveram comportamento quadrático para a variável peso da espiga sem palha com valor máximo de 244 g esp<sup>-1</sup> para uma lâmina de 87,8% da ETc.

Tais observações, apontam para a importância de se estimar a correta lâmina de irrigação para cultura a fim de elevar a massa das espigas, tendo em vista que incrementos nessa variável serão responsáveis por incrementos de produtividade, tendo ainda mais relevância devido à forte dependência pelo incremento de água constatado por meio das respostas lineares obtidas.

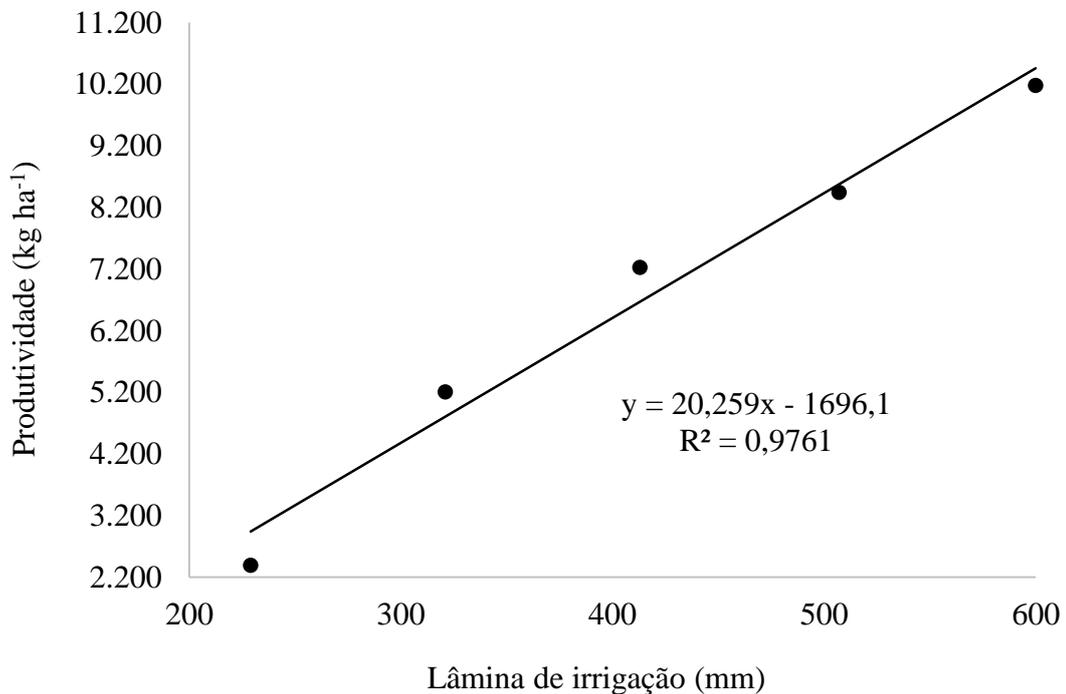
Figura 21 – Massa da espiga de milho sem palha, híbrido AG1051, em resposta às lâminas de irrigação (mm), Iguatu, Ceará, 2017



Por fim, para a produtividade da cultura do milho verde, semelhante as demais variáveis, também foi observado comportamento linear crescente com o maior valor obtido de 10.459,3 kg ha<sup>-1</sup>, quando se aplicou a maior lâmina avaliada de 600 mm (150% da ETc) (Figura 22). Esse valor é superior em 56,8% ao obtido quando se aplicou a lâmina recomendada de 413 mm, equivalente a 100% da ETc. O incremento unitário na variável para cada mm de irrigação aplicado foi de 20,259 kg ha<sup>-1</sup>.

Semelhantemente, com a cultivar BRS Gorutuba em Petrolina, PE, Melo *et al.* (2018) obtiveram resposta linear para a produtividade de espigas verdes (9.187,2 kg ha<sup>-1</sup>) em função de lâminas de irrigação, que variaram de 30 a 120% da ETc (559,41 mm). Segundo os autores, a resposta positiva do milho está relacionada ao fato de que a disponibilidade hídrica favorece a absorção de nutrientes pelas plantas, devido ao adequado fluxo de água absorvido pela planta. Contudo, semelhante ao observado nessa pesquisa, não foi possível para os autores extraírem a máxima resposta da cultura, possivelmente pelos valores de Kc utilizados que foram diferentes dos aqui praticados. Vale destacar que os valores de produtividade e da lâmina aplicada foram inferiores aos avaliados nessa pesquisa.

Figura 22 – Produtividade de milho verde, híbrido AG1051, em resposta às lâminas de irrigação (mm), Iguatu, Ceará, 2017



Avaliando a resposta do milho verde AG1051 a lâminas de irrigação e doses de potássio, no estado da Paraíba, onde avaliaram lâminas variando de 25 a 150% da ET<sub>pc</sub>, Dantas Júnior *et al.* (2016) obtiveram comportamento quadrático para a produtividade de espigas despalhadas com produtividade máxima de 11,34 t ha<sup>-1</sup> para uma lâmina de 660 mm, equivalente a 125% da ET<sub>pc</sub> e dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de potássio. Tal comparativo evidencia que os autores em questão obtiveram produtividade maior que a encontrada nesse trabalho, contudo utilizando uma quantidade de água superior, mesmo essa sendo referente a uma menor porcentagem da ET<sub>pc</sub>. Assim, sugere-se que o aumento da lâmina aplicada provavelmente elevará a produtividade da cultura do milho na região aqui estudada, evidenciando, mais uma vez, que os valores de K<sub>c</sub> utilizados não estão adequados para as condições de cultivo empregadas.

Também em experimento com lâminas de irrigação na cultura do milho verde (híbrido AG1051) em Teresina, PI, Nascimento *et al.* (2015), ao avaliarem lâminas de 25 a 125% da ET<sub>o</sub>, obtiveram resposta linear positiva para a produtividade de espigas, tendo os autores obtido produtividade de 8.465,62 kg ha<sup>-1</sup> para a lâmina de 125% da ET<sub>o</sub> (340,57 mm). Semelhante ao apresentado anteriormente para Melo *et al.* (2018), observa-se que a produtividade obtida e sua respectiva lâmina aplicada foram inferiores aos obtidos nessa pesquisa.

Corroborando com as respostas dos autores apresentados, o comportamento da produtividade aqui obtido evidencia a forte dependência da cultura do milho verde a disponibilidade adequada de água. Tal observação, também foi constatada por Reis (2018), em experimento com o milho verde, híbrido AG 1051, em Fortaleza, CE, onde a autora obteve resposta linear crescente para a produtividade de espigas, em função de incrementos na ETc de 25% até 150%, atingindo uma produtividade de espigas despalhadas de 2.109,20 kg ha<sup>-1</sup> para a maior lâmina de 537,81 mm, tendo assim, concluído que a produtividade da cultura depende do volume de água aplicado, respondendo de forma crescente à medida que esse volume aumenta, sendo essa maior produtividade também responsável pelo maior retorno econômico.

O maior armazenamento de água para a cultura nas maiores lâminas de irrigação proporciona uma redução do estresse devido ao déficit hídrico no período de formação e de desenvolvimento das espigas, fato que, resulta em incremento na produtividade da cultura (OLIVEIRA, *et al.*, 2017). O aumento da produtividade nas maiores lâminas de irrigação pode ser explicado devido a maior disponibilidade de água no solo proporcionar também um maior desenvolvimento foliar, que como consequência proporciona uma maior produção de fotoassimilados, gerando, portanto, maior produção de espigas. De modo contrário, a queda de produção para as menores lâminas, está associada ao déficit hídrico que provoca o fechamento das folhas e, conseqüentemente, dos estômatos como estratégia de redução de perda de água, fato que também proporciona menores produções de fotoassimilados (REIS, 2018).

A resposta linear obtida para todas as variáveis estudadas em função das lâminas de irrigação, mostram que para a região de estudo, a quantidade de água aplicada ficou abaixo da adequada para a obtenção do melhor desempenho da cultura (híbrido AG 1051). Em consequência, devem ser avaliados valores de porcentagem da ETc acima dos que foram analisados nesta pesquisa, para que se atinja o ponto de inflexão das respostas das variáveis a fim de corrigir os valores de Kc para difusão e uso na região, proporcionando uma melhor alternativa de manejo da irrigação para que seja adequado as condições locais.

## 12 CONCLUSÕES

O crescimento vegetativo da cultura do milho verde mostrou-se influenciável pelas lâminas de irrigação aplicadas e as diferentes épocas de avaliação, ao longo do ciclo cultural, com respostas lineares, sendo encontrado os maiores valores para a maior lâmina avaliada, de 600 mm, equivalente a 150% da ETc, e na última época de avaliação da cultura, aos 75 dias após a semeadura, com exceção do diâmetro do colmo que se comportou de forma quadrática para o fator época com o máximo valor aos 52 dias após a semeadura.

As lâminas de irrigação influenciaram positivamente a produção da cultura do milho verde, com a lâmina de irrigação de 600 mm, equivalente a 150% da ETc, proporcionando os maiores valores para as variáveis produtivas analisadas.

A aplicação foliar de silício não proporcionou efeito benéfico para a cultura do milho verde, não tendo proporcionado redução do consumo de água pela cultura, nem incrementos de produtividade, uma vez que não influenciou as variáveis avaliadas.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL). **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília: ANA, 2017. 86 p.
- AGUIAR, R. A. DE; SILVEIRA, P. M. DA; MOREIRA, J. A. A.; WANDER, A. E. Análise econômica de diferentes práticas culturais na cultura do milho (*Zea mays* L.). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, n. 4, p. 241-248, 2008.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; PAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 328 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- AZEVEDO, B. M. de; FERNANDES, C. N. V.; VASCONCELOS, D. V.; GARCIA, A. C.; FIGUEREDO JÚNIOR, L. G. M. de; VIANA, T. V. de A. Irrigation depths and yield response factor in zucchini cultivation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Fortaleza, v.22, n.6, p.401-406, 2018.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2009. 625p.
- BEZERRA, R. U.; VIANA, T. V. de A.; AZEVEDO, B. M. de; PEREIRA FILHO, J. V.; LIMA, A. D. Produção e qualidade da abóbora maranhão sob influência de lâminas de irrigação e doses de nitrogênio. **Irriga**, Botucatu, v.25, n.1, p.87-101, 2020.
- BLANCO, F. F.; CARDOSO, M. J.; FREIRE FILHO, F. R.; VELOSO, M. E. da C.; NOGUEIRA, C. C. P.; DIAS, N. da 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.
- BOCANSKI, J.; SREČKOV, Z.; NASTASIĆ, A. Genetic and phenotypic relationship between grain yield and components of grain yield of maize (*Zea mays* L.). **Genetika**, [s.l], v.41, n.2, p.145-154, 2009.
- BRITO, M. E. B.; ARAÚJO FILHO, G. D. de; WANDERLEY, J. A. C.; MELO, A. S. de; COSTA, F. B. da; FERREIRA, M. G. P. Crescimento, fisiologia e produção do milho doce sob estresse hídrico. **Bioscienc Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 5, p. 1244-1254, 2013.
- CAMPELO, D. H.; TEIXEIRA, A. dos S.; MOREIRA, L. C. J.; LACERDA, C. F. de. Growth, production and water and nitrogen use efficiency of maize under water depths and nitrogen fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 23, n. 10, p. 747-753, 2019.
- CARMO, M. S. do; CRUZ, S. C. S.; SOUZA, E. J. de; CAMPOS, L. F. C.; MACHADO, C. G. Doses e fontes de nitrogênio no desenvolvimento e produtividade da cultura de milho doce (*Zea mays* convar. saccharata var. rugosa). **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, Supplement 1, p. 223-231, Mar. 2012.
- COELHO, A. M. **Nutrição e adubação do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 10 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 78). Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/490410/1/Circ78.pdf>. Acesso em: 16 de mar. 2018.

DANTAS JUNIOR, E. E.; CHAVES, L. H. G.; FERNANDES, J. D. Lâminas de irrigação localizada e adubação potássica na produção de milho verde, em condições semiáridas. **Revista Espacios**, [s.l], v.37, n.27, p.26, 2016.

KAPPES, C.; ARF, O.; BEM, E. A. D.; PORTUGAL, J. R.; GONZAGA, A. R. Manejo do nitrogênio em cobertura na cultura do milho em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [s.l], v.13, n.2, p. 201-217, 2014.

LIAO, C. Study on two agronomic traits associated with kernel weight in a maize RIL segregation population. In: LI, S., JIN, Q., JIANG, X., PARK, J.H. (Eds.) **Frontier and Future Development of Information Technology in Medicine and Education**. Netherlands: Springer Netherlands, 2014. Cap.79, p. 811-817..

LIMA, M. de A.; CASTRO, V. F. de C.; VIDAL, J. B.; Enéas Filho, J. Aplicação de silício em milho e feijão-de-corda sob estresse salino. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 42, n. 2, p. 398-403, 2011.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Fisiologia da produção do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 10p. Circular Técnica n.76.

MELO, R. F. de; OLIVEIRA, A. R. de; SIMÕES, W. L.; SANTOS, M. L. de S. Desenvolvimento e produtividade do milho brs gorutuba sob diferentes lâminas de irrigação e adubação orgânica. **Revista Científica Intellecto**, Venda Nova do Imigrante, v.3, n.1, p.1-14, 2018.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Manejo da irrigação em hortaliças**. 5. ed. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI: EMBRAPA-CNPQ, 1996. 72 p.

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

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

OLIVEIRA, D. B. de; MELO, M. R. M. de; CARDOSO, J. A. E.; LAMBERT, R. A. Avaliação fisiológica do milho (*Zea mays*) sob diferentes lâminas de irrigação, no município de Itumbiara – GO. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.10, n.18, p.585-591, 2014.

OLIVEIRA, F. C. C.; PEDROTTI, A.; FELIX, A. G. S.; SOUZA, J. L. S.; HOLANDA, F. S. R.; JUNIOR, A. V. M. Características químicas de um argissolo e a produção de milho verde nos tabuleiros costeiros sergipanos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 12, n. 3, p. 354-360, 2017.

PEREIRA FILHO, I. A.; VASCONCELOS, C. A.; CRUZ, J. C. Adubação para o Cultivo do Milho Verde. In: PEREIRA FILHO, I. A. (Ed.). **O Cultivo do milho-verde**. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2003. p. 68-79.

REIS, M. A. M. dos. **Sistemas de preparo do solo associado à diferentes lâminas de irrigação na cultura do milho**. 2018. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

ROCHA JUNIOR, A. F.; MOUSINHO, F. E. P.; SOARES, C. A.; GOMES, E. R.; VELOSO, M. E. da C.; SALVIANO, A. A. C. Resposta produtiva do meloeiro sob diferentes lâminas de água e doses de nitrogênio. **Científica**, Jaboticabal, v.44, n.2, p.217-225, 2016.

SANTOS, D. dos; GUIMARÃES, V. F.; KLEIN, J.; FIOREZE, S. L.; MACEDO JÚNIOR, E. K. Cultivares de trigo submetidas a déficit hídrico no início do florescimento, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.8, p.836–842, 2012.

SANTOS, J. C. N.; ANDRADE, E.M.; MEDEIROS, P. H. A.; GUERREIRO, M. J. S.; PALÁCIO, H. A. Q. Land use impact on soil erosion at different scales in the Brazilian semi-arid. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.48, p.251-260, 2017.

SANTOS, W. de O.; SOBRINHO, J. E.; MEDEIROS, J. F. de; MOURA, M. S. B. de; NUNES, R. L. C. Coeficientes de cultivo e necessidades hídricas da cultura do milho verde nas condições do semiárido brasileiro. **Irriga**, Botucatu, v.19, n.4, p. 559-572, 2014.

SEMENTES AGROCERES. **Guia de híbridos**. [s.l], 2014 Disponível em: <http://www.sementesagrocere.com.br/pages/ManuaisTecnicos.aspx>. Acesso em: 03 jun. 2017.

SILVA, J. N. da; SILVA, J. L. de S.; SOUZA, L. C. de; SIQUEIRA, J. A. M.; NEVES, M. G.; OLIVEIRA, L. M. de; COELHO, C. C. R.; CONCEIÇÃO, A. G. C. da; NETO, C. F. de O. **Conteúdo Relativo de Água, Transpiração e Condutância Estomática em Folhas de Sorgo Submetidas ao Estresse Hídrico e a Diferentes Concentrações de Silício**. Congresso nacional de milho e sorgo - Águas de Lindóia - 26 a 30 de Agosto de 2012.

SOUZA, E. J. de; CUNHA, F. F. da; MAGALHÃES, F. F.; SILVA, T. R. da; SANTOS, O. F. dos. Características da espiga do milho doce produzido sob diferentes lâminas de irrigação e doses nitrogenadas. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v.24, n.1, p.50-62, 2016.

SOUZA FILHO, A. L.; OLIVEIRA, F. H. T; PRESTON, W.; SILVA, G. F.; CARVALHO, S. L. Nitrogen and phosphate fertilizer on green corn grown in succession to the melon crop. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v.34, n.3, p.392-397, 2016.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.

URCHEI, M. A.; RODRIGUES, J. D. Efeitos de potenciais de água no solo, em diferentes estádios fenológicos da cultura da cevada (*Hordeum vulgare* L.). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.51, p.533-540, 1994.

### 13 CAPÍTULO 3 - INTERAÇÃO ENTRE DOSES DE NITROGÊNIO E DE POTÁSSIO, APLICADAS VIA FERTIRRIGAÇÃO, NA CULTURA DO MILHO VERDE

#### RESUMO

O nitrogênio (N) é o nutriente mais exigido pela cultura do milho, limitando o crescimento e o rendimento de grãos e afetando a produtividade da cultura. O potássio (K) exerce influência positiva na massa individual de grãos e no número de grãos por espiga, gerando um grande impacto na qualidade da cultura. Entretanto, a interação entre diferentes doses de nutrientes minerais essenciais pode reforçar, diminuir, mascarar, ou, mesmo, reverter às respostas dos vegetais a um determinado nutriente. Em consequência, o objetivo desta pesquisa foi estudar os efeitos da interação doses de nitrogênio *versus* doses de potássio, fertirrigadas, na cultura do milho, visando à produção de espigas verdes. Para isso, foi conduzido experimento de campo, em área pertencente ao IFCE, Campus Iguatu, Ceará, sob delineamento em blocos ao acaso, no esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As doses de nitrogênio e de potássio corresponderam a 0; 50; 100 e 200% da recomendada. As variáveis de crescimento analisadas foram: a altura da planta, o diâmetro do colmo, a massa seca das folhas, a massa seca do colmo e a massa seca total; e as produtivas: o diâmetro da espiga sem palha, o comprimento da espiga sem palha, a massa da espiga com palha, a massa da espiga sem palha e a produtividade. As doses de nitrogênio e as diferentes épocas influenciaram significativamente as variáveis de crescimento vegetativo estudadas com resposta linear para ambos os fatores estudados, sendo os melhores valores obtidos para a maior dose avaliada de 340 kg ha<sup>-1</sup> e aos 75 dias após a semeadura, com exceção do diâmetro do colmo que se comportou de forma quadrática para o fator época com o máximo valor aos 52 dias após a semeadura. As doses de nitrogênio influenciaram positivamente a produção da cultura do milho verde, com a maior dose avaliada de 340 kg ha<sup>-1</sup> proporcionando os maiores valores para as variáveis produtivas analisadas. As recomendações de adubação utilizadas nesse estudo devem ser melhor avaliadas e ajustadas para o híbrido AG1051, a fim de promover uma adubação mais eficiente para a cultura na região de estudo.

**Palavras chave:** *Zea mays* L. Fertirrigação. Crescimento.

### CHAPTER 3 - INTERACTIONS BETWEEN NITROGEN AND POTASSIC FERTILIZERS IN GREEN CORN CROP

#### ABSTRACT

Nitrogen (N) is the most required nutrient for maize crops, limiting grain growth and yield and affecting crop productivity. Potassium (K) has a positive influence on the individual grain mass and the number of grains per ear, generating a great impact on the quality of the crop. However, the interaction between different doses of essential mineral nutrients can reinforce, decrease, mask, or even reverse the responses of vegetables to a given nutrient. As a consequence, the general objective of this research was to study the effects of the interaction of nitrogen doses versus potassium doses, fertigated, on the corn crop, aiming at the production of green ears. To this end, a field experiment was conducted in an area belonging to IFCE, Campus Iguatu, Ceará, from August to November 2017, under a randomized block design, in a split plot scheme, with four replications. The nitrogen and potassium doses corresponded to 0; 50; 100 and 200% of the recommended. The growth variables analyzed were: plant height, stem diameter, leaf dry mass, stem dry mass and total dry mass; and productive ones: the diameter of the ear without straw, the length of the ear without straw, the mass of the ear with straw, the mass of the ear without straw and productivity. Nitrogen doses and different seasons significantly influenced the vegetative growth variables studied with a linear response to both factors studied, with the best values obtained for the highest evaluated dose of 340 kg ha<sup>-1</sup> and 75 days after planting, with exception of the stem diameter that behaved in a quadratic way for the season factor with the maximum value at 52 days after planting. The nitrogen doses positively influenced the production of the green corn crop, with the highest evaluated dose of 340 kg ha<sup>-1</sup> providing the highest values for the analyzed productive variables. The fertilization recommendations used in this study should be better evaluated and adjusted for the AG1051 hybrid, in order to promote a more efficient fertilization for the crop in the study region.

**Keywords:** *Zea mays* L. Fertigation. Growth.

## 14 INTRODUÇÃO

Interação é a influência, o efeito ou a ação recíproca de um nutriente na concentração de outro, em função da proporção entre eles, das cultivares, das espécies, e do estágio de desenvolvimento do vegetal, que reflete no crescimento, na produção da cultura ou na qualidade da sua fração de interesse econômico colhida (LOPES *et al.*, 2007; PRADO, 2008).

A interação entre nitrogênio (N) e potássio (K) interferem significativamente nos processos de absorção, transporte, redistribuição e metabolismo, com reflexos altamente positivos no desenvolvimento das plantas (FARINELLI *et al.*, 2004). Estes nutrientes seguem a Lei do Mínimo, onde mesmo o N sendo aplicado em quantidade suficiente a promover a elevação da produção, é limitado pelos baixos teores de K aplicados ao solo, e vice-versa (MARSCHNER, 2005). Assim, a interação entre diferentes doses de nutrientes minerais essenciais pode reforçar, diminuir, mascarar, ou mesmo reverter às respostas dos vegetais às variações simples (unitárias) de um determinado nutriente.

Dessa forma, tanto a disponibilidade quanto a adequada proporção entre nitrogênio e potássio no solo são importantes fatores nos processos de crescimento e de desenvolvimento das plantas (VIANA; KIEHL, 2010).

Quando a cultura recebe K suficiente, o efeito prejudicial do excesso de N pode às vezes ser corrigido, pois nitrogênio e potássio em muitas das suas funções costumam atuarem juntos, principalmente, porque meia centena de enzimas somente funcionam se o K estiver presente, apontando que proporções equilibradas de N e K devem ser fornecidas tanto pelo solo quanto pelos adubos as culturas (MALAVOLTA *et al.*, 2002).

Viana e Kiehl (2010) confirmam que o fornecimento das maiores doses de  $\text{NH}_4^+$  (ureia) associado ao potássio, determinou o maior crescimento e incrementou o conteúdo de clorofila nas plantas de trigo, com as doses de N e K, 240 e 174  $\text{mg dm}^{-3}$ , respectivamente, que é explicado pelo aumento da concentração da clorofila, promovido pela maior concentração de nitrogênio total nos tecidos, favorecendo uma melhoria nos aspectos nutricionais das plantas e, em consequência, o maior crescimento quando houve o fornecimento das maiores doses de N e K associadas.

Quanto à absorção de nutrientes pela cultura do milho, Coelho (2006) observa que a extração de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio aumentam linearmente com o aumento da produção, e que a maior exigência do milho refere-se a nitrogênio e a potássio, seguindo-se do cálcio, magnésio e fósforo, onde estes apresentam diferentes taxas de

translocação entre os tecidos (colmos, folhas e grãos), sendo o fósforo quase todo translocado para os grãos (77 a 86%), seguido do nitrogênio (70 a 77%), do enxofre (60%), do magnésio (47 a 69%), do potássio (26 a 43%) e do cálcio (3 a 7%), indicando que no caso de incorporação dos restos culturais do milho, principalmente potássio e cálcio contidos na palhada, devolvem ao solo grande parte dos nutrientes.

Apesar de haver publicações sobre aplicação de doses de N e K na cultura do milho, ainda são escassos, na literatura, trabalhos que relacionem as interações entre os minerais essenciais para a região semiárida de Iguatu-CE e, principalmente, visando a produção de milho verde. Neste contexto, objetivou-se, com o presente trabalho, avaliar a capacidade de crescimento e a produtividade das plantas de milho, cultivar AG1051, sob diferentes combinações de doses de nitrogênio e de potássio aplicadas por meio da fertirrigação.

## **15 MATERIAL E MÉTODOS**

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

#### **15.1.1 Local do experimento**

Vide capítulo 2.

#### **15.1.2 Clima da região**

Vide capítulo 2.

#### **15.1.3 Solo da área experimental**

Vide capítulo 2.

### **15.2 Cultura e condução do cultivo**

Vide capítulo 2.

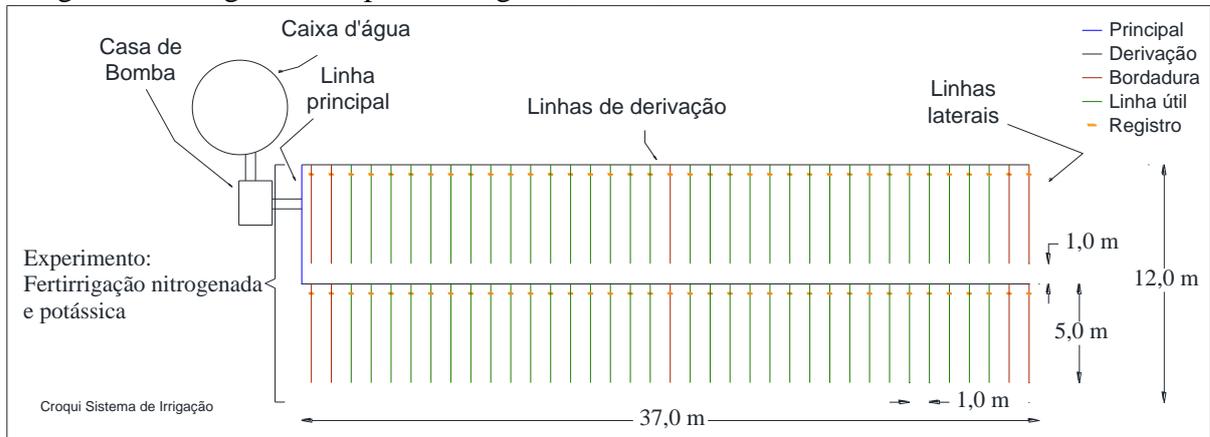
#### **15.2.1 Semeadura e estabelecimento da cultura**

Vide capítulo 2.

### **15.3 Sistema de irrigação**

Vide capítulo 2 e figura 23.

Figura 23 - Distribuição do sistema de irrigação em campo utilizado no experimento com dosagens de nitrogênio e de potássio. Iguatu, Ceará, 2017



Fonte: Autora, 2017

#### 15.4 Manejo da irrigação

O manejo da irrigação foi realizado visando repor 100% da  $ET_c$ , de acordo com metodologia exposta no capítulo 2.

#### 15.5 Manejo da adubação

A dose de fósforo foi aplicada em sua totalidade na adubação de fundação, 167 g por linha de plantas, conforme descrição no capítulo 2.

As doses de N e  $K_2O$  recomendadas e respectivas fontes comerciais utilizadas foram de 170 kg  $ha^{-1}$  de nitrogênio (ureia - 45% de N) e 40 kg  $ha^{-1}$  de potássio (cloreto de potássio - 60% de  $K_2O$ ), conforme Pereira Filho *et al.* (2003). Entretanto, a quantificação das dosagens dos dois nutrientes por tratamento seguiu a diferenciação experimental, conforme descrição a posterior.

Após a quantificação para cada tratamento experimental, as doses de N e K foram parceladas e aplicadas em cobertura por meio de fertirrigações, de acordo com a marcha de absorção da planta, conforme descrição no capítulo 2 e Tabela 10.

Tabela 10 - Distribuição percentual das doses de nitrogênio e de potássio aplicadas em cobertura, via fertirrigações. IFCE, Iguatu, CE, 2017

Distribuição de nutrientes por aplicação											
Aplicação	Época (DAS)	N (%)	Nitrogênio (kg ha <sup>-1</sup> )				K (%)	Potássio (kg ha <sup>-1</sup> )			
			0	85	170	340		0	20	40	80
1	7	5	0	4,25	8,5	17	5	0	1	2	4
2	14	5	0	4,25	8,5	17	5	0	1	2	4
3	21	10	0	8,5	17	34	10	0	2	4	8
4	28	20	0	17	34	68	25	0	5	10	20
5	35	20	0	17	34	68	25	0	5	10	20
6	42	15	0	12,75	25,5	51	20	0	4	8	16
7	49	10	0	8,5	17	34	10	0	2	4	8
8	56	10	0	8,5	17	34	-	-	-	-	-
9	63	5	0	4,25	8,5	17	-	-	-	-	-
Total		100	0	85	170	340	100	0	20	40	80

Fonte: Autor (2017)

### 15.6 Delineamento experimental e descrição do experimento

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, no esquema de parcelas subdivididas. As doses de nitrogênio e de potássio corresponderam a 0; 50; 100 e 200% da recomendada, sendo: 0 (controle); 85; 170 e 340 kg ha<sup>-1</sup> de N, e 0 (controle); 20; 40 e 80 kg ha<sup>-1</sup> de K, totalizando 16 tratamentos, com quatro blocos. Os tratamentos foram descritos conforme Tabela 11.

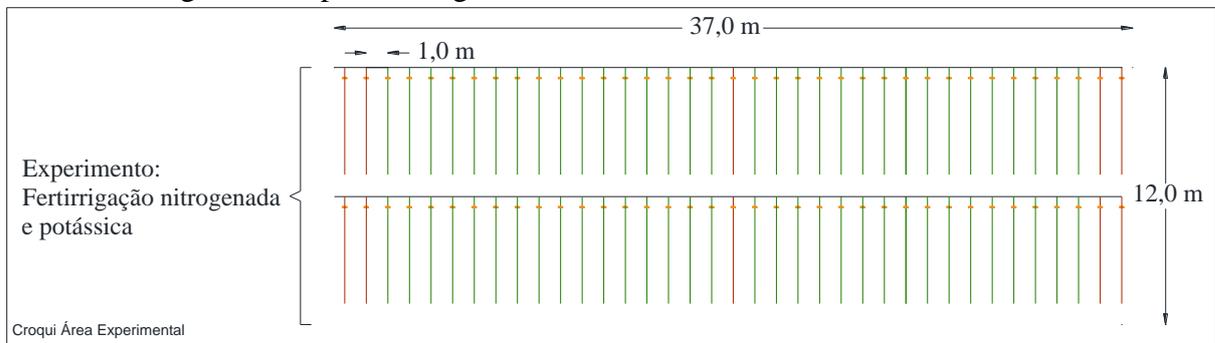
Tabela 11 - Descrição dos tratamentos com doses de aplicação de N e de K, com respectivos percentuais em relação a dose recomendada, utilizados na cultura do milho verde. IFCE, Iguatu, CE, 2017

Tratamentos*	Dose (kg ha <sup>-1</sup> )	
	N	K
T1	N <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	0
T2	N <sub>0</sub> K <sub>50</sub>	20
T3	N <sub>0</sub> K <sub>100</sub>	40
T4	N <sub>0</sub> K <sub>200</sub>	80
T5	N <sub>50</sub> K <sub>0</sub>	0
T6	N <sub>50</sub> K <sub>50</sub>	20
T7	N <sub>50</sub> K <sub>100</sub>	40
T8	N <sub>50</sub> K <sub>200</sub>	80
T9	N <sub>100</sub> K <sub>0</sub>	0
T10	N <sub>100</sub> K <sub>50</sub>	20
T11	N <sub>100</sub> K <sub>100</sub>	40
T12	N <sub>100</sub> K <sub>200</sub>	80
T13	N <sub>200</sub> K <sub>0</sub>	0
T14	N <sub>200</sub> K <sub>50</sub>	20
T15	N <sub>200</sub> K <sub>100</sub>	40

Fonte: Autor (2017)

A área total ocupada pelo experimento foi de 444 m<sup>2</sup> (12 x 37 m), constituída por duas linhas de derivação, cada uma com o total de 37 linhas laterais cultivadas com milho verde, com 5,0 m cada e espaçadas de 1,0 m, para a aplicação dos tratamentos com dosagens de nitrogênio e de potássio (Figura 24). As duas linhas laterais das extremidades e a mediana (19<sup>a</sup>), de cada uma das linhas de derivação, foram utilizadas como bordaduras.

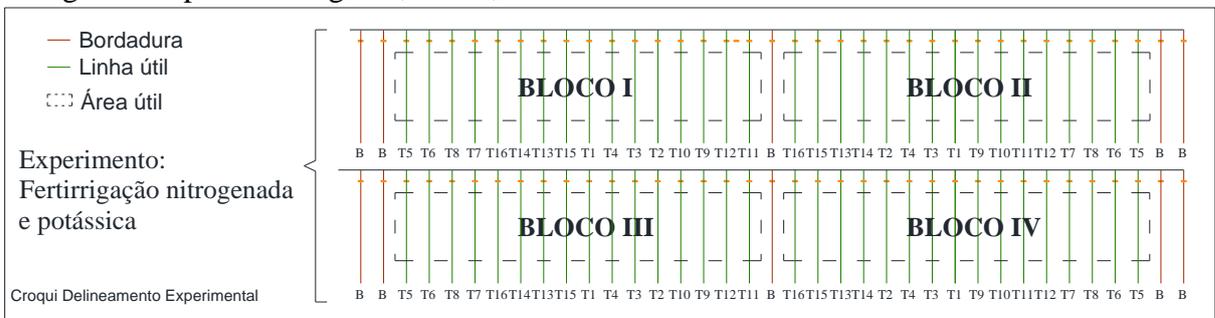
Figura 24 - Área experimental com a cultura do milho verde utilizada no experimento com doses de nitrogênio e de potássio. Iguatu, Ceará, 2017



Fonte: Autora, 2017

Cada bloco foi constituído por 16 linhas, excetuadas as linhas de bordaduras, Figuras 25 e 26. Cada parcela (nível de nitrogênio) no bloco foi constituída por 4 linhas, totalizando 20 m<sup>2</sup> (4 linhas de 5 m de comprimento, espaçadas de 1 m). Cada linha individual constituiu uma subparcela, com 5 m<sup>2</sup> de área, contendo 25 plantas, caracterizando um nível de adubação potássica.

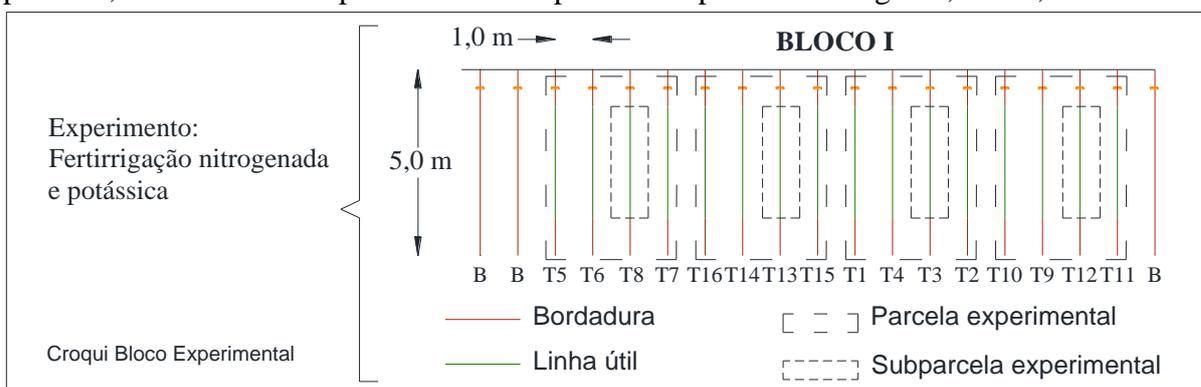
Figura 25 - Croqui experimental com a distribuição dos tratamentos com fertirrigações nitrogenada e potássica. Iguatu, Ceará, 2017



Fonte: Autora, 2017

Em cada subparcela (linha lateral), o primeiro e o último metro foram considerados como bordadura; assim, a área útil efetiva de cada subparcela foi de 3 m<sup>2</sup>, contendo 15 plantas (espaçamento de 0,2 m entre plantas, na linha).

Figura 26 - Croqui do bloco experimental com os tratamentos com dosagens de nitrogênio e de potássio, evidenciando as parcelas e as subparcelas experimentais. Iguatu, Ceará, 2017



Fonte: Autora, 2017

## 15.7 Variáveis analisadas

### 15.7.1. Análise de crescimento

Vide capítulo 2.

#### 15.7.1.1 Altura da planta

Vide capítulo 2.

#### 15.7.1.2 Diâmetro do colmo

Vide capítulo 2.

#### 15.7.1.3 Massa seca da parte aérea

Vide capítulo 2.

## **15.7.2 Características produtivas**

Vide capítulo 2.

### *15.7.2.1 Diâmetro da espiga sem palha (DESP)*

Vide capítulo 2.

### *15.7.2.2 Comprimento da espiga sem palha (CESP)*

Vide capítulo 2.

### *15.7.2.3 Massa da espiga com palha (MECP)*

Vide capítulo 2.

### *15.7.2.4 Massa da espiga sem palha (MESP)*

Vide capítulo 2.

### *15.7.2.5 Produtividade (PROD)*

Vide capítulo 2.

## **15.8 Análises estatísticas**

Os dados obtidos com as variáveis de crescimento foram submetidos à análise de variância, segundo o delineamento experimental em blocos ao acaso em esquema de parcelas subdivididas, onde as diferentes dosagens de nitrogênio foram analisadas nas parcelas e as dosagens de potássio nas subparcelas e as épocas de avaliação das referidas variáveis nas subsubparcelas.

Já os dados obtidos com as variáveis produtivas foram submetidos à análise de variância e analisados de acordo com o delineamento experimental em blocos ao acaso em

esquema de parcelas subdivididas, onde as diferentes dosagens de nitrogênio foram analisadas nas parcelas e as dosagens de potássio nas subparcelas.

Os dados das variáveis avaliadas foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 1 e 5% de probabilidade. No caso de comprovado efeito significativo nas interações entre os fatores estudados, os dados foram analisados segundo os procedimentos inerentes à análise de regressão linear múltipla e plotados em superfícies de respostas.

Para os casos em que foi comprovado efeito significativo para o fator de forma isolada, os dados foram submetidos à análise de regressão, com o objetivo de estimar a equação que melhor representasse a relação entre as variáveis analisadas e os tratamentos aplicados, sendo representados por gráficos de linhas de tendências.

As análises foram realizadas utilizando-se dos programas Microsoft Excel<sup>®</sup> (versão 2010), ASSISTAT<sup>®</sup> (versão 7.6 beta) e Table Curve<sup>®</sup> 3D v4.0.01.

## 16 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo da análise de variância para a altura de planta (AP), o diâmetro do colmo (DC), a massa seca da folha (MSF), a massa seca do colmo (MSC) e a massa seca total (MST) em função dos fatores doses de nitrogênio (N) e doses de potássio (K), em diferentes épocas (E) do cultivo, podem ser observados na Tabela 12.

Tabela 12 - Resumo da análise de variância para a altura de planta (AP), o diâmetro do colmo (DC), a massa fresca da folha (MFF), a massa fresca do colmo (MFC) e a massa fresca total (MFT) das plantas de milho verde em função das doses de nitrogênio (N) e das doses de potássio (K), em diferentes épocas de avaliação (E), Iguatu, Ceará, 2017

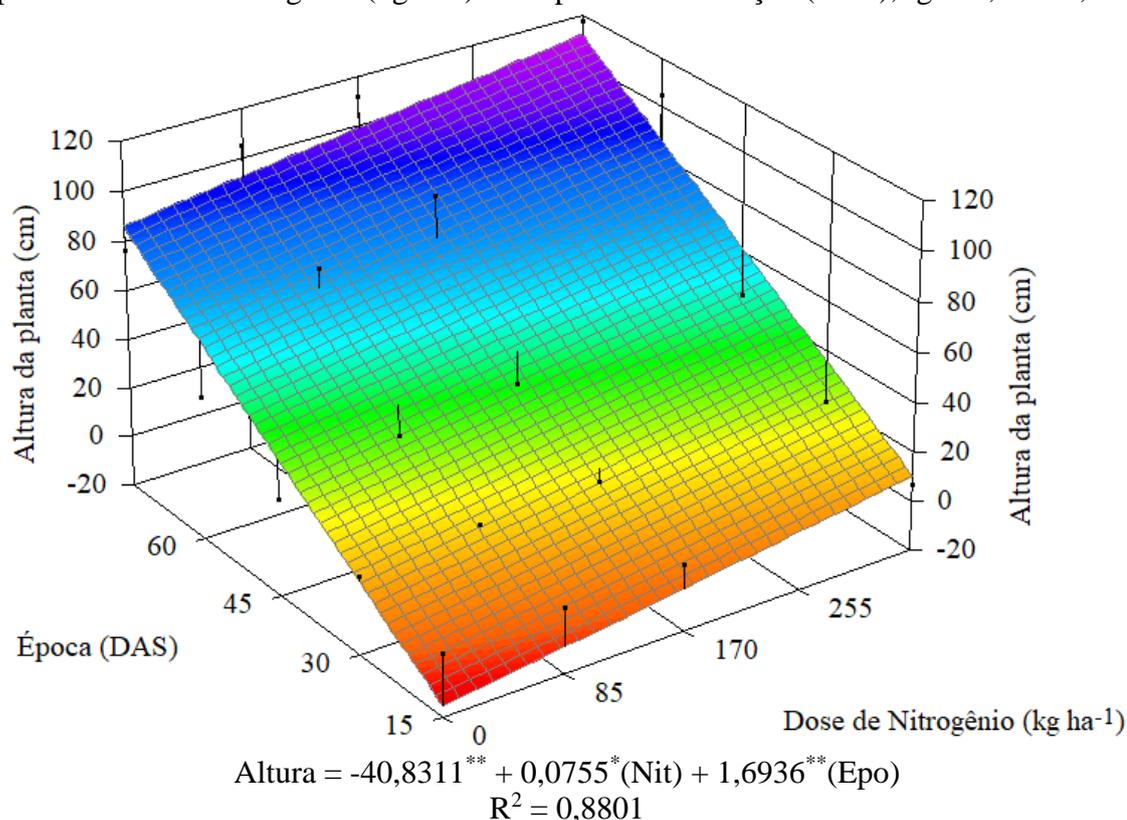
Fonte de variação	GL	Quadrado médio				
		AP	DC	MSF	MSC	MST
Blocos	3	6055,92**	112,32**	474,12**	580,91**	4189,16**
Nitrogênio (N)	3	11608,74**	389,09**	1809,40**	2410,07**	16533,00**
Resíduo (N)	9	110,06	4,644	20,08	29,14	233,61
Potássio (K)	3	292,89 <sup>ns</sup>	11,951*	5,28 <sup>ns</sup>	7,19 <sup>ns</sup>	76,55 <sup>ns</sup>
N x K	9	101,84 <sup>ns</sup>	3,72 <sup>ns</sup>	11,61 <sup>ns</sup>	36,22 <sup>ns</sup>	128,80 <sup>ns</sup>
Resíduo (K)	36	158,28	3,70	9,39	18,38	127,39
Épocas (E)	4	110238,78**	2626,05**	3886,50**	7526,08**	46964,23**
N x E	12	2192,47**	147,58**	217,47**	471,16**	3642,90**
K x E	12	58,724 <sup>ns</sup>	1,40 <sup>ns</sup>	8,68 <sup>ns</sup>	6,74*	55,47 <sup>ns</sup>
N x K x E	36	37,93**	1,14 <sup>ns</sup>	4,19**	19,62 <sup>ns</sup>	86,13*
Resíduo (E)	192	113,41	1,39	10,79	21,69	150,19
Total	319	-	-	-	-	-
CV - N (%)	-	22,50	13,32	44,50	50,95	57,52
CV - K (%)	-	26,98	11,90	30,44	40,46	42,48
CV - E (%)	-	22,84	7,31	32,63	43,96	46,12

GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação; \* = Significativo a 5%, \*\* = significativo a 1% e <sup>ns</sup> = não significativo

Os resultados apresentados mostram que as doses de nitrogênio e as diferentes épocas influenciaram significativamente todas as variáveis estudadas, tanto no estudo do fator isolado como na interação entre os fatores, ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F. Já as doses de potássio não influenciaram as variáveis estudadas, exceto para o DC, que foi influenciado significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F. Com relação à interação entre doses de potássio e épocas de avaliação, só foi constatado efeito para a variável MSC. Para a interação tripla entre os fatores doses de nitrogênio, potássio e diferentes épocas apenas AP, MSF e MST sofreram efeito significativo.

Na Figura 27 está representada a superfície de resposta e o modelo matemático para a variável altura de planta em função das doses de nitrogênio e da época de avaliação (DAS).

Figura 27 – Superfície de resposta para a altura da planta (cm), milho híbrido AG1051, em resposta às doses de nitrogênio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e às épocas de avaliação (DAS), Iguatu, Ceará, 2017<sup>1</sup>



<sup>1</sup>(\*\*) significativo a 1% e (\*) 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

Observa-se que os valores crescem linearmente para a altura de planta, aos níveis de 0,0755 e de 1,6936 cm por incremento unitário das doses de nitrogênio e da época de avaliação, respectivamente. O incremento total da adubação nitrogenada, aos 75 DAS, contribuiu com a altura da planta em 29,80%, em relação à dose zero (testemunha) quando aplicado  $340 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, tendo as plantas apresentando alturas de 86,18 e 111,87 cm, respectivamente. Porém, os valores encontrados no presente trabalho são inferiores aos 176,16 e 135,43 cm, observados por Santos *et al.* (2009), estudando o comportamento do milho híbrido AG1051 entre outras cultivares, respectivamente.

Kappes *et al.* (2014), estudando o manejo do nitrogênio em cobertura na cultura do milho, híbrido comercial BG 7049 (Biogene®), em sistema plantio direto, em Selviria, MS, constatou resultado semelhante ao desse estudo com incremento linear nos valores de altura de planta à medida que as doses de nitrogênio aumentavam. No entanto, com a maior dose avaliada

de 150 kg ha<sup>-1</sup>, responsável pela maior altura de planta de 254 cm, foi verificado um valor bem superior ao encontrado nesse trabalho podendo está associado a diferença de material genético utilizado.

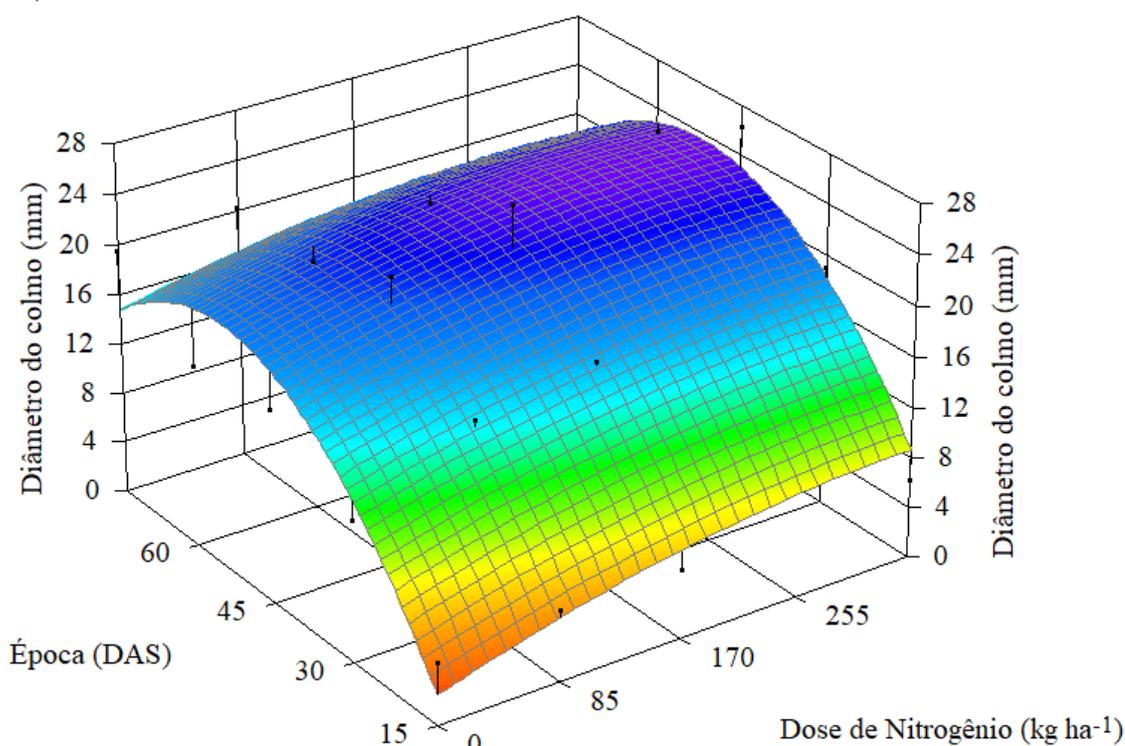
Segundo os autores acima citados, atualmente, a menor altura de planta tem sido um caráter desejável entre os produtores de milho, uma vez que, possibilita uma maior penetração de luz no dossel (mesmo com alto índice de área foliar); com redução da competição intraespecífica por recursos naturais em cultivos de altas populações de plantas, permitindo o uso de maiores densidades populacionais; além disso, ainda promove maior eficiência na colheita mecânica e redução de problemas de acamamento e quebraimento de plantas antes do ponto de colheita, fato de ocorrência comum em plantas de altura elevada.

O comportamento linear crescente pode ser explicado pelo fato do N atuar diretamente no desenvolvimento vegetativo influenciando o crescimento da planta mais do que qualquer outro nutriente (BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000), além disso, promove o aumento da síntese de fotoassimilados, provocando a divisão e a expansão celular (FERNANDES *et al.*, 2017), e ainda, pela ureia ser um fertilizante que contribui para a melhoria da eficiência fotossintética, o que proporciona aumento dos teores de clorofila e da interceptação da radiação solar pelas plantas e assim da altura da planta (GOES *et al.*, 2013).

O modelo matemático da superfície de resposta para o fator épocas de avaliação (DAS) evidencia uma superioridade de efeito na variável altura da planta, em relação ao nitrogênio, capaz de proporcionar um maior aumento linear em função do tempo, e revela que a cultura investiu no crescimento até os 75 DAS, última data avaliada. De modo geral, o N contribui para o aumento das variáveis que compõem o crescimento da planta, maximizando o processo fotossintético, aumentando a divisão e a expansão celular (BESEN *et al.*, 2020).

Na Figura 28 está representada a superfície de resposta e o modelo matemático para o diâmetro do colmo em função das doses de nitrogênio e da época de avaliação (DAS). Observa-se que diferentemente da altura da planta, esta variável apresentou comportamento polinomial quadrático em relação aos fatores avaliados.

Figura 28 - Superfície de resposta para o diâmetro do colmo (mm) de plantas de milho, híbrido AG1051, em resposta às doses de nitrogênio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e às épocas de avaliação (DAS), Iguatu, Ceará, 2017<sup>1</sup>



$$\text{Diâmetro} = -12,8450^{**} + 0,0380(\text{Nit}) + 1,1819^{**}(\text{Epo}) - 0,000051(\text{Nit})^2 - 0,0108^{**}(\text{Epo})^2 - 0,00015(\text{Nit})(\text{Epo})$$

$$R^2 = 0,8336$$

<sup>1</sup>(\*\*) significativo a 1% e (\*) 5% de probabilidade, pelo teste “t”.

A partir da análise de regressão e do modelo proposto estimou-se o máximo valor para o diâmetro do colmo de 23,57 mm, obtido com a maior dose de nitrogênio aplicada ( $340 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e aos 52 DAS, que posteriormente tendeu a diminuir.

O incremento positivo do diâmetro de colmo com o aumento das doses de nitrogênio pode ser visto de forma vantajosa para a cultura, pois esta característica morfológica tem sido uma das mais relacionadas ao percentual de acamamento ou quebramento de planta na cultura do milho, sendo também importante do ponto de vista produtivo, pois diâmetros maiores estão relacionados a maiores produtividades, uma vez que resultam em maior capacidade da planta em armazenar fotoassimilados que posteriormente serão utilizados para enchimento dos grãos (KAPPES *et al.*, 2014).

Resultados semelhantes foram obtidos por Andrade *et al.* (2014), estudando o desempenho agrônomico do milho a doses e épocas de aplicação de nitrogênio no cerrado

piauiense, onde o diâmetro do colmo também se ajustou ao modelo quadrático de regressão, com valor máximo de 22,03 mm, com a dose de 134 kg ha<sup>-1</sup> de N.

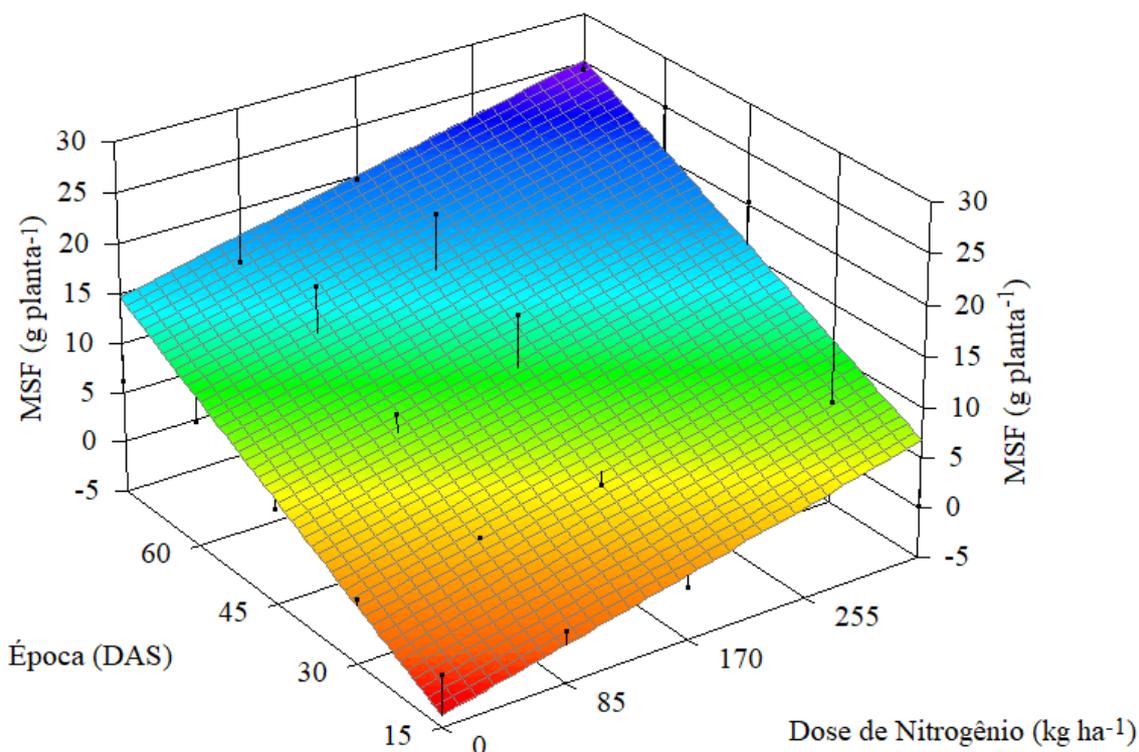
O incremento do diâmetro com a aplicação de nitrogênio está relacionado à função estrutural do N, assim uma maior disponibilidade desse nutriente na fase de formação dessa estrutura pode promover um maior diâmetro do colmo, uma vez que o mesmo atua como ativador de muitas enzimas, e faz parte da molécula de compostos orgânicos, como aminoácidos e proteínas (FAGERIA *et al.*, 2011).

Do ponto de vista fisiológico, o incremento do diâmetro do colmo é uma característica importante, por ser uma estrutura designada ao armazenamento de sólidos solúveis para a formação dos grãos, que propicia redução do acamamento das plantas e menores perdas dos grãos na colheita, além da função de sustentação de folhas e de inflorescências (CARMO *et al.*, 2012; ANDRADE *et al.*, 2014). Dessa forma, vale ressaltar que alguns componentes morfológicos, como o diâmetro do colmo e outros, devem ser avaliados pela sua fundamental importância e correlação com a produtividade (CRUZ *et al.*, 2008).

O modelo matemático da superfície de resposta para o fator épocas de avaliação (DAS) evidencia a partir dos 52 (DAS), uma tendência de declínio da função quadrática com diminuição do diâmetro do colmo, possivelmente relacionada à translocação dos fotoassimilados para a produção de grãos, uma vez que nesse período a partir dos 40 dias após a semeadura, início do pendoamento, a planta demanda uma grande quantidade de água e de nutrientes, com rápido e contínuo crescimento e acumulação de nutrientes e peso seco em benefício da produtividade da cultura (MAGALHÃES; DURÃES, 2006).

Na Figura 29 está representada a superfície de resposta e o modelo matemático para a massa seca das folhas em função das doses de nitrogênio e da época de avaliação (DAS).

Figura 29 – Superfície de resposta para a massa seca das folhas ( $\text{g planta}^{-1}$ ) de milho, híbrido AG1051, em resposta às doses de nitrogênio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e às épocas de avaliação (DAS), Iguatu, Ceará, 2017<sup>1</sup>



$$\text{MFC} = -8,42^{**} + 0,0311^{**}(\text{Nit}) + 0,3082^{**}(\text{Epo})$$

$$R^2 = 0,7873$$

<sup>1</sup>(\*\*) significativo a 1% de probabilidade, pelo teste “t”.

Observa-se crescimento linear para a variável em função dos dois fatores estudados, com incrementos de 0,0311 e 0,3082  $\text{g planta}^{-1}$  para cada acréscimo unitário de  $\text{kg ha}^{-1}$  de N e DAS, respectivamente. O incremento total da adubação nitrogenada, aos 75 DAS, contribuiu com a MSF em 71,95%, em relação à dose zero (testemunha) quando aplicado 340  $\text{kg ha}^{-1}$  de N, tendo as plantas apresentando a MSF de 14,70 e 25,27  $\text{g planta}^{-1}$ , respectivamente.

Sodré *et al.* (2019), estudando os teores de nutrientes em milho (*Zea mays* L.) e aplicação de nitrogênio em solo amazônico, encontraram como resposta para um solo com textura arenosa um comportamento linear, crescendo até a dose máxima aplicada (200  $\text{kg ha}^{-1}$ ), corroborando com os resultados obtidos por esta pesquisa. Segundo os autores, o comportamento linear crescente pode ser explicado pelas doses de N aplicadas promoverem incremento produtivo da massa seca das folhas, e que, o fornecimento de altas doses de nutrientes no cultivo em um solo muito arenoso, pode acarretar em perdas por volatilização de N.

Segundo Barros *et al.* (2016), a fonte de nitrogênio mais comum na agricultura brasileira é a ureia, por possuir valor elevado de N em torno de 45%, otimizando os custos com transporte e aplicação. Porém, essa fonte apresenta um alto potencial de perdas atmosféricas de  $\text{NH}_3$  por volatilização (FONTOURA; BAYER, 2010), durante a hidrólise do N amídico, devido a alcalinização da solução próxima aos grânulos que favorece a transformação em  $\text{N-NH}_4^+$  em  $\text{N-NH}_3$  e a sua perda na forma de gás (VITTI *et al.*, 2013).

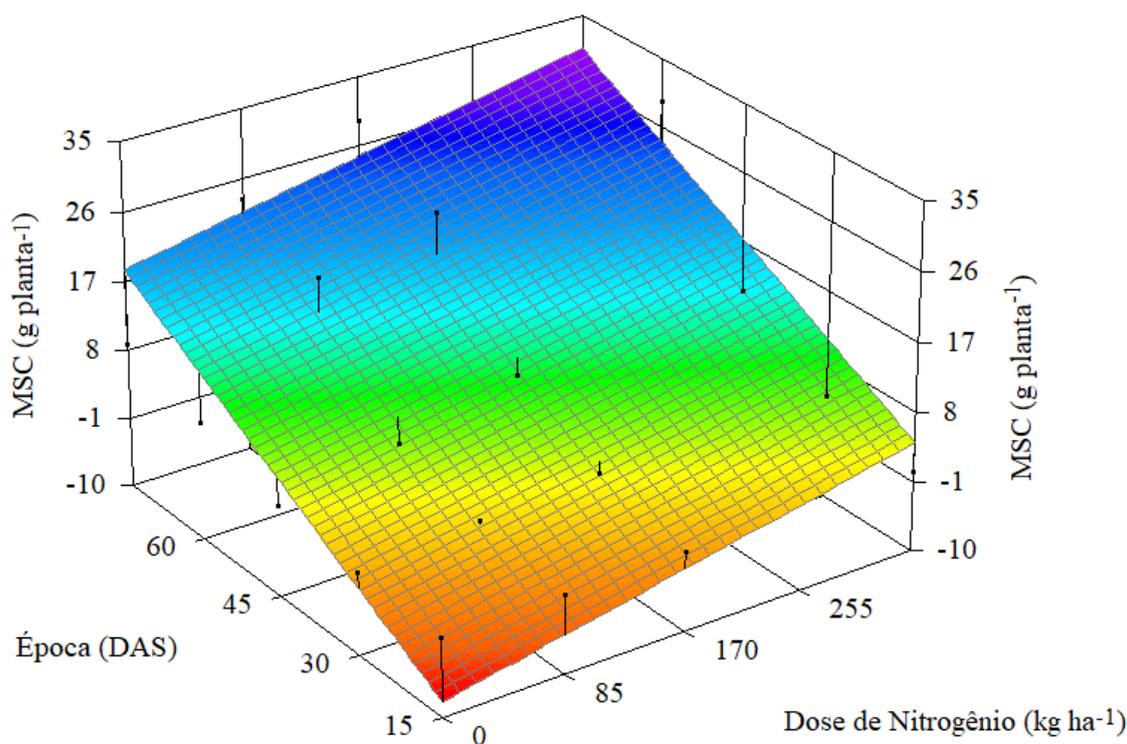
O modelo matemático da superfície de resposta para o fator épocas de avaliação evidencia uma superioridade de efeito na variável MSF, em relação ao nitrogênio, capaz de proporcionar um maior aumento linear em função do tempo, e revela que a cultura investiu no crescimento até os 75 DAS, última data avaliada.

Sangoi *et al.* (2019), estudando o híbrido P30F53YH na safra 2014/15, evidenciaram um comportamento quadrático em que a aplicação de nitrogênio toda em V5 (estádio de 5 folhas expandidas) manteve massa seca das folhas por um período maior durante a fase reprodutiva da cultura do milho do que o parcelamento em três vezes. Na safra 2015/2016, para os dois híbridos P30F53YH e P1680YH, observaram-se comportamento quadrático com o maior período de incremento da massa seca foliar durante o enchimento de grãos ocorrendo quando o nitrogênio foi todo aplicado no estágio VT (pendoamento), porém o comportamento do acúmulo de massa seca das folhas foi semelhante nas duas safras com maiores valores de acúmulo obtidos na aplicação integral do N, divergindo do presente trabalho.

Em contrapartida, Borges *et al.* (2006), estudando o acúmulo de massa seca em milho, perceberam que o padrão de senescência foliar ao final do enchimento de grãos foi semelhante entre os tratamentos com aplicação integral de N em V5 e V10 e aqueles em que a cobertura nitrogenada foi parcelada em duas (V5-V10) ou três vezes ( $1/3$  V5 +  $1/3$  V10 +  $1/3$  VT). Contrariando a ideia de que o maior parcelamento da cobertura nitrogenada retarda a senescência foliar durante o enchimento de grãos, fato evidenciado no presente trabalho.

Para a massa seca do colmo, na Figura 30, está representada a superfície de resposta e o modelo matemático para a massa seca do colmo em função das doses de nitrogênio e da época de avaliação (DAS) que apresentou crescimento linear para a variável em função dos dois fatores estudados, com incrementos de 0,0355 e 0,4401 g planta<sup>-1</sup> para acréscimos unitários de kg ha<sup>-1</sup> de N e DAS, respectivamente.

Figura 30 – Superfície de resposta para a massa seca do colmo ( $\text{g planta}^{-1}$ ) de milho, híbrido AG1051, em resposta às doses de nitrogênio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e às épocas de avaliação (DAS), Iguatu, Ceará, 2017<sup>1</sup>



$$\text{MSC} = -14,50^{**} + 0,0355^{**}(\text{Nit}) + 0,4401^{**}(\text{Epo})$$

$$R^2 = 0,7975$$

<sup>1</sup>(\*\*) significativo a 1% de probabilidade, pelo teste “t”.

O incremento total da adubação nitrogenada, aos 75 DAS, contribuiu com a MSC em 65,22%, em relação à dose zero (testemunha) quando aplicado  $340 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, tendo as plantas apresentando a MSC de 18,50 e 30,58  $\text{g planta}^{-1}$  respectivamente. Observa-se que a massa seca do colmo, apresenta um comportamento linear, crescente até a dose máxima aplicada ( $340 \text{ kg ha}^{-1}$ ), indicando que, aparentemente, devido ao fato do milho ser uma cultura exigente em nitrogênio, o suprimento desse nutriente tenha sido insuficiente, limitando a cultura de expressar todo o seu potencial genético.

Gomes *et al.* (2019), no estudo do crescimento inicial do milho sob aplicação de esterco bovino, também observaram um comportamento linear crescente da massa seca do colmo à medida que aumentaram as doses de esterco bovino, onde os autores atribuem a resposta do crescimento das plantas, sobretudo a disponibilidade de assimilação do nitrogênio. Já Schlichting (2012), estudando a cultura do milho submetida a tensões de água no solo e doses de nitrogênio, também observaram que a massa seca do colmo aumentou em função do aumento das doses de nitrogênio aplicadas ao solo, porém com um comportamento quadrático.

O teor de N disponível afeta a biomassa seca da planta por ser constituinte de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucléicos fitocromos e da clorofila, além de afetar as taxas de iniciação e de expansão foliar, o tamanho final e a intensidade de senescência foliar (SCHRÖDER *et al.*, 2000).

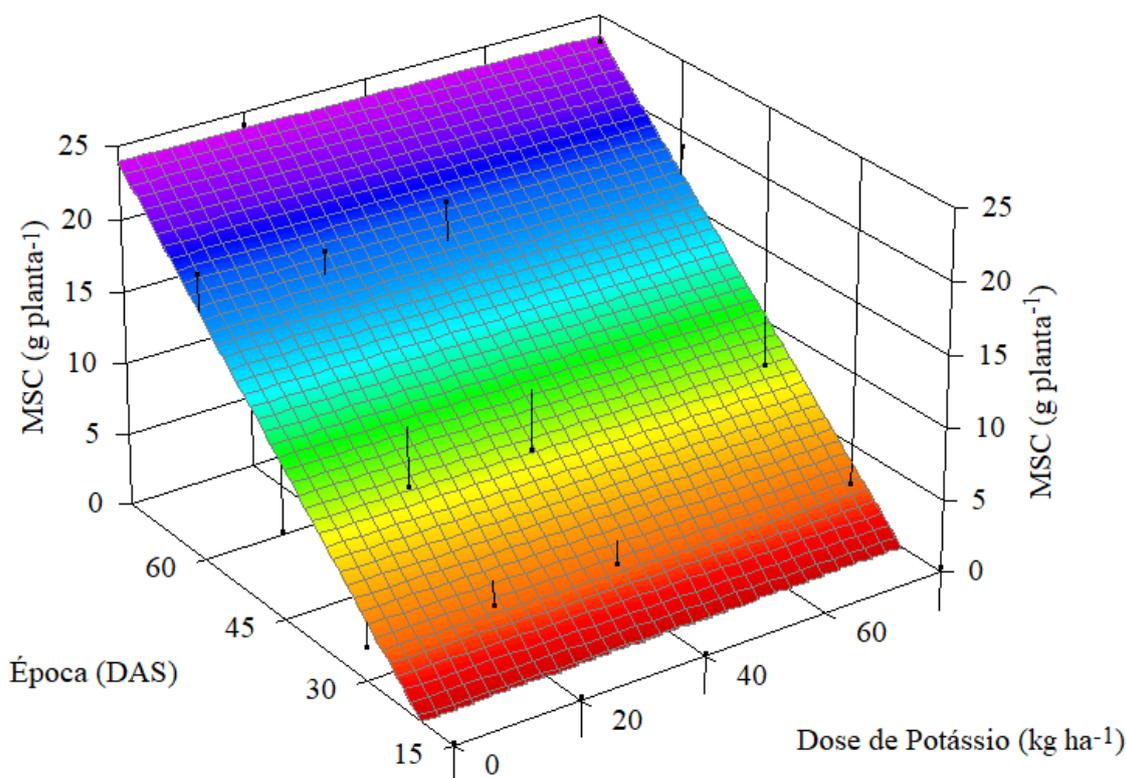
Quanto à época, Sangoi *et al* (2019), estudando o acúmulo de fitomassa do milho após o espigamento em função do parcelamento da cobertura nitrogenada, encontraram resposta linear crescente para a massa seca do colmo para o híbrido P1680 com o nitrogênio aplicado numa única dose. E, para o híbrido P30F53YH, com o nitrogênio parcelado nos estádios vegetativos V5-V10, obtiveram resultados semelhante ao desse estudo, em que os maiores valores para a MSC foram obtidos no momento em que os grãos se aproximavam da maturidade fisiológica.

As condições edafoclimáticas em que a cultura está se desenvolvendo, interferem no balanço entre fonte e dreno. Assim, quando a capacidade dos grãos de acumular açúcar é baixa e a atividade fotossintética é alta, o colmo atua como dreno dos fotoassimilados produzidos pelas folhas, aumentando sua massa (HAEGELE *et al.*, 2013). Quando a demanda dos grãos por açúcares aumenta e a atividade fotossintética das folhas diminui, o colmo atua como fonte, remobilizando reservas para os grãos e reduzindo a sua massa (LEOLATO *et al.*, 2017). Porém, esse comportamento não foi evidenciado nesta pesquisa, sendo essa ausência de decréscimo de fitomassa explicada pela atividade fotossintética das folhas ter sido suficiente para atender à demanda dos grãos, não havendo necessidade de translocação acentuada de açúcares do colmo até a maturação fisiológica da planta no final do ciclo da cultura (SANGOI, *et al* 2019).

Na Figura 31, está representada a superfície de resposta e o modelo matemático para a massa seca do colmo em função das doses de potássio e da época de avaliação (DAS).

A superfície de resposta e o modelo matemático em função das doses de potássio e da época de avaliação (DAS) para a variável MSC apresentou crescimento linear para a variável em função dos dois fatores estudados, no entanto, com efeito decrescente para incrementos das doses de potássio e efeito crescente para as épocas de avaliação. Observa-se que a variável em questão apresentou decréscimo de -0,0047 e acréscimo de 0,4401 g planta<sup>-1</sup> para cada incremento unitário de kg ha<sup>-1</sup> de K e DAS, respectivamente, atingindo o maior valor de 23,96 g planta<sup>-1</sup> para 0 kg ha<sup>-1</sup> de K e 75 DAS.

Figura 31 – Superfície de resposta para a massa seca do colmo ( $\text{g planta}^{-1}$ ) de milho, híbrido AG1051, em resposta às doses de potássio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e às épocas de avaliação (DAS), Iguatu, Ceará, 2017<sup>1</sup>



$$\text{MSC} = -9,05^{**} - 0,0047(\text{Pot}) + 0,4401^{**}(\text{Epo})$$

$$R^2 = 0,9236$$

<sup>1</sup>(\*\*) significativo a 1% de probabilidade, pelo teste “t”.

Em ensaios de campo, plantas de milho até pouco tempo, não geravam respostas ao nutriente K, que em geral, acontecia com menos frequência e menores que aquelas constatadas para N e P, principalmente devido aos baixos níveis de produtividades (COELHO *et al.*, 2007).

Porem, Ebrahimi *et al.* (2011), estudando o efeito do potássio no rendimento do milho (Jeta cv.) sob condição de estresse hídrico, observaram um comportamento quadrático com o aumento da dose de  $\text{K}_2\text{O}$ , resultando em incremento na fitomassa seca da parte aérea em plantas de milho. No entanto, Rabêlo *et al.* (2013), quando estudaram as características agrônômicas e bromatológicas do milho submetido a adubações com potássio na produção de silagem, não observaram diferença na produção de fitomassa seca com as doses de  $\text{K}_2\text{O}$ ; os resultados encontrados pelos autores citados, diferem do evidenciado nesta pesquisa.

O comportamento observado pode estar ligado ao alto teor de K existente no solo, onde este pode ter suprido a necessidade da cultura. Segundo Andreotti *et al* (2001), a disponibilidade de K varia conforme o nível inicial no solo, a saturação de Ca e Mg na solução

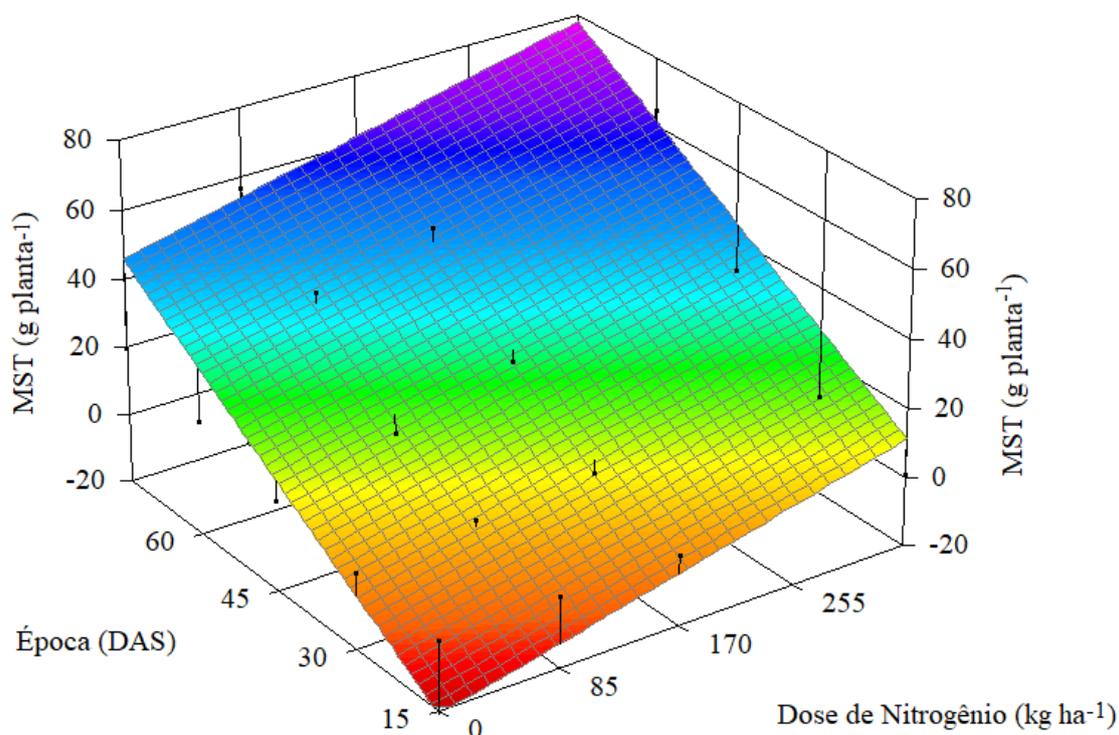
do solo, o tipo de solo e o material genético da planta. Estes mesmos autores avaliaram o crescimento do milho em função da saturação por bases e da adubação potássica, e encontraram um desbalanço da relação  $K:(Ca+Mg)$  no solo para a produção de matéria seca com resposta linear, e afirmaram que entre Ca, Mg e K existe uma competição pelo mesmo sítio de troca, que pode resultar no menor acúmulo de um desses elementos no processo de absorção, tendo como consequência o menor desenvolvimento da planta.

O modelo matemático da superfície de resposta para a variável MSC em relação a época de avaliação proporcionou crescimento linearmente em função do tempo, e revela que a cultura investiu no crescimento até os 75 DAS, última data avaliada. Resultados semelhantes foram encontrados por Pinho *et al.* (2009), avaliando a marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho, que constataram incremento linear da massa seca do colmo atingindo o máximo acúmulo de MSC próximo à maturação fisiológica, nos estádios 9 e 10 de desenvolvimento da cultura. Este resultado sugere que a atividade fotossintética das folhas foi suficiente para atender à demanda dos grãos, não havendo necessidade de translocação acentuada de açúcares do colmo até a maturação fisiológica da planta no final do ciclo da cultura (SANGOI, *et al* 2019), conforme descrito para o gráfico anterior de MSC.

Na Figura 32, apresenta-se a superfície de resposta e o modelo matemático para a variável massa seca total em função das doses de nitrogênio e épocas de avaliação (DAS), que também apresentou crescimento linear em função dos dois fatores estudados, com incrementos de 0,0949 e 1,1104 g planta<sup>-1</sup> para acréscimos unitários de kg ha<sup>-1</sup> de N e DAS, respectivamente. O incremento total da adubação nitrogenada, aos 75 DAS, contribuiu com a MST em 70,52%, em relação à dose zero (testemunha) quando aplicado 340 kg ha<sup>-1</sup> de N, tendo as plantas apresentado a MST de 45,76 e 78,03 g planta<sup>-1</sup> respectivamente.

Fernandes *et al.* (2017), pesquisando sobre o crescimento e a produtividade de milho sob influência de parcelamento e de doses de nitrogênio, perceberam que as doses de N promoveram um incremento linear na produção de fitomassa, no milho AG 1051.

Figura 32 – Superfície de resposta para a massa seca total (g planta<sup>-1</sup>) de milho, híbrido AG1051, em resposta às doses de nitrogênio (kg ha<sup>-1</sup>) e às épocas de avaliação (DAS), Iguatu, Ceará, 2017<sup>1</sup>



$$\text{MST} = -37,52^{**} + 0,0949^{**}(\text{Nit}) + 1,1104^{**}(\text{Epo})$$

$$R^2 = 0,7934$$

<sup>1</sup>(\*\*) significativo a 1% de probabilidade, pelo teste “t”.

O N é o nutriente mais limitante para a produção de biomassa influenciando a maioria dos processos fisiológicos que ocorrem nas plantas, como a síntese proteica e a fotossíntese (YONG *et al.*, 2010). De acordo com Fernandes e Libardi (2012), aumenta-se o N acumulado na parte aérea de milho e nos grãos quando se aumenta a dose de N, sendo este responsável pelo rendimento de grãos e a maior quantidade de massa seca das plantas.

Assim, segundo Mansouri *et al.* (2009), a aplicação de nitrogênio influencia significativamente o rendimento de grãos e a fitomassa seca total do milho, potencializando a capacidade de assimilar CO<sub>2</sub> e de sintetizar carboidratos durante a fotossíntese, em consequência do aumento do índice de área foliar.

Quanto à época, observa-se nesta pesquisa que a cultura do milho atingiu o maior valor de massa seca total aos 75 DAS. Semelhantemente, Lopes *et al.* (2009), analisando o crescimento e as trocas gasosas na cultura de milho em plantio direto (PD) e em convencional (PC), identificaram que a partir de 60 DAE, logo após o pendoamento das plantas, a fitomassa total da planta foi significativamente maior em PC, atingindo o maior valor aos 90 DAE em

plantio convencional e aos 105 DAE em plantio direto. Portanto, existe um padrão semelhante no tempo para a acumulação de massa seca nas diferentes partes da planta, principalmente em lavouras de altos rendimentos, com um acentuado acréscimo no florescimento e no início do enchimento de grãos (KOSGEY *et al.*, 2013).

No resumo da análise de variância, para o diâmetro e o comprimento da espiga de milho verde sem palha (DESP e CESP), a massa da espiga de milho verde com palha (MECP) e sem palha (MESP) e a produtividade de milho verde (PROD) em função dos fatores doses de nitrogênio (N) e doses de potássio (K), pode-se verificar que somente houve efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade para as doses de nitrogênio, tendo as doses de potássio e a interação entre os fatores não apresentado efeito significativo pelo teste F (Tabela 13).

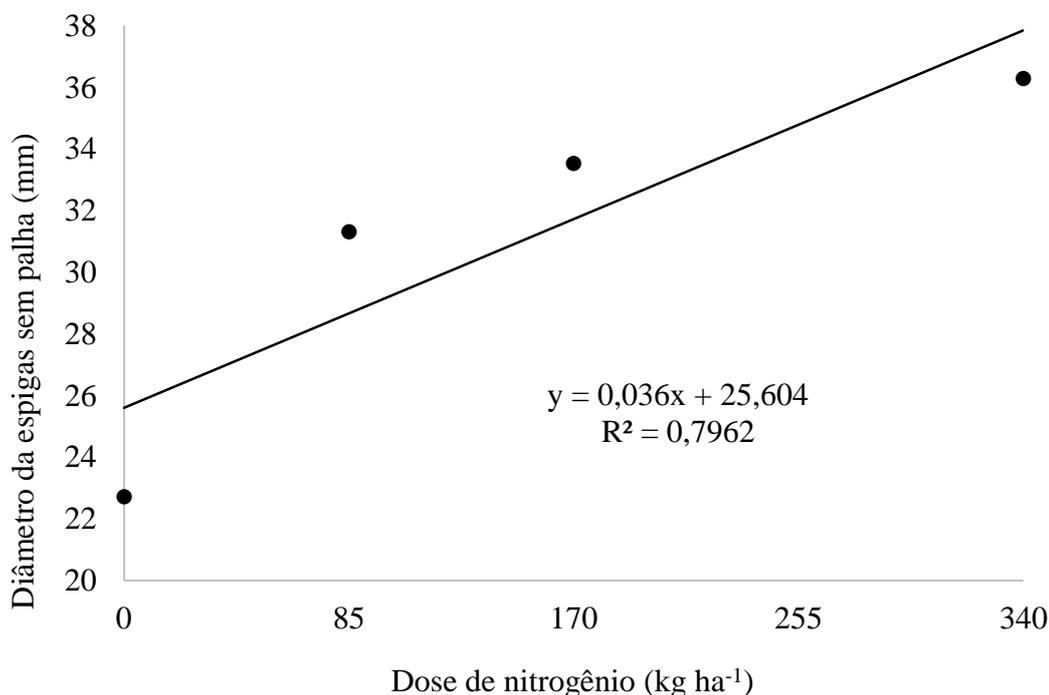
Tabela 13. Resumo da análise de variância para o diâmetro e o comprimento da espiga de milho verde sem palha (DESP e CESP), a massa da espiga de milho verde com palha (MECP) e sem palha (MESP) e a produtividade de milho verde (PROD) em função de doses de nitrogênio (N) e de potássio (K), Iguatu, Ceará, 2017

FV	GL	Quadrado médio				
		DESP (mm)	CESP (cm)	MECP (g pl <sup>-1</sup> )	MESP (g pl <sup>-1</sup> )	PROD (kg ha <sup>-1</sup> )
Blocos	3	83,45**	8,13**	1591,03**	1919,50**	3977587,40**
Nitrogênio	3	549,44**	96,24**	17922,60**	10383,65**	44806503,09**
Resíduo a	9	10,24	1,40	141,41	189,30	353538,92
Potássio	3	13,52 <sup>ns</sup>	1,35 <sup>ns</sup>	73,02 <sup>ns</sup>	138,51 <sup>ns</sup>	182574,26 <sup>ns</sup>
N x K	9	6,54 <sup>ns</sup>	0,78 <sup>ns</sup>	178,97 <sup>ns</sup>	143,26 <sup>ns</sup>	447432,04 <sup>ns</sup>
Resíduo b	36	8,91	1,26	159,07	144,42	397689,38
Total	63	-	-	-	-	-
CV - N (%)	-	10,34	10,03	14,94	25,05	14,94
CV - K (%)	-	9,64	9,51	15,85	21,88	15,85

\*\* significativo a 1% pelo teste F; \* significativo a 5% pelo teste F; (<sup>ns</sup>) não significativo pelo teste F. FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade.

Na Figura 33 apresenta-se a representação gráfica e o modelo matemático do diâmetro de espigas de milho em função das doses de nitrogênio. Conforme o estudo de regressão, constatou-se que a aplicação crescente das doses de nitrogênio provocou aumento linear no diâmetro da espiga. Assim, para o diâmetro da espiga, foi observado incremento linear de aproximadamente 47,80% entre a dose 0 e a dose máxima de 340 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, atingindo valores de 25,60 e 37,84 mm, respectivamente, com acréscimos de 0,036 mm para cada aumento unitário da dose de nitrogênio aplicado.

Figura 33 - Diâmetro de espigas de milho, híbrido AG1051, em resposta às doses de nitrogênio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), Iguatu, Ceará, 2017

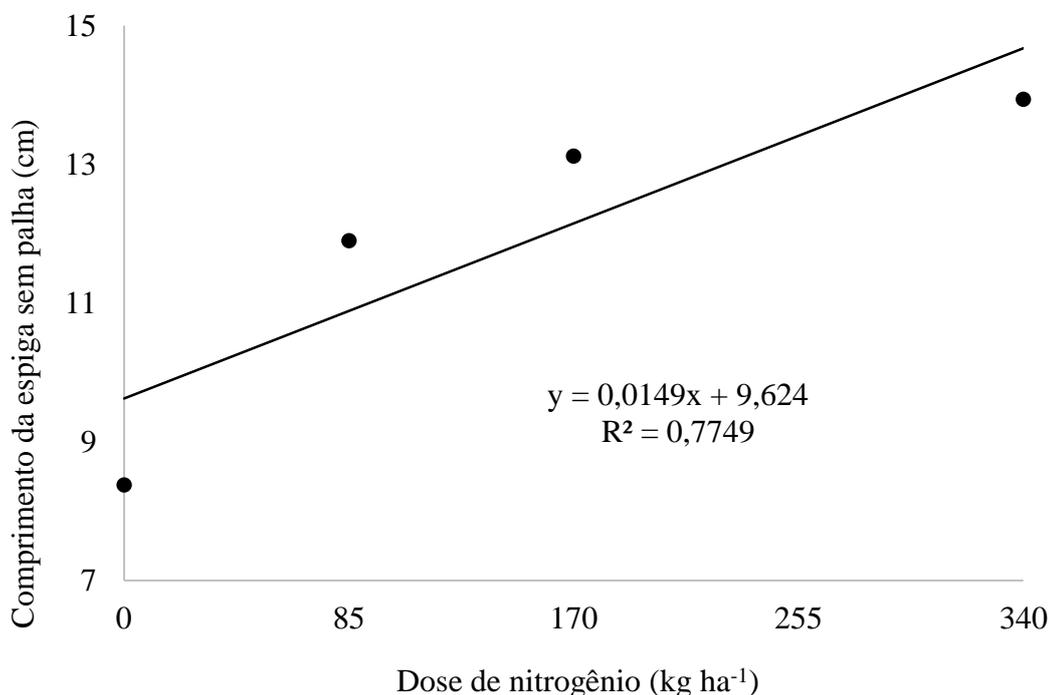


Esses resultados corroboram com os de Kappes *et al.* (2014), que no manejo do nitrogênio em cobertura na cultura do milho em sistema de plantio direto, observaram comportamento linear para o diâmetro de espiga, que foi influenciado, isoladamente, pelas doses de nitrogênio, variando entre 0 e 150  $\text{kg ha}^{-1}$  de N, atingindo valor máximo de 54 mm.

Freire *et al.* (2010) avaliaram a produtividade econômica e os componentes da produção de espigas verdes de milho em função da adubação nitrogenada, e como nesta pesquisa, encontraram que para o diâmetro da espiga sem palha, as doses de N influenciaram significativamente essa variável, atingindo valores na ordem de 49,5 mm, e afirmaram que fatores ambientais e genéticos do material testado geram diferenças de resultados entre autores.

A representação gráfica do comprimento de espigas de milho para o efeito do nitrogênio pode ser observado na Figura 34. Pelos resultados, constatou-se que a aplicação crescente das doses de nitrogênio provocou aumento linear no comprimento da espiga independentemente da época de aplicação. Assim, para o comprimento da espiga, foi observado incremento linear de aproximadamente 52,63% entre a dose 0 e a dose máxima de 340  $\text{kg ha}^{-1}$  de nitrogênio, atingindo valores de 9,63 e 14,69 cm, respectivamente, com acréscimos de 0,0149 cm para cada aumento unitário da dose de nitrogênio aplicado.

Figura 34 – Comprimento de espigas de milho, híbrido AG1051, em resposta às doses de nitrogênio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), Iguatu, Ceará, 2017



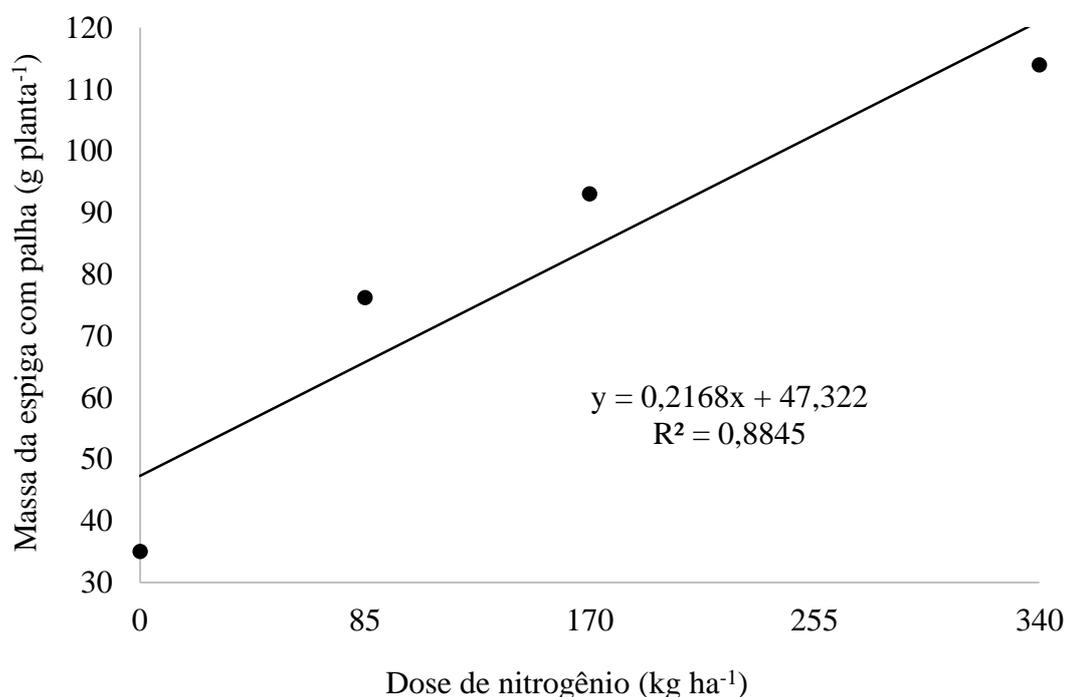
O comprimento do milho verde é influenciado pelas técnicas de manejo e cultivares utilizadas, e depende da capacidade de fornecimento de fotoassimilados para o desenvolvimento da espiga e enchimento dos grãos (VIEIRA, 2007).

Esta pesquisa corrobora com Fernandes *et al.* (2017), que também obtiveram para o comprimento da espiga resposta linear e positiva as doses de nitrogênio, com a maior espiga (14,24 cm) colhidas nas plantas adubadas com  $239 \text{ kg N ha}^{-1}$ .

Porém, Freire *et al.* (2010), para a variável comprimento da espiga sem palha, não observaram resposta ao efeito da adubação nitrogenada. Assim, estes resultados podem ser explicados pelo milho ser uma cultura altamente exigente em nitrogênio, o que torna esse nutriente o mais limitante à sua produção quando não suprido de forma adequada (COSTA *et al.*, 2012), gerando uma deficiência que pode promover menores taxas de crescimento afetando os órgãos de interesse comercial, como observado para o comprimento da espiga.

Na Figura 35, apresenta-se a representação gráfica e o modelo matemático da massa da espiga de milho com palha em função das doses de nitrogênio.

Figura 35 – Massa da espiga de milho com palha, híbrido AG1051, em resposta às doses de nitrogênio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), Iguatu, Ceará, 2017



Conforme o estudo de regressão, constatou-se que a aplicação crescente das doses de nitrogênio provocou aumento linear na massa da espiga com palha. Desta forma, para a massa da espiga com palha observa-se incremento linear de aproximadamente 155,76% entre a dose 0 e a dose máxima de  $340 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrogênio, atingindo valores de 47,32 e  $121,03 \text{ g planta}^{-1}$ , respectivamente, com acréscimos de  $0,2168 \text{ g planta}^{-1}$  para cada aumento unitário da dose de nitrogênio aplicado.

Carmo *et al.* (2012) também observaram aumento linear crescente na massa da espiga com palha, com o incremento das doses de nitrogênio, avaliando doses e fontes de nitrogênio no desenvolvimento e na produtividade da cultura de milho doce.

De forma semelhante, Schlichting *et al.* (2012) notaram influência da adubação nitrogenada de forma linear e crescente a massa da espiga com palha, evidenciando um incremento de 40,16%, entre a dose máxima e a menor dose de nitrogênio aplicada.

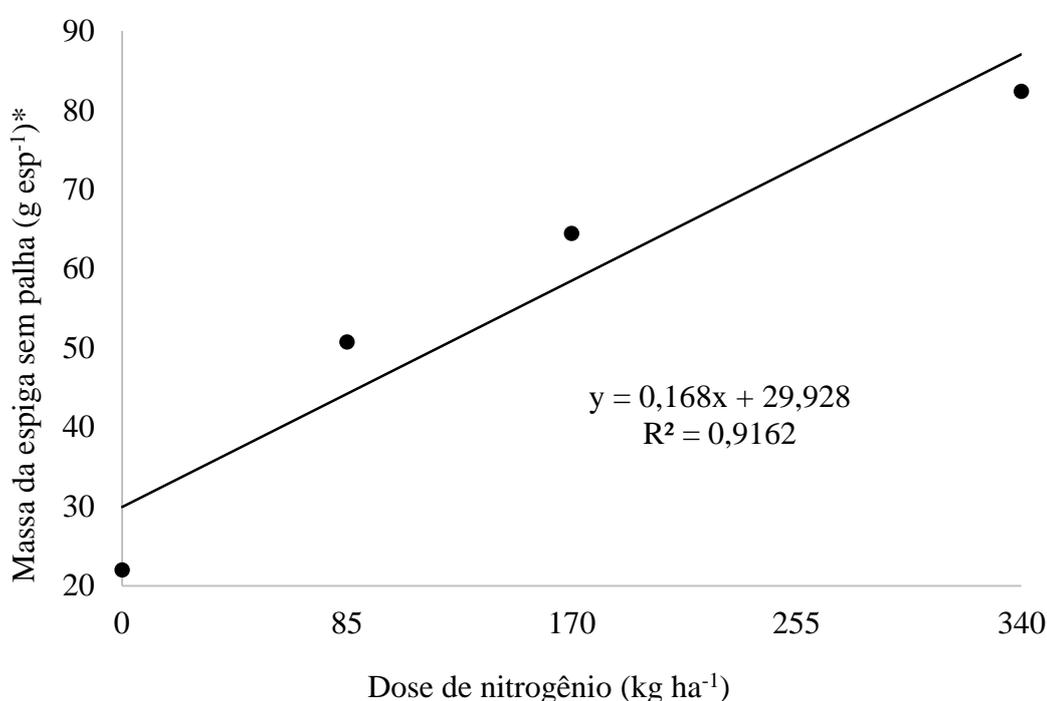
Os resultados mostram o efeito benéfico do N para a variável massa da espiga com palha, porém vale ressaltar que as respostas lineares sugerem que as doses de nitrogênio aplicadas não foram suficientes para a expressão máxima do potencial produtivo da planta (CARMO *et al.*, 2012), uma vez que, trata-se de uma cultura que requer que suas exigências nutricionais sejam plenamente atendidas, sendo o N o nutriente que mais frequentemente limita

a produtividade por ser exigido em maior quantidade pela cultura do milho (FORNASIERI FILHO, 2007).

O N tem sido responsável pelo aumento do rendimento do milho na produção de espigas verdes, juntamente com outros fatores, como genotípicos e ambientais (FREIRE *et al.*, 2010)

Na Figura 36, apresenta-se a representação gráfica e o modelo matemático da massa da espiga de milho sem palha em função das doses de nitrogênio.

Figura 36 – Massa da espiga de milho sem palha, híbrido AG1051, em resposta às doses de nitrogênio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), Iguatu, Ceará, 2017



\*  $\text{g esp}^{-1}$  – gramas por espiga

Constatou-se, via análise de regressão, que de forma semelhante ao observado para a variável MECP, que a aplicação crescente das doses de nitrogênio provocou aumento linear na massa da espiga sem palha. Desta forma, para a massa da espiga sem palha, observa-se incremento linear de aproximadamente 190,85% entre a dose 0 e a dose máxima de  $340 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrogênio, atingindo valores de 29,92 e  $87,04 \text{ g planta}^{-1}$ , respectivamente, com acréscimos de  $0,168 \text{ g planta}^{-1}$  para cada aumento unitário da dose de nitrogênio aplicado.

Estes resultados corroboram com as inferências de Freire *et al.* 2010, ao constatar que à medida que se aumentava a dose de N, a cultura do milho respondeu linearmente com incrementos na massa das espigas sem palha.

De forma contrária ao comportamento da variável em questão, Cardoso *et al.* (2010) encontraram que o suprimento de N gerou uma resposta quadrática e proporcionou espiga verde despalhada por planta mais pesada.

De acordo com os resultados obtidos, infere-se que, em termos gerais, que a massa da espiga sem palha é um componente de produção influenciado pelo fornecimento de N, uma vez que, pode interferir em processos fisiológicos essenciais para a manutenção da vida vegetal, sendo determinante no crescimento, no desenvolvimento e no rendimento das plantas (BASI *et al.*, 2011). Isso se deve principalmente ao fato deste nutriente estar associado ao crescimento e ao desenvolvimento dos drenos reprodutivos e por participar na molécula de clorofila, indispensável para a manutenção da atividade fotossintética (MARTIN *et al.*, 2011).

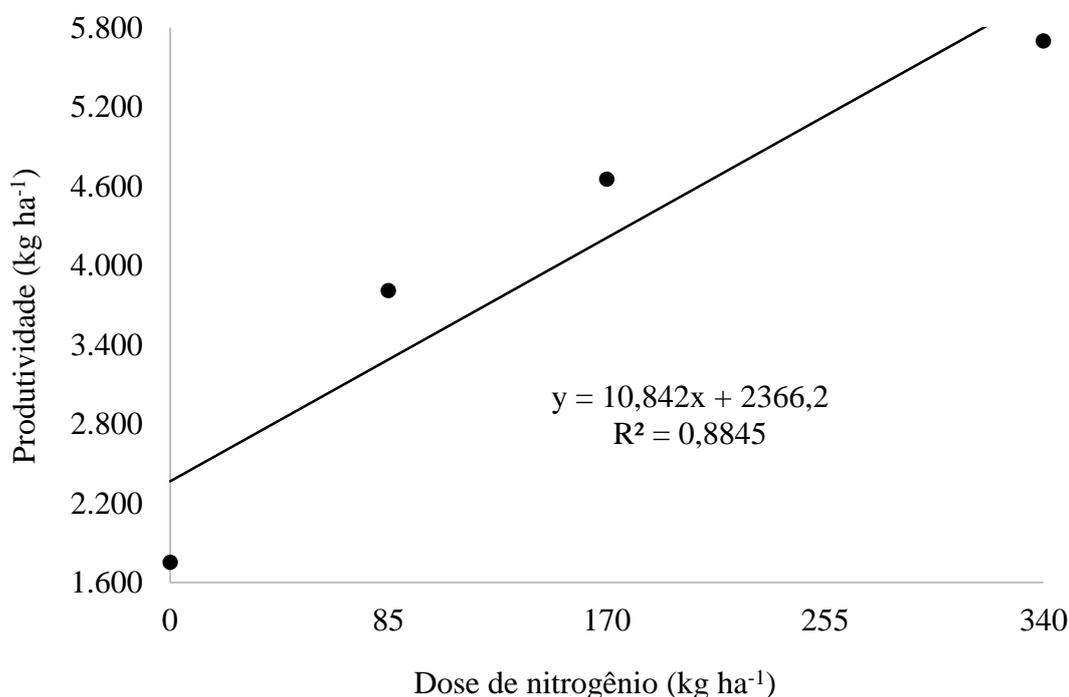
Segundo Roberto *et al.* (2010), o N exerce também importante função nos processos bioquímicos das plantas como constituinte de proteínas, de enzimas, de coenzimas, de ácidos nucleicos, de fitocromos e da clorofila, podendo vir a influenciar na quantidade e na qualidade de espigas.

A adubação nitrogenada contribui positivamente para a melhoria do valor comercial do produto, com a elevação do diâmetro e da massa do milho, resultando em aumentos na produção de espigas verdes (FREIRE *et al.*, 2010).

Portanto, em virtude da grande extração de nutrientes do solo ao longo do ciclo de desenvolvimento das plantas, as exigências nutricionais devem ser plenamente atendidas, para atingir o potencial produtivo do milho (FORNASIERI FILHO, 2007; FREIRE *et al.*, 2010), conforme relatado para a variável anterior.

Na Figura 37, apresenta-se a representação gráfica e o modelo matemático da produtividade de milho verde em função das doses de nitrogênio. No estudo de regressão, constatou-se que a aplicação crescente das doses de nitrogênio provocou aumento linear na produtividade. Desta forma, para a produtividade de espigas, observa-se incremento linear de aproximadamente 155,78% entre a dose 0 e a dose máxima de 340 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, atingindo valores de 2.366,2 e 6.052,48 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, com acréscimos de 10,842 kg planta<sup>-1</sup> para cada aumento unitário da dose de nitrogênio aplicado.

Figura 37 – Produtividade de milho verde, híbrido AG1051, em resposta às doses de nitrogênio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), Iguatu, Ceará, 2017



De forma semelhante, Dantas *et al.* (2014) também averiguaram que a produtividade de espigas aumentou linearmente com o aumento das doses de N nas fontes sulfato de amônio e ureia, até a máxima dose de  $150 \text{ kg ha}^{-1}$ . Da mesma forma, Amaral Filho *et al.* (2005), em estudo sobre espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho, verificaram resposta linear da produtividade da cultura em função do aumento da dose até  $150 \text{ kg ha}^{-1}$ . Já Farinelli e Lemos (2010) obtiveram ajuste quadrático da produtividade em função do aumento da dose de N em cobertura, alcançando a máxima produtividade com  $92 \text{ kg ha}^{-1}$  de N.

Portanto, torna-se evidente o papel significativo do nitrogênio no desempenho agrônômico das plantas e nos componentes de produção (LANA *et al.*, 2009). Porém, os híbridos e as variedades de milho, segundo o potencial produtivo, requerem quantidades diferentes de nitrogênio (GOES *et al.*, 2012), fato evidenciado nas respostas lineares encontradas nesse estudo, que sugerem que as doses de nitrogênio aplicadas não foram suficientes para a expressão máxima do potencial produtivo da planta.

A adubação nitrogenada, devido as inúmeras funções relevantes que o nitrogênio desempenha no metabolismo da planta, destaca-se entre os fatores que interferem na produtividade de espigas e no rendimento industrial do milho doce (MALAVOLTA, 2006).

Além disso, dentre os principais fatores que contribuem para a baixa produtividade do milho destacam-se o clima, o potencial genético, o manejo de nutrientes e a fertilidade do solo (VALDERRAMA *et al.*, 2011).

A fonte de ureia, com sua alta concentração de N (45%) presente em sua composição, proporcionou aumento na produtividade de espigas, o que pode ter favorecido a disponibilidade de N as plantas (DANTAS *et al.*, 2014).

Segundo Okumura *et al.* (2011), o aumento na produtividade de espigas em função do fornecimento de N deve-se possivelmente ao efeito desse nutriente sobre o crescimento e o desenvolvimento das plantas, considerando o N disponível no período de maior demanda pela cultura, que direta ou indiretamente afeta a produtividade.

Em termos gerais, os resultados evidenciam a grande exigência da cultura pelo nutriente nitrogênio, uma vez que, até mesmo aplicando-se o dobro da dose não foi possível atingir o ponto de máxima resposta da cultura para as variáveis analisadas.

O crescimento da fitomassa vegetal e da massa das espigas de milho corroboram a importância desse nutriente para o crescimento da planta, função essa, que é atribuída ao nitrogênio por diversos autores, sendo imprescindível a adubação nitrogenada para a cultura. Fato também observado por Souza *et al.* (2019), ao avaliarem a taxa econômica de nitrogênio para a fertirrigação da cultura do milho verde no semiárido brasileiro, onde obtiveram incrementos positivos para o desenvolvimento da cultura com a fertirrigação nitrogenada.

Da mesma forma, Besen *et al.* (2020), avaliando a produtividade de milho e o retorno econômico em sistema integrado de produção com doses de nitrogênio no município de Curitibanos - SC, obtiveram respostas lineares para os caracteres das espigas de milho em função das doses de nitrogênio avaliadas.

As respostas obtidas corroboram com o fato de que o nitrogênio é o nutriente exigido em maior quantidade pela cultura do milho, limitando frequentemente o rendimento de grãos e exerce importante função nos processos bioquímicos da planta. Com relação ao comportamento linear das variáveis em função da dose de nitrogênio, esse pode ser pautado no fato de que os diversos híbridos e variedades de milho atualmente disponíveis no mercado requerem quantidades diferentes do nutriente, estando esse consumo associado ao potencial produtivo (RODRIGUES *et al.*, 2018). Assim, as recomendações de adubação de Pereira Filho (2003) parecem não se enquadrarem para o híbrido avaliado, nas condições de estudo desse trabalho.

Devido à complexidade da dinâmica do N no sistema solo-planta, sendo esta muito variável, uma vez que, é influenciada, principalmente pelo manejo, sistema de cultivo, fonte do

nutriente e pelas condições edafoclimáticas, levando ainda à alta mobilidade e perdas do nutriente, muitos trabalhos envolvendo nitrogênio podem apresentar resultados diversos, fato que aponta para a necessidade de anos de estudos, para se ter um diagnóstico preciso das respostas das culturas (RODRIGUES *et al.*, 2018). Assim, pode-se inferir que outros estudos sejam realizados a fim de avaliar a eficácia das recomendações de adubação para a cultura do milho verde avaliadas nesse estudo.

Cabe ainda destacar a importância de tais estudos pelo fato dos fertilizantes nitrogenados se tratarem dos insumos que mais oneram os custos de produção, chamando atenção para a necessidade de serem aplicados em quantidade e de maneira adequada para que não haja prejuízos econômicos (KAPPES *et al.*, 2014).

## 17 CONCLUSÕES

As doses de nitrogênio e as diferentes épocas influenciaram significativamente as variáveis de crescimento vegetativo estudadas com resposta linear para ambos os fatores estudados, sendo os melhores valores obtidos para a maior dose avaliada de 340 kg ha<sup>-1</sup> e aos 75 dias após a semeadura, com exceção do diâmetro do colmo que se comportou de forma quadrática para o fator época com o máximo valor aos 52 dias após a semeadura.

As doses de nitrogênio influenciaram positivamente a produção da cultura do milho verde, com a maior dose avaliada de 340 kg ha<sup>-1</sup> proporcionando os maiores valores para as variáveis produtivas analisadas.

As recomendações de adubação utilizadas nesse estudo devem ser melhor avaliadas e ajustadas para o híbrido AG1051, a fim de promover uma adubação mais eficiente para a cultura na região de estudo.

## REFERÊNCIAS

- AMARAL FILHO, J. P. R.; FORNASIERI FILHO, D.; FARINELLI, R.; BARBOSA, J. C. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l], v. 29, p. 467-473, 2005.
- ANDRADE, F. R.; PETTER, F. A.; NÓBREGA, J. C. A.; PACHECO, L. P.; ZUFFO, A. M. Desempenho agrônômico do milho a doses e épocas de aplicação de nitrogênio no Cerrado piauiense. **Revista Ciências Agrárias**, Fortaleza, v. 57, n. 4, p. 358-366, 2014.
- ANDREOTTI, M.; RODRIGUES, J. D.; CRUSCIOL, C. A. C.; SOUZA, E. C. A. de; BÜLL, L. T. Crescimento do milho em função da saturação por bases e da adubação potássica. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.58, n.1, p.145-150, 2001.
- BARROS, I.; SANTOS, W. M.; PACHECO, E. P.; PROCÓPIO, S. O.; SOUZA, H. N. **Recomendações de Nitrogênio para a Cultura do Milho nos Tabuleiros Costeiros: Desempenho Produtivo e Econômico** - Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016.
- BASI, S.; NEUMANN, M.; MARAFON, F.; UENO, R. K.; SANDINI, I. E. Influência da adubação nitrogenada sobre a qualidade da silagem de milho. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v.4, n.3, p.219-234, 2011.
- BESEN, M. R.; RIBEIRO, R. H.; GOETTEN, M.; FIOREZE, S. L.; GUGINSKI-PIVA, C. A.; PIVA, J. T. Produtividade de milho e retorno econômico em sistema integrado de produção com doses de nitrogênio. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.19, n.1, p.94-103, 2020.
- BORGES, I. D. **Marcha de absorção de nutrientes e acúmulo de matéria em cultivares de milho**. 2006. 115 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.
- BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.2, p.365-372, 2000.
- CARDOSO, M. J.; SILVA, A. R.; ROCHA, L. P.; GUIMARÃES, L. J. M.; PARENTONI NETTO, S. Produtividade de espiga verde de milho sob diferentes níveis de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.28, n.2, 2010.
- CARMO, M. S. do; CRUZ, S. C. S.; SOUZA, E. J. de; CAMPOS, L. F. C.; MACHADO, C. G. Doses e fontes de nitrogênio no desenvolvimento e produtividade da cultura de milho doce (*Zea mays* convar. *saccharata* var. *rugosa*). **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.28, Supplement 1, p.223-231, 2012.
- COELHO, A. M. **Nutrição e adubação do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 10 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 78). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/490410/1/Circ78.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2018.
- COELHO, A. M.; França, G. E.; Pitta, G. V. E.; Alves, V. M. C.; Hernani, L. C. **Sistemas de produção, 1: Cultivo do milho**. Brasília: Embrapa CNPMS. 2007.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; GAMEIRO, R. A.; PARIZ, C. M.; BUZETTI, S.; LOPES, K S. M. Adubação nitrogenada no consórcio de milho com duas espécies de braquiária em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.9, p.1038-1047, 2012.

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

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

EBRAHIMI, S.T., YARNIA, M., BENAM, M.B.K., TABRIZI, E.F.M. Effect of potassium fertilizer on corn yield (Jeta cv.) under drought stress condition. **American Journal of Environmental Sciences**, [s.l.], v.10, n.2, p.257–263, 2011.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. Corn. In: FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. (Eds.). **Growth and mineral nutrition of field crops**. [s.l.], 3. ed. Madison: Marcel Decker, p.313-342. 2011.

FARINELLI, R.; LEMOS, L. B. Produtividade e eficiência agrônômica do milho em função da adubação nitrogenada e manejos de solo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [s.l.], v.9, n.32, p.135-146, 2010.

FARINELLI, R.; PENARIO, F. G; FORNASIERI FILHO, D.; BORDIN, L. Effects of nitrogen and potassium fertilization on agronomic characteristics of upland rice cultivated under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v.28, n.3, p.447-454, 2004.

FERNANDES, F. C. da S.; LIBARDI, P. L. Distribuição do Nitrogênio do sulfato de amônio (15N) no sistema solo-planta, em uma sucessão de culturas, sob sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, [s.l.], v.36, n.3, p.885-894, 2012.

FERNANDES, J. D.; CHAVES, L. H. G.; MONTEIRO FILHO, A. F.; VASCONCELLOS, A.; SILVA, J. R. P. Crescimento e produtividade de milho sob influência de parcelamento e doses de nitrogênio. **Revista Espacios**, [s.l.], v.38, p.27, 2017.

FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C. Ammonia volatilization in no-till system in the southcentral region of the State of Paraná, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v.34, n.5, p.1677-1684, 2010.

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

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

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

GOES, R. J.; RODRIGUES, R. A. F.; TAKASU, A. T.; ARF, O. Características agronômicas e produtividade do milho sob fontes e doses de nitrogênio em cobertura no inverno. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [s.l], v.12, n.3, 2013.

GOMES, L. A.; SILVA, F. de A. da; PEREIRA, F. H. F.; CAMPOS JUNIOR, J. E.; NOBREGA, J. S.; DIAS, M. dos S. Crescimento inicial do milho sob aplicação de esterco bovino Initial growth of corn under application of esterco bovino. **Revista Ambientale**. Alagoas, v.11, n.2, p.12-21, 2019.

HAEGELE, J. W.; COOK, K. A.; NICHOLS, D. M.; BELOW, F. E. Changes in nitrogen use traits associated with genetic improvement for grain yield of maize hybrids released in different decades. **Crop Science**, [s.l], v.53, p.1256-1268, 2013.

KAPPES, C.; ARF, O.; BEM, E. A. D.; PORTUGAL, J. R.; GONZAGA, A. R.; Manejo do nitrogênio em cobertura na cultura do milho em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [s.l], v.13, n.2, p.201-217, 2014.

KOSGEY, J. R.; MOOT, D. J.; FLETCHER, A. L.; MCKENZIE, B. A. Dry matter accumulation and post-silking N economy of stay green maize (*Zea mays* L.) hybrids. **European Journal of Agronomy**, [s.l], v.51, p 43-52, 2013.

LANA, M. do C.; WOYTICHOSKI JUNIOR, P. P.; BRACCINI, A. de L. e; SCAPIM, C. A.; ÁVILA, M. R.; ALBRECHT, L. P. A. Arranjo espacial e adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.31, n.3, p.433-438, 2009.

LEOLATO, L. S.; SANGOI, L.; DURLI, M. M.; PANISON, F.; VOSS, R. Growth regulator and maize response to the increase in plant density. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.52, n.11, p.997-1005, 2017.

LOPES A. S.; BASTOS A. R. R.; DAHER E.; Uso Eficiente de Fertilizantes Nitrogenados e Sulfatados na Agricultura Brasileira: Uma Visão do Futuro. *In*: SIMPÓSIO SOBRE NITROGÊNIO E ENXOFRE NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Piracicaba, 5, 2007, **Anais [...]**. Piracicaba: 2007. p.161-249, 2007.

LOPES, J. P.; MACHADO, E. C.; DEUBER, R.; MACHADO, R. S. Análise de crescimento e trocas gasosas na cultura de milho em plantio direto e convencional. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.4, p.839-848, 2009.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Fisiologia da produção do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 10p. Circular Técnica n.76.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres, 638 p. 2006.

MALAVOLTA, E.; PIMENTEL-GOMES, F.; ALCARDE, J.C. **Adubos e adubações**. São Paulo: Nobel, 200 p., 2002.

- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 6. ed. London: Academic Press, 889 p. 2005.
- MARTIN, T.N.; PAVINATO, P.S.; SILVA, M.R.; ORTIZ, S.; BERTONCELI. Fluxo de nutrientes em ecossistemas de produção de forragens conservadas. 2011. Maringá. *In: Anais [...]*. Maringá: 2011 *In: Anais do Simpósio sobre produção e utilização de forragens conservadas*, p.319. p.173-219.
- OKUMURA, R. S.; MARIANO, D.C.; ZACCHEO, P. V. C. Uso de fertilizante nitrogenado na cultura do milho: uma revisão. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v.4, n.2, p.226–244, 2011.
- PEREIRA FILHO, I. A.; VASCONCELOS, C. A; CRUZ, J. C. Adubação para o Cultivo do Milho Verde. *In: PEREIRA FILHO, I. A. (Ed.). O Cultivo do milho-verde*. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2003. p. 68-79.
- PINHO, R. G. V.; BORGES, I. D.; PEREIRA, J. L. de A. R.; REIS, M. C. dos. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [s.l], v.8, n.2, p.157-173, 2009.
- PRADO, R. de M.; **Nutrição de plantas**. Editora UNESP, 2008.
- RABÊLO, F. H. S., REZENDE, A. V., RABELO, C. H. S., AMORIM, F. A. Características agrônomicas e bromatológicas do milho submetido a adubações com potássio na produção de silagem. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.44, n.3, p.635-643, 2013.
- ROBERTO, V.M.O.; SILVA, C.D.; LOBATO, P.N. Resposta da cultura do milho a aplicação de diferentes doses de inoculante (*Azospirillum brasilense*) via semente. *In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO*, 28, 2010, Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2010. p. 2429-2433.
- RODRIGUES, F. J.; BARCAROLA, M. A.; ADAMS, C. R.; KLEINA, C.; BERWANGER, A. L. Eficiência agrônômica da cultura do milho sob diferentes fontes de nitrogênio em cobertura. **Uniciências**, [s.l], v.22, n.2, p.66-70, 2018.
- SANGOI, L.; PANISON, F.; DURLI, M. M.; LEOLATO, I. S.; COELHO, A. E.; KUNESKI, H. F.; OLIVEIRA, V. L.; Acúmulo de fitomassa do milho após o espigamento em função do parcelamento da cobertura nitrogenada. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [s.l], v.18, n.1, p.61-73, 2019.
- SANTOS, J. F dos.; GRANGEIRO, J. I. T.; BRITO, L. M. P. Variedades e híbridos de milho para a mesorregião do Agreste Paraibano. **Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v.3, n.3, p.13-17, 2009.
- SCHLICHTING, A. F. **Cultura do milho submetida a tensões de água no solo e doses de nitrogênio**. 2012. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis, 2012.

SCHRÖDER, J. J.; NEETESON, J. J.; OENEMA, O.; STRUIK, P. C. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of art. **Field Crops Research**, [s.l], v.66, n.2, p.151-164, 2000.

SODRÉ, D. C.; GALVÃO, J. R.; PACHECO, M. J. B. ; BARBOSA, A. V. C. ; BRONZE, A. B. S. ; MELO, N. C. ; NASCIMENTO, I. S. B. . Teores de nutrientes em milho (*Zea mays* L.) e aplicação de nitrogênio em solo amazônico. **Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais**, [s.l], v.10, n.6, p.7-14, 2019.

SOUZA, Ê. G. F.; CRUZ, E. A. da; FRANÇA, R. F. da; SILVA, J. M. da; BARROS JÚNIOR, A. P.; BEZERRA NETO, F. Economic nitrogen rate for fertigation of green corn crop in the Brazilian semiarid. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.54, e00556, 2019.

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. **Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto**. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 254- 263, 2011.

VIANA, E. M.; KIEHL, J. C. Interação de nitrogênio e potássio na nutrição, no teor de clorofila e na atividade da redutase do nitrato em plantas de trigo. **Bragantia**, Campinas, v.69, n.4, p.975-982, 2010.

VIEIRA, M. A. **Cultivares e populações de plantas na produção de milho-verde**. 2007. 78 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

VITTI, G. C.; TAVARES JR, J. E.; LUZ, P. H. C.; FAVARIN, J. L.; COSTA, M. G. C. Influência da mistura de sulfato de amônio com ureia sobre a volatilização de nitrogênio amoniacal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l], v.26, n.3, p.663-671, 2013.

YONG, J. W. H.; NG, Y. F.; CHEW, A. Y. L. Effect of fertilizer application on photosynthesis and oil yield of *Jatropha curcas* L. **Photosynthetica**, [s.l],v.48, p.208-218, 2010.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL). **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília: ANA, 2017. 86 p.
- AGUIAR, R. A. DE; SILVEIRA, P. M. DA; MOREIRA, J. A. A.; WANDER, A. E. Análise econômica de diferentes práticas culturais na cultura do milho (*Zea mays* L.). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, n. 4, p. 241-248, 2008.
- ALBUQUERQUE, C. J. B.; VON PINHO, R. G.; SILVA, R. Produtividade de híbridos de milho verde experimentais e comerciais. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.24, n.2, p.69-76, 2008.
- ALENCAR, C. A. B. de; CUNHA, F. F. da; MARTINS, C. E.; CÓSER, A. C., ROCHA, W. S. D. da; ARAÚJO, R. A. S. A. Irrigação de pastagem: atualidade e recomendações para uso e manejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, [s.l], v.38, p.98-108, 2009.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; PAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 328 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- AMARAL FILHO, J. P. R.; FORNASIERI FILHO, D.; FARINELLI, R.; BARBOSA, J. C. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l], v. 29, p. 467-473, 2005.
- ANDRADE, F. R.; PETTER, F. A.; NÓBREGA, J. C. A.; PACHECO, L. P.; ZUFFO, A. M. Desempenho agrônômico do milho a doses e épocas de aplicação de nitrogênio no Cerrado piauiense. **Revista Ciências Agrárias**, Fortaleza, v. 57, n. 4, p. 358-366, 2014.
- ANDREOTTI, M.; RODRIGUES, J. D.; CRUSCIOL, C. A. C.; SOUZA, E. C. A. de; BÜLL, L. T. Crescimento do milho em função da saturação por bases e da adubação potássica. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.58, n.1, p.145-150, 2001.
- ARAÚJO, K. K. S; CAMPOS, A. J. de; GOMES, M. A. Diferentes embalagens na qualidade pós-colheita de milho verde 'AG 1051'. **Revista Agrotecnologia**, Anápolis-GO, v.5, n.1, p.129-142, 2014.
- AZEVEDO, B. M. DE A.; FERNANDES, C. N. V.; AMARGO, D. C.; GARCIA, A. C.; VIANA, T. V. de A.; CAMPÊLO, A. R. Fertirrigação potássica do cajueiro com diferentes fontes e formas de diluição do cloreto de potássio. **Irriga**, Botucatu, v.19, n.2, p.325-332, 2014.
- AZEVEDO, B. M. de; FERNANDES, C. N. V.; VASCONCELOS, D. V.; GARCIA, A. C.; FIGUEREDO JÚNIOR, L. G. M. de; VIANA, T. V. de A. Irrigation depths and yield response factor in zucchini cultivation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Fortaleza, v.22, n.6, p.401-406, 2018.
- AZEVEDO, J. H. O.; BEZERRA, F. M. L. Resposta de dois cultivares de bananeira a diferentes lâminas de irrigação. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.39, n.1, p.28-33, 2008.

- BARBOSA FILHO, M. P.; SNYDER, G. H.; FAGERIA, N. K. Silicato de cálcio como fonte de silício para o arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.25, p.325-30, 2001.
- BARROS, I.; SANTOS, W. M.; PACHECO, E. P.; PROCÓPIO, S. O.; SOUZA, H. N. **Recomendações de Nitrogênio para a Cultura do Milho nos Tabuleiros Costeiros: Desempenho Produtivo e Econômico** - Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016.
- BASI, S.; NEUMANN, M.; MARAFON, F.; UENO, R. K.; SANDINI, I. E. Influência da adubação nitrogenada sobre a qualidade da silagem de milho. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v.4, n.3, p.219-234, 2011.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2009. 625p.
- BESEN, M. R.; RIBEIRO, R. H.; GOETTEN, M.; FIOREZE, S. L.; GUGINSKI-PIVA, C. A.; PIVA, J. T. Produtividade de milho e retorno econômico em sistema integrado de produção com doses de nitrogênio. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.19, n.1, p.94-103, 2020.
- BEZERRA, R. U.; VIANA, T. V. de A.; AZEVEDO, B. M. de; PEREIRA FILHO, J. V.; LIMA, A. D. Produção e qualidade da abóbora maranhão sob influência de lâminas de irrigação e doses de nitrogênio. **Irriga**, Botucatu, v.25, n.1, p.87-101, 2020.
- BISCARO, G. A. **Sistemas de irrigação localizada**. In: Fertirrigação. Dourados-MS, Ed. UFGD, 256p, 2014.
- BLANCO, F. F.; CARDOSO, M. J.; FREIRE FILHO, F. R.; VELOSO, M. E. C.; NOGUEIRA, C. C. P.; DIAS, N. S. Milho verde e feijão-caupi cultivados em consórcio sob diferentes lâminas de irrigação e doses de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.46, n.5, p.524-530, 2011.
- BOCANSKI, J.; SREČKOV, Z.; NASTASIĆ, A. Genetic and phenotypic relationship between grain yield and components of grain yield of maize (*Zea mays* L.). **Genetika**, [s.l], v.41, n.2, p.145-154, 2009.
- BORGES, I. D. **Marcha de absorção de nutrientes e acúmulo de matéria em cultivares de milho**. 2006. 115 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.
- BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.2, p.365-372, 2000.
- BRITO, M. E. B.; ARAUJO FILHO, G. D. de; WANDERLEY, J. A. C.; MELO, A. S. de; COSTA, F. B. da; 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.
- CAMPELO, D. H.; TEIXEIRA, A. dos S.; MOREIRA, L. C. J.; LACERDA, C. F. de. Growth, production and water and nitrogen use efficiency of maize under water depths and nitrogen fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 23, n. 10, p. 747-753, 2019.

CANCELLIER, L. L.; AFFÉRI, F. S.; CARVALHO, E. V. de; DOTTO, M. A.; LEÃO, F. F. Eficiência no uso de nitrogênio e correlação fenotípica em populações tropicais de milho no Tocantins. **Revista Ciência Agronômica**, Tocantins, v.42, n.1, p.139-148, 2011.

CARDOSO, M. J.; SILVA, A. R.; ROCHA, L. P.; GUIMARÃES, L. J. M.; PARENTONI NETTO, S. Produtividade de espiga verde de milho sob diferentes níveis de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.28, n.2, 2010.

CARMO, M. S. do; CRUZ, S. C. S.; SOUZA, E. J. de; CAMPOS, L. F. C; MACHADO, C. G. Doses e fontes de nitrogênio no desenvolvimento e produtividade da cultura de milho doce (*Zea mays* convar. *saccharata* var. *rugosa*). **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, Supplement 1, p. 223-231, Mar. 2012.

CARRIJO, O. A; SOUZA, R. B de; MAROUELLI, W. A.; ANDRADE, R. J. de. **Fertirrigação de Hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças. 2004. 12p. Circular técnica, n.32.

CASTRO, R. S. de. **Rendimentos de espigas verdes e de grãos de cultivares de milho após a colheita da primeira espiga como minimilho**. Mossoró, 2010. 90 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia Área de Concentração Agricultura Tropical) - Universidade Federal Rural do Semiárido.

CASTRO, R. S.; SILVA, P. S. L.; CARDOSO, M. J. Baby corn, green corn, and dry corn yield of corn cultivars. **Horticultura Brasileira**, [s.l], v.31, n.1, p.100-105, 2013.

CHAVES, L. H. G.; NETO, J. D.; FERNANDES, J. D., ALVES, H. S.; RIBEIRO, P. H. P. Adubação silicatada e lâminas de irrigação no crescimento e produção da cana-de-açúcar. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v.06, n.03, p.67-78, 2013.

COELHO, A. M. Manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho. **Jornal Eletrônico da Embrapa Milho e Sorgo**. Sete Lagoas-MG, ed. 23, 2010. Disponível em: [http://www.cnpms.embrapa.br/grao/24\\_edicao/grao\\_em\\_grao\\_artigo\\_01.htm](http://www.cnpms.embrapa.br/grao/24_edicao/grao_em_grao_artigo_01.htm). Acesso em: 07 de jun. de 2017.

COELHO, A. M. **Nutrição e adubação do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 10 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 78). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/490410/1/Circ78.pdf>. Acesso em: 16 de mar. 2018.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. de; PITTA, G. V. E.; ALVES, V. M. C.; HERNANI, L. C. Cultivo do Milho: Fertilidade de solos: **Nutrição e adubação do milho**. [s.l], Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 6 ed., 11 p. (Sistema de Produção, 1). Disponível em: [http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho\\_6\\_ed/feraduba.htm](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_6_ed/feraduba.htm). Acesso em: 23 de maio de 2017.

COELHO, A. M.; França, G. E.; Pitta, G. V. E.; Alves, V. M. C.; Hernani, L. C. **Sistemas de produção, 1: Cultivo do milho**. Brasília: Embrapa CNPMS. 2007.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira – grãos**: [s.l], v. 7 - Safra 2019/20, n.7 - Sétimo levantamento, abril 2020. Disponível

em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?limitstart=0>. Acesso em: 13 jul. 2020.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira** – grãos: [s.l], v. 6 - safra 2018/19 - n. 12 - Décimo segundo levantamento setembro 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?start=10>. Acesso em: 06 jul. 2020.

CONTIN, T. L. M. **Ureia tratada com o inibidor da urease NBPT na adubação de cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo**. Campinas- SP, 2007, 75 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) Instituto Agrônomo.

CONTINI, E.; MOTA, M. M.; MARRA, R.; BORGHI, E.; MIRANDA, R. A. de; SILVA, A. F. da; SILVA, D. D. da; MACHADO, J. R. de A.; COTA, L. V.; COSTA, R. V. da; MENDES, S. M. Embrapa. **Série desafios do Agronegócio Brasileiro (NT2) Milho** - Caracterização e Desafios Tecnológicos. Brasília – DF, p. 1- 45, 2019.

COSTA, F. R.; DAMASO, L. F.; MENDES, R. C.; MARQUES, D. D.; RODRIGUES, F. Desempenho de híbridos de milho para consumo in natura em diferentes doses de nitrogênio. **Científica**, Jaboticabal, v.43, n.2, p.109-116, 2015.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; GAMEIRO, R. A.; PARIZ, C. M.; BUZETTI, S.; LOPES, K S. M. Adubação nitrogenada no consórcio de milho com duas espécies de braquiária em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.9, p.1038-1047, 2012.

CRUZ, J. C.; GARCIA, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. **Caracterização dos sistemas de produção de milho para altas produtividades**. Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas, MG, dezembro, 2009.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, J. H. M.; OLIVEIRA, M. F.; MATRANGOLO, W. J. R.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. de. **Cultivo do milho**. [s.l]. 6. ed. Set./2010. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/27037/1/Plantio.pdf>. Acesso em: 26 set. 2017.

CRUZ, J. C.; PEREIRA, F. T. F.; PEREIRA FILHO, I. A.; COELHO, A. M. **Resposta de cultivares de milho à adubação nitrogenada em cobertura**. Sete Lagoas: EMBRAPA. Dezembro, 2005. p.65 (Comunicado Técnico 116).

CRUZ, J. C.; SILVA, G. H. da; PEREIRA FILHO, I. A.; GONTIJO NETO, M. M.; MAGALHÃES, P. C. **Sistema de produção de milho Safrinha de alta produtividade**: Safra 2008 e 2009. Sete Lagoas: EMBRAPA, Circular técnica 160, 10p, 2011.

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

DAKORA, F.D. **Silicon nutrition and N<sub>2</sub> fixation in symbiotic legumes**. III Silicon in Agriculture Conference. [s.l.]. Univesidade Federal de Uberlândia, p133. 2005.

DANTAS JUNIOR, E. E.; CHAVES, L. H. G.; COSTA, F. A. M. da; KORNDORFER, G. H. Desenvolvimento de milho irrigado e adubado com silicato de cálcio e magnésio. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.5, n.4, p.337-350, 2011.

DANTAS JUNIOR, E. E.; CHAVES, L. G.; FERNANDES, J. D. Lâminas de irrigação localizada e adubação potássica na produção de milho verde, em condições semiáridas. **Revista espacios**, Fortaleza, v.37, n.27, 2016.

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

DAYANANDAM, P., KAUFMAN, P. B., FRAKIN, C. I. Detection of silica in plants. **American Journal of Botany**, [s.l.]. v.70, p.1079-1084. 1983.

DEMATTE, J. L. I.; PAGGIARO, C. M.; BELTRAME, J. A.; RIBEIRO, S. S. Uso de silicatos em cana-de-açúcar. **Informações Agronômicas**, [s.l.]. n.133, p.7-12, 2011.

DUARTE, E. C. da C.; GONÇALVES, A. C. de M.; TORRES, M. N. N.; SIMPLICIO, S. F.; RIBEIRO, R. X.; SOUZA, R. F. de; SOUZA JUNIOR, S. P. de. Manejo de herbicidas no controle de plantas daninhas e sua influência no crescimento e produção do milho híbrido AG 1051. **Revista AGROTEC**; [s.l.], v.37, n.1, p.71-80, 2016.

DUETE, R. R. C., MURAOKA, T., SILVA, E. C. da; TRIVELIN, P. C. O.; AMBROSANO, E. J. Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (15N) pelo milho em latossolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, [s.l.]. v.32, p.161-171, 2008.

EBRAHIMI, S.T., YARNIA, M., BENAM, M.B.K., TABRIZI, E.F.M. Effect of potassium fertilizer on corn yield (Jeta cv.) under drought stress condition. **American Journal of Environmental Sciences**, [s.l.], v.10, n.2, p.257–263, 2011.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F. C. Potássio. In: Novais, R. F.; Venegas, V. H. A.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. (ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Cap.9, p.501-589, 2007.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. Corn. In: FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. (Eds.). **Growth and mineral nutrition of field crops**. [s.l.], 3. ed. Madison: Marcel Decker, p.313-342. 2011.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B.; CUTRIM, V. A. Produtividade de arroz irrigado e eficiência de uso do nitrogênio influenciadas pela fertilização nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.07, p.1029-1034, 2007.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: 2.ed., Agropecuária. 360p. 2008.

FARIA A. F.; ALVAREZ, V. V. H., MATTIELLO, E. M., LIMA, N. J. C., FELIX, de B. N.; NOGUEIRA, de P. H. Capacidade de suprimento de potássio em solos de minas gerais-brasil. **Spanish journal of soil Science**, [s.l].v.2, issue 1, 2012.

FARIA, R. **Efeito da acumulação de silício e a tolerância das plantas de arroz do sequeiro ao déficit hídrico do solo**. 2000. 125 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Solos, Universidade Federal de Lavras. Viçosa, 2000.

FARINELLI, R.; LEMOS, L. B. Produtividade e eficiência agronômica do milho em função da adubação nitrogenada e manejos de solo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [s.l], v.9, n.32, p.135-146, 2010.

FARINELLI, R.; PENARIO, F. G; FORNASIERI FILHO, D.; BORDIN, L. Effects of nitrogen and potassium fertilization on agronomic characteristics of upland rice cultivated under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l], v.28, n.3, p.447-454, 2004.

FERNANDES, C. N. V. **Instalação e calibração de um lisímetro de precisão com uma célula de carga**. 2010. 63 f. Monografia (Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

FERNANDES, F. C. da S.; LIBARDI, P. L. Distribuição do Nitrogênio do sulfato de amônio (15N) no sistema solo-planta, em uma sucessão de culturas, sob sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, [s.l], v.36, n.3, p.885-894, 2012.

FERNANDES, J. D.; CHAVES, L. H. G.; MONTEIRO FILHO, A. F.; VASCONCELLOS, A.; SILVA, J. R. P. Crescimento e produtividade de milho sob influência de parcelamento e doses de nitrogênio. **Revista Espacios**, [s.l], v.38, p.27, 2017.

FERREIRA, H. de A.; SOUZA, A. dos S.; SOUSA, D. A. de; SOUZA, A. dos S.; MARACAJÁ, P. B. Componentes de produção e produtividade do milho submetido a doses de nitrogênio no semiárido paraibano. **Revista Verde**, Mossoró- RN, v.5, n.4, p. 90-96, 2010.

FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C. Ammonia volatilization in no-till system in the southcentral region of the State of Paraná, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l], v.34, n.5, p.1677-1684, 2010.

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

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

FRIZZONE, J. A.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R.; FARIA, M. A. **Microirrigação: Gotejamento e microaspersão**, 1 ed., 356p, ed. Eduem, Maringá, 2012.

GAO, M., QIU, J.; LI, C.; WANG, L.; LI, H.; GAO, C. Modeling nitrogen loading from a watershed consisting of cropland and livestock farms in China using Manure-DNDC. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s.l]. v.185, p.88-98, 2014.

GASQUES, J. G.; SOUZA, G. da S.; BASTOS, E. T. Tendências do agronegócio brasileiro para 2017-2030. In: RODRIGUES, R. (Org.). **Agro é paz: análises e propostas para o Brasil alimentar o mundo**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz, 2018. p. 31-68.

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

GOES, R. J.; RODRIGUES, R. A. F.; TAKASU, A. T.; ARF, O. Características agronômicas e produtividade do milho sob fontes e doses de nitrogênio em cobertura no inverno. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [s.l.], v.12, n.3, 2013.

GOMES, L. A.; SILVA, F. de A. da; PEREIRA, F. H. F.; CAMPOS JUNIOR, J. E.; NOBREGA, J. S.; DIAS, M. dos S. Crescimento inicial do milho sob aplicação de esterco bovino. Initial growth of corn under application of esterco bovino. **Revista Ambientale**. Alagoas, v.11, n.2, p.12-21, 2019.

GUNES, A.; PILBEAM, D. J.; INAL, A.; COBAN, S. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, in growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, [s.l.]. v.39, n.13-14, p.1885-1903, 2008.

HAEGELE, J. W.; COOK, K. A.; NICHOLS, D. M.; BELOW, F. E. Changes in nitrogen use traits associated with genetic improvement for grain yield of maize hybrids released in different decades. **Crop Science**, [s.l.], v.53, p.1256-1268, 2013.

IBGE - **Levantamento Sistemático da produção Agrícola**: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil / Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. - Fev. 2015; v.1, n.1 - Rio de Janeiro: IBGE. 2017. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2017-04/estimativa-de-producao-cresce-e-safra-recorde-de-2017-sera-251-maior>. Acesso em: 24 de abr. de 2017.

KAPPES, C.; ARF, O.; BEM, E. A. D.; PORTUGAL, J. R.; GONZAGA, A. R. Manejo do nitrogênio em cobertura na cultura do milho em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [s.l.], v.13, n.2, p. 201-217, 2014.

KAYA, C., TUNA, L.; HIGGS, D. Effects of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water-stress conditions. **Journal of Plant Nutrition**, [s.l.]. v.29, p.1469-1480, 2006.

KIDD, P., PROCTOR, J. The growth response of ecotypes of *Holcus lanatus* L. from different soil types in northwestern europe to aluminum and silicon. **Fresenius Environmental Bulletin**, [s.l.]. v.10, p.590-594, 2001.

KOSGEY, J. R.; MOOT, D. J.; FLETCHER, A. L.; MCKENZIE, B. A. Dry matter accumulation and post-silking N economy of stay green maize (*Zea mays* L.) hybrids. **European Journal of Agronomy**, [s.l.], v.51, p 43-52, 2013.

KUNTZ, R. P. **Produtividade do milho em função do arranjo e da população de plantas no sistema de plantio direto na palha**. 2005, 115 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2005.

KWIATKOWSKI A.; CLEMENTE, E. Características do milho doce (*Zea mays* L.) para industrialização. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, Paraná, v.1, n.2, p.93-103, 2007.

LANA, M. do C.; WOYTICHOSKI JUNIOR, P. P.; BRACCINI, A. de L. e; SCAPIM, C. A.; ÁVILA, M. R.; ALBRECHT, L. P. A. Arranjo espacial e adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.31, n.3, p.433-438, 2009.

LEOLATO, L. S.; SANGOI, L.; DURLI, M. M.; PANISON, F.; VOSS, R. Growth regulator and maize response to the increase in plant density. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.52, n.11, p.997-1005, 2017.

LIANG, Y. C.; SUN, W.; ZHU, Y. G.; CHRISTIE, P. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. **Environmental Pollution**, [s.l]. v.147, n.2, p. 422-428, 2007.

LIAO, C. Study on two agronomic traits associated with kernel weight in a maize RIL segregation population. In: LI, S., JIN, Q., JIANG, X., PARK, J.H. (Eds.) **Frontier and Future Development of Information Technology in Medicine and Education**. Netherlands: Springer Netherlands, 2014. Cap.79, p. 811-817.

LIMA, M. de A.; CASTRO, V. F. de C.; VIDAL, J. B.; ENÉAS FILHO, J. Aplicação de silício em milho e feijão-de-corda sob estresse salino. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.42, n.2, p.398-403, 2011.

LOPES A. S.; BASTOS A. R. R.; DAHER E.; Uso Eficiente de Fertilizantes Nitrogenados e Sulfatados na Agricultura Brasileira: Uma Visão do Futuro. In: SIMPÓSIO SOBRE NITROGÊNIO E ENXOFRE NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Piracicaba, 5, 2007, **Anais** [...]. Piracicaba: 2007. p.161-249, 2007.

LOPES, J. P.; MACHADO, E. C.; DEUBER, R.; MACHADO, R. S. Análise de crescimento e trocas gasosas na cultura de milho em plantio direto e convencional. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.4, p.839-848, 2009.

LUNA, N. R. de S.; ANDRADE, E. M de; CRISÓSTOMO, L. A; MEIRELES, A. C. M.; AQUINO, D. do N. Dinâmica do nitrato e cloreto no solo e a qualidade das águas subterrâneas do distrito de irrigação Baixo Acaraú, CE. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista – RR, v.7, n.1, p.53-62, 2013.

MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plant. In: DATNOFF, L. E.; KORNDÖRFER, G. H.; SNYDER, G. **Silicon in Agriculture**. New York: Elsevier Science. [s.l]. p.17-39, 2001.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Functions and transport of silicon in plants. **Cellular and Molecular Life Sciences**, Basel, v.65, p.3049-3057, 2008.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Fisiologia da produção do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 10p. Circular Técnica n.76.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; CARNEIRO, N. P.; PAIVA, E. **Fisiologia do Milho**. 1. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002, 23 p. (Circular Técnica).

MAGALHAES, P. C.; SOUZA, T. C. de. **Cultivo do Milho: Ecofisiologia**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 8 ed., 18 p. (Sistema de Produção, 1). Disponível em: [http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho\\_8\\_ed/ecofisiologia.htm](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_8_ed/ecofisiologia.htm). Acesso em: 24 de abr. de 2017.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres, 638 p. 2006.

MALAVOLTA, E.; PIMENTEL-GOMES, F.; ALCARDE, J.C. **Adubos e adubações**. São Paulo: Nobel, 200 p., 2002.

MARAFON, A. C.; ENDRES, L. **Adubação silicatada em cana-de-açúcar**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2011. 46 p. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros), Disponível em: [http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes\\_2011/doc\\_165.pdf](http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2011/doc_165.pdf). Acesso em: 05 de maio de 2017.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Manejo da irrigação em hortaliças**. 5. ed. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI: EMBRAPA-CNPH, 1996. 72 p.

MAROUELLI, W. A.; SOUSA, V. F. de; Irrigação e fertirrigação. *In*: SOUSA, V. F. DE; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. (Ed.). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2011. p. 771.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 6. ed. London: Academic Press, 889 p. 2005.

MARTIN, T.N.; PAVINATO, P.S.; SILVA, M.R.; ORTIZ, S.; BERTONCELI. Fluxo de nutrientes em ecossistemas de produção de forragens conservadas. 2011. Maringá. *In*: **Anais [...]**. Maringá: 2011 *In*: Anais do Simpósio sobre produção e utilização de forragens conservadas, p.319. p.173-219.

MATOS, E. H. da S. **Cultivo do Milho Verde**. Dossiê técnico. Brasília, CDT (Centro de apoio ao desenvolvimento tecnológico/ UnB, 2007. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/downloads/Cultivo%20do%20Milho%20Verde.pdf>. Acesso em: 05 de maio de 2017.

MELO, R. F. de; OLIVEIRA, A. R. de; SIMÕES, W. L.; SANTOS, M. L. de S. Desenvolvimento e produtividade do milho brs gorutuba sob diferentes lâminas de irrigação e adubação orgânica. **Revista Científica Intelletto**, Venda Nova do Imigrante, v.3, n.1, p.1-14, 2018.

MENDONÇA, F. C.; MARQUES, P. A. A. Manejo hídrico na agricultura. In: PALHARES, J. C. P.; GEBLER, L. (Ed.). **Gestão Ambiental na Agropecuária**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 2p. 490.

MIRANDA, R. A.; DUARTE, J. O.; GARCIA, J. C. de. **Cultivo do Milho: Economia da Produção**. [s.l.]. Embrapa Milho e Sorgo, 2012. 7 ed., 13p. (Sistema de Produção, 1). Disponível em: [http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho\\_8\\_ed/economia.htm#topo](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_8_ed/economia.htm#topo). Acesso em: 05 de maio de 2017.

MORAES, A. R. A. de. **A cultura do milho verde**. 2009. [s.l.]. Artigo em Hypertexto. Disponível em: [http://www.infobibos.com/Artigos/2009\\_2/MilhoVerde/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2009_2/MilhoVerde/index.htm). Acesso em: 8 de maio de 2017.

MORAES, A. R. A.; RAMOS JÚNIOR, E. U.; GALLO, P. B.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; SWASAKI, E. DUARTE, A. P.; BERNINI, C. S.; GUIMARÃES, P. S.; Desempenho de oito cultivares de milho verde na safrinha, no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [s.l.], v.9, n.1, p.79-91, 2010.

NASCIMENTO, C. W. A.; CUNHA, K. P. V.; RODRIGUES, F. A. Silício e tolerância de plantas a metais pesados. In: RIBEIRO, M. R.; NASCIMENTO, C. W. A.; RIBEIRO FILHO, M. R. *et al.* **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 273-318.

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

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

NETO, J. C. S.; NETO, A. L. dos; SANTOS, W. M. dos; BARROS, D. T. S.; SOUZA, A. A. de; NETO, J. C. de A. Performance of irrigated green corn cultivars in different plant populations at sowing. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.21, n.4, p.267-272, 2017.

NEUMAM, D.; NIEDEN, U. Silicon and heavy metal tolerance of higher plants. **Phytochemistry**, [s.l.], v.56, p.685–692, 2001.

NOGUEIRA, F. P.; SILVA, M. V. T. da; OLIVEIRA, F. L. de; CHAVES, S. W. P.; MEDEIROS, J. F. de. Crescimento e marcha de absorção de nutrientes da melanciaira fertirrigada com diferentes doses de N e K. **Revista Verde**, Pombal, v.9., n.3, p.35- 42, 2014.

NOVAIS, R. F.; VENEGAS, V. H. A.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Cap.9, p.501-589, 2007.

NWUGO, C. C.; HUERTA, A. J. Effects of silicon nutrition on cadmium uptake, growth and photosynthesis of rice plants exposed to low-level cadmium. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.311, p.73-86, 2008.

OKUMARA, R. S.; MARIANO, D. C.; ZACCHEO, P. V. C. Uso de fertilizante nitrogenado na cultura do milho: uma revisão. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v.4, n.2, p.226-244, 2011.

OKUMURA, R. S.; MARIANO, D.C.; ZACCHEO, P. V. C. Uso de fertilizante nitrogenado na cultura do milho: uma revisão. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v.4, n.2, p.226–244, 2011.

OLIVEIRA, D. B. de; MELO, M. R. M. de; CARDOSO, J. A. E.; LAMBERT, R. A. Avaliação fisiológica do milho (*Zea mays*) sob diferentes lâminas de irrigação, no município de Itumbiara – GO. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.10, n.18, p.585-591, 2014.

OLIVEIRA, F. A. de.; CAVALCANTE, L. F.; SILVA, I. de F da; PEREIRA, W. E.; OLIVEIRA, J. C. de; FILHO, J. F. da C. Crescimento do milho adubado com nitrogênio e fósforo em um Latossolo Amarelo, **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Piracicaba, v.4, n.3, p.238-244, 2009.

OLIVEIRA, F. C. C.; PEDROTTI, A.; FELIX, A. G. S.; SOUZA, J. L. S.; HOLANDA, F. S. R.; JUNIOR, A. V. M. Características químicas de um argissolo e a produção de milho verde nos tabuleiros costeiros sergipanos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 12, n. 3, p. 354-360, 2017.

OLIVEIRA, J. M. de; REZENDE, R.; FREITAS, P. S. L. de.; MALLER, A.; HARA, A. T.; SANTOS, F. A. S. Fertirrigação na cultura da rúcula (*Eruca sativa miller*) conduzida em ambiente protegido. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 3, p. 438-448, 2016.

OLIVEIRA, M. V. A. M.; VILLAS-BÔAS, R. L. Uniformidade de distribuição do potássio e do nitrogênio em sistema de irrigação por gotejamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, p.95-103, 2008.

OTTO, R.; VITTI, G. C.; LUZ, P. H. de C. Manejo da adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l], v.34, n.4, p.1137-1145, 2010.

PEREIRA FILHO, I. A.; VASCONCELOS, C. A; CRUZ, J. C. Adubação para o Cultivo do Milho Verde. In: PEREIRA FILHO, I. A. (Ed.). **O Cultivo do milho-verde**. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2003. p. 68-79.

PEREIRA FILHO, I. A.; VASCONCELOS, C. A; CRUZ, J. C. Adubação para o Cultivo do Milho Verde. In: PEREIRA FILHO, I. A. (Ed.). **O Cultivo do milho-verde**. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2003. p. 68-79.

PINHO, R. G. V.; BORGES, I. D.; PEREIRA, J. L. de A. R.; REIS, M. C. dos. Marcha de absorção de macronutrientes e acúmulo de matéria seca em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [s.l], v.8, n.2, p.157-173, 2009.

PINTO, O. R. de O.; AZEVEDO, B. M. de; MARINHO, A. B.; FERNANDES, C. N. V.; VIANA, T. V. de A.; BRAGA, E. S. Adubação nitrogenada na cultura do sorgo granífero pelo

método convencional e por fertirrigação. **Agropecuária Técnica**, Areia, v. 32, n. 1, p 132-140, 2011.

PRADO, R. de M.; **Nutrição de plantas**. Editora UNESP, 2008.

RABÊLO, F. H. S., REZENDE, A. V., RABELO, C. H. S., AMORIM, F. A. Características agronômicas e bromatológicas do milho submetido a adubações com potássio na produção de silagem. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.44, n.3, p.635-643, 2013.

RAVEN J, A. Cycling silicon-the role of accumulation in plant. *New Phytologist*, Oxford, v.158. p. 419-421, 2003.

REIS, M. A. M. dos. **Sistemas de preparo do solo associado à diferentes lâminas de irrigação na cultura do milho**. 2018. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

ROBERTO, V. M. O.; SILVA, C. D.; LOBATO, P. N. Resposta da cultura do milho a aplicação de diferentes doses de inoculante (*Azospirillum brasilense*) via semente. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28, 2010, Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2010. p. 2429-2433.

ROCHA JUNIOR, A. F.; MOUSINHO, F. E. P.; SOARES, C. A.; GOMES, E. R.; VELOSO, M. E. da C.; SALVIANO, A. A. C. Resposta produtiva do meloeiro sob diferentes lâminas de água e doses de nitrogênio. **Científica**, Jaboticabal, v.44, n.2, p.217-225, 2016.

RODRIGUES, F. A.; OLIVEIRA, L. A.; KORNDÖRFER, A. P.; KORNDÖRFER, G. H. Silício: um elemento benéfico e importante para as plantas. **Informações Agronômicas**, [s.l], n.134, p.14-20, 2011.

RODRIGUES, F. J.; BARCAROLA, M. A.; ADAMS, C. R.; KLEINA, C.; BERWANGER, A. L. Eficiência agrônômica da cultura do milho sob diferentes fontes de nitrogênio em cobertura. **Uniciências**, [s.l], v.22, n.2, p.66-70, 2018.

RODRIGUES, M. A. de; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; GARCIA, C. M. P.; ANDREOTTI, M. Adubação com KCl revestido na cultura do milho no Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.2, p.127-133, 2014.

SANGOI, L.; PANISON, F.; DURLI, M. M.; LEOLATO, I. S.; COELHO, A. E.; KUNESKI, H. F.; OLIVEIRA, V. L.; Acúmulo de fitomassa do milho após o espigamento em função do parcelamento da cobertura nitrogenada. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [s.l], v.18, n.1, p.61-73, 2019.

SANTOS, D. dos; GUIMARÃES, V. F.; KLEIN, J.; FIOREZE, S. L.; MACEDO JÚNIOR, E. K. Cultivares de trigo submetidas a déficit hídrico no início do florescimento, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.8, p.836–842, 2012.

- SANTOS, J. C. N.; ANDRADE, E.M.; MEDEIROS, P. H. A.; GUERREIRO, M. J. S.; PALÁCIO, H. A. Q. Land use impact on soil erosion at different scales in the Brazilian semi-arid. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.48, p.251-260, 2017.
- SANTOS, J. F dos.; GRANGEIRO, J. I. T.; BRITO, L. M. P. Variedades e híbridos de milho para a mesorregião do Agreste Paraibano. **Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v.3, n.3, p.13-17, 2009.
- SANTOS, M. A.; BATISTA, P. S. C.; LOPES, M. F.; SILVA, M. G. de M.; BERTO, A. L. F. Desempenho agrônomico de milho consorciado com feijão-de-corda em diferentes populações e arranjos de plantas no semiárido mineiro. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v.10, n.3, p.201-208, 2016.
- SANTOS, R. A.; HERNANDEZ, F. B. T.; FERREIRA, E. J. S.; VANZELA, L. S.; LIMA, R. C. Uniformidade de distribuição de água em irrigação por gotejamento em sub-superfície instalado na cultura de pupunheiras (*Bactris gasipaes* H. B. K.). *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32, 2003, Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: CONBEA, 2003. Disponível em: <http://www.agr.feis.unesp.br/c2003rsantos.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2017.
- SANTOS, W. de O.; SOBRINHO, J. E.; MEDEIROS, J. F. de; MOURA, M. S. B. de; NUNES, R. L. C. Coeficientes de cultivo e necessidades hídricas da cultura do milho verde nas condições do semiárido brasileiro. **Irriga**, Botucatu, v.19, n.4, p. 559-572, 2014.
- SAVANT, N. K.; KORNDORFER, G. H.; DATNOFF, L. E. *et al.* Silicon nutrition and sugarcane production: a review. **Journal of Plant Nutrition**, [s.l], v.22, n.12, p.1853-1903, 1999.
- SCHLICHTING, A. F. **Cultura do milho submetida a tensões de água no solo e doses de nitrogênio**. 2012. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis, 2012.
- SCHMIDT, R. E.; ZHANG, X.; CHALMERS, D. R. Response of photosynthesis and superoxide dismutase to silica applied to creeping bentgrass grown under two fertility levels. **Journal of Plant Nutrition**, [s.l], v.22, p.1763-1773, 1999.
- SCHRÖDER, J. J.; NEETESON, J. J.; OENEMA, O.; STRUIK, P. C. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of art. **Field Crops Research**, [s.l], v.66, n.2, p.151-164, 2000.
- SEMENTES AGROCERES. **Guia de híbridos**. [s.l], 2014 Disponível em: <http://www.sementesagroceres.com.br/pages/ManuaisTecnicos.aspx>. Acesso em: 03 jun. 2017.
- SHI, X.; ZHANG, C.; WANG, L.; ZHANG, F. Effect of Si on the distribution of Cd rice seedlings. **Plant and Soil**, [s.l], v.272, p.479-482, 2005.
- SILVA, A. A.; SILVA, T. S.; VASCONCELOS, A. C. P. de; LANA, R. M. Q. Influência da aplicação de diferentes fontes de MAP revestido com polímeros de liberação gradual na cultura do milho. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.28, Supplement 1, p.240-250, 2012.

SILVA, A. O. da. A fertirrigação e o processo de salinização de solos em ambiente protegido. **Revista Nativa Pesquisas Agrárias e Ambientais**, Sinop, v.2, n.3, p.180-186, 2014.

SILVA, D. M. F. da S.; KLAN, A. S.; LIMA, P. V. P. S. Produção de milho híbrido no Estado do Ceará: aspectos tecnológicos, competitivos, geração de emprego e renda. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 44, n.1, 2006.

SILVA, F. C.; SILVA, M. M. da; LIBADI, P. L. Aplicação de nitrogênio no cultivo de milho, sob sistema plantio direto: efeitos na qualidade física do solo e características agronômicas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.34, n.6, suplemento 1, p.3513-3528, 2013.

SILVA, J. L. de A.; SILVA JUNIOR, M. J. da S.; BARBOSA, M. R. B.; MEDEIROS, J. F. de M.; SILVA, A. E. A. da. Desenvolvimento da melancia fertirrigada com nitrogênio e potássio controlados pela solução do solo. **Agropecuária Científica no Semiárido**, [s.l], v.12, n.2, p.121-131, 2016.

SILVA, J. N. da; SILVA, J. L. de S.; SOUZA, L. C. de; SIQUEIRA, J. A. M.; NEVES, M. G.; OLIVEIRA, L. M. de; COELHO, C. C. R.; CONCEIÇÃO, A. G. C. da; NETO, C. F. de O. Conteúdo Relativo de Água, Transpiração e Condutância Estomática em Folhas de Sorgo Submetidas ao Estresse Hídrico e a Diferentes Concentrações de Silício. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29, 2012, Águas de Lindóia. **Anais [...]**. Águas de Lindóia: CNMS, 2012. Disponível em: [http://www.abms.org.br/eventos\\_antiores/cnms2012/02555.pdf](http://www.abms.org.br/eventos_antiores/cnms2012/02555.pdf). Acesso em: 20 abr. 2020. p. 1-7.

SILVA, L. C. F.; CASAGRANDE, J. C. **Nutrição mineral da cana-de-açúcar (macronutrientes)**. *In*: INSTITUTO DO AÇÚCAR E ALCOOL. Adubação da cana de -açúcar no Brasil. Piracicaba: PLANALSUCAR, 1983. p. 77-96. (Coleção, 2).

SILVEIRA JUNIOR, E. G.; PENATTI, C.; KORNDÖRFER, G. H.; CAMARGO, M. S. Silicato de cálcio e calcário na produção e qualidade da cana-de-açúcar – Usina Catanduva. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., 2003, Ribeirão Preto. **Anais [...]**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2003. p. 66.

SODRÉ, D. C.; GALVÃO, J. R.; PACHECO, M. J. B. ; BARBOSA, A. V. C. ; BRONZE, A. B. S. ; MELO, N. C. ; NASCIMENTO, I. S. B. . Teores de nutrientes em milho (*Zea mays* L.) e aplicação de nitrogênio em solo amazônico. **Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais**, [s.l], v.10, n.6, p.7-14, 2019.

SOUSA, G. de; AZEVEDO, B. M. de; OLIVEIRA, J. R. R. de; MESQUITA, T. de O.; VIANA, T. V. de A.; Ó, L. M. G. do. Adubação potássica aplicada por fertirrigação e pelo método convencional na cultura do amendoim. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.10, p.1055–1060, 2013.

SOUZA FILHO, A. L.; OLIVEIRA, F. H. T; PRESTON, W.; SILVA, G. F.; CARVALHO, S. L. Nitrogen and phosphate fertilizer on green corn grown in succession to the melon crop. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v.34, n.3, p.392-397, 2016.

SOUZA, Ê. G. F.; CRUZ, E. A. da; FRANÇA, R. F. da; SILVA, J. M. da; BARROS JÚNIOR, A. P.; BEZERRA NETO, F. Economic nitrogen rate for fertigation of green corn crop in the Brazilian semiarid. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.54, e00556, 2019.

SOUZA, E. J. de; CUNHA, F. F. da; MAGALHÃES, F. F.; SILVA, T. R. da; SANTOS, O. F. dos. Características da espiga do milho doce produzido sob diferentes lâminas de irrigação e doses nitrogenadas. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v.24, n.1, p.50-62, 2016.

SOUZA, I. H.; ANDRADE, E. M. Manejo da irrigação. In: ANDRADE, E. M.; PEREIRA, O, J.; DANTAS, F. E. R. (Eds). **Semiárido e manejo dos recursos naturais: uma proposta de uso adequado do capital natural**. Fortaleza, p. 239-260, 2010.

SOUZA, L. C. de.; SIQUEIRA, J. A. M.; SILVA, J. L. de S.; SILVA, J. N. da; COELHO, C. C. R.; NEVES, M. G.; OLIVEIRA NETO, C. F. de; LOBATO, A. K. da S. Compostos nitrogenados, proteínas e aminoácidos em milho sob diferentes níveis de silício e deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [s.l], v.13, n.2, p.117-128, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R. *et al.* **Science of the rice plant: physiology**. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1995. p. 420-433.

TEDESCO, M. J.; BOHNEM, H.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174p. (Boletim Técnico, 5). 1995.

TEIXEIRA, L. A. J.; NATALE, W.; MARTINS, A. L. M. Nitrogênio e Potássio via fertirrigação e adubação convencional-estado nutricional das bananeiras e produção de frutos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.29, n.1, p.153-160, 2007.

URCHEI, M. A.; RODRIGUES, J. D. Efeitos de potenciais de água no solo, em diferentes estádios fenológicos da cultura da cevada (*Hordeum vulgare* L.). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.51, p.533-540, 1994.

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. **Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto**. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 254- 263, 2011.

VASCONCELOS, A. C. P. de; SIQUEIRA, T. P.; LANA, R. M. Q.; FARIA, M. V. de; NUNES, A. A.; LANA, A. M. Q. Seed inoculation with *Azospirillum brasilense* and N fertilization of corn in the Cerrado biome. **Revista Ceres**, Viçosa, v.63, n.5, p.732-740, 2016.

VIANA, E. M.; KIEHL, J. C. Interação de nitrogênio e potássio na nutrição, no teor de clorofila e na atividade da redutase do nitrato em plantas de trigo. **Bragantia**, Campinas, v.69, n.4, p.975-982, 2010.

VIEIRA, M. A. **Cultivares e populações de plantas na produção de milho-verde**. 2007. 78 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

VIEIRA, M. A.; CAMARGO, M. K.; DAROS, E.; ZAGONEL, J.; KOEHLER, H. S. Cultivares de milho e população de plantas que afetam a produtividade de espigas verdes. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.32, n.1, p.81-86. 2010.

VITTI, G. C.; TAVARES JR, J. E.; LUZ, P. H. C.; FAVARIN, J. L.; COSTA, M. G. C. Influência da mistura de sulfato de amônio com ureia sobre a volatilização de nitrogênio amoniacal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l], v.26, n.3, p.663-671, 2013.

VON PINHO, R. G.; RIVERA, A. A. C.; BRITO, H. N.; LIMA, T. G. Avaliação agronômica do cultivo de milho em diferentes níveis de investimento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, n.1, p.39-46, 2009.

YONG, J. W. H.; NG, Y. F.; CHEW, A. Y. L. Effect of fertilizer application on photosynthesis and oil yield of *Jatropha curcas* L. **Photosynthetica**, [s.l], v.48, p.208-218, 2010.

YOSHIDA, S.; OHNISHI, Y.; KITAGISHI, K. Histochemistry of silicon in rice plant. **Soil Science and Plant Nutrition**, [s.l], v.8, p.107-111, 1962.

ZUCCARINI, P. Effects of silicon on photosynthesis, water relations and nutrient uptake of *Phaseolus vulgaris* under NaCl stress. **Biologia Plantarum**, [s.l], v.52, n.1, p.157-160, 2008.