



**MARCUS WILLAME LOPES CARVALHO**

**ARRANJO DE PLANTAS PARA A MÁXIMA  
PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E ESPIGAS VERDES DE  
MILHO COM E SEM DEFICIÊNCIA HÍDRICA**

**TERESINA – PI**

**2020**



**MARCUS WILLAME LOPES CARVALHO**

**ARRANJO DE PLANTAS PARA A MÁXIMA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E ESPIGAS  
VERDES DE MILHO COM E SEM DEFICIÊNCIA HÍDRICA**

Tese apresentada à Universidade Federal do Piauí, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Agricultura Tropical, para obtenção do título de Doutor em Ciências.

**ORIENTADOR**

Dr. Edson Alves Bastos

Coorientador: Dr. Milton José Cardoso

**TERESINA – PI**

**2020**

FICHA CATALOGRÁFICA  
Universidade Federal do Piauí  
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias  
Serviço de Processos Técnicos

- C331a Carvalho, Marcus Willame Lopes.  
Arranjo de plantas para máxima produtividade de grãos e espigas  
verdes de milho com e sem deficiência hídrica / Marcus Willame  
Lopes. -- 2020.  
130 f. : il.
- Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Piauí, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Agricultura Tropical, Teresina, 2020.  
“Orientadora: Prof. Dr. Edson Alves Bastos.”
1. *Zea mays* L., 2. Densidade de plantas . 3. Espaçamento entre fileiras 4. Regimes hídricos . I. Bastos, Edson Alves. II. Título.

**CDD 633.15**

**MARCUS WILLAME LOPES CARVALHO**

**ARRANJO DE PLANTAS PARA A MÁXIMA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E ESPIGAS  
VERDES DE MILHO COM E SEM DEFICIÊNCIA HÍDRICA**

Tese apresentada à Universidade Federal do Piauí, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Agricultura Tropical, para obtenção do título de Doutor em Ciências.

APROVADA em 03 de julho de 2020.

Comissão Julgadora:



Prof. Dr. Antônio Aécio de Carvalho Bezerra – CCA/UFPI



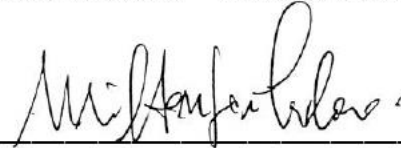
Prof. Dr. Luis Gonzaga Medeiros de Figueredo Júnior – UESPI



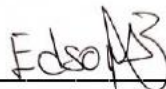
Pesq. Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior – EMBRAPA Meio-Norte



Pesq. Dr. Carlos Antônio Ferreira de Sousa – EMBRAPA Meio-Norte



Pesq. Dr. Milton José Cardoso – EMBRAPA Meio-Norte  
(Coorientador)



Pesq. Dr. Edson Alves Bastos – EMBRAPA Meio-Norte  
(Orientador)

**TERESINA-PI**

**2020**

*Aos meus amados pais Maria do Socorro Carvalho e Francisco Carvalho, que com muito amor, esforço e sacrifício possibilitaram as bases para essa conquista.*

*(DEDICO)*

## AGRADECIMENTO

A Deus, por ter me dado força para enfrentar todos os desafios superados nesta jornada e concretização deste grande sonho compartilhado com todos que me amam;

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Piauí, pela oportunidade em realizar o doutorado;

À Capes, pela concessão da bolsa de estudos;

À Embrapa Meio-Norte pela disponibilidade da área experimental e fornecimento de todos os insumos e mão-de-obra necessários para a realização deste trabalho.

Ao meu orientador, Edson Alves Bastos, por compartilhar seus conhecimentos, sempre com paciência, compreensão, respeito e dedicação e por ser um exemplo de profissional e pessoa a ser seguido;

Aos pesquisadores Milton José Cardoso, Aderson Soares de Andrade Júnior e Carlos Antônio Ferreira de Sousa, pela valiosa contribuição para a melhoria desse trabalho;

Ao meu grande amor, Catharina Teixeira, por estar sempre ao meu lado, dividindo as dores, as alegrias de cada conquista, por sempre me ajudar de todas as formas nos momentos que mais precisei.

À minha família, meus pais Maria do Socorro e Francisco Carvalho e minha irmã Muryel Lopes por sempre dar força e acreditar na concretização dessa conquista.

Aos colaboradores da Embrapa Meio-Norte, pessoas essenciais para a realização deste trabalho, pela ajuda nas atividades de campo.

Aos amigos do programa Adriana Conceição e Gabriela Sabrine pela ajuda, companhia e conselhos durante este percurso.

Aos estagiários que acompanharam e contribuíram para na condução dos experimentos Marcelo, Juliano e Felipe.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	11
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1. Aspectos gerais da cultura .....	13
2.2. Aspectos morfofisiológicos.....	15
2.3. Arranjo de plantas .....	18
2.3.1. Milho verde .....	19
2.3.2. Milho grão.....	20
2.4. Resposta à irrigação .....	21
2.4.1. Milho verde .....	22
2.4.2. Milho grão.....	22
2.5. Resposta ao déficit hídrico .....	23
2.5.1. Milho verde .....	24
2.5.2. Milho grão.....	25
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27
CAPÍTULO I.....	37
CRESCIMENTO E TROCAS GASOSAS DO MILHO COM E SEM DÉFICIT HÍDRICO SOB DIFERENTES ARRANJOS DE PLANTAS.....	37
RESUMO.....	37
ABSTRACT.....	38
1. INTRODUÇÃO.....	42
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	44
2.1. Caracterização da área experimental.....	44
2.2. Preparo do solo, adubação e semeadura.....	45
2.3. Sistema de irrigação e regimes hídricos.....	46
2.4. Monitoramento do conteúdo de água no solo.....	47
2.5. Variáveis analisadas .....	47
2.5.1. Morfológicas e de crescimento .....	47
2.5.2. Trocas gasosas .....	48
2.5.3. Conteúdo relativo de água.....	49
2.6. Delineamento experimental e análises estatísticas .....	50
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	52
3.1. Dados climáticos .....	52



3.2. Monitoramento do conteúdo de água no solo.....	53
3.3. Características morfológicas e de crescimento .....	54
3.4. Trocas Gasosas.....	59
4. CONCLUSÕES.....	66
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
CAPÍTULO II.....	72
DESEMPENHO PRODUTIVO DO MILHO-VERDE COM E SEM DÉFICIT HÍDRICO SOB DIFERENTES ARRANJOS DE PLANTAS.....	72
RESUMO.....	72
ABSTRACT.....	73
1. INTRODUÇÃO.....	77
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	79
2.1. Caracterização da área experimental.....	79
2.2. Preparo do solo, adubação e semeadura.....	80
2.3. Sistema de irrigação e regimes hídricos.....	81
2.4. Variáveis analisadas .....	82
2.5. Delineamento experimental e análises estatísticas .....	83
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	84
3.1. Componentes de produção e produtividade de espigas verdes .....	84
4. CONCLUSÕES.....	100
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101
CAPÍTULO III.....	106
DESEMPENHO PRODUTIVO DE GRÃOS DE MILHO COM E SEM DÉFICIT HÍDRICO SOB DIFERENTES ARRANJOS DE PLANTAS.....	106
RESUMO.....	106
ABSTRACT.....	107
1. INTRODUÇÃO.....	110
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	112
2.1. Caracterização da área experimental.....	112
2.2. Preparo do solo, adubação e semeadura.....	113
2.3. Sistema de irrigação e regimes hídricos.....	114
2.4. Variáveis analisadas .....	115
2.5. Delineamento experimental e análises estatísticas .....	116
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	117
4. CONCLUSÕES.....	125
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	126

## RESUMO

O objetivo geral deste trabalho foi definir o arranjo de plantas para a máxima produtividade técnica de espigas verdes e grãos secos do híbrido de milho AG-1051 sob irrigação plena e sob déficit hídrico, nas condições de solo e clima de Teresina, Piauí. Realizou-se dois ensaios concomitantemente, um com irrigação plena e outro com déficit hídrico, ambos utilizando sistema de irrigação por aspersão convencional fixo. Nos dois ensaios, utilizou-se o delineamento experimental de blocos casualizados, em esquema fatorial 5x2, combinando-se cinco densidades de plantas - DP (2; 4; 6; 8 e 10 plantas m<sup>-2</sup>) e dois espaçamentos entre fileiras - EEL (0,5 e 1,0 m), com quatro repetições. Avaliaram-se os componentes de crescimento, as trocas gasosas, os componentes de produção e produtividade de espigas verde e grãos secos e eficiência no uso de água (EUA). O aumento da densidade de plantas proporcionou maior altura de planta e de inserção da espiga e menor diâmetro de colmo. Houve incremento linear com o aumento da densidade nos dois regimes hídricos para o índice de área foliar (IAF), com maiores valores para as plantas irrigadas plenamente. A massa seca reduziu linearmente com o aumento da DP e do EEL nos dois regimes hídricos. Observou-se redução linear com o aumento da densidade de plantas, nos dois regimes hídricos, com maiores valores nas plantas espaçadas a 1,0 m para as taxas de transpiração (E), condutância estomática (gs) e assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A). Sob irrigação plena o máximo de concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci) foi observado na DP de 5,7 plantas m<sup>-2</sup> e EEL de 0,5 m. Em déficit hídrico observou-se comportamento quadrático com máximo de 5,6 plantas m<sup>-2</sup>. Quanto ao conteúdo relativo de água (CRA), observou-se redução linear com o aumento da DP. Para a produção de espigas verdes, o aumento da DP proporcionou decréscimo no comprimento, diâmetro e peso médios de espigas. O EEL de 0,5 m proporcionou espigas de maior comprimento, diâmetro e peso médios. O aumento da DP proporcionou incremento na porcentagem de palha em relação ao peso total da espiga. O ponto máximo de 67.721 espigas ha<sup>-1</sup> foi encontrado com a combinação do EEL de 0,5 m e DP de 10 plantas m<sup>-2</sup>. Em condições de déficit hídrico obteve-se ajuste quadrático com produtividade máxima de 43.000 espigas ha<sup>-1</sup> na DP de 7 plantas m<sup>-2</sup>. Para a produção de grãos secos, o incremento na DP proporcionou decréscimo linear da massa de 100 grãos e incremento na porcentagem de sabugo em relação ao peso total de espigas. Em regime com irrigação plena, a combinação entre o EEL de 0,5 m e a DP de 7,2 plantas m<sup>-2</sup> proporcionou produtividade máxima de grãos de 7,2 Mg ha<sup>-1</sup>. Em condição de déficit hídrico a produtividade de grãos máxima de 4,8 Mg ha<sup>-1</sup> foi atingida na combinação do EEL de 0,5 m e DP de 6,7 plantas m<sup>-2</sup>. A lâmina total sob irrigação plena proporcionou EUA máxima de 1,70 kg m<sup>-3</sup>, enquanto sob deficiência hídrica observa-se redução na eficiência do uso da água com ponto máximo para 1,54 kg m<sup>-3</sup>.

**Palavras Chave:** *Zea mays*, densidade de plantas, espaçamento entre fileiras, regimes hídricos.

## ABSTRACT

The general objective of this work was to define the plant arrangement for maximum technical productivity of green ears and dry grains of the corn hybrid AG-1051 under full irrigation and under water deficit, under soil and climate conditions of Teresina, Piauí. Two trials were performed concomitantly, one with full irrigation and the other with water deficit, both using a fixed sprinkler irrigation system. In both trials, we used a randomized block design with 5x2 factorial scheme, combining five planting densities - PD (2; 4; 6; 8 and 10 plants m<sup>-2</sup>) and two spaces between rows - SBR (0.5 and 1.0 m), with four replications. We evaluated the growth components, gas exchange, production and productivity components for green corn and dry grains and water use efficiency (WUE). The increase in density provided plants with higher plant and ear height and smaller stem diameter. There was a positive linear increase with the increase of density in the two water regimes for leaf area index (LAI), with higher values for fully irrigated plants. The dry mass decreased linearly with the increase of PD and SBR in the two water regimes. We observed a linear reduction with the increase of plant density in both water regimes, with higher values in plants spaced at 1.0 m for transpiration rates (E), stomatal conductance (gs) and net assimilation of CO<sub>2</sub> (A). Under full irrigation, the adjustment of the response surface shows that the maximum internal concentration of CO<sub>2</sub> (Ci) was observed in the PD of 5.7 plants m<sup>-2</sup> and SBR 0.5 m, while in water deficit a maximum of 5.6 plants m<sup>-2</sup> was observed. Regarding the relative water content (RWC) there was a linear reduction with the increase of PD. For the production of green ears, the increase in PD resulted in a decrease in the average length, diameter and weight of ears. The SBR of 0.5 m provided ears of greater length, diameter and average weight. The increase in PD increased the percentage of straw in relation to the total weight of the ear. We found the maximum point of 67,721 ears ha<sup>-1</sup> with the combination of the SBR of 0.5 m and PD of 10 plants m<sup>-2</sup>. Under water deficit conditions, a quadratic adjustment with a maximum yield of 43,000 ears ha<sup>-1</sup> was obtained in the PD of 7 plants m<sup>-2</sup>. For the production of dry grains, the increase in PD provided a linear decrease in the weight of 100 grains and grain/ear ratio. Under full irrigation, the combination between the SBR 0.5 and PD of 7.2 plants m<sup>-2</sup> provided maximum grain yield of 7.2 Mg ha<sup>-1</sup>. Under deficit, the maximum grain yield of 4.8 Mg ha<sup>-1</sup> was reached in the combination of the SBR of 0.5 m and PD of 6.7 plants m<sup>-2</sup>. For the WUE, the total depth under full irrigation provided maximum WUE of 1.70 kg m<sup>-3</sup>, while under water deficiency there was a reduction in water use efficiency with a maximum point of 1.54 kg m<sup>-3</sup>.

**Key words:** *Zea mays*, plant density, row spacing, water regimes.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A agricultura moderna pressupõe o uso intensivo e racional dos insumos agrícolas visando alcançar a máxima produtividade. Os avanços obtidos nos últimos anos têm sido capazes de atender à demanda atual por produtos agrícolas, mesmo em um cenário de extrema competitividade, restrições legais à abertura de novas áreas e escassez de recursos naturais. Assim, pequenas diferenças de produtividade em uma lavoura podem ter grande significado econômico, principalmente se levarmos em conta a escala de produção.

A cultura do milho se encaixa nesta situação por se tratar de uma “commodity”, a qual é cultivada em todo o mundo, sendo utilizada para a alimentação humana e animal (SANTOS e BALDONI, 2018). Somente no Brasil, a produção de milho alcançou mais de 100 milhões de toneladas na safra 2019/2020, em uma área cultivada de 17,49 milhões de hectares, o que confere uma produtividade média de grãos de 5,72 Mg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2020). O milho-verde também tem obtido resultados significativos de produtividade e rentabilidade, pois possibilita um maior valor de comercialização quando comparado com o milho destinado para grãos (COUTO et al., 2017). Segundo dados do Prohort 2014, em 2013 foram comercializadas cerca de 110 mil toneladas de espigas de milho no Brasil, movimentando em torno de 89 milhões de reais. Esse valor representa 6% do volume total de hortifrúteis comercializadas no país, classificando o milho-verde como a 10<sup>a</sup> hortaliça mais produzida no Brasil (FAVARATO et al. 2016).

Apesar destes resultados, o Brasil apresenta produtividade de grãos de milho um pouco acima da média mundial e apenas metade do rendimento médio dos Estados Unidos (THOMPSON e GARCIA, 2019). Pode-se destacar, dentre os fatores que contribuem para esta diferença, as condições climáticas, as práticas de manejo inadequadas e o baixo investimento em insumos, principalmente por pequenos e médios produtores (SANGOI et al., 2003).

Dentre as práticas de manejo, a determinação do arranjo de plantas adequado é fator limitante para o alcance de altas produtividades em uma lavoura. O arranjo de plantas ideal é aquele que proporciona a melhor distribuição das plantas em uma determinada área, minimizando a competição intraespecífica por água, luz e nutrientes (SANTOS et al., 2018). Alterações no arranjo podem afetar a arquitetura da planta, alterar o crescimento e padrões de desenvolvimento, a interceptação da

radiação pelo dossel, influenciando as taxas de fotossíntese, a produção de carboidratos e, conseqüentemente, a produtividade (ABUZAR et al., 2011; LIMA et al., 2012).

A produtividade de grãos pode ser incrementada ao se maximizar a eficiência fotossintética, o que pode ser obtido pela melhoria da interceptação da radiação fotossinteticamente ativa pelo dossel (MARCHÃO et al., 2006), com a determinação do arranjo mais adequado para a cultura. Sob este aspecto, estudos recentes vêm sendo realizados com o cultivo de milho em diferentes espaçamentos entre fileiras e densidades de plantas (SANTOS et al., 2018; SHI et al., 2016; AZAM et al., 2017; BUSO et al., 2016; XUE et al., 2016).

Outro importante fator que afeta o desenvolvimento das plantas é a disponibilidade de água. Segundo Seeve et al. (2017) a escassez de água é um fator limitante da produtividade das culturas em atingir o potencial de rendimento total. A partir da adoção de estratégias de irrigação, é importante conhecer o efeito do déficit hídrico nos estágios de desenvolvimento da planta. Conseqüentemente, é oportuno determinar o arranjo de plantas mais adequado em diferentes cenários, que possa caracterizar determinadas regiões.

Assim, o objetivo deste trabalho foi definir o arranjo de plantas visando maximizar a produtividade técnica de espigas verdes e de grãos secos do híbrido de milho AG-1051 sob irrigação plena e sob déficit hídrico, nas condições edafoclimáticas de Teresina, Piauí.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Aspectos gerais da cultura

O milho (*Zea mays* L.), planta pertencente à família Poaceae e ao gênero *Zea*, é uma espécie originária da América do Norte, com centro de origem genética no México (SILVEIRA et al., 2015). É uma gramínea anual pertencente ao grupo de plantas do tipo C4 e possui ampla adaptação climática. Tem sua máxima produtividade expressa em condições de temperaturas elevadas e de alta radiação solar incidente, além de suprimento hídrico adequado durante seu ciclo produtivo (KUNTZ, 2005).

É uma das culturas de maior importância econômica no mundo, possuindo grande destaque na alimentação animal e humana, devido ao seu rendimento em grãos, valor nutritivo, além da produção de forragem (LINS et al., 2017). De acordo com o levantamento do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) a produção mundial de milho foi de 1,11 bilhão de toneladas para a safra 2019/2020, 0,2% maior que a safra anterior. O Brasil é considerado o terceiro maior produtor com 101 milhões de toneladas, ficando atrás somente da China e dos Estados Unidos, maior produtor mundial com 364,3 milhões de toneladas (FIESP, 2018).

A produtividade média de grãos dos EUA na safra 2019/2020, foi em torno de 11,45 Mg ha<sup>-1</sup> (FIESP, 2020). Enquanto no Brasil, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2018), na mesma safra alcançou a produtividade média de grãos de 5,45 Mg ha<sup>-1</sup>. Os altos valores de produtividades de grãos nos EUA são resultados do melhoramento genético vegetal e práticas agronômicas adequadas às condições do clima que permitem que seja explorado o máximo potencial produtivo da cultura.

De acordo com a CONAB (2019), a produção nacional do milho está concentrada nas Regiões Sul, Centro-Oeste e Sudeste sendo os estados do Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul, Goiás e Minas Gerais os cinco principais produtores por ordem de grandeza. A crescente demanda pelo grão nacional e a disponibilidade de terras mais baratas, propiciaram o deslocamento da produção da região Sul para outras regiões, com destaque para o Centro-Oeste (SOUZA et al., 2018).

Tratando-se da Região Nordeste do Brasil a produtividade de grãos cai para 2,61 Mg ha<sup>-1</sup> e no Piauí 3,6 Mg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2020). Em sua maior parte, a produtividade de grãos do estado ainda é composta pela produção da agricultura familiar. Esta baixa produtividade de grãos da cultura pode ser atribuída, além das condições climáticas adversas, ao baixo nível tecnológico empregado pelos agricultores familiares (CRUZ et al., 2011).

O estado do Piauí responde por aproximadamente 2,55% da área plantada e 1,63% da produção nacional (CONAB, 2020). Apesar de incipiente frente à safra brasileira, o cultivo de milho no cerrado piauiense está em franco processo de expansão, o que vem contribuindo diretamente para o desenvolvimento socioeconômico da região, visto que a região apresenta condições edafoclimáticas favoráveis ao cultivo desse cereal (PETTER et al., 2016). As condições edafoclimáticas do Nordeste brasileiro permitem o cultivo do milho sob toda a sua extensão, em uma gama considerável de diferentes condições ambientais e diferentes sistemas de produção (CARVALHO et al., 2010).

Uma das vantagens do milho é que pode ser colhido em estágio verde, tradicionalmente comercializado para consumo “in natura” ou processado para fazer pamonha, curau, suco, bolo, sorvete, dentre outros produtos tradicionais, durante o ano todo, nos principais centros consumidores (PEREIRA FILHO, 2002). Segundo Courter et al. (1988) o milho verde refere-se ao milho colhido e consumido ainda fresco, enquanto os grãos estiverem macios (70 a 80% de umidade) e antes da máxima conversão do açúcar em amido.

Mundialmente os maiores produtores de milho-verde são os Estados Unidos, a Nigéria e a França. No Brasil a produção de milho verde vem aumentando a cada ano, em virtude do seu maior valor agregado. Destacam-se como maiores produtores os estados de Minas Gerais, São Paulo, Goiás, Paraná, Rio Grande do Sul e Bahia (OLIVEIRA et al., 2015; ANTONIALI, 2012).

No Brasil a produção de milho-verde é exercida principalmente pela agricultura familiar, que contribui para a geração de empregos em pequenas e médias propriedades. Os produtores consideram o milho-verde como fonte adicional de renda, pois apresenta valor comercial superior ao milho comercializado na forma de grãos (CRUZ et al., 2006; LUZ et al., 2014).

A exigência do mercado consumidor por milho-verde de qualidade obrigou as empresas produtoras de sementes de milho para grãos a desenvolver cultivares que

atendam aos seguintes padrões de comercialização: grãos dentados amarelos, espigas grandes e cilíndricas, sabugo claro e fino, pericarpo delicado, bem empalhadas e com longevidade de colheita. Devem apresentar também boa resistência à lagarta-da-espiga (*Heliothis zea*) (ISHIMURA et al., 1986; FORNASIERI FILHO, 1992). Entretanto, para que o produtor atenda a demanda e às exigências do mercado consumidor, é necessário que se obtenham produtividades elevadas, possibilidade de plantio durante o ano todo, ciclo variando entre 90 e 110 dias, longevidade no período da colheita e sustentabilidade na produção (PEREIRA FILHO et al., 2002).

O híbrido duplo AG 1051 apresenta-se como um dos destaques no mercado de produção de milho-verde, uma vez que possui excelente sistema radicular e amplitude de época de plantio.

De acordo com Albuquerque (2008), o mercado de milho-verde tem se apresentado muito desuniforme em relação às espigas comercializadas, mostrando que os produtores ainda necessitam de informações a respeito das cultivares mais apropriadas comercialmente. Também se deve considerar que maior porcentagem e peso de espigas comerciais, maior comprimento e diâmetro médio das espigas são características importantes, uma vez que a comercialização é feita também com base nesses atributos.

Em virtude destes fatores, pesquisas devem ser realizadas buscando estratégias de manejo que melhor se adequem as diferentes condições edafoclimáticas existentes no Brasil. E a partir disso, obter as informações necessárias para as características desejadas das espigas de milho-verde exigidas pelo mercado.

## **2.2. Aspectos morfofisiológicos**

As plantas, de uma forma geral, são fortemente afetadas pelas alterações no arranjo de plantas. A manipulação do espaçamento e da densidade de plantas pode interferir na competição pelos fatores essenciais para as plantas como água, luz e nutrientes do solo. A absorção deficitária destes elementos provoca interferências na fisiologia da planta e, conseqüentemente, na sua morfologia.



Em baixas densidades de plantas ocorre pouco aproveitamento dos recursos disponíveis, diminuindo a produtividade da cultura. À medida que há o incremento no número de indivíduos por unidade de área acima da ótima, ocorre uma maior competição intraespecífica pelos recursos, redução da atividade fotossintética e eficiência de partição dos fotoassimilados para a produção de grãos (SANGOI et al., 2019). Estas alterações fisiológicas promovem aumento da esterilidade feminina e do intervalo entre antese e espigamento, reduzindo o número de grãos por espiga e a produtividade de grãos (LEOLATO et al., 2017).

Densidades acima do ideal também proporcionam modificações na arquitetura foliar e no desenvolvimento da planta, estimulando o alongamento dos entrenós, a produção de colmos mais compridos e de menor diâmetro, aumentando a dominância apical e a altura de inserção de espigas, diminuindo o número de espigas por planta e o número de grãos por espiga (SOUZA et al., 2013; LIU et al., 2012).

O intenso crescimento da planta e a redução no diâmetro do colmo são afetados por densidades mais elevadas, em virtude do direcionamento dos fotoassimilados para o crescimento vertical, proporcionando maior ocorrência de acamamento, quebraimento do colmo e senescência foliar (WANG et al., 2017; SANGOI et al., 2002). Além de suporte para folhas e inflorescências, o colmo atua como estrutura de armazenamento de sólidos solúveis que serão utilizados na formação dos grãos. Assim, condições adversas na fase de maturação afetam a capacidade de armazenar fotoassimilados que serão translocados para os grãos (GONDAL et al., 2017; DOURADO NETO et al., 2010).

Avaliando o efeito de diferentes densidades de plantas e arranjo espacial na morfologia de híbridos de milho em Botucatu, SP, Brachtvogel et al. (2012) observaram decréscimo na área foliar e na massa seca por planta com o aumento da população de plantas.

Torres et al. (2013) e Gilo et al. (2011) avaliaram os efeitos dos diferentes espaçamentos entre linhagens e híbridos de milho nos componentes de produção e produtividade da cultura na região do cerrado brasileiro e não observaram diferenças significativas na altura da planta, altura da inserção da espiga e diâmetro do colmo com a redução do espaçamento de 0,90 para 0,45 m.

Adeniyani (2014), avaliando o efeito de diferentes populações de milho cultivado em diferentes ecossistemas, obteve aumento na altura de planta e redução no

diâmetro com o aumento da densidade de 53,3 mil plantas ha<sup>-1</sup> para 106,7 mil plantas ha<sup>-1</sup>.

A absorção de luz é um processo muito importante para a produtividade da cultura do milho, porque é através da fotossíntese que a planta acumula matéria orgânica em seus tecidos. Alterações no arranjo espacial das plantas, em tese, reduz o tempo necessário para a cultura interceptar o máximo de radiação solar possível (BERNARDI et al., 2014). Quando se aumenta a população de plantas, há uma maior competição por luz, influenciando diretamente na eficiência fotossintética, que depende da taxa fotossintética por unidade de área foliar e da interceptação da radiação solar. Esta depende da arquitetura da copa e da densidade de área foliar (MARCHÃO et al., 2006).

Quanto maior a densidade foliar, maior o IAF. De acordo com SANGOI et al. (2011), o milho deve alcançar valores de IAF entre 4 e 5, no florescimento, para otimizar seu desempenho agrônômico. A determinação do arranjo de plantas adequado é uma das práticas de manejo mais importantes para aumentar o IAF e otimizar a interceptação da radiação solar e a produtividade da cultura.

Ren et al. (2017a), estudando as características fotossintéticas de variedades de milho em diferentes densidades populacionais, observaram aumento significativo no IAF com o aumento da densidade de 45.000 para 90.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Porém observaram decréscimo na taxa de fotossíntese líquida medida na folha da espiga.

Gou et al. (2017), avaliando as respostas morfológicas de cultivares de milho em diferentes densidade das plantas e sua influência sobre a estrutura do dossel, a distribuição da luz e a produtividade de grãos, observaram que o aumento da densidade de plantas de 4,5 para 10,5 plantas m<sup>-2</sup>, reduziu a transmissão de luz no dossel do milho, resultando em maior altura de plantas e de espigas, folhas mais estreitas e menor produtividade de grãos.

As folhas de milho localizadas no terço médio da copa são as que mais contribuem com fotoassimilados para a produtividade (ZHAO, 1981). Porém, sob altas densidades de plantas, a intensidade de luz que atinge as folhas localizadas naquele estrato é menor e ocorre diminuição da concentração de CO<sub>2</sub>, o que reduz o potencial fotossintético e acelera a senescência (WANG et al., 2017).

Sangoi et al. (2019), avaliando a resposta do milho ao incremento na densidade de plantas sob diferentes espaçamentos entre linhas em Lages, SC, observaram que

a fixação de carbono através da fotossíntese reduziu linearmente com o aumento na densidade de 3 para 11 plantas  $m^{-2}$  no espaçamento entre linhas de 80 cm.

Makino et al. (2017), avaliaram o efeito de diferentes arranjos espaciais sobre as trocas gasosas e a produtividade de grãos de milho safrinha em Dourados, MS, e observaram que o aumento no número de plantas reduziu a condutância estomática e a transpiração, diminuindo o consumo de  $CO_2$  e conseqüentemente a taxa fotossintética.

Ren et al. (2017) avaliaram o desempenho de híbridos de milho em diferentes densidades e observaram que o aumento da população de 30.000 para 90.000 plantas  $ha^{-1}$  proporcionou redução significativa na taxa de condutância estomática, na concentração intercelular de  $CO_2$  e conseqüentemente, na fotossíntese.

### **2.3. Arranjo de plantas**

Alterações no arranjo de plantas constituem-se numa estratégia de manejo que vem sendo foco de estudo de vários pesquisadores em diversas culturas (SANGOI et al., 2019; CARDOSO et al., 2018; LAGE et al., 2017; CRUZ et al., 2016). Segundo Cardoso et al. (2018), o arranjo de plantas pode ser estabelecido de quatro formas: densidade de plantas, espaçamento entre linhas, distribuição espacial de plantas na linha e uniformidade de emergência de plântulas na lavoura.

A escolha do arranjo de plantas mais adequado para obtenção do incremento da produtividade de grãos depende de características do genótipo utilizado, do ambiente e da adoção de outras práticas adequadas para o estabelecimento e manejo da cultura (CARDOSO et al., 2018). A adequada distribuição de plantas é uma das práticas culturais mais importantes para determinar a produtividade de grãos na cultura do milho, pois o estande populacional afeta a arquitetura das plantas, altera o crescimento e o desenvolvimento. Conseqüentemente altera a interceptação da radiação pelo dossel, influenciando as taxas de fotossíntese, a produção de carboidratos e, conseqüentemente, a produtividade (ALMEIDA e SANGOI, 1996; ABUZAR et al., 2011; LIMA et al., 2012).

O espaçamento entre linhas (fileiras) da lavoura tem forte relação com o arranjo espacial entre plantas, sendo passível de ajuste com o intuito principal de reduzir a competição intraespecífica (FOLONI et al., 2014). A cultura do milho era tradicionalmente implantada no Brasil com espaçamentos entre linhas de 0,80 e 0,90 m, em sistema convencional, em virtude do adequado funcionamento dos

equipamentos necessários à semeadura, tratos culturais e colheita, independentemente do sistema de produção e do tipo de tração utilizados (PEREIRA FILHO et al., 2013). No entanto, o espaçamento entre as linhas de cultivo pode variar dependendo da cultivar, das condições edafoclimáticas da região e da finalidade da produção (grãos, milho-vede, silagem).

Atualmente, tem-se estudado espaçamentos mais reduzidos buscando-se maior produtividade. De acordo com Paszkiewicz (1996), a redução do espaçamento entre linhas promove a distribuição mais equidistante de plantas, podendo aumentar a eficiência do uso da radiação fotossinteticamente ativa, água e nutrientes, incrementando a produtividade.

Outro importante fator que pode contribuir no aumento da eficiência de exploração do ambiente e do genótipo é o aumento da densidade de plantas (AMARAL FILHO, 2002). Segundo Alvarenga et al. (2010), o rendimento de uma lavoura aumenta com a elevação da densidade de plantas, até atingir uma densidade ótima, que é determinada pela cultivar e por condições externas resultantes de condições edafoclimáticas do local e do manejo da lavoura. A partir da densidade ótima, quando o rendimento é máximo, o aumento na densidade resultará em decréscimo progressivo na produtividade da lavoura. A densidade ótima é, portanto, variável para cada situação e, basicamente, depende de três condições: cultivar, disponibilidade hídrica e do nível de fertilidade de solo. Qualquer alteração nesses fatores, direta ou indiretamente, afetará a densidade ótima de plantio.

Segundo Galvão et al. (2015), atualmente, em quase sua totalidade, os cultivares de milho são híbridos com a produção de uma espiga por planta e os plantios são feitos em altas densidades, aproximadamente 60 mil plantas por hectare. De acordo com Stacciarini et al. (2010), o uso de baixas densidade de plantas diminui a eficiência de interceptação da radiação solar por área, aumentando a produção de grãos por planta, mas provocando redução da produtividade por área. Por outro lado, o adensamento excessivo incrementa a competição intraespecífica por fotoassimilados, principalmente no estágio de florescimento da cultura.

### **2.3.1. Milho verde**

Para o cultivo de milho-verde, estudos avaliando a redução do espaçamento entre fileiras são escassos. Silva et al. (2018), avaliando a influência do espaçamento no crescimento de dois híbridos de milho verde, observou que o aumento do

espaçamento de 0,8 para 0,9 m proporcionou redução na produção de milho-verde para ambos híbridos.

Quando comparado ao cultivo de milho para grãos, a produção de milho-verde requer menores adensamentos para formação de espigas nos padrões exigidos pelo mercado. Soares Neto et al. (2017) avaliaram o desempenho produtivo de híbridos para a produção de milho-verde sob irrigação cultivados em diferentes densidade de plantas na semeadura em Arapiraca, AL. Concluíram que o espaçamento 17,5 cm entre plantas, na fileira, e 0,8 m entre fileiras são os mais indicados para produção do milho-verde irrigado.

Rocha et al. (2011), avaliando o desempenho de híbridos de milho para produção de espigas-verdes, submetidos a diferentes densidades populacionais em Teresina-Piauí, observaram que o híbrido AG-1051 demonstrou uma maior capacidade de suportar altas densidades de plantas com número máximo de espigas na população de 57.500 plantas ha<sup>-1</sup>.

Silva et al. (2007), avaliando o efeito da densidade populacional sobre a produtividade de híbridos de milho para produção de espigas verdes no nordeste do Brasil, obtiveram incremento na produtividade do milho-verde com o incremento na densidade de 30.000 para 70.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

### **2.3.2. Milho grão**

Pelizzaro et al. (2019) avaliaram a influência da redução de espaçamento entre linhas de plantas na cultura do milho no Estado do Paraná e obtiveram maiores produtividades de grãos no espaçamento 0,25 m entre fileiras e ressaltam que a cada centímetro de aumento nesse espaçamento as perdas podem ser significativas, chegando a 57,91 kg ha<sup>-1</sup>.

Avaliando o desempenho agrônômico do milho em função da população de plantas e espaçamento entre linhas no Ceará em Argissolo Vermelho Amarelo, Pereira et al. (2018) concluíram que população de 65.000 plantas ha<sup>-1</sup> no espaçamento de 0,90 m proporcionou incremento na produção de grãos, quando comparadas à população de 45.000 plantas ha<sup>-1</sup> e espaçamentos entre linhas de 0,45 m.

Testa et al. (2016), avaliando os efeitos da densidade de plantas na produção de milho e na morfologia da espiga no noroeste da Itália, concluiu que o aumento da

densidade de plantas até 10,5 plantas  $m^{-2}$  pode levar a um aumento significativo da produtividade de grãos.

Silva et al. (2014), com o objetivo de avaliar o efeito da população de plantas sobre o crescimento e a produtividade de híbridos de milho em um latossolo vermelho amarelo em Alta Floresta, MT, concluíram que as densidades de 60.000 e 80.000 plantas  $ha^{-1}$  proporcionam incrementos na produtividade de grãos de 12,5 e 13,6% respectivamente em relação a densidade de 40.000 plantas  $ha^{-1}$ .

Modolo et al. (2010), estudando os efeitos da combinação entre diferentes híbridos de milho e espaçamentos entre linhas no Paraná, observaram que a redução no espaçamento entre linhas de 0,90 m para 0,45 m promoveu aumento do número de espigas por planta e o incremento na produtividade de grãos.

Stacciarini et al. (2010) avaliaram a influência da variação de espaçamento entre linhas e densidade de plantas da cultura do milho em Araporã-MG e observaram que a redução de espaçamento entre linhas de plantio de 0,90 para 0,45 m e o aumento da densidade populacional de 60.000 para 90.000 plantas  $ha^{-1}$  resultaram em maior produtividade do milho.

#### **2.4. Resposta à irrigação**

O milho pode ser cultivado em todas as regiões do Brasil e, desde que em condições adequadas, pode ser cultivado ao longo de todo o ano. Para que produza de forma satisfatória, sem necessidade da utilização de irrigação, a cultura exige entre 400 mm e 600 mm de precipitação (FANCELLI, 2015). A disponibilidade e distribuição irregular da água pode inviabilizar a produção agrícola, especialmente em regiões onde há ocorrência de escassez de água, o que exige a prática da irrigação para a obtenção de altas produtividades.

Para um manejo sustentável da irrigação é necessário o conhecimento do consumo hídrico da planta e primar pela eficiência no uso da água, a qual relaciona a produtividade da cultura com a quantidade de água requerida na produção durante os processos fisiológicos (MELO et al., 2018).

A evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) corresponde ao consumo de água pela planta. É obtida pelo produto da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) e o coeficiente de cultura ( $K_c$ ). A  $ET_o$  é estimada a partir de dados meteorológicos e o  $K_c$  é específico para cada cultura e sua fase fenológica. Para a cultura do milho cultivado na região do semiárido do Brasil o  $K_c$  varia de 0,50 a 1,12 nas diferentes fases fenológicas

(SANTOS et al., 2014). Para o município de Teresina, PI, os coeficientes de cultivo do milho apresentam valores médios de 0,88, 1,18 e 1,01, para as fases de crescimento, reprodução e maturidade fisiológica, respectivamente (FERREIRA et al. 2007).

#### **2.4.1. Milho verde**

Almeida et al. (2017), avaliando diferentes estratégias de manejo da irrigação sobre a produtividade de espigas verdes e eficiência de uso da água na cultura do milho, observaram que os tratamentos irrigados foram os mais produtivos e com os maiores valores de EUA, variando de 1,13 a 1,29 kg m<sup>-3</sup> quando comparados ao cultivo em condições de sequeiro.

Nascimento et al. (2017), avaliando em milho verde o efeito de diferentes lâminas de irrigação sobre os componentes de produção e a produtividade de espigas em Teresina, observaram resposta linear às lâminas de irrigação, com aumento de 70,31 kg ha<sup>-1</sup> para espiga verdes empalhadas para cada mm de água aplicado e produtividade máxima de 8.779,29 kg ha<sup>-1</sup> com lâmina de 340,57 mm e mínimo de 5.675,55 Kg ha<sup>-1</sup> na lâmina de 165,51 mm.

Nascimento et al. (2015), ao avaliar a influência de diferentes lâminas de irrigação sobre parâmetros fisiológicos do milho-verde, obtiveram maiores valores 2,48 kg m<sup>-3</sup>, 1,84 kg m<sup>-3</sup> e 2,09 kg m<sup>-3</sup> para os tratamentos com maior volume de água aplicada, os quais apresentaram as maiores produtividades de espigas verdes.

Em estudo realizado com o milho-doce, Souza et al. (2015) avaliaram o efeito de lâminas de irrigação sobre as características agronômicas em um latossolo vermelho-amarelo em Chapadão do Sul, MS, observaram que o milho-doce apresentou melhores resultados quando irrigado com reposições de 50 % e 125 % da ETc, respectivamente no verão/outono e inverno/primavera.

Blanco et al. (2011) avaliaram avaliar a resposta do híbrido de milho AG-1051 diferentes lâminas de irrigação em Teresina-PI, concluíram que a lâmina d'água de 530 mm, promove maior produtividade de espigas verdes de milho, com palha e sem palha.

#### **2.4.2. Milho grão**

Neto et al. (2018) avaliaram a resposta da irrigação na produtividade de grãos de dois híbridos de milho em Cruz Alta - RS e concluíram que ambos os híbridos apresentaram melhores resultados quando irrigados com 100% da ETc.

Carvalho et al. (2014), avaliando os potenciais produtivos de diferentes híbridos de milho em ambiente irrigado e sequeiro na Região do Alto Jacuí–RS, observaram maiores produtividade de grãos para todos os híbridos quando cultivados em ambiente irrigado.

Souza et al. (2011), analisando a resposta produtiva, a eficiência do uso de água e a viabilidade econômica de cultivos de milho e de feijão-caupi em sistemas de plantio exclusivo e consorciado na região semiárida do Nordeste brasileiro observaram que no caso do milho em sistema de plantio exclusivo, verificou-se que a EUA aumentou com o incremento da lâmina de água aplicada, sendo a maior EUA obtida com a lâmina de 125% ETc.

Silva et al. (2008), avaliando os efeitos de diferentes lâminas de irrigação sobre a produtividade de grãos de milho Sete Lagoas-MG, concluíram que tanto o excesso, quanto o déficit de água no solo afetaram a produtividade do milho. Em seus resultados observaram que uma redução de 30% na lâmina de água requerida pela cultura causou quase 60% de redução na produtividade de grãos, enquanto um aumento de 20% na lâmina causou um decréscimo de pouco mais de 3% na produtividade.

## **2.5. Resposta ao déficit hídrico**

A instabilidade no regime de chuvas proporciona alta variabilidade na produtividade como consequência da deficiência hídrica. Os danos decorrentes da baixa disponibilidade hídrica têm relação direta com a fase fenológica da cultura em que ocorre o déficit hídrico. Durante o período vegetativo o déficit hídrico reduz o crescimento da planta devido ao decréscimo da área foliar e da biomassa da planta. Da fase de pré-floração ao início do enchimento de grãos, considerado o período crítico da cultura, pode provocar redução de produtividade (BERGAMASCHI et al., 2004; VIEIRA JÚNIOR et al., 2007; SOUSA et al., 2015).

Para evitar os efeitos do estresse em situações adversas do meio em que estão inseridas, algumas espécies de plantas desenvolveram adaptações morfológicas e fisiológicas (COSTA et al., 2008). As plantas C4 possuem mecanismos fisiológicos de adaptação à ambientes com déficit hídrico como a diminuição da área foliar, abscisão foliar, fechamento dos estômatos, presença de cera na superfície da folha e ajuste osmótico (TAIZ et al., 2017).



Em condições de estresse hídrico há redução da expansão celular e, conseqüentemente, da expansão foliar, promovendo uma área foliar menor, visando à diminuição da taxa de transpiração, desta forma, conservando um suprimento de água limitado no solo por um período mais longo (TAIZ et al., 2017).

De acordo com Bergamaschi e Matzenauer (2014), em condições de déficit hídrico as plantas reduzem a eficiência do uso da radiação fotossinteticamente ativa, proporcionando redução nas trocas gasosas entre as folhas e o ar, enrolamento e senescência foliar. A deficiência hídrica pode reduzir o fornecimento de energia ao metabolismo vegetal pela inibição da fase bioquímica da fotossíntese, prejudicando o suprimento da demanda energética para a formação das espigas, reduzindo o crescimento e desenvolvimento do ovário e aumentando o número de grãos abortado (OURY et al., 2016; MARWEIN et al., 2017; MELO et al., 2018).

O cultivo do milho é limitado pela deficiência hídrica principalmente no período crítico da cultura, que vai do pendoamento ao início do enchimento de grãos (BRITO et al., 2013). Quando ocorre déficit hídrico nesse período a produtividade de grãos é afetada pela alteração nos fatores que determinam a qualidade das espigas, como a redução no tamanho e peso das espigas proporcionado, pela deficiência no enchimento dos grãos e, principalmente, pela redução no número de grãos por espiga (BERGONCI et al., 2001).

### **2.5.1. Milho verde**

Nascimento et al. (2015) analisaram a produtividade do milho-verde sob diferentes regimes hídricos em Teresina-PI. Neste estudo eles observaram efeito negativo da deficiência hídrica sobre a altura, desenvolvimento das plantas, devido ao fechamento estomático que causa restrição na taxa de transpiração, capacidade fotossintética, causando impacto direto na produtividade das plantas.

Brito et al. (2013), estudando os aspectos fitotécnicos do milho-doce sob estresse hídrico no semiárido da Paraíba, observaram que o crescimento da cultura do milho e as trocas gasosas são limitadas pela deficiência hídrica, principalmente sob lâminas inferiores a 80% da ETc.

Ramos et al. (2013), avaliando diferentes lâminas de irrigação sobre a produtividade e a eficiência do uso da água em milho verde, cultivar BRS 1030, em

Teresina-PI, observaram que as lâminas de 50% e 25% da ETc proporcionaram produtividade inferior a 3.000 kg ha<sup>-1</sup> e eficiência do uso da água inferior a 10 kg m<sup>-3</sup>.

Dantas Junior et al. (2013), avaliando a produção de milho-verde submetido às diferentes lâminas de irrigação em Campina Grande-PB, observaram que o déficit hídrico proporcionado pelas menores lâminas de irrigação (132 mm e 264 mm) tiveram influência significativa na produtividade do milho-verde (4,72 e 5,87 t ha<sup>-1</sup>), quando comparado à lâmina de 660 mm (10,26 t ha<sup>-1</sup>).

### **2.5.2. Milho grão**

Castro Pias et al. (2017) avaliaram os componentes de rendimento e a produtividade de grãos de híbridos de milho submetidos ao déficit hídrico em diferentes estádios fenológicos e observaram que a cultura do milho é mais sensível ao déficit hídrico na fase pendoamento com redução significativa na produtividade.

Amaral et al. (2016) avaliaram o desempenho de genótipos de milho cultivados sob diferentes níveis de estresse hídrico cumulativo em Sete Lagoas-MG, observaram que a redução de 50% da lâmina de irrigação reduziu a produtividade médias de grãos de 4634 kg ha<sup>-1</sup> para 656 kg ha<sup>-1</sup>.

Serpa et al. (2012), avaliando a densidade de plantas de híbridos de milho, em ambientes irrigados e de sequeiro no sul do Brasil observaram que quando as plantas foram submetidas a deficiência hídrica em seu período mais crítico (estágios V15 e R2) houve redução na produção de matéria seca da parte aérea, no número de grãos por espiga e na produtividade de grãos, e menor resposta ao incremento da densidade de plantas.

Bergamaschi et al. (2006) avaliaram o impacto do déficit hídrico, na produtividade de grãos, e a eficácia da irrigação em todo ciclo do milho. Observaram redução linear na produtividade de grãos, à medida que aumentou o déficit hídrico. Ressaltam que para cada milímetro de água aplicada por irrigação, em todo o ciclo, houve acréscimo de 20,3 kg ha<sup>-1</sup> de grãos, na lâmina de irrigação máxima, e de 25,4 kg ha<sup>-1</sup> de grãos, na intermediária, o que significa maior eficiência desta irrigação.

Atualmente, a adoção de técnicas de manejo que possibilitem o aumento do potencial da produção agrícola, como a avaliação da viabilidade da irrigação, assume grande importância devido à escassez de recursos hídricos e pelo fato da agricultura irrigada ser um setor que demanda muita água. Conhecer as necessidades hídricas

das culturas garante aumento da produção e proporciona menores impactos ambientais sobre este recurso natural (ASPIAZÚ et al., 2018).

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABUZAR, M. R. et al. Effect of plant population densities on yield of maize. **The Journal of Animal & Plant Sciences**, Chhattisgarh, v. 21, n. 4, p. 692-695, 2011.

ADENIYAN, O. N. Effect of different population densities and fertilizer rates on the performance of different maize varieties in two rain forest agro ecosystems of South West Nigeria. **African Journal of Plant Science**, África, v. 8, n. 8, p. 410-415, 2014.

ALBUQUERQUE, C. J. B.; VON PINHO, R. G.; DA SILVA, R. Produtividade de híbridos de milho-verde experimentais e comerciais. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 2, p. 69-76, 2008.

ALMEIDA, A. C. S. et al. Produtividade e eficiência de uso da água em milho cultivado com diferentes estratégias de manejo hídrico. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 11, n. 3, p. 1448-1457, 2017.

ALMEIDA, M. L.; SANGOI, L. Aumento da densidade de plantas de milho para regiões de curta estação estival de crescimento. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 179-183, 1996.

ALVARENGA, R. C.; et al. **Cultivo do milho**. Ed. J. C. C. Cruz. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010.

ANTONIALI, S.; SANTOS, N. C. B.; NACHILUK, K. Milho-verde orgânico: produção e pós-colheita. **Pesquisa & Tecnologia**, Campinas, v. 9, n. 2, p. 1-6, 2012.

AMARAL FILHO, J. P. R. **Influência do espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho**. 2002. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Estadual de São Paulo, Jaboticabal, 2002.

AMARAL, T. A. et al. **Resposta de cultivares de milho ao estresse hídrico**. Embrapa Milho e Sorgo-Documents, 207 (INFOTECA-E), 2016.

ASPIAZÚ, I.; et al. Tensão de água no solo para o reinício da irrigação de milho verde no semiárido. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 17, n. 2, p. 190-200, 2018.

AZAM, M. et al. Production potential of various maize (*Zea mays* L.) hybrids under different intra-row plant spacing. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, Faisalabad, v. 54, n. 1, p. 117-121, 2017.

BERGAMASCHI, H. et al. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 2, p. 243-249, 2006.

BERGAMASCHI, H. et al. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. Brasília, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 9, p. 831-839, 2004.

BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **O milho e o clima**. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, p. 11, 2014.

BERGONCI, J.I. et al. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n. 7, p.949-956, 2001.

BERNARDI A. et al. Agricultura de Precisão: resultado de um novo olhar. (Ed.) **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília. DF: Embrapa, 2014. 596 p.

BLANCO, F. F. et al. Milho verde e feijão-caupi cultivados em consórcio sob diferentes lâminas de irrigação e doses de fósforo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 46, n. 5, p. 523-529, 2011.

BRACHTVOGEL, E. L. et al. População, arranjo de plantas uniforme e a competição intraespecífica em milho. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 6, n. 1, p. 75-83, 2012.

BRITO, M. E. B. et al. Crescimento, fisiologia e produção do milho doce sob estresse hídrico. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 29, n. 5, p. 1244-1254, 2013.

BUSO, W. H. D. et al. Maize agronomic characteristics according to crop year, spacing and plant population densities. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 7, n. 2, p. 197-203, 2016.

CARDOSO, M. J., et al. **Manejo do arranjo de plantas para aumento da produtividade de grãos de feijão-caupi no Meio-Norte brasileiro**. (Embrapa Meio-Norte-Circular Técnica, 55), 2018.

CARVALHO, I. R., et al. Desempenho agrônômico de híbridos de milho em ambiente irrigado e sequeiro. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.10, n.18, p. 1144-1153, 2014.

CARVALHO, H. W. L., et al. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho no nordeste brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.6, p.1115-1123, 2010.

CASTRO PIAS, O. H., et al. Componentes de rendimento e produtividade de híbridos de milho em função de doses de NPK e de deficit hídrico em estádios fenológicos críticos. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 16, n. 4, p. 422-432, 2018.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira: grãos. Monitoramento agrícola: safra 2017/2018-Décimo primeiro levantamento: agosto 2019. **Companhia Nacional de Abastecimento**, v. 5, n. 11, 2019.

COSTA, J. R.; DE PINHO, J. L. N.; PARRY, M. M. Produção de matéria seca de cultivares de milho sob diferentes níveis de estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 5, p. 443-451, 2008.

COURTER, J. W., et al. Classification of vegetable maizes. **HortScience**, v. 23, n. 3, p. 449-450, 1988.

COUTO, C. A. et al. Desempenho de Cultivares de Milho Destinados para Produção de Milho Verde e Silagem/Corn Cultivars Performance Intended for Production of Green Corn and Silage. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 6, n. 1, p. 232-251, 2017.

CRUZ, S. C. S. et al. Cultivo de soja sob diferentes densidades de semeadura e arranjos espaciais. **Journal of Neotropical Agriculture**, Cassilândia, v. 3, n. 1, p. 1-6, 2016.

CRUZ, J. C.; et al. **Produção de milho orgânico na agricultura Familiar**. Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, 17p. (Embrapa-CNPMS, Comunicado Técnico, 81), 2006.

CRUZ, J. C. et al. **Produção de milho na agricultura familiar**. Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, 42p. (Embrapa-CNPMS, Comunicado Técnico, 159), 2011.

DANTAS JUNIOR, E. E. et al. Lâminas de irrigação e adubação potássica na produção de milho verde em condições semiáridas. **Artigo em anais de congresso**. In: II

Inovagri International Meeting, 2014, Fortaleza. Inovagri International Meeting, 2014. p. 4212-4219.

FANCELLI, A. L. Cultivo Racional e Sustentável requer maior conhecimento sobre a planta do milho. **Revista Visão agrícola**. São Paulo, n. 13, p. 20-23, 2015.

FERREIRA, V. M. et al. Coeficientes de cultivo do milho em sistemas monocultivo e consorciado com feijão-caupi. In CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, v. 15, Aracaju – SE, 2007.

FIESP. Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP). **Safra Mundial de Milho 2018/19-2**: levantamento do USDA. Disponível em: <http://www.fiesp.com.br/arquivo-download/?id=252610>. Acesso em: 17 de setembro de 2019.

FOLONI, J. S. S. et al. Cultivares de milho em diferentes populações de plantas com espaçamento reduzido na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Brasília, v.13, n.3, p. 312-325, 2014

FORNASIERI FILHO, D. **A cultura do milho**. Jaboticabal, FUNEP, p.273. 1992.

GALVÃO, J. C. C. et al. Sete décadas de evolução do sistema produtivo da cultura do milho. **Ceres**, v. 61, n. 7, p. 819-828, 2015.

GILO, E. G. et al. Comportamento de híbridos de milho no cerrado sul-mato-grossense sob diferentes espaçamentos entre linhas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 6, p. 908-914, 2011.

GONDAL, M. R. et al. Effect of seed rate and row spacing on grain yield of sorghum. **SAARC Journal of Agriculture**, Bangladesh, v. 15, n. 2, p. 81-91, 2017.

GOU, L. et al. Morphological variation of maize cultivars in response to elevated plant densities. **Agronomy Journal**, Madison, v. 109, n. 4, p. 1443-1453, 2017.

ISHIMURA, I. et al. Avaliação de cultivares de milho verde em Pariquera-Açu. **Bragantia**, Campinas, v. 45, n. 1, p. 95-105, 1986.

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

LAGE, P. et al. Interferência do arranjo de plantas daninhas no crescimento do feijoeiro. **Journal of Neotropical Agriculture**, Cassilândia, v. 4, n. 3, p. 61-68, 2017.

LEOLATO, L. S. et al. Regulador de crescimento e resposta do milho ao aumento na densidade de plantas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 52, n. 11, p. 997-1005, 2017.

LIMA, C. F. et al. Avaliação de híbridos de milho sob três densidades populacionais em fronteira agrícola no Maranhão. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 3, n. 1, p. 30-34, 2012.

LINS, F. J. A. et al. Crescimento de genótipos experimentais de milho em função de doses crescentes de nitrogênio. **Revista Ciência Agrícola**, Alagoas, v. 15, n. 2, p. 19-27, 2017.

LIU, T. et al. Light interception and radiation use efficiency response to narrow-wide row planting patterns in maize. **Australian Journal of Crop Science**, Australia, v. 6, n. 3, p. 506, 2012.

LUZ, J. MQ et al. Produtividade de genótipos de milho doce e milho verde em função de intervalos de colheita. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 2, p. 163-167, 2014.

MAKINO, P. A. et al. Eficiência fotossintética e produtividade de milho safrinha em arranjos de plantas. In: **Embrapa Agropecuária Oeste-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: SEMINÁRIO NACIONAL [DE] MILHO SAFRINHA, 14., 2017, Cuiabá. Construindo sistemas de produção sustentáveis e rentáveis: anais. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2017. p. 158-163., 2017.

MARCHÃO, R. L.; BRASIL, E. M.; ALCANFOR, P. Interceptação da radiação fotossinteticamente ativa e rendimento de grãos do milho adensado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Brasília, v. 5, n. 2, p. 170-181, 2006.

MARWEIN, M. A. et al. Response of water deficit regime and soil amelioration on evapotranspiration loss and water use efficiency of maize (*Zea mays* L.) in subtropical northeastern Himalayas. **International journal of biometeorology**, v. 61, n. 5, p. 845-855, 2017.



MELO, A. V. et al. Desempenho agrônômico de genótipos de milho submetidos ao estresse hídrico no sul do estado do Tocantins. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Brasília, v. 17, n. 2, p. 177-189, 2018.

MELO, R. F. et al. Desenvolvimento e produtividade do milho BRS Gorutuba sob diferentes lâminas de irrigação e adubação orgânica. **Revista Científica Intelletto**, Santa cruz, v.3, n.1, p. 1-14, 2018.

MODOLO, A. J. et al. Desempenho de híbridos de milho na Região Sudoeste do Paraná sob diferentes espaçamentos entre linhas. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 435-441, 2010.

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

NASCIMENTO, F. N. et al. Parâmetros fisiológicos e produtividade de espigas verdes de milho sob diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Brasília, v. 14, n. 2, p. 167-181, 2015.

NETO, D. D. et al. Efeito da população de plantas e do espaçamento sobre a produtividade de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Brasília, v. 2, n. 03, p. 63-77, 2010.

NETO, J. R. C. et al. Resposta da irrigação e da aplicação de fungicidas sobre a qualidade sanitária e produtividade de grãos de milho. **Colloquium Agrariae**, v. 14, n. 4, p. 121-134, 2018.

OLIVEIRA, I. J. et al. **Comportamento de cultivares de milho-verde cultivadas em terra firme no Amazonas**. (Embrapa Amazônia Ocidental- Circular Técnica, 49), 2015.

OURY, V. et al. Is change in ovary carbon status a cause or a consequence of maize ovary abortion in water deficit during flowering?. **Plant physiology**, v. 171, n. 2, p. 997-1008, 2016.

PASZKIEWICZ, S. Narrow row spacing influence on com yield. In: **Annual Maize and Sorghum Research Conference**. p. 130-138. 1996.

PELLIZZARO, E. C. et al. Redução no espaçamento do milho em solos de baixa altitude. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 42, n. 2, p. 492-501, 2019.

PETTER, F. A. et al. Doses e épocas de aplicação de potássio no desempenho agrônômico do milho no cerrado piauiense. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 7, n. 3, p. 372-382, 2016.

PEREIRA FILHO, I. A. **O cultivo do milho-verde**. (Embrapa Milho e Sorgo-Livro técnico), 2002.

PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C.; KARAM, D. **Milho: redução do espaçamento entre linhas uma adoção tecnológica**. (Embrapa Milho e Sorgo-Documentos, 163), 2013.

PEREIRA, F. et al. Desempenho agrônômico da cultura do milho sob diferentes arranjos espaciais no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Aldeota, v. 12, n. 5, 2018.

PROHORT. Programa brasileiro de modernização do mercado hortigranjeiro. Disponível em: < <http://dw.prohort.conab.gov.br/pentaho/Prohort>>. Acesso em: 28 de abril de 2020.

RAMOS, H. et al. Eficiência do uso da água e produtividade de espiga verde de milho sob diferentes lâminas de irrigação. In Embrapa Meio-Norte-**Artigo em anais de congresso** (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 42., 2013, Fortaleza. Anais... Fortaleza: SBEA, 2013..

REN, B. et al. Photosynthetic Characteristics of Summer Maize Hybrids with Different Plant Heights. **Agronomy Journal**, Madson, v. 109, n. 4, p. 1454-1462, 2017.

ROCHA, D. R., FORNASIER FILHO, D., e BARBOSA, J. C. Efeitos da densidade de plantas no rendimento comercial de espigas verdes de cultivares de milho. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 3, p. 392-397, 2011.

SANGOI, L. et al. Estratégias de manejo do arranjo de plantas visando otimizar a produtividade de grãos do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Brasília, v. 18, n. 1, p. 47-60, 2019.

SANGOI, L. et al. Desempenho agrônômico de cultivares de milho em quatro sistemas de manejo. **Ciência Rural**, v. 33, n.6, p.1021-1029, 2003.

SANGOI, L. et al. Perfilamento, área foliar e produtividade do milho sob diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 6, p. 609-616, 2011.

SANGOI, L. et al. Sustentabilidade do colmo em híbridos de milho de diferentes épocas de cultivo em função da densidade de plantas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.1, n. 2, p.60-66, 2002.

SANTOS, A. L. F. et al. Eficiência fotossintética e produtiva de milho safrinha em função de épocas de semeadura e populações de plantas. **Journal of Neotropical Agriculture**, Cassilândia, v. 5, n. 4, p. 52-60, 2018.

SANTOS, D. M.; BALDONI, A. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de milho. **Revista GeTeC**, Monte Carmelo, v. 7, n. 19, p. 19-30, 2018.

SANTOS, W. de O., et al. 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.

SANTOS, W. de O. et al. **Produtividade do milho cultivado nas condições do Semiárido brasileiro**. In: Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 19. 2015, Lavras. Agrometeorologia no século 21: o desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros: anais. Lavras: UFLA, 2015.

SEEVE, C. M. et al. Water-deficit-induced changes in transcription factor expression in maize seedlings. **Plant, cell & environment**, v. 40, n. 5, p. 686-701, 2017.

SERPA, M. D. S. et al. Densidade de plantas em híbridos de milho semeados no final do inverno em ambientes irrigados e de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.4, p.541-549, 2012.

SHI, D. Y. et al. Effects of plant density and nitrogen rate on lodging-related stalk traits of summer maize. **Plant, Soil and Environment**, v. 62, n. 7, p. 299-306, 2016.

SILVA, A. F. et al. Produtividade de híbridos de milho em função do espaçamento e da população de plantas em sistema de plantio convencional. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Brasília, v. 13, n. 2, p. 162-173, 2014.

SILVA, D. D. F. et al. Avaliação da produtividade de milho (*Zea mays* L.) sob condições de três regimes hídricos em Sete Lagoas, MG. In Embrapa Milho e Sorgo-**Artigo em anais de congresso**. In: TALLER INTERNACIONAL RED RIEGOS CYTRED, 2008, Florianópolis." Tecnologias de información y comunicación (TIC) para la modernización de los sistemas de riego y valoración de riegos ancestrales". Florianópolis: EPAGRI, 2008.

SILVA, D. P. et al. Análise de crescimento de híbridos milho-verde irrigado em resposta a espaçamentos no cerrado. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v.10, n.1, p.62-71, 2018

SILVA, P. S. L. et al. Effect of planting density on green ear yield of maize cultivars bred in different periods. **Horticultura Brasileira**, v. 25, n. 2, p. 154-158, 2007.

SILVEIRA, D. C. et al. Caracterização agromorfológica de variedades de milho crioulo (*Zea mays* L.) Na região noroeste do Rio Grande do Sul. **Ciência & Tecnologia**, Piracicaba, v. 1, n. 1, p. 01-11, 2015.

SOARES NETO, J. C. et al. Performance of irrigated green corn cultivars in different plant populations at sowing. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n.4, p. 267-272, 2017.

SOUSA, R. S.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J. Desempenho produtivo de genótipos de milho sob déficit hídrico. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Brasília, v. 14, n. 1, p. 49-60, 2015.

SOUZA, E. J. et al. Efeito de irrigação e adubação nitrogenada nas características agrônômicas de milho doce. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 3, p. 282-290, 2015.

SOUZA, L. S. B. et al. Eficiência do uso da água das culturas do milho e do feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado no semiárido brasileiro. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 3, p. 715-721, 2011.

SOUZA, R. S. et al. Elementos de produção de milho doce em diferentes densidades populacionais. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 4, n. 3, p. 285-292, 2013.

SOUZA, A. E. et al. Estudo da produção do milho no Brasil. **South American Development Society Journal**, São Paulo, v. 4, n. 11, p. 182, 2018.

STACCIARINI, T. de C. V. et al. Avaliação de caracteres agrônômicos da cultura do milho mediante a redução do espaçamento entre linhas e aumento da densidade populacional. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 4, p. 516-519, 2010.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, p. 96. 2017.

TESTA, G.; REYNERI, A.; BLANDINO, M. Maize grain yield enhancement through high plant density cultivation with different inter-row and intra-row spacings. **European journal of agronomy**, v. 72, p. 28-37, 2016.

THOMPSON, R. L.; GARCIA, J. C. A demanda de exportação para o milho do Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 16, n. 4, p. 7-30, 2019.

TORRES, F. E. et al. Desempenho de híbridos de milho cultivados em diferentes espaçamentos na região do cerrado brasileiro. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 36, n. 4, p. 411-416, 2013.

VIEIRA JÚNIOR, P. A. et al. Relações entre o potencial e a temperatura da folha de plantas de milho e sorgo submetidas a estresse hídrico. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 4, p. 555-561, 2007.

WANG, J. I. A. N. et al. Photosynthesis and chlorophyll fluorescence reaction to different shade stresses of weak light sensitive maize. **Pakistan Journal of Botany**, Karachi, v. 49, n. 5, p. 1681-1688, 2017.

XUE, J. et al. How high plant density of maize affects basal internode development and strength formation. **Crop Science**, Madison, v. 56, n. 6, p. 3295-3306, 2016.

ZHAO, K. Effect of the leaves of different positions in maize on the maize yield and the photosynthetic properties of those leaves after the growing out of the female flowers [J]. **Acta Agronomica Sinica**, v. 4, n. 005, 1981.

# CAPÍTULO I

## CRESCIMENTO E TROCAS GASOSAS DO MILHO COM E SEM DÉFICIT HÍDRICO SOB DIFERENTES ARRANJOS DE PLANTAS

### RESUMO

Objetivou-se avaliar o crescimento e as trocas gasosas de plantas do híbrido de milho AG-1051 em diferentes arranjos de plantas, cultivado sob condições de irrigação plena e com déficit de 50% da  $ET_c$ , no município de Teresina, PI. Utilizou-se o delineamento experimental de blocos casualizados no esquema fatorial 5x2, combinando-se cinco densidades de plantas (2; 4; 6; 8 e 10 plantas  $m^{-2}$ ), dois espaçamentos entre fileiras (0,5 e 1,0 m), com quatro repetições. Avaliaram-se altura de planta (AP), altura de inserção da espiga (AE), diâmetro do colmo (DC), índice de área foliar (IAF), matéria seca da parte aérea (MS), taxa de assimilação líquida de  $CO_2$  (A), condutância estomática (gs), concentração intercelular de  $CO_2$  ( $C_i$ ), eficiência instantânea de carboxilação e conteúdo relativo de água na folha (CRA). Em irrigação plena houve incremento linear na AP e AE, enquanto sob déficit hídrico houve comportamento quadrático com AP máxima de 192,4 e AE de 118,6 cm atingidas nas densidades de 8,5 e 8,0 plantas  $m^{-2}$ , respectivamente. Houve redução linear do DC em ambos os regimes hídricos adotados. Houve incremento linear com o aumento da densidade nos dois regimes hídricos para o IAF, com maiores valores para as plantas irrigadas com 100% da  $ET_c$ . A massa seca reduziu linearmente com o aumento da densidade e do espaçamento nos dois regimes hídricos. Observou-se redução linear com o aumento da densidade de plantas nos dois regimes hídricos com maiores valores para plantas espaçadas a 1,0 m para E, gs, A. Em irrigação plena o ponto máximo da concentração interna de  $CO_2$  foi de 119,58  $\mu mol CO_2 mol^{-1} ar$  foi alcançado na densidade de 5,91 plantas  $m^{-2}$  no espaçamento de 0,5 m, enquanto em condições de déficit observou-se máximo de 98,02  $\mu mol CO_2 mol^{-1} ar$  na densidade de 5,6 plantas  $m^{-2}$ . Quanto ao CRA observou-se redução linear com o aumento da densidade de plantas.

**Palavras Chave:** *Zea mays*, densidade de plantas, espaçamento entre fileiras, competição intraespecífica

**CHAPTER I**  
**GROWTH AND GAS EXCHANGE OF MAIZE WITH AND WITHOUT WATER**  
**DEFICIT UNDER DIFFERENT PLANT ARRANGEMENTS**

**ABSTRACT**

The objective of this work was to evaluate the growth and gas exchange of plants of the corn hybrid AG-1051 in different plant arrangements, cultivated under conditions of full irrigation and with a deficit of 50% of the ET<sub>c</sub>, in the municipality of Teresina, PI. We used the experimental design of randomized blocks with 5x2 factorial scheme, combining five planting densities (2; 4; 6; 8 and 10 plants m<sup>-2</sup>), two row spacing (0.5 and 1.0 m), with four replications. Plant height (PH), ear height (EH), stem diameter (SD), leaf area index (LAI), dry matter (DM), net assimilation rate of CO<sub>2</sub> (A), stomatal conductance (g<sub>s</sub>), intercellular concentration of CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>), instantaneous carboxylation efficiency and relative content of water in leaf (RCW) were evaluated. In full irrigation there was a linear increase in PH and EH, while under water deficit the PH and EH there was quadratic behavior with maximum height of 192.4 and 118.6 cm reached at the density of 8.5 and 8.0 plants m<sup>-2</sup>, respectively. There was a linear reduction of the ST in both water regimes adopted. There was a linear increase with the increase of density in the two water regimes for the LAI, with higher values for irrigated plants with 100% of ET<sub>c</sub>. The dry mass decreased linearly with increasing density and spacing in the two water regimes. Linear reduction was observed with the increase of planting density in the two water regimes with higher values for plants spaced at 1.0 m for E, g<sub>s</sub>, A. In full irrigation the maximum point of the internal CO<sub>2</sub> concentration was 119.58 μmol CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup> air was reached in the density of 5.91 plants m<sup>-2</sup> in the 0.5 m spacing, while in deficit conditions it was observed if maximum of 98.02 μmol CO<sub>2</sub> mol ar<sup>-1</sup> 5.6 plants m<sup>-2</sup> at a density of 5.6 plants m<sup>-2</sup>. As for the CRA, a linear reduction was observed with the increase in plant density.

**Key words:** *Zea mays*, plant density, width between rows, spacing within row, leaf gas exchange

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Localização da área experimental.....	44
Figura 2 Semeadura manual.....	45
Figura 3 Adubação de cobertura.....	46
Figura 4 Medição da área foliar.....	48
Figura 5 Leitura das trocas gasosas .....	49
Figura 6 Variação da temperatura máxima (T <sub>máx</sub> ), temperatura mínima (T <sub>mín</sub> ), temperatura média (T <sub>méd</sub> ) e umidade relativa do ar (UR%) durante o período experimental, Embrapa Meio-Norte, Teresina, Piauí .....	52
Figura 7 Variação da evapotranspiração de referência e precipitação pluviométrica ocorrida durante o período experimental, Embrapa Meio-Norte, Teresina, Piauí.....	53
Figura 8 Variação da umidade do solo nas profundidades de 0 a 0,2 m (A), de 0,2 a 0,4 m (B) e de 0,4 a 0,6 m (C) ao longo do ciclo do híbrido de milho AG – 1051. Umidade sem déficit (SD), umidade com déficit (CD), capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e umidade crítica (UC). .....	54
Figura 9 Altura de planta (AP), altura de inserção da espiga (AE) e diâmetro do colmo (DC) de plantas do híbrido de milho AG – 1051 sob irrigação plena e déficit hídrico, em função de diferentes densidades de plantas (DP), em Teresina, PI, Brasil.....	56
Figura 10 Índice de área foliar (IAF) de plantas do híbrido de milho AG – 1051 irrigado com e sem déficit hídrico, em função de diferentes densidades de plantas (A) e espaçamentos entre linhas (B), em Teresina, PI, Brasil.....	58
Figura 11 Massa seca (MS) da parte aérea de plantas do híbrido de milho AG – 1051 irrigado com e sem déficit hídrico, em função de diferentes densidades de plantas (A) e espaçamentos entre linhas (B), em Teresina, PI, Brasil.....	59
Figura 12 Efeito da densidade de plantas (A) e do espaçamento entre linhas (B) sobre a taxa de condutância estomática (g <sub>s</sub> ) em folhas de plantas do híbrido de milho AG-1051 em cultivado irrigado com e sem déficit hídrico, em Teresina, PI, Brasil. ....	61
Figura 13 Efeito da densidade de plantas (A) e espaçamento entre linhas (B) sobre a taxa de transpiração (E) em folhas de plantas do híbrido de milho AG-1051 em cultivo irrigado com e sem déficit hídrico em Teresina, PI, Brasil. ....	62
Figura 14 Efeito da densidade de plantas (A) e espaçamento entre linhas (B) sobre a taxa de assimilação líquida de CO <sub>2</sub> (A) em folhas de plantas do híbrido de milho AG -1051 cultivado condições de irrigação com e sem déficit hídrico, em Teresina, PI, Brasil. ....	63
Figura 15 Efeito do espaçamento entre linhas e da densidade de plantas sobre a concentração intercelular de CO <sub>2</sub> (C <sub>i</sub> ) em folhas de plantas do híbrido de milho AG-1051 irrigado plenamente, em Teresina, PI, Brasil. ....	64
Figura 16 Efeito da densidade de plantas sobre a concentração intercelular de CO <sub>2</sub> (C <sub>i</sub> ) em folhas de plantas do híbrido de milho AG-1051 em condições de irrigação com déficit hídrico, em Teresina, PI, Brasil.....	64



Figura 17 Efeito da densidade de plantas sobre o Conteúdo relativo de água da folha (CRA) de plantas do híbrido de milho AG-1051 cultivado em condições de irrigação com e sem déficit hídrico, em Teresina, PI, Brasil ..... 65

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 Composição química do solo na área experimental .....	44
Tabela 2 Características granulométricas do solo da área experimental.....	45
Tabela 3 Valores de coeficiente de cultura para o milho, em diferentes fases do ciclo no experimento.....	47
Tabela 4 Composição dos espaçamentos entre plantas na linha de semeadura em relação as diferentes populações e espaçamento entre linhas.....	50
Tabela 5 Resumo da análise de variância com o quadrado médio relativo aos efeitos do espaçamento entre linhas (EEL) e da densidade de plantas (DP) sobre a altura de planta (AP), altura da espiga (AE), diâmetro do colmo (DC), índice de área foliar e matéria seca da parte aérea (MS) em plantas do híbrido de milho AG – 1051 cultivado em condições de irrigação plena e com déficit hídrico, medidos aos 49 dias após o plantio em Teresina, Piauí, Brasil.	55
Tabela 6 Resumo da análise de variância com o quadrado médio relativo aos efeitos do espaçamento entre linhas (EEL) e da densidade de plantas (DP) sobre a concentração interna de CO <sub>2</sub> (Ci), Transpiração (E), Condutância estomática (gs), Assimilação de CO <sub>2</sub> (A) e Conteúdo Relativo de Água (CRA) em plantas do híbrido de milho AG – 1051 cultivado em condições de irrigação plena e com déficit hídrico, medidos aos 49 dias após o plantio em Teresina, Piauí, Brasil.....	60

## 1. INTRODUÇÃO

O milho é uma das culturas mais importantes da dieta humana e para fins agroindustriais em todo o mundo. É uma planta do tipo C4, apresentando maior eficiência na conversão de CO<sub>2</sub> em carboidratos e, conseqüentemente, na produção de biomassa verde e produtividade (SCHLÜTER et al., 2012).

Para que se obtenham elevadas produtividades, sugere-se a maximização da interceptação da radiação solar, por meio da escolha adequada do arranjo de plantas (BRACHTVOGEL et al., 2012). O arranjo de plantas ideal é aquele que proporciona a melhor distribuição das plantas em uma determinada área, minimizando a competição intraespecífica por água, luz e nutrientes (SANTOS et al., 2018).

Alterações no arranjo de plantas podem afetar a arquitetura da planta, alterar o crescimento e padrões de desenvolvimento, a interceptação da radiação pelo dossel, influenciando as taxas de fotossíntese, a produção de carboidratos e, conseqüentemente, a produtividade (ABUZAR et al., 2011). A redução do espaçamento entre linhas mantendo a mesma densidade de plantas promove um espaçamento mais equidistante, reduzindo a competição entre plantas, ao mesmo tempo, melhorando a captação e utilização de recursos vegetais e diminuição da competição com plantas daninhas em decorrência do fechamento do dossel (Robles, Ciampitti e Tony, 2012).

Sob altas densidades de plantas, a intensidade de luz que atinge as folhas no terço médio da parte aérea da planta é menor e ocorre diminuição da concentração de CO<sub>2</sub>, o que reduz o potencial fotossintético e acelera a senescência (WANG et al., 2017). Além disso, outros órgãos vegetativos podem se tornar excessivamente desenvolvidos à medida que a competição de plantas aumenta, o que pode levar a um desvio de energia e nutrientes da produção de grãos (GONDAL et al., 2017). Souza et al. (2013) observaram que o aumento da densidade de plantas acima do ideal estimula a dominância apical, induz a esterilidade, diminui o número de espigas por planta e o número de grãos por espiga.

Outro fator que afeta o desenvolvimento das plantas é a disponibilidade de água. Segundo Seeve et al. (2017) a escassez de água durante os períodos de seca é um fator limitante da produtividade das culturas e no fracasso em atingir o potencial de rendimento total. A partir da adoção de estratégias de irrigação é importante conhecer o efeito do déficit hídrico nos estágios de desenvolvimento da planta. O

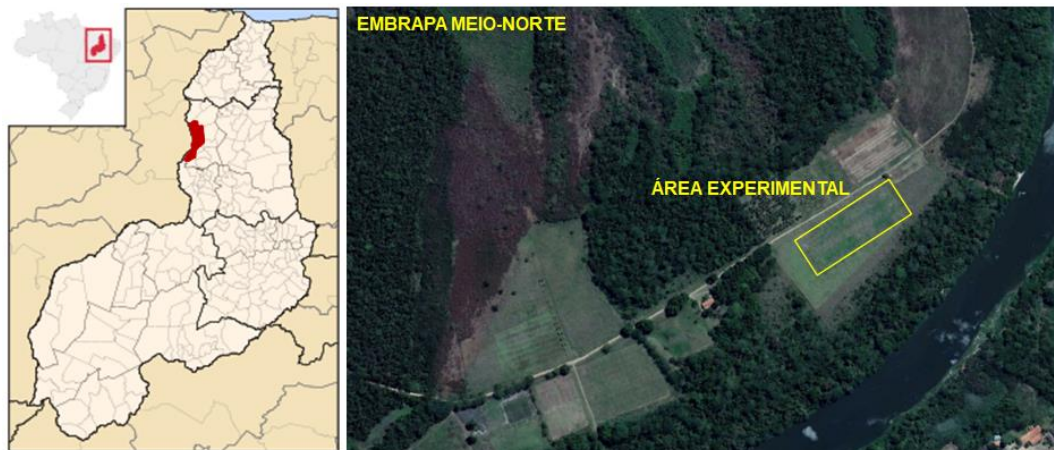
cultivo do milho nas primeiras fases de desenvolvimento é limitado pela deficiência hídrica, principalmente sob lâminas inferiores a 80% da ET<sub>c</sub> (BRITO et al., 2013).

Sob estes aspectos, estudos recentes vêm sendo realizados com o cultivo de milho em diferentes espaçamentos entre fileiras e densidades de plantas (SHI et al., 2016; BUSO et al., 2016; XUE et al., 2016; AZAM et al., 2017; SANTOS et al., 2018). O regime hídrico influencia no arranjo de plantas. É fácil compreender que, em condições de déficit hídrico, a densidade de plantas deve ser menor do que sob irrigação plena. Porém, há carência de estudos que identifiquem a densidade ótima de plantio em condições de deficiência hídrica. Portanto, é importante e necessário desenvolver estudos na tentativa de solucionar os diversos problemas que envolvem esses fatores, buscando informações com maior confiabilidade e que melhor correspondam às condições locais. O presente estudo foi conduzido para investigar os efeitos de diferentes espaçamentos entre linhas e densidades de plantas na morfofisiologia do híbrido de milho AG-1051 submetido a diferentes regimes hídricos na região de Teresina, Piauí, Brasil.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Caracterização da área experimental

Dois experimentos foram conduzidos na área Experimental da Embrapa Meio-Norte, em Teresina, Piauí, (5°05' S, 42°29' W e 72 m de altitude) no período de setembro a dezembro de 2018. De acordo com a classificação climática de Thornthwaite e Mather (1955), o clima do município é do tipo C1sA'a', caracterizado como sub-úmido seco, megatérmico, com excedente hídrico moderado no verão. Apresenta temperaturas médias anuais de 28,2 °C, máximas de 34 °C e mínimas de 22,4 °C, umidade relativa média do ar de 69,5 % e precipitação pluviométrica média de 1.318 mm por ano (BASTOS e ANDRADE JÚNIOR, 2019).



**Figura 1** Localização da área experimental

**Fonte:** Adaptado de Google Earth.

O solo da área experimental é classificado como Neossolo Flúvico Eutrófico (MELO et al. 2014), cujas características químicas e físicas estão descritas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

**Tabela 1** Composição química do solo na área experimental

Prof. (cm)	MO dag kg <sup>-1</sup>	pH H <sub>2</sub> O	P mg dm <sup>-3</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	SB	CTC	V	m
				-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----							---%---	
0 – 20	1,0	5,9	81,1	0,82	5,21	1,95	0,17	3,98	8,15	12,12	67	0
21 – 40	1,0	6,2	61,7	0,64	5,78	2,04	0,17	3,65	8,63	12,28	70	0

**Fonte:** Laboratório de Solos – Embrapa Meio-Norte

**Tabela 2** Características granulométricas do solo da área experimental

Profundidade	Granulometria (g kg <sup>-1</sup> )				Classificação textura
	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
0 – 20 cm	8,5	550,5	335,0	106,0	Franco arenoso
21 – 40 cm	8,0	548,0	318,0	126,0	Franco arenoso

**Fonte:** Laboratório de Solos – Embrapa Meio-Norte

## 2.2. Preparo do solo, adubação e semeadura

Realizou-se uma aração e uma gradagem e a adubação foi realizada com base na análise físico-química do solo (Tabelas 1 e 2) e na recomendação para a cultura na região (CARDOSO et al., 2011). Na adubação de fundação, foram aplicados 75 kg de N ha<sup>-1</sup>, 70 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> e 60 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> em sulcos de 8 cm de profundidade. A adubação de cobertura com 45 kg de N ha<sup>-1</sup> foi realizada em 29 de setembro de 2018, a lanço, entre as fileiras (Figura 3). Foram utilizados os adubos sulfato de amônio, superfosfato triplo e cloreto de potássio.

Para a semeadura utilizou-se o híbrido duplo comercial de milho AG-1051, a qual foi realizada manualmente em 11 de setembro de 2018, colocando-se duas sementes por cova (Figura 2).



**Figura 2** Semeadura manual



**Figura 3** Adubação de cobertura

Por ocasião da semeadura, realizou-se o controle preventivo de plantas daninhas com aplicação de herbicidas de pré-emergência, utilizando-se uma mistura de atrazina e s-metolaclo (1.480 + 1.160 g ha<sup>-1</sup> de i.a.). Quando as plantas se encontravam no estágio de crescimento V3, o controle das plantas daninhas foi complementado pela aplicação do herbicida tembotrione (100,8 g.ha<sup>-1</sup> de i.a.). O controle da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) foi realizado com a aplicação do inseticida lufenuron (15 g.ha<sup>-1</sup> de i.a.) ao se observar o aparecimento dos primeiros sintomas de ataque.

### **2.3. Sistema de irrigação e regimes hídricos**

Para cada experimento utilizou-se sistema de irrigação por aspersão convencional fixo, com aspersores de impacto com bocais de 4,4 x 3,2 mm, vazão de 1,59 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, pressão de serviço de 30 mca, espaçados de 12 x 12 m e intensidade de aplicação de 11,04 mm h<sup>-1</sup>.

Realizou-se a uniformidade de distribuição de água da irrigação por meio de coletores com diâmetro de 8,0 cm, instalados em uma malha de pontos sob a área de influência de quatro aspersores (144 m<sup>2</sup>). Os coletores foram instalados no centro de cada experimento de forma que a lâmina coletada representasse sua precipitação, totalizando 16 coletores em cada área avaliada. Foi determinado o coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD = 85%), obtido pela relação entre a lâmina média

de 25% dos coletores com as menores precipitações pela lâmina média de todos os coletores.

A evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) foi calculada pelo produto da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e do coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>). A ET<sub>o</sub> foi estimada pelo método de Penman-Monteith, conforme metodologia proposta por Allen et al. (1998) e o K<sub>c</sub> do milho apresentado na Tabela 3. Até os 30 dias após a semeadura foram aplicadas lâminas diárias de 100% da ET<sub>c</sub> nos dois experimentos. Logo após aplicou-se o estresse no segundo experimento reduzindo a irrigação em 50% da ET<sub>c</sub>.

**Tabela 3** Valores de coeficiente de cultura para o milho, em diferentes fases do ciclo no experimento.

Fase do ciclo	Dias após o plantio	Coeficiente de cultivo
I	0 – 40	0,8
II	41 – 54	1,2
III	55 – 74	0,9
IV	75 – 10	0,5

Fonte: Souza et al. (2015a).

## 2.4. Monitoramento do conteúdo de água no solo

Para o monitoramento do conteúdo de água do solo (% em volume) foram instalados, aos 15 dias após o plantio, seis tubos de acesso de PVC em cada experimento, com 1,0 m de profundidade, dispostos nas fileiras centrais. Utilizou-se uma sonda de capacitância (FDR) modelo Diviner 2000® da Sentek Pty Ltda, Austrália. As leituras foram realizadas diariamente, sempre antes das irrigações, em cada camada (0,10; 0,20, 0,30, 0,40, 0,50 e 0,60 m) medidos durante o ciclo da cultura.

## 2.5. Variáveis analisadas

### 2.5.1. Morfológicas e de crescimento

Após a fase de pendoamento, aos 49 dias após o plantio (DAP), as variáveis alturas de planta (AP, m) e de inserção da espiga (AE, m) foram medidas com o auxílio de uma trena graduada em centímetro. Considerou-se AP como a distância do colo



da planta à inserção da folha bandeira, enquanto AE, como a distância do colo da planta até o ponto de inserção da espiga superior. O diâmetro do colmo (DC, mm) foi medido com o auxílio de um paquímetro digital, na região logo abaixo da inserção da primeira espiga. Para estas variáveis, o valor por parcela correspondeu à média da medição de três plantas dentro da área útil.

Para determinação do índice de área foliar (IAF) e matéria seca da parte aérea (MS, g) coletou-se uma planta de cada parcela experimental, aos 49 dias após o plantio, na fileira central da área útil.

Mediu-se a área foliar utilizando o equipamento eletrônico de área LI-3100, LICOR (LINCOLN, NE, USA) retirando todas as folhas de cada planta (Figura 4). Após as medições de área foliar, os componentes das plantas (caule, folhas, flores e vagens) foram acondicionados em sacos de papel e levados à estufa com ventilação forçada a 65 °C até atingir o peso constante, sendo posteriormente pesados, onde determinou-se a matéria seca. O índice de área foliar (IAF) foi obtido pela relação entre a área foliar da planta (cm<sup>2</sup>) e a área do terreno (cm<sup>2</sup>) ocupada pela planta.



**Figura 4** Medição da área foliar

### 2.5.2. Trocas gasosas

As medidas de trocas gasosas foram realizadas aos 50 dias pós o plantio na folha da espiga de uma planta por parcela. Utilizou-se um analisador portátil de gases na região do infravermelho do espectro eletromagnético marca ADC Mod. LCPro-SD (ADC BioScientific, Hoddesdon, hertfordshire), dotado de uma câmara de medição

com sistema de iluminação artificial. O equipamento foi configurado para manter a umidade relativa no interior da câmara de medição entre 50 e 60%, com a temperatura do bloco ajustada para 35°C. A intensidade de luz no interior da câmara de medição foi configurada para 2000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ; a taxa de fluxo de ar para 400  $\mu\text{mol s}^{-1}$  e a concentração de  $\text{CO}_2$  em 400 ppm, na célula de referência, usando o misturador de  $\text{CO}_2$  mod. 6400-01 (cilindro de  $\text{CO}_2$  de 12 g). As medidas foram executadas entre 07:00-09:00 h em uma planta por parcela, no terço médio da folha da espiga aos 49 dias após o plantio. Os dados extraídos, fornecidos pelo software OPEN versão 6.3 foram: A = taxa de assimilação líquida de  $\text{CO}_2$  ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ),  $g_s$  = condutância estomática ao vapor de água ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), E = taxa de transpiração ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ),  $C_i$  = concentração intercelular de  $\text{CO}_2$  ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol ar}^{-1}$ ).



**Figura 5** Leitura das trocas gasosas

### **2.5.3. Conteúdo relativo de água**

Utilizando a metodologia de Barrs e Weatherley (1962), o conteúdo relativo de água da folha (CRA em %) foi obtido aos 52 DAS, coletando-se discos foliares de 4  $\text{cm}^2$  da folha da espiga em uma planta por tratamento. Os discos foliares foram imediatamente acondicionados numa caixa térmica com gelo para evitar deterioração dos materiais e levados ao laboratório para determinação do peso fresco com o auxílio de uma balança de precisão. Logo após os discos foliares passaram por hidratação com água destilada durante 24 horas em placas de petri e acondicionadas a 4°C no

escuro utilizando uma geladeira. Logo após o período de hidratação mediu-se o peso túrgido retirando-se delicadamente o excesso de água da superfície dos tecidos utilizando lenço de papel. Após serem pesados os discos foram levados a estufa de ar forçado, à 60°C por um período de 24 horas em sacos de papel. Decorrido o esse período foi determinado o peso seco dos discos foliares. O CRA foi determinado por meio da relação entre a diferença de peso fresco (MF) e seco (MS) com a diferença de peso túrgido (MT) e seco, utilizando-se a fórmula:

$$CRA = \frac{(MF-MS)}{(MT-MS)} 100 \quad (1)$$

## 2.6. Delineamento experimental e análises estatísticas

Em cada experimento, as plantas foram arranjadas em dois espaçamentos entre linhas (0,5 e 1,0 m) e cinco densidades de plantas (2,0; 4,0; 6,0; 8,0; e 10,0 plantas m<sup>-2</sup>), totalizando 10 espaçamentos entre plantas (Tabela 4). Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso, com tratamentos dispostos em fatorial 2 x 5, com quatro repetições. A parcela experimental foi composta por quatro fileiras de cinco metros de comprimento compondo as áreas úteis de 5 m<sup>2</sup> e 10 m<sup>2</sup> para as parcelas com espaçamentos de 0,5 e 1,0 m, respectivamente. Apenas as fileiras centrais foram utilizadas para as avaliações.

**Tabela 4** Composição dos espaçamentos entre plantas na linha de semeadura em relação as diferentes populações e espaçamento entre linhas

Densidade de plantas	Espaçamento entre linhas	
	0,5 m	1,0 m
Espaçamento entre plantas		
2 plantas m <sup>-2</sup>	1,00 m	0,50 m
4 plantas m <sup>-2</sup>	0,50 m	0,25 m
6 plantas m <sup>-2</sup>	0,33 m	0,16 m
8 plantas m <sup>-2</sup>	0,25 m	0,12 m
10 plantas m <sup>-2</sup>	0,20 m	0,10 m

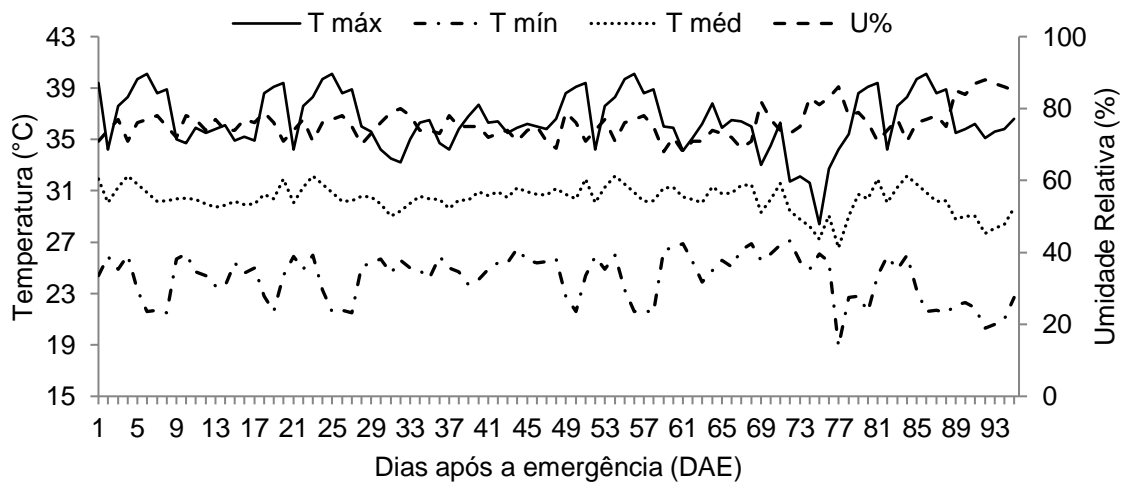
Os dados obtidos foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk e T de Cochran para a normalidade de erros e homogeneidade de variância, respectivamente. Uma vez satisfeitos os requisitos básicos, os dados foram submetidos às análises de variância. Considerou-se espaçamento entre linhas como fator qualitativo sendo

comparados pelo teste F ( $p < 0,05$ ). O efeito da densidade de plantas e interação entre densidade de plantas e espaçamento entre linhas foi analisado pela regressão polinomial. Todas as análises estatísticas foram realizadas com o uso do software R versão 3.4.1 (R DEVELOPMENT TEAM, 2006).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

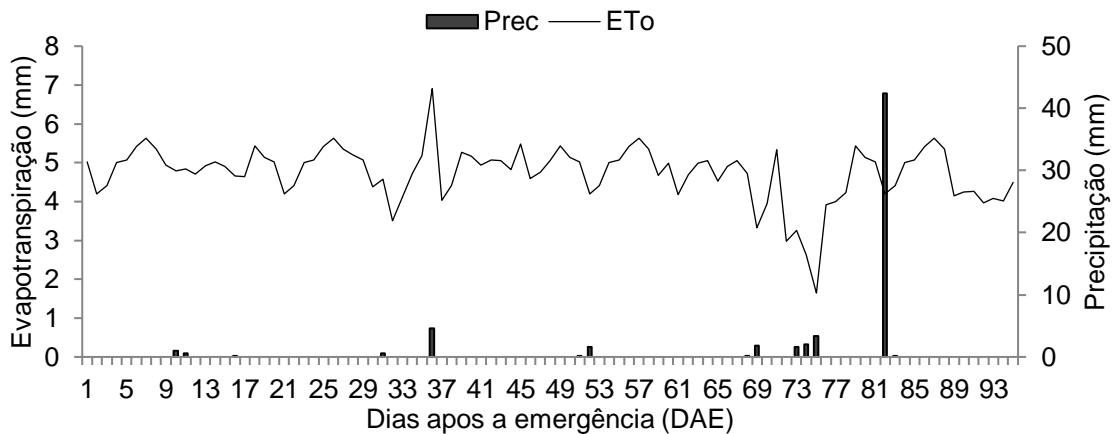
#### 3.1. Dados climáticos

Os valores médios diários da temperatura e umidade relativa do ar, ocorridos durante o período experimental, estão ilustrados na Figura 6. Verificou-se registro máximo na temperatura do ar de 40,1 °C, e mínimo de 18,9 °C, e a temperatura média oscilou entre 25,55 e 32,15°C, ficando na maior parte do período de cultivo dentro da faixa ideal para o desenvolvimento do milho, compreendida entre 24 e 30 °C, da emergência à floração (CRUZ, 2010). Quanto a umidade relativa do ar, observou-se pouca variação no período com máxima de 88% e mínima de 68%, comportando-se de forma inversa às variações de temperatura do ar.



**Figura 6** Variação da temperatura máxima (Tmáx), temperatura mínima (Tmín), temperatura média (Tméd) e umidade relativa do ar (UR%) durante o período experimental, Embrapa Meio-Norte, Teresina, Piauí

A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e precipitação acumulada estão expostos na Figura 7. Por se tratar da época do ano com menores índices de precipitação, o total acumulado do período foi de 60,4 mm ocorridos ao final do ciclo de cultivo dos grãos, onde já havia cessado o manejo da irrigação. A ET<sub>o</sub> comportou-se de forma semelhante às variações de temperatura, com um decréscimo expressivo aos 75 DAE em resposta aos registros de precipitação ocorridos.



**Figura 7** Variação da evapotranspiração de referência e precipitação pluviométrica ocorrida durante o período experimental, Embrapa Meio-Norte, Teresina, Piauí

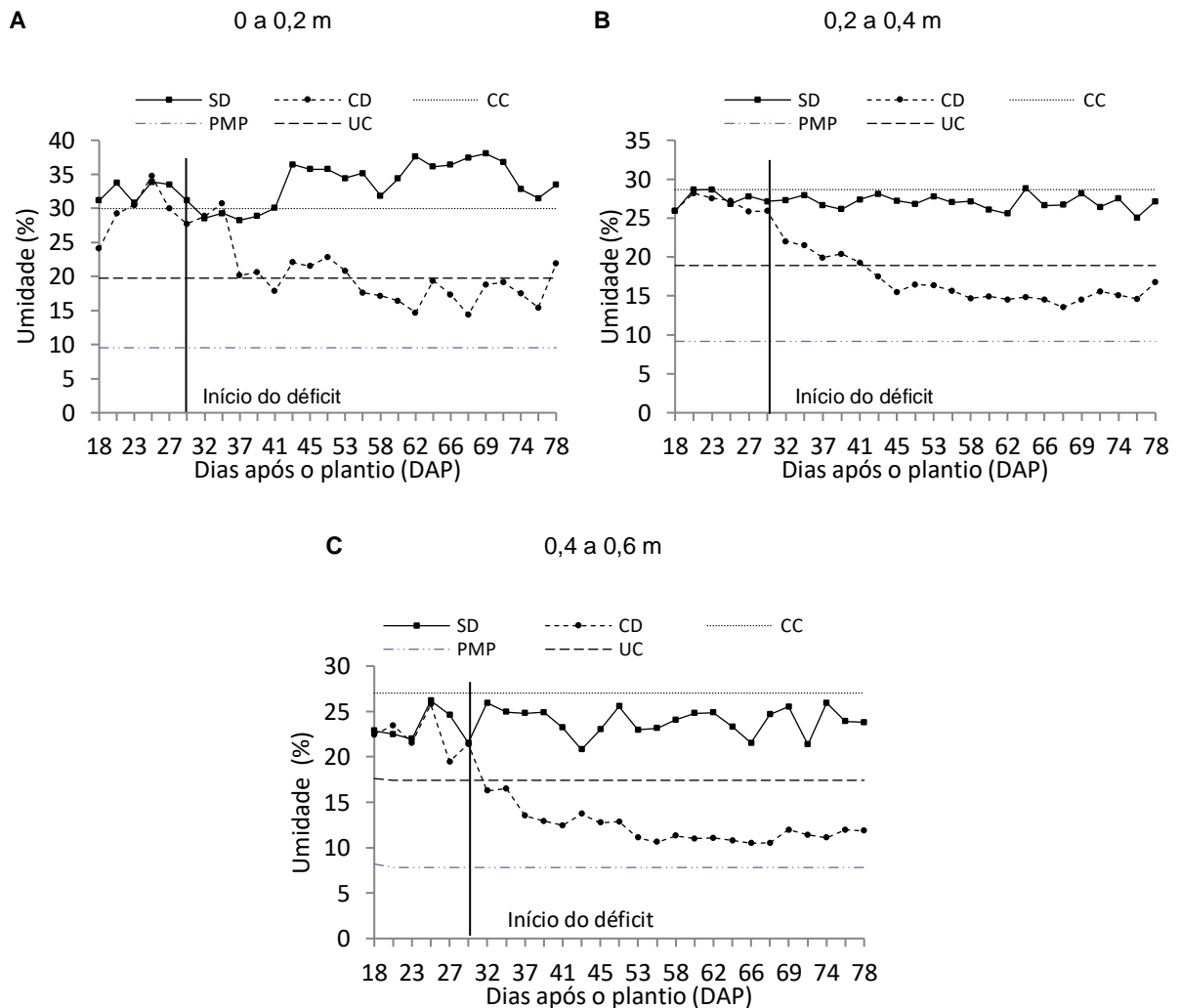
### 3.2. Monitoramento do conteúdo de água no solo

O monitoramento da umidade do solo (%) em diferentes profundidades e lâminas de irrigação ao longo do ciclo da cultura estão presentes na Figura 8. Considerando que a profundidade efetiva do sistema radicular varia de 40 a 50 cm (Albuquerque e Resende 2002), verificou-se o comportamento da umidade nas profundidades de 0 a 0,2 m de 0,2 a 0,4 m e de 0,4 a 0,6 m no período de 18 a 78 dias após o plantio (DAP).

Observa-se que no ensaio com irrigação plena a umidade manteve-se próximo à capacidade de campo (CC) com maior conteúdo de água na profundidade superficial (0 a 20 cm). Até os 30 DAS a umidade no ensaio realizado com déficit de 50% da  $ET_c$  manteve-se semelhante ao irrigado plenamente, uma vez que até esse período, foram aplicadas as mesmas lâminas de irrigação nos dois regimes hídricos avaliados.

Somente a partir dos 30 DAS, iniciou-se a diferenciação desses regimes hídricos, podendo-se observar nítida diferença de umidade do solo entre 30 a 78 DAS. Nesse período, sob irrigação plena, o teor de água variou de 29% a 37%, próximo ou um pouco acima da capacidade de campo. Por outro lado, no regime com apenas 50%  $ET_c$ , a umidade do solo variou de 14% a 22%, inferior ou próximo da umidade crítica. Essa grande diferença entre a umidade do solo entre os dois regimes hídricos também foi observada nas demais profundidades. Tanto de 0,20 a 0,40 m como de 0,40 a 0,60 m, os valores de umidade do solo no regime de irrigação plena ficaram próximos à capacidade de campo, enquanto naquele em que foi repostado apenas 50%

da ETc, o teor de água no solo ficou abaixo da umidade crítica, comprovando a ocorrência do déficit nesse regime hídrico. Essas diferenças de umidade do solo são resultantes das diferentes lâminas aplicadas. Enquanto sob irrigação plena foi aplicado 419 mm, no regime sob deficiência hídrica foi aplicado apenas 268 mm, uma redução de 36%.



**Figura 8** Variação da umidade do solo nas profundidades de 0 a 0,2 m (A), de 0,2 a 0,4 m (B) e de 0,4 a 0,6 m (C) ao longo do ciclo do híbrido de milho AG – 1051. Umidade sem déficit (SD), umidade com déficit (CD), capacidade de campo (CC), ponto de murchara permanente (PMP) e umidade crítica (UC).

### 3.3. Características morfológicas e de crescimento

Os resultados mostram que houve influência significativa da densidade de plantas, em todas as variáveis, nos dois regimes hídricos. O espaçamento entre linhas

afetou significativamente o índice de área foliar (IAF) e a massa seca da parte aérea (MS) no regime hídrico sem estresse, enquanto no regime com estresse apenas a massa seca (MS) foi afetada (Tabela 5).

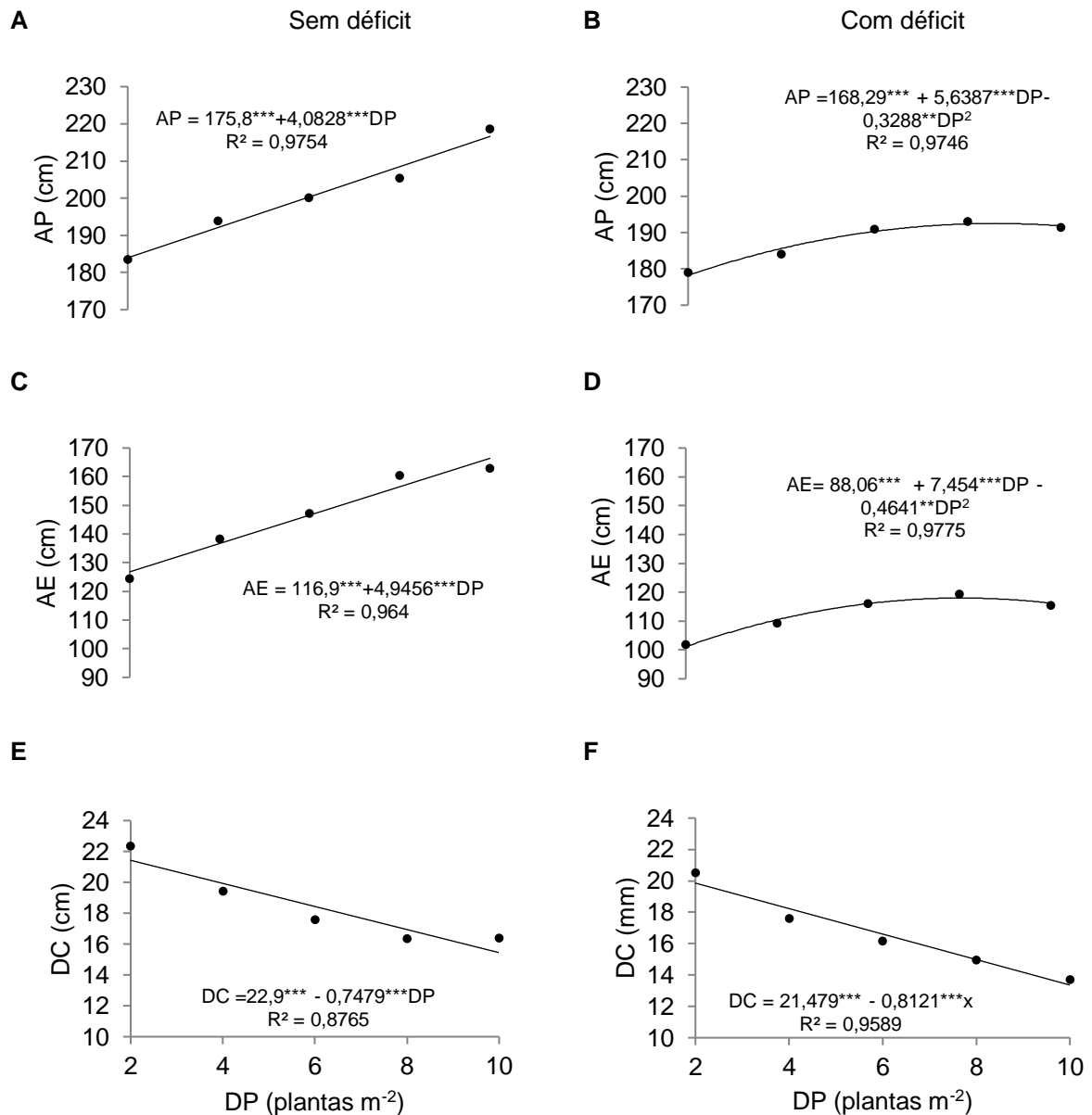
**Tabela 5** Resumo da análise de variância com o quadrado médio relativo aos efeitos do espaçamento entre linhas (EEL) e da densidade de plantas (DP) sobre a altura de planta (AP), altura da espiga (AE), diâmetro do colmo (DC), índice de área foliar e matéria seca da parte aérea (MS) em plantas do híbrido de milho AG – 1051 cultivado em condições de irrigação plena e com déficit hídrico, medidos aos 49 dias após o plantio em Teresina, Piauí, Brasil.

FV	AP	AE	DC	IAF	MS
	Sem déficit				
Bloco	198,71 <sup>NS</sup>	105,93 <sup>NS</sup>	2,08 <sup>NS</sup>	0,087 <sup>NS</sup>	2110 <sup>NS</sup>
EEL (m)	36,4 <sup>NS</sup>	0,08 <sup>NS</sup>	0,411 <sup>NS</sup>	0,248*	3211*
DP (plantas m <sup>-2</sup> )	1367,22**	2029,81**	51,053**	16,09**	22188**
EEL x DP	31,35 <sup>NS</sup>	193,93 <sup>NS</sup>	0,928 <sup>NS</sup>	0,016 <sup>NS</sup>	253 <sup>NS</sup>
Resíduo	40,73	120,16	0,449	0,025	259
CV %	3,19	7,48	3,63	4,96	7,21
	Com déficit				
Bloco	12,71 <sup>NS</sup>	18,00 <sup>NS</sup>	0,552 <sup>NS</sup>	0,625 <sup>NS</sup>	2839 <sup>NS</sup>
EEL (m)	1,35 <sup>NS</sup>	47,57 <sup>NS</sup>	0,010 <sup>NS</sup>	0,037 <sup>NS</sup>	4326*
DP (plantas m <sup>-2</sup> )	284,96**	389,42**	42,181**	6,281**	22216**
EEL x DP	21,75 <sup>NS</sup>	38,61 <sup>NS</sup>	2,030 <sup>NS</sup>	0,019 <sup>NS</sup>	173 <sup>NS</sup>
Resíduo	14,858	65,84	0,819	0,796	369
CV %	2,05	7,22	5,36	11,46	10,7

<sup>NS</sup>: não significativo a ( $p > 0,05$ ); \*: significativo a ( $0,01 < p \leq 0,05$ ); \*\*: significativo a ( $p \leq 0,01$ ), pelo teste "F".

O aumento na densidade de plantas proporcionou incremento linear na altura de planta e altura de inserção da espiga (Figura 9A e 9C), porém obteve-se efeito quadrático quando os tratamentos foram submetidos ao déficit hídrico em ambas as variáveis (Figura 9B e 9D), com alturas máximas de 192,4 e 118,6 cm atingida na densidade de 8,5 e 8,0 plantas.m<sup>-2</sup>, para altura de planta e altura da espiga respectivamente. Em relação ao diâmetro do colmo observa-se efeito linear negativo para ambos os regimes hídricos (Figura 9E e 9F).





**Figura 9** Altura de planta (AP), altura de inserção da espiga (AE) e diâmetro do colmo (DC) de plantas do híbrido de milho AG – 1051 sob irrigação plena e déficit hídrico, em função de diferentes densidades de plantas (DP), em Teresina, PI, Brasil. *Significância: ‘\*\*\*’ 0.001 ‘\*\*’ 0.01 ‘\*’ 0.05 em função do teste t.*

Altura de planta, altura de inserção da espiga e diâmetro do colmo são características agrônômicas importantes, as quais estão relacionadas à densidade populacional em milho (LI et al., 2016). O aumento da densidade de plantas é uma medida para melhorar a produtividade na cultura do milho. Porém em altas densidades, as plantas podem competir por água e nutrientes minerais nas raízes e luz na parte aérea, resultando em colmos mais longos e finos (SHI et al., 2016). Além

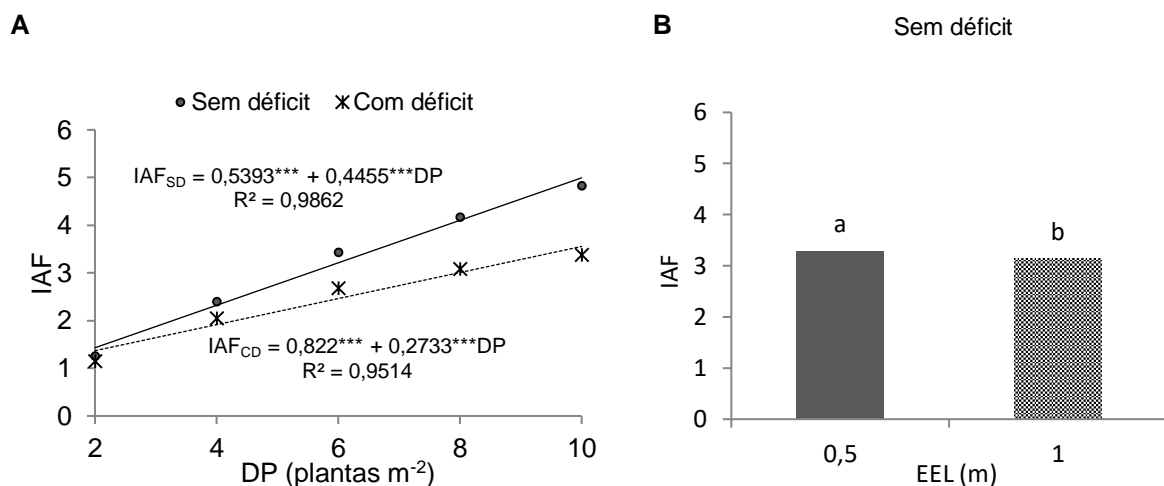
disso, altas densidades de plantas podem favorecer a dominância apical, autossombreamento e menor interceptação luminosa e, portanto, menos distribuição de fotoassimilados, prejudicando o desenvolvimento de outros órgãos como o colmo e o enchimento de grãos (CABRERA-BOSQUET et al., 2017; AZAM et al., 2017). Resultados semelhantes foram observados por Fromme et al. (2019), ao avaliarem as respostas agronômicas de diferentes híbridos de milho a diferentes densidades de plantas.

Estas variáveis também estão diretamente relacionadas com a disponibilidade hídrica, pois o milho é uma cultura exigente em água, e a reposição hídrica promove a expansão celular e, conseqüentemente, o crescimento (SIMÕES et al., 2017; BRITO et al., 2013). Segundo Santos et al. (2012), o crescimento em altura nas plantas do tipo C4 é limitado pela disponibilidade de água, bem como pela ocorrência da fase fisiológica reprodutiva, iniciada pelo florescimento. Neste trabalho, o déficit hídrico associado às densidades mais elevadas proporcionou redução do crescimento das plantas quando comparado com o ensaio sem déficit hídrico. Em trabalhos realizados por Melo et al. (2018) e Almeida et al. (2016), que avaliaram o desempenho da cultura do milho sob déficit e excesso hídrico, os maiores valores em altura de plantas e diâmetro do colmo foram encontrados nos tratamentos com excedente hídrico. Por outro lado, os menores valores foram observados em plantas sob déficit.

O aumento na densidade de plantas na linha provocou aumento linear no IAF, independentemente do regime hídrico adotado (Figura 10A), porém com maiores valores de IAF nas plantas espaçadas a 0,5 m (Figura 10B). O aumento de IAF com o adensamento das plantas é um resultado comumente descrito na literatura e já foi observado na cultura do milho por diversos autores (REN et al., 2017a; GOU et al., 2017; ABUZAR et al., 2011; VALADABADI e FARAHANI, 2010). Segundo Gonzalez et al. (2018), apesar do adensamento reduzir a área foliar individual das plantas, o incremento no IAF ocorre por causa da presença de um maior número de plantas por área e redução do espaçamento.

A área foliar é importante para a interceptação da radiação luminosa (RICAURTE et al., 2016), mas o seu incremento é desejável somente até o limite onde a atividade fotossintética não é prejudicada pelo autossombreamento (ARGENTA et al., 2001). De acordo com Pimentel (1998), as folhas sombreadas pelas folhas superiores acabam recebendo menos luz e, devido a menor taxa fotossintética, podem até se tornar drenos ao invés de fonte de fotoassimilados.

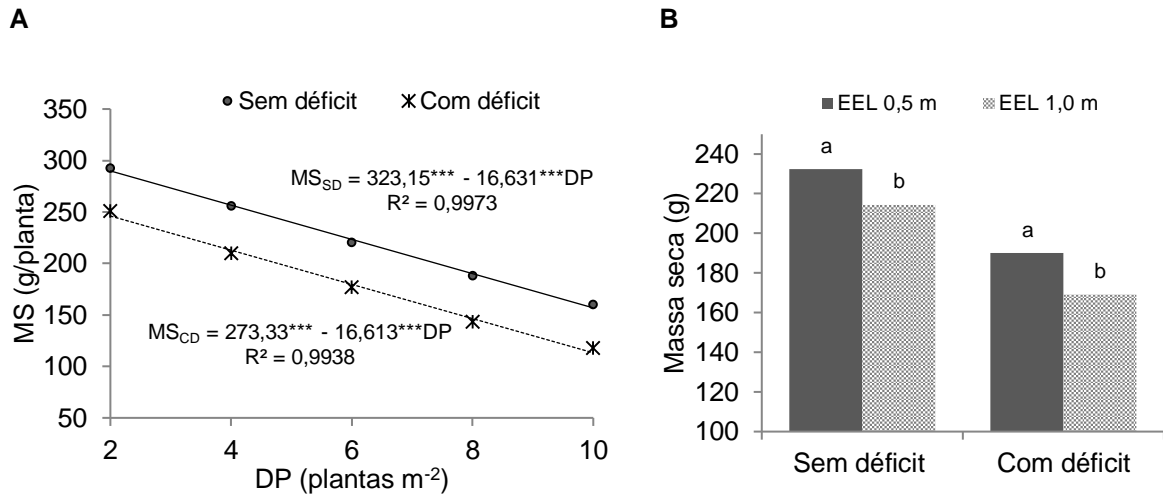
Todos os aspectos relacionados ao crescimento das plantas são afetados pelo déficit hídrico, sendo o decréscimo da área foliar uma das mais proeminentes, contribuindo para a redução da produtividade da planta (NASCIMENTO et al., 2016). Esses efeitos foram observados nesta pesquisa, notadamente nos tratamentos com menor lâmina de irrigação (50% da ETc), em que foi observado menores valores do IAF em relação ao tratamento sem déficit (Figura 10A).



**Figura 10** Índice de área foliar (IAF) de plantas do híbrido de milho AG – 1051 irrigado com e sem déficit hídrico, em função de diferentes densidades de plantas (A) e espaçamentos entre linhas (B), em Teresina, PI, Brasil.

*Significância: \*\*\*\* 0.001 \*\*\* 0.01 \*\* 0.05 em função do teste t. Letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de F, em nível de 5% de probabilidade.*

Os valores de matéria seca da parte aérea responderam de forma linear decrescente com o aumento da densidade de plantas, nos dois regimes hídricos (Figura 11A). Essa redução pode ser explicada pela redução linear do diâmetro do colmo e redução da área foliar individual da planta. Segundo Valle et al. (2013), a densidade populacional interfere na massa individual das plantas, obtendo-se um decréscimo de matéria seca individual, principalmente, como resultado da competição entre as mesmas pelos recursos do meio. Ressalte-se que os maiores valores de fitomassa foram atribuídos aos tratamentos dispostos a 0,5 m entre linhas de cultivo (Figura 11B). Isso ocorre porque no menor espaçamento, o número de plantas por metro linear é menor neste espaçamento quando comparado com o 1,0 m, implicando em menor competição intraespecífica, resultando, portanto, em maior matéria seca.



**Figura 11** Massa seca (MS) da parte aérea de plantas do híbrido de milho AG – 1051 irrigado com e sem déficit hídrico, em função de diferentes densidades de plantas (A) e espaçamentos entre linhas (B), em Teresina, PI, Brasil.  
Significância: ‘\*\*\*\*’ 0.001 ‘\*\*\*’ 0.01 ‘\*\*’ 0.05 em função do teste *t*. Letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de *F*, em nível de 5% de probabilidade.

### 3.4. Trocas Gasosas

A densidade de plantas afetou significativamente todas as variáveis avaliadas independente do regime hídrico adotado. Em cultivo com irrigação plena, houve efeito significativo do espaçamento entre as linhas de cultivo para as taxas de concentração interna de CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>) e assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A). Para o ensaio com déficit houve efeito significativo do espaçamento para as taxas de transpiração (E), condutância estomática (g<sub>s</sub>) e assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A). Houve interação significativa entre os fatores sob irrigação plena (Tabela 6).

**Tabela 6** Resumo da análise de variância com o quadrado médio relativo aos efeitos do espaçamento entre linhas (EEL) e da densidade de plantas (DP) sobre a concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci), Transpiração (E), Condutância estomática (gs), Assimilação de CO<sub>2</sub> (A) e Conteúdo Relativo de Água (CRA) em plantas do híbrido de milho AG – 1051 cultivado em condições de irrigação plena e com déficit hídrico, medidos aos 49 dias após o plantio em Teresina, Piauí, Brasil.

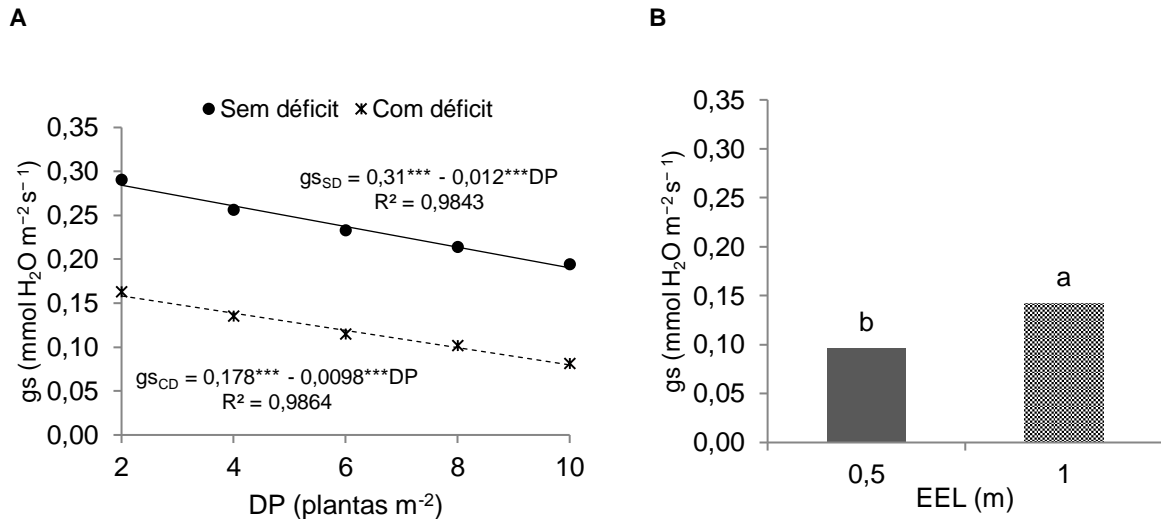
FV	Ci	E	gs	A	CRA
	Sem déficit				
Bloco	3,8 <sup>NS</sup>	0,278 <sup>NS</sup>	0,0011 <sup>NS</sup>	6,788 <sup>NS</sup>	3,69 <sup>NS</sup>
EEL (m)	511,2 <sup>**</sup>	0,003 <sup>NS</sup>	0,0003 <sup>NS</sup>	91,295 <sup>*</sup>	0,106 <sup>NS</sup>
DP (pl.m <sup>-2</sup> )	4981,2 <sup>**</sup>	1,718 <sup>*</sup>	0,0112 <sup>**</sup>	93,332 <sup>**</sup>	101,38 <sup>**</sup>
EEL x DP	171,5 <sup>**</sup>	0,334 <sup>NS</sup>	0,0005 <sup>NS</sup>	4,383 <sup>NS</sup>	1,541 <sup>NS</sup>
Resíduo	40,9	0,548	0,0006	12,967	4,932
CV %	7,69	9,23	10,58	11,22	2,51
Com déficit					
Bloco	183,1 <sup>NS</sup>	4,74 <sup>NS</sup>	0,0016 <sup>NS</sup>	2,13 <sup>NS</sup>	17,53 <sup>NS</sup>
EEL (m)	46,6 <sup>NS</sup>	20,35 <sup>**</sup>	0,0202 <sup>**</sup>	64,92 <sup>*</sup>	18,13 <sup>NS</sup>
DP (pl.m <sup>-2</sup> )	4800,2 <sup>**</sup>	18,59 <sup>**</sup>	0,0078 <sup>**</sup>	413,06 <sup>**</sup>	448,77 <sup>**</sup>
EEL x DP	226,2 <sup>NS</sup>	0,388 <sup>NS</sup>	0,0002 <sup>NS</sup>	15,60 <sup>NS</sup>	40,65 <sup>NS</sup>
Resíduo	376,7	1,192	0,0010	12,12	18,47
CV %	25,74	18,75	27,12	15,44	8,89

<sup>NS</sup>: não significativo a ( $p > 0,005$ ); <sup>\*</sup>: significativo a ( $0,01 < p \leq 0,05$ ); <sup>\*\*</sup>: significativo a ( $p \leq 0,01$ ), pelo teste "F".

Na Figura 12A pode-se perceber que o aumento da densidade de plantas proporcionou redução na condutância estomática (gs) em ambos os regimes hídricos. Estes resultados possuem uma estreita relação com o autossombreamento, o qual provoca acentuada redução na densidade dos estômatos (CABRERA-BOSQUET et al., 2017) e, conseqüentemente, na condutância estomática. Barradas et al. (2018) verificaram que plantas de milho sob baixa luminosidade apresentaram menor condutância estomática quando comparadas às plantas sob alta intensidade luminosa.

Associando o adensamento ao déficit hídrico, os valores de condutância estomática são mais expressivos, sobretudo, no menor espaçamento entre plantas proporcionado pelo espaçamento entre linhas 1,0 m (Figura 12B). Os maiores valores no espaçamento 1,0 m podem estar relacionados a maior incidência de radiação no momento da realização da leitura. As plantas espaçadas a 0,5 m sofreram maiores efeitos do sombreamento das plantas das linhas vizinhas. De acordo com Santos et al. (2018), os maiores valores de condutância estomática ocorrem quando a radiação solar é alta e o potencial hídrico da folha ainda não atingiu valores mínimos passíveis

de induzir o fechamento estomático. Em condições de restrição hídrica as plantas tendem a diminuir a condutância estomática como estratégia para evitar a perda de água para atmosfera (LISAR et al., 2012).



**Figura 12** Efeito da densidade de plantas (A) e do espaçamento entre linhas (B) sobre a taxa de condutância estomática (gs) em folhas de plantas do híbrido de milho AG-1051 em cultivado irrigado com e sem déficit hídrico, em Teresina, PI, Brasil.

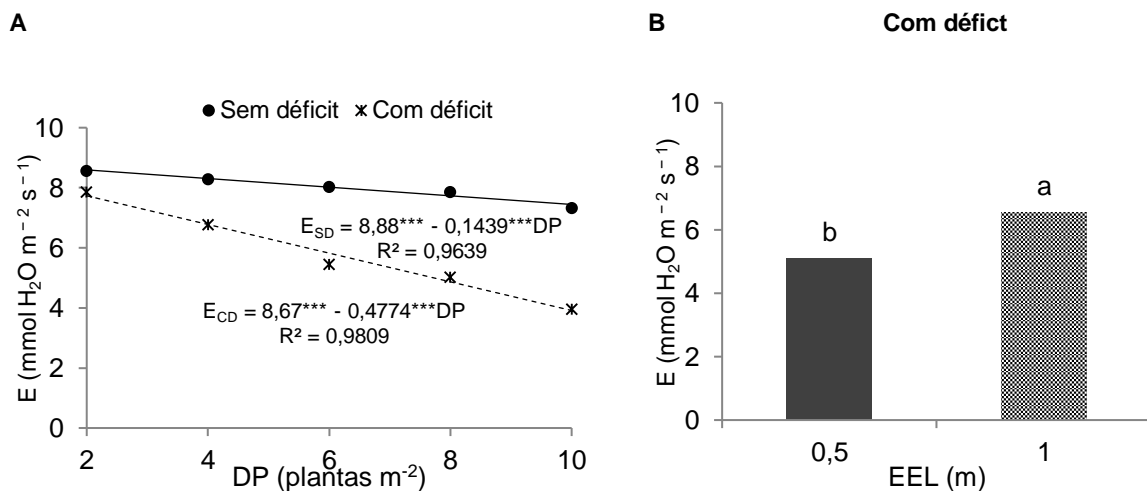
*Significância: '\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*\*' 0.05 em função do teste t. Letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de F, em nível de 5% de probabilidade.*

O aumento do adensamento de plantas proporcionou ajuste linear negativo para as taxas de transpiração (E) nos dois regimes hídricos (Figura 13A) sendo os maiores valores observados no espaçamento 1,0 m (Figura 13B). A redução da taxa de transpiração é uma resposta da condutância estomática pelo aumento da densidade de plantas na área. Makino et al. (2017), avaliando as respostas de diferentes arranjos espaciais e a sua influência sobre as trocas gasosas e a produtividade de grãos de milho, obtiveram resultados semelhantes em que o aumento no número de plantas de milho reduziu a condutância estomática e a transpiração, diminuindo o consumo de CO<sub>2</sub> e conseqüentemente a taxa fotossintética.

Observa-se que em condições de déficit a redução da taxa de transpiração é bem mais expressiva. Com a redução da disponibilidade hídrica, a planta tende a reduzir a transpiração e conseqüentemente a condutância estomática (LIU et al., 2011). Além disso, essa resposta fisiológica é relevante, pois promove uma

diminuição na interface planta/atmosfera, com conseqüente queda na assimilação fotossintética o que afeta negativamente a produção (TAIZ et al., 2017).

Bianchi et al. (2007), avaliando as alterações nas trocas gasosas em folhas de milho, cultivado com diferentes disponibilidades hídricas observou que os tratamentos irrigados próximo à capacidade de campo, apresentaram maiores taxas de transpiração.

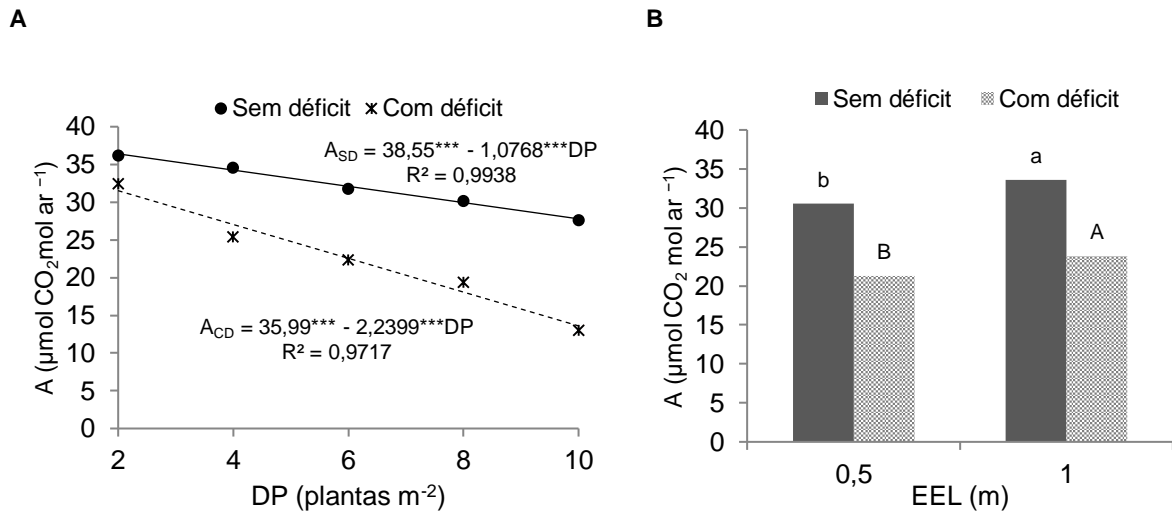


**Figura 13** Efeito da densidade de plantas (A) e espaçamento entre linhas (B) sobre a taxa de transpiração (E) em folhas de plantas do híbrido de milho AG-1051 em cultivo irrigado com e sem déficit hídrico em Teresina, PI, Brasil.  
*Significância: '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*\*' 0.05 em função do teste t. Letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de F, em nível de 5% de probabilidade.*

Os resultados de  $g_s$  e  $E$  tiveram reflexo direto na taxa de assimilação líquida de  $CO_2$  com ajuste linear negativo nos dois regimes hídricos (Figura 14A). Ren et al. (2017b) também observaram redução significativa do desempenho fotossintético com o aumento da densidade de 45.000 para 135.000 plantas  $ha^{-1}$ .

Além disso, assim como a condutância estomática e a transpiração, as plantas espaçadas a 1,0 m proporcionaram maiores taxas assimilação líquida (Figura 14B). O fato de que as taxas de assimilação líquida de  $CO_2$  e condutância estomática tenham sido superiores com o incremento no espaçamento entre plantas, pode estar relacionado com uma maior interceptação de luz entre as linhas no maior espaçamento. Estes resultados concordam com os encontrados por Nunes e Ceccon (2011) avaliando a eficiência fotossintética do milho em dois espaçamentos, observou

que as plantas cultivadas com o espaçamento de 0,90.m entrelinhas apresentaram maior taxa fotossintética que as espaçadas a 0,45 m.

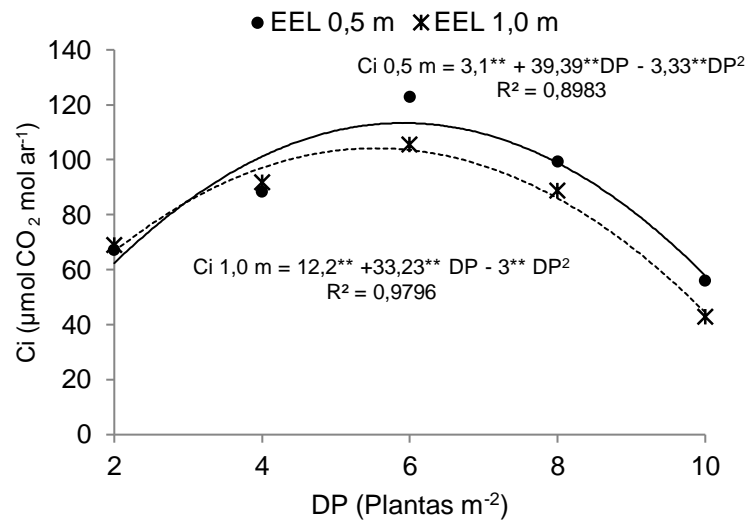


**Figura 14** Efeito da densidade de plantas (A) e espaçamento entre linhas (B) sobre a taxa de assimilação líquida de  $\text{CO}_2$  (A) em folhas de plantas do híbrido de milho AG -1051 cultivado condições de irrigação com e sem déficit hídrico, em Teresina, PI, Brasil.

*Significância: \*\*\*\* 0.001 \*\*\* 0.01 \*\* 0.05 em função do teste t. Letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de F, em nível de 5% de probabilidade.*

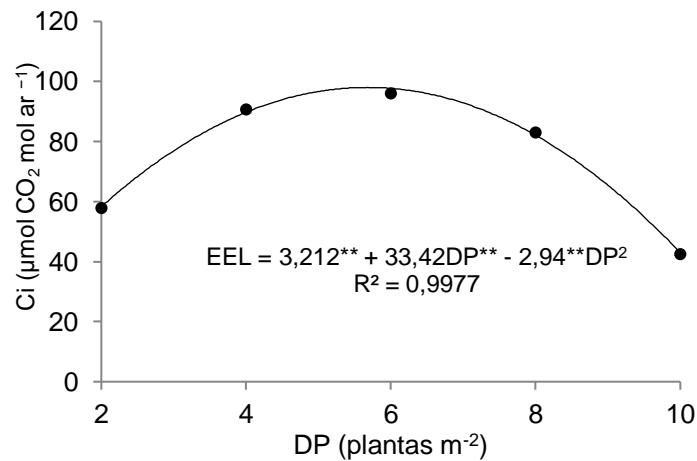
Avaliando o efeito do espaçamento entre linhas e densidade de plantas por meio da regressão polinomial para os resultados de concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ) no regime sob irrigação plena, observa-se que o ponto máximo da concentração interna de  $\text{CO}_2$  foi de  $119,58 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ ar}$  foi alcançado na densidade de  $5,91 \text{ plantas m}^{-2}$  para o espaçamento entre linhas de  $0,5 \text{ m}$ , enquanto no espaçamento de  $1,0 \text{ m}$  a  $C_i$  máxima de  $104,22 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ ar}$  foi observada na densidade de  $5,54 \text{ plantas m}^{-2}$  (Figura 15). Observa-se que a partir destas densidades o aumento da densidade de plantas proporcionou redução na  $C_i$ . Esta mesma tendência foi observada nas plantas submetidas ao déficit hídrico, onde o ponto de máxima  $C_i$  ( $98,02 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ ar}^{-1}$ ) foi observada na densidade de  $5,6 \text{ plantas m}^{-2}$  (Figura 16). A queda na concentração intercelular de  $\text{CO}_2$  está relacionada com a redução da condutância estomática, além disso, o estresse hídrico leva ao fechamento estomático, que resulta em limitação na concentração interna de  $\text{CO}_2$  (MESSINGER et al., 2006).





**Figura 15** Efeito do espaçamento entre linhas e da densidade de plantas sobre a concentração intercelular de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ) em folhas de plantas do híbrido de milho AG-1051 irrigado plenamente, em Teresina, PI, Brasil.

Significância: '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*\*' 0.05 '.' 0.1 em função do teste t.

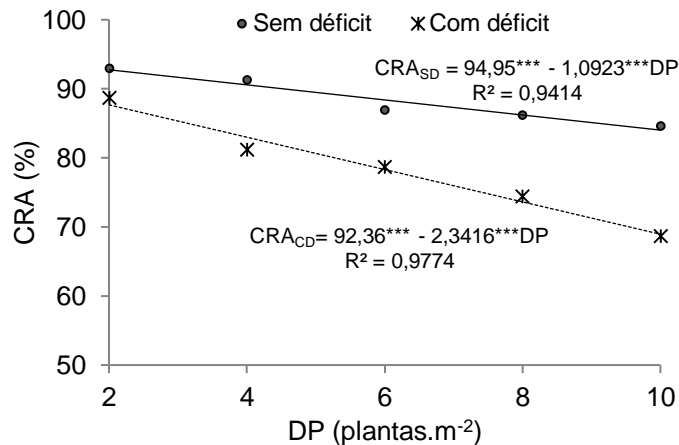


**Figura 16** Efeito da densidade de plantas sobre a concentração intercelular de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ) em folhas de plantas do híbrido de milho AG-1051 em condições de irrigação com déficit hídrico, em Teresina, PI, Brasil.

Significância: '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*\*' 0.05 em função do teste t.

Quanto ao conteúdo relativo de água (CRA) observa-se que o aumento da densidade proporcionou decréscimo linear nos dois regimes hídricos, em especial no ensaio realizado com déficit de 50% da  $ETo$  (Figura 17). Isso ocorre porque, quanto maior a população de plantas por unidade de área, maior será a extração de água do

solo. Como a lâmina de água aplicada é a mesma para todas as densidades, nos tratamentos com maior número de plantas por área, haverá menor disponibilidade de água por planta, reduzindo, dessa forma, o conteúdo relativo de água na planta. Esse mesmo comportamento foi verificado por Oliveira et al. (2015), ao avaliar lâminas de irrigação em diferentes densidades de plantas de feijão-caupi.



**Figura 17** Efeito da densidade de plantas sobre o Conteúdo relativo de água da folha (CRA) de plantas do híbrido de milho AG-1051 cultivado em condições de irrigação com e sem déficit hídrico, em Teresina, PI, Brasil.

Significância: ‘\*\*\*’ 0.001 ‘\*\*’ 0.01 ‘\*’ 0.05 em função do teste t.

Souza et al. (2015b), ao avaliarem o comportamento do milho submetido ao déficit hídrico notaram que o conteúdo relativo de água (CRA) nas folhas de milho foi afetado em todos os tratamentos submetidos à deficiência hídrica. A baixa disponibilidade hídrica do solo acarreta em perdas do fluxo contínuo de água no sistema solo-planta-atmosfera levando inicialmente ao murchamento das folhas. Quando o conteúdo de água no solo decresce, o potencial da água no solo e na folha também decresce, tendo como consequência, o desenvolvimento do déficit hídrico nas folhas e as perdas de turgor das células guardas, ocasionando o fechamento estomático (SOUZA et al., 2018).

#### 4. CONCLUSÕES

O aumento da densidade de plantas tem maior efeito em relação ao espaçamento sobre as características morfológicas, de crescimento e as taxas de trocas gasosas do híbrido de milho AG-1051.

O aumento da densidade de plantas aumenta a altura de planta, altura de inserção da espiga e diminui o diâmetro de colmo. A variação do espaçamento entre as linhas de cultivo (EEL) não altera significativamente a altura de planta, altura de inserção da espiga e o diâmetro do colmo.

O aumento da densidade de plantas promove aumento no índice de área foliar e redução da matéria seca da parte aérea com maiores efeitos no espaçamento 1,0 m.

O aumento da densidade de plantas promove redução da taxa de transpiração, da condutância estomática e da taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> e do conteúdo relativo de água na folha (CRA). Em condições de déficit hídrico os componentes fisiológicos apresentam as mesmas tendências em condições de irrigação plena, porém com redução expressiva dos índices.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABUZAR, M. R. et al. Effect of plant population densities on yield of maize. **The Journal of Animal & Plant Sciences**, v. 21, n. 4, p. 692-695, 2011.
- ALBUQUERQUE, P. E. P.; RESENDE, M. **Cultivo do milho: manejo de irrigação**. (Embrapa Milho e Sorgo-Comunicado técnico, 47), Sete Lagoas, 2002.
- ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. **Fao, Rome**, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998.
- ALMEIDA, B. M. **Déficit e excesso hídrico na cultura do milho (Zea mays L.) em ambiente protegido**. Tese (Doutorado em ciências). Escola superior de agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2016.
- ARGENTA, G.S.; SILVA, P.R.F.; SANGOI, L. Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte. **Ciência Rural**, v. 31, N. 6, p.1075-1084, 2001.
- AZAM, M. et al. Production potential of various maize (Zea mays L.) hybrids under different intra-row plant spacing. **Pak. J. Agri. Sci**, v. 54, n. 1, p. 117-121, 2017.
- BARRADAS et al. Bacillus subtilis [Ehrenberg. (1835) Cohn 1872] improves water use efficiency in maize under drought conditions and two light intensities. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 16, n. 4, p. 3885-3895, 2018.
- BARRS, H. D.; WEATHERLEY, P. E. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. **Australian journal of biological sciences**, v. 15, n. 3, p. 413-428, 1962.
- BASTOS, E. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. **Boletim agrometeorológico do ano de 2018 para o Município de Teresina, PI**. Embrapa Meio-Norte, Documentos, 266), Teresina, 2019.
- BIANCHI, C. A. M. et al. Condutância da folha em milho cultivado em plantio direto e convencional em diferentes disponibilidades hídricas. **Ciência rural**, v. 37, n. 2, p. 315-322, 2007.
- BRACHTVOGEL, E. L. et al. População, arranjo de plantas uniforme e a competição intraespecífica em milho. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 6, n. 1, p. 75-83, 2012.

- BRITO, M. E. B. et al. Crescimento, fisiologia e produção do milho doce sob estresse hídrico. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 5, p. 1244-1254, 2013.
- BUSO, W. H. D. et al. Maize agronomic characteristics according to crop year, spacing and plant population densities. **Comunicata Scientiae**, v. 7, n. 2, p. 197-203, 2016.
- CABRERA-BOSQUET, L. et al. Kernel  $\delta^{18}O$  reflects changes in apical dominance and plant transpiration in tropical maize. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 203, n. 4, p. 277-285, 2017.
- CARDOSO, M. J.; RIBEIRO, V. Q.; MELO, F. B. **Performance de cultivares de milho-verde no município de Teresina, Piauí**. (Embrapa Meio-Norte-Comunicado Técnico, 227), Teresina, 2011.
- CONAGIN, A.; JORGE, J. P. N. Delineamento (1/5) (5x5x5) em blocos. **Bragantia**, v. 41, n. 16, p. 155-168, 1982.
- CRUZ, J.C. (Ed.). **Cultivo do milho**. 6.ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de produção, 1). Disponível em: <[http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho\\_6\\_ed/index.htm](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_6_ed/index.htm)>. Acesso em: 21 dez. 2019.
- FROMME, D. D.; SPIVEY, T. A.; GRICHAR, W. J. Agronomic Response of Maize (*Zea mays* L.) Hybrids to Plant Populations. **International Journal of Agronomy**, v. 2019, p. 1-8, 2019.
- GONDAL, M. R. et al. Effect of seed rate and row spacing on grain yield of sorghum. **SAARC Journal of Agriculture**, v. 15, n. 2, p. 81-91, 2017.
- GONZALEZ, V. H. et al. Maize yield potential and density tolerance. **Crop Science**, v. 58, n. 2, p. 472-485, 2018.
- GOU, L. et al. Morphological variation of maize cultivars in response to elevated plant densities. **Agronomy Journal**, v. 109, n. 4, p. 1443-1453, 2017.
- LI, X. et al. Combined linkage and association mapping reveals QTL and candidate genes for plant and ear height in maize. **Frontiers in plant science**, v. 7, n. 883, p. 1-11, 2016.

LISAR S. Y. S. et al. **Water stress in plants: causes, effects and responses**. In: Rahman I.M.M., Hasegawa H. (Eds), Water Stress. InTech, Rijeka, Croatia, pp 1–14, 2012.

LIU, Y. et al. Maize leaf temperature responses to drought: Thermal imaging and quantitative trait loci (QTL) mapping. **Environmental and Experimental Botany**, v.71, n. 2, p.158-165, 2011.

MAKINO, P. A. et al. Eficiência fotossintética e produtividade de milho safrinha em arranjos de plantas. In: **Embrapa Agropecuária Oeste-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: SEMINÁRIO NACIONAL [DE] MILHO SAFRINHA, 14., 2017, Cuiabá. Construindo sistemas de produção sustentáveis e rentáveis: anais. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2017. p. 158-163., 2017.

MELO, A. V. et al. Desempenho agrônômico de genótipos de milho submetidos ao estresse hídrico no sul do estado do Tocantins. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 2, p. 177-189, 2018.

MELO, F. de B.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; PESSOA, B. L. O. **Levantamento, zoneamento e mapeamento pedológico detalhado da área experimental da Embrapa Meio-Norte em Teresina, PI**. (Embrapa Meio-Norte-Documents, 231), Teresina, 2014.

MESSINGER, S. M. et al. Evidence for involvement of photosynthetic processes in the stomatal response to CO<sub>2</sub>. **Plant Physiol.**, v. 140, n. 2, p. 771-778, 2006.

NASCIMENTO, F. N. et al. Parâmetros fisiológicos e produtividade de espigas verdes de milho sob diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 14, n. 2, p. 167-181, 2016.

NUNES, A. da S.; CECCON, G. Eficiência fotossintética de plantas de milho safrinha solteiro e consorciado com *Brachiaria ruziziensis*. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 11, 2011, Lucas do Rio Verde. **De safrinha a grande safra: anais...** Lucas do Rio Verde: Fundação Rio Verde: ABMS, 2011.

OLIVEIRA, S. R. M. et al. Interação de níveis de água e densidade de plantas no crescimento e produtividade do feijão-caupi. Teresina-PI. **Irriga**, v. 20, n. 3, p. 502-513, 2015.

PIMENTEL, C. **Metabolismo de carbono na agricultura tropical**. Rio de Janeiro: EDUR, 1998.159p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2006. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 21 dez. 2018.

REN, B. et al. Photosynthetic Characteristics of Summer Maize Hybrids with Different Plant Heights. **Agronomy Journal**, v. 109, n. 4, p. 1454-1462, 2017a.

REN, B. et al. Effects of plant density on the photosynthetic and chloroplast characteristics of maize under high-yielding conditions. **The Science of Nature**, v. 104, n. 12, p. 1-12, 2017b.

RICAURTE, J. et al. Sowing density effect on common bean leaf area development. **Crop Science**, v. 56, n. 5, p. 2713-2721, 2016.

ROBLES, M.; CIAMPITTI, I. A.; V. Y.N. TONY J. Responses of maize hybrids to twin-row spatial arrangement at multiple plant densities. **Agronomy Journal**, v. 104, n. 6, p. 1747-1756, 2012.

SANTOS, A. L. F. et al. Eficiência fotossintética e produtiva de milho safrinha em função de épocas de semeadura e populações de plantas. **Journal of Neotropical Agriculture**, v. 5, n. 4, p. 52-60, 2018.

SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. **Cana-de-acúcar: Bioenergia, Açúcar e Álcool - Tecnologias e Perspectivas**. Ed. UFV. 577p. 2009.

SCHLÜTER, U. et al. Maize source leaf adaptation to nitrogen deficiency affects not only nitrogen and carbon metabolism but also control of phosphate homeostasis. **Plant Physiology**, v. 160, n. 3, p. 1384-1406, 2012.

SEEVE, C. M. et al. Water-deficit-induced changes in transcription factor expression in maize seedlings. **Plant, cell & environment**, v. 40, n. 5, p. 686-701, 2017.

SHI, D. Y. et al. Effects of plant density and nitrogen rate on lodging-related stalk traits of summer maize. **Plant, Soil and Environment**, v. 62, n. 7, p. 299-306, 2016.

SIMÕES, W. L. et al. Ajuste da lâmina de irrigação no cultivo de milho para silagem no Vale do Submédio São Francisco. *Revista Científica Intelletto*. v.2, n.3, p. 95-104, 2017.

- SOUZA, L. C. et al. Comportamento bioquímico no milho submetido ao déficit hídrico e a diferentes concentrações de silício. **Agrarian**, v. 8, n. 29, p. 260-267, 2015b.
- SOUZA, L. S. B. et al. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura do milho e feijão-caupi em sistemas exclusivo e consorciado. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 4, p. 151-160, 2015a.
- SOUZA, R. S. et al. Elementos de produção de milho doce em diferentes densidades populacionais. **Comunicata Scientiae**, v. 4, n. 3, p. 285-292, 2013.
- SOUZA, T. C.; SOUZA, K. R. D.; MAGALHÃES, P. C. Respostas morfofisiológicas do milho e sorgo sob déficit hídrico. In: PAES, M. C. D.; PINHO, R. G. V.; MOREIRA S. G. **Soluções integradas para os sistemas de produção de milho e sorgo no Brasil**. Associação Brasileira de Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 2018. p. 576-621. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1095412/1/Cap-20RespostasMorfofisiologicas.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2019.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MULLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 918p.
- THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology-Laboratory of Climatology. **Publications in climatology**, v. 8, n. 1, p. 104, 1955.
- VALADABADI, S. A.; FARAHANI, H. A. Effects of planting density and pattern on physiological growth indices in maize (*Zea mays* L.) under nitrogenous fertilizer application. **Journal of Agricultural Extension and Rural Development**, v. 2, n. 3, p. 040-047, 2010.
- VALLE, I. C. A. et al. Produção do milho híbrido 30F35HR cultivado na savana de Roraima em diferentes densidades de plantas. **Revista Agroambiente**, v. 7, n. 3, p. 294-303, 2013.
- WANG J. et al. Photosynthesis and chlorophyll fluorescence reaction to different shade stresses of weak light sensitive corn. **Pak J Bot.** v. 49 n. 5, p. 1681-1688, 2017.
- XUE, J. et al. How high plant density of maize affects basal internode development and strength formation. **Crop Science**, v. 56, n. 6, p. 3295-3306, 2016.
- ZIMMERMANN, F.J.P. (Ed.). **Estatística aplicada à pesquisa agrícola**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004. 402p.



## CAPÍTULO II

### DESEMPENHO PRODUTIVO DO MILHO-VERDE COM E SEM DÉFICIT HÍDRICO SOB DIFERENTES ARRANJOS DE PLANTAS

#### RESUMO

O objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito de diferentes espaçamentos entre linhas de cultivo e densidade de plantas em dois regimes hídricos sobre a produção de milho-verde do híbrido de milho AG -1051, em Teresina, Piauí. Foram conduzidos dois ensaios irrigados por aspersão convencional, um com 100% e o outro com 50% de reposição da evapotranspiração da cultura. Em cada ensaio, foi aplicado o delineamento experimental de blocos casualizados com esquema fatorial 5x2, combinando-se cinco densidades de plantas (DP) (2; 4; 6; 8 e 10 plantas m<sup>-2</sup>) e dois espaçamentos entre fileiras (EEL) (0,5 e 1,0 m), com quatro repetições. Avaliou-se o comprimento, o diâmetro e o peso médios de espigas com e sem palha, a produtividade de espigas verdes e a porcentagem de palha da espiga. Houve influência significativa da densidade de plantas para todas as variáveis analisadas. Para a produção de espigas verdes, o aumento da DP proporcionou decréscimo no comprimento, diâmetro e peso médios de espigas. O EEL de 0,5 m proporcionou espigas de maior comprimento, diâmetro e peso médios. O aumento da DP proporcionou incremento na porcentagem de palha em relação ao peso total da espiga. Em condições de déficit, o comprimento, diâmetro e peso médio das espigas são mais prejudicados pelo incremento na densidade e pelo espaçamento entre plantas reduzido, refletindo no aumento da porcentagem de palha na espiga. A densidade 7,1 plantas m<sup>-2</sup> e espaçamento 0,5 m entre linhas proporcionam o máximo de 57.470 espigas comerciais utilizando 100% da ETc. Com déficit de 50 % da ETc a densidades de 5,1 plantas m<sup>-2</sup> e espaçamento 0,5 m entre linhas proporcionam 40.263 espigas comerciais.

**Palavras Chave:** *Zea mays*, densidade de plantas, espaçamento entre fileiras, milho-verde

**CHAPTER II**

**GREEN MAIZE YIELD IRRIGATED WITH AND WITHOUT WATER DEFICIT  
UNDER DIFFERENT PLANT ARRANGEMENTS**

**ABSTRACT**

The objective of this study was to evaluate the effect of different spacing between cultivation lines and planting density under different water regimes on the production of green corn of corn hybrid AG -1051, in Teresina, Piauí. Two assays irrigated by conventional sprinkler were conducted, one with 100% and the other with 50% replacement of crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>). In each assay, the experimental design of randomized blocks with 5x2 factorial scheme was applied, combining five planting densities (PD) (2; 4; 6; 8; 8 and 10 plants m<sup>-2</sup>), two spaces between rows (SBR) (0.5 and 1.0 m), with four replications. The average length, diameter and weight of ears with and without straw, the total number of ears and the percentage of ear straw were evaluated. There was a significant influence of planting density for all variables analyzed. For the production of green ears, the increase in PD resulted in a decrease in the average length, diameter and weight of ears. The SBR of 0.5 m provided ears of greater length, diameter and average weight. The increase in PD increased the percentage of straw in relation to the total weight of the ear. In deficit conditions, the length, diameter and average weight of the ears are more affected by the increase in density and by the reduced spacing between plants, reflecting an increase in the percentage of straw in the ear. The density 7.1 plants m<sup>-2</sup> and spacing 0.5 m between lines provide the maximum of 57,470 commercial ears using 100% of the ET<sub>c</sub>. With a deficit of 50% of ET<sub>c</sub> at densities of 5.1 plants m<sup>-2</sup> and spacing of 0.5 m between lines, they provide 40,263 commercial ears.

**Key words:** *Zea mays*, plant density, row spacing, green maize, dried grains

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Localização da área experimental.....	79
Figura 2 Semeadura manual.....	80
Figura 3 Adubação de cobertura.....	81
Figura 4 Medição do comprimento e diâmetro médio de espigas verdes .....	83
Figura 5 Comprimento médio de espiga com palha (CMCP) do híbrido de milho AG–1051 irrigado com e sem déficit hídrico, em função de diferentes espaçamentos entre linhas e densidades de plantas (DP), em Teresina, PI, Brasil .....	86
Figura 6 Comprimento médio de espiga sem palha (CMSP) do híbrido de milho AG–1051 irrigado com e sem déficit hídrico, em função de diferentes espaçamentos entre linhas e densidades de plantas (DP), em Teresina, PI, Brasil .....	87
Figura 7 Diâmetro médio de espiga com palha (DMECP) do híbrido de milho AG–1051 irrigado com e sem déficit hídrico, em função de diferentes densidades de plantas(DP), em Teresina, PI, Brasil .....	88
Figura 8 Diâmetro médio de espiga sem palha (DMSP) do híbrido de milho AG–1051 irrigado sem déficit hídrico, em função de diferentes densidade de plantas (DP) e espaçamentos entre linhas (EEL), em Teresina, PI, Brasil .....	88
Figura 9 Diâmetro médio de espiga sem palha (DMSP) do híbrido de milho AG–1051 irrigado com déficit hídrico, em função de diferentes espaçamentos entre linhas (EEL) e densidades de plantas (DP), em Teresina, PI, Brasil .....	89
Figura 10 Espigas verdes despalhadas do híbrido AG–1051 submetidas a diferentes densidades de plantas e espaçamento entre linhas irrigadas com 100 % da evapotranspiração da cultura.....	90
Figura 11 Espigas verdes despalhadas do híbrido AG–1051 submetidas a diferentes densidades de plantas e espaçamento entre linhas irrigadas com 50 % da evapotranspiração da cultura.....	90
Figura 12 Peso médio de espigas verdes com palha (PMCP) do híbrido duplo de milho AG–1051 irrigado sem déficit hídrico, em função de diferentes espaçamentos entre linhas (EEL) e densidades de plantas (DP), em Teresina, PI, Brasil .....	92
Figura 13 Peso médio de espigas verdes sem palha (PMSP) do híbrido duplo de milho AG–1051 irrigado sem déficit hídrico, em função de diferentes espaçamentos entre linhas (EEL) e densidades de plantas (DP), em Teresina, PI, Brasil .....	92
Figura 14 Peso médio de espigas com palha (PMECP) do híbrido duplo de milho AG–1051 irrigado com déficit hídrico, em função de diferentes espaçamentos entre linhas (EEL) e densidades de plantas (DP), em Teresina, PI, Brasil .....	93
Figura 15 Peso médio de espigas sem palha (PMSP) do híbrido duplo de milho AG–1051 irrigado com déficit hídrico, em função de diferentes espaçamentos entre linhas (EEL) e densidades de plantas (DP), em Teresina, PI, Brasil .....	94
Figura 16 Porcentagem de palha em espigas verdes do híbrido duplo de milho AG–1051 irrigado com e sem déficit hídrico, em função de diferentes espaçamentos entre linhas (EEL) e densidades de plantas (DP), em Teresina, PI, Brasil .....	95

Figura 17 Produtividade de espigas verdes (PrE) do híbrido duplo de milho AG–1051 irrigado sem déficit hídrico, em função de diferentes espaçamentos entre linhas (EEL) e densidades de plantas(DP), em Teresina, PI, Brasil .....	96
Figura 18 Produtividade de espigas verdes (PrE) do híbrido duplo de milho AG–1051 irrigado com déficit hídrico, em função de diferentes espaçamentos entre linhas (EEL), em Teresina, PI, Brasil .....	96

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 Composição química do solo na área experimental .....	79
Tabela 2 Características granulométricas do solo da área experimental.....	80
Tabela 3 Valores de coeficiente de cultura para o milho, em diferentes fases do ciclo no experimento. ....	82
Tabela 4 Composição dos espaçamentos entre plantas na linha de semeadura em relação as diferentes populações e espaçamento entre linhas.....	84
Tabela 5 Resumo das análises de variância relativas aos efeitos do espaçamento entre linhas e da densidade de plantas sobre o comprimento médio de espigas com palha (CMCP) e sem palha (CMSP), diâmetro médio de espiga com palha (CMCP) e sem palha (DMSP) do híbrido de milho AG-1051 cultivado em condições de irrigação com e sem déficit hídrico no município de Teresina, Piauí, Brasil.....	85
Tabela 6 Resumo das análises de variância relativas aos efeitos do espaçamento entre linhas e da densidade de plantas sobre o peso médio de espigas com palha (PMCP) e sem palha (PMSP), porcentagem de palha (%PALHA) e produtividade de espigas verdes (PrE) do híbrido de milho AG-1051 cultivado em condições de irrigação plena e com déficit hídrico no município de Teresina, Piauí, Brasil.....	91

## 1. INTRODUÇÃO

A cultura do milho tem grande importância socioeconômica, sendo utilizada para a alimentação humana e animal, bem como na produção de biocombustível (COSTA et al., 2018). Uma das fontes de renda dos pequenos e médios agricultores da região Meio-Norte do Brasil se concentra na produção do milho para consumo “in natura”, chamado popularmente de milho-verde, que pode ser consumido cozido ou assado, processado para fazer curau, pamonha e suco e, ainda, como ingrediente para fabricação de bolos, biscoitos, sorvetes e uma série de outros tipos de alimentos (PEREIRA FILHO, 2002).

De acordo com Oliveira et al. (2006), as cultivares de milho para o consumo *in natura* devem apresentar endurecimento do grão relativamente lento, espigas grandes, bem granadas e com bom empalhamento, sabugo branco, grãos amarelo-creme do tipo dentado, profundo, com alinhamento retilíneo e isentas de pragas e doenças. Além disso, um dos principais fatores para a escolha deste produto pelo consumidor é o tamanho das espigas verdes. Cardoso et al. (2011) consideraram espigas verdes comerciais aquelas que, despalhadas, apresentaram comprimento de granação superior a 17 cm e diâmetro igual ou superior a 3,0 cm.

Essas características comerciais exigem do agricultor a adoção de técnicas de implantação e manejo específicos para este segmento, sendo a determinação do arranjo de plantas adequado para as condições edafoclimáticas da região um dos fatores decisivos para o alcance desse objetivo.

A determinação do arranjo adequado para a produção de milho-verde difere-se da produção de grãos pela exigência de menores densidade de plantas quando comparado à produção de grãos. Rocha et al. (2011), avaliando o desempenho de híbridos de milho para produção de espigas-verdes, submetidos a diferentes populações de plantas em Teresina-Piauí, obteve número máximo de espigas na população de 57.500 plantas ha<sup>-1</sup>. Enquanto Pereira et al. (2018), avaliando o desempenho agrônomico em diferentes populações de plantas de milho no Nordeste brasileiro observaram que a população de 65.000 plantas ha<sup>-1</sup> é mais vantajosa que a população de 45.000 plantas ha<sup>-1</sup> proporcionando maior incremento na produtividade de grãos.

Outros fatores que comprometem a produção e contribuem para o baixo rendimento são a ausência de genótipos mais tolerantes ao déficit hídrico e a não

uniformidade das precipitações, com a ocorrência de veranicos muitas vezes prolongados na fase crítica de desenvolvimento da cultura (SOUSA et al., 2015).

A deficiência hídrica afeta as relações hídricas da planta, reduzindo o crescimento, o desenvolvimento e conseqüentemente a produtividade da cultura (MARTINS et al., 2011; SALES et al., 2016). Além disso, pode reduzir o período de formação do grão e reduzir o crescimento e desenvolvimento do ovário, aumentando o número de grãos abortados (OURY et al., 2016; MARWEIN et al., 2017).

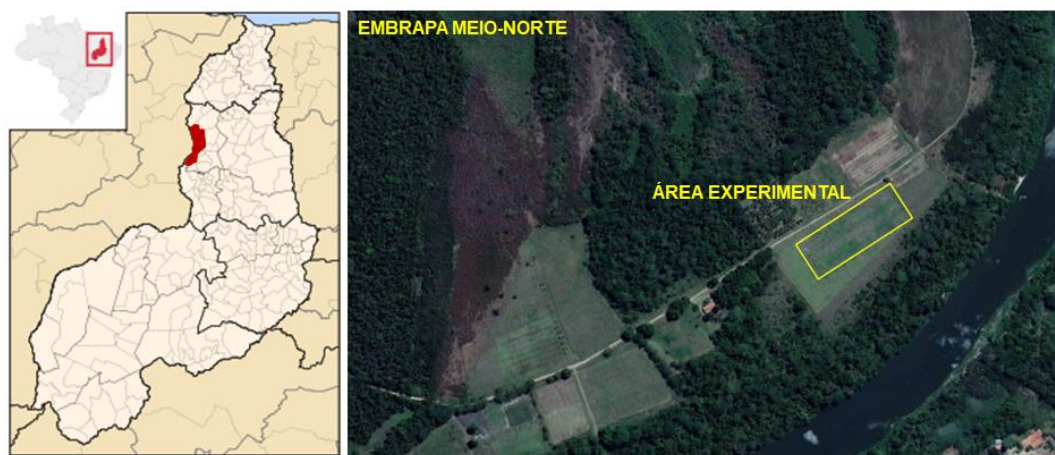
Para a região Meio-Norte do Brasil, informações sobre a determinação do arranjo de plantas adequado para a cultura do milho em diferentes lâminas de irrigação, principalmente em condições de déficit hídrico, ainda são escassas. Ramos et al. (2013), avaliando diferentes lâminas de irrigação sobre a produtividade e a do milho verde, em Teresina-PI, observaram que as lâminas de 50% e 25% da ETc proporcionaram produtividade inferior a 3.000 kg ha<sup>-1</sup>.

Neste contexto a adequação da densidade de plantas em diferentes cenários de irrigação é uma forma de maximizar a produtividade da cultura. Deste modo, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do espaçamento entre linhas e da densidade de plantas em diferentes regimes hídricos, sobre os componentes de produção e produtividade de espigas verdes do híbrido duplo de milho AG – 1051, em Teresina, Piauí.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Caracterização da área experimental

Dois experimentos foram conduzidos na área Experimental da Embrapa Meio-Norte, em Teresina, Piauí, (5°05' S, 42°29' W e 72 m de altitude) no período de setembro a dezembro de 2018. De acordo com a classificação climática de Thornthwaite e Mather (1955), o clima do município é do tipo C1sA'a', caracterizado como sub-úmido seco, megatérmico, com excedente hídrico moderado no verão. Apresenta temperaturas médias anuais de 28,2 °C, máximas de 34 °C e mínimas de 22,4 °C, umidade relativa média do ar de 69,5 % e precipitação pluviométrica média de 1.318 mm por ano (BASTOS e ANDRADE JÚNIOR, 2019).



**Figura 1** Localização da área experimental

**Fonte:** Adaptado de Google Earth.

O solo da área experimental é classificado como Neossolo Flúvico Eutrófico (MELO et al. 2014), cujas características químicas e físicas estão descritas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

**Tabela 1** Composição química do solo na área experimental

Prof. (cm)	MO dag kg <sup>-1</sup>	pH H <sub>2</sub> O	P mg dm <sup>-3</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	SB	CTC	V	m
				-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----								---%---
0 – 20	1,0	5,9	81,1	0,82	5,21	1,95	0,17	3,98	8,15	12,12	67	0
21 – 40	1,0	6,2	61,7	0,64	5,78	2,04	0,17	3,65	8,63	12,28	70	0

**Fonte:** Laboratório de Solos – Embrapa Meio-Norte



**Tabela 2** Características granulométricas do solo da área experimental

Profundidade	Granulometria (g kg <sup>-1</sup> )				Classificação textura
	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
0 – 20 cm	8,5	550,5	335,0	106,0	Franco arenoso
21 – 40 cm	8,0	548,0	318,0	126,0	Franco arenoso

**Fonte:** Laboratório de Solos – Embrapa Meio-Norte

## 2.2. Preparo do solo, adubação e semeadura

Realizou-se uma aração e uma gradagem e a adubação foi realizada com base na análise físico-química do solo (Tabelas 1 e 2) e na recomendação para a cultura na região (CARDOSO et al., 2011). Na adubação de fundação, foram aplicados 75 kg de N ha<sup>-1</sup>, 70 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> e 60 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> em sulcos de 8 cm de profundidade. A adubação de cobertura com 45 kg de N ha<sup>-1</sup> foi realizada em 29 de setembro de 2018, a lanço, entre as fileiras (Figura 3). Foram utilizados os adubos sulfato de amônio, superfosfato triplo e cloreto de potássio.

Para a semeadura utilizou-se o híbrido duplo comercial de milho AG-1051, a qual foi realizada manualmente em 11 de setembro de 2018, colocando-se duas sementes por cova (Figura 2).



**Figura 2** Semeadura manual



**Figura 3** Adubação de cobertura

Por ocasião da semeadura, realizou-se o controle preventivo de plantas daninhas com aplicação de herbicidas de pré-emergência, utilizando-se uma mistura de atrazina e s-metolaclo (1.480 + 1.160 g ha<sup>-1</sup> de i.a.). Quando as plantas se encontravam no estágio de crescimento V3, o controle das plantas daninhas foi complementado pela aplicação do herbicida tembotrione (100,8 g.ha<sup>-1</sup> de i.a.). O controle da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) foi realizado com a aplicação do inseticida lufenuron (15 g.ha<sup>-1</sup> de i.a.) ao se observar o aparecimento dos primeiros sintomas de ataque.

### **2.3. Sistema de irrigação e regimes hídricos**

Para cada experimento utilizou-se sistema de irrigação por aspersão convencional fixo, com aspersores de impacto com bocais de 4,4 x 3,2 mm, vazão de 1,59 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, pressão de serviço de 30 mca, espaçados de 12 x 12 m e intensidade de aplicação de 11,04 mm h<sup>-1</sup>.

Realizou-se a uniformidade de distribuição de água da irrigação por meio de coletores com diâmetro de 8,0 cm, instalados em uma malha de pontos sob a área de influência de quatro aspersores (144 m<sup>2</sup>). Os coletores foram instalados no centro de cada experimento de forma que a lâmina coletada representasse sua precipitação, totalizando 16 coletores em cada área avaliada. Foi determinado o coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD = 85%), obtido pela relação entre a lâmina média

de 25% dos coletores com as menores precipitações pela lâmina média de todos os coletores.

A evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) foi calculada pelo produto da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e do coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>). A ET<sub>o</sub> foi estimada pelo método de Penman-Monteith, conforme metodologia proposta por Allen et al. (1998) e o K<sub>c</sub> do milho apresentado na Tabela 3. Até os 30 dias após a semeadura foram aplicadas lâminas diárias de 100% da ET<sub>c</sub> nos dois experimentos. Logo após aplicou-se o estresse no segundo experimento reduzindo a irrigação em 50% da ET<sub>c</sub>.

**Tabela 3** Valores de coeficiente de cultura para o milho, em diferentes fases do ciclo no experimento.

Fase do ciclo	Dias após o plantio	Coeficiente de cultivo
I	0 – 40	0,8
II	41 – 54	1,2
III	55 – 74	0,9
IV	75 – 10	0,5

Fonte: Souza et al. (2015a).

#### 2.4. Variáveis analisadas

No momento da colheita, contabilizou-se o número de espigas na área útil da parcela e o peso total de espigas com palha (PCP) e sem palha (PSP). Foram colhidas cinco espigas, aleatoriamente em cada parcela, determinando-se o peso médio com palha (PMCP) e sem palha (PMSP) por meio de uma balança BCW 30 kg ( $\pm 10$ g). Determinou-se o comprimento médio com palha (CMCP) e sem palha (CMSP) com o auxílio de uma trena e o diâmetro médio com palha (DMCP) e sem palha (DMSP) com o auxílio de um paquímetro digital (Figura 4).



**Figura 4** Medição do comprimento e diâmetro médio de espigas verdes

Determinou-se a relação de espiga pela relação entre o peso médio das espigas despalhadas e o peso médio de espigas empalhadas dada pela equação:

$$RE = 1 - \frac{PMESP}{PMECP} 100 \quad (1)$$

A produtividade de espigas verdes com palha (PrE) por hectare foi dado pela extrapolação do número de espigas da área útil para espigas por hectare.

## 2.5. Delineamento experimental e análises estatísticas

Em cada experimento, as plantas foram arranjadas em dois espaçamentos entre linhas (0,5 e 1,0 m) e cinco densidades de plantas (2,0; 4,0; 6,0; 8,0; e 10,0 plantas m<sup>-2</sup>), totalizando 10 espaçamentos entre plantas (Tabela 4). Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso, com tratamentos dispostos em fatorial 2 x 5, com quatro repetições. A parcela experimental foi composta por quatro fileiras de cinco metros de comprimento compondo as áreas úteis de 5 m<sup>2</sup> e 10 m<sup>2</sup> para as parcelas

com espaçamentos de 0,5 e 1,0 m, respectivamente. Apenas as fileiras centrais foram utilizadas para as avaliações.

**Tabela 4** Composição dos espaçamentos entre plantas na linha de semeadura em relação as diferentes populações e espaçamento entre linhas

Densidade de plantas	Espaçamento entre linhas	Espaçamento entre linhas
	0,5 m	1,0 m
Espaçamento entre plantas		
2 plantas m <sup>-2</sup>	1,00 m	0,50 m
4 plantas m <sup>-2</sup>	0,50 m	0,25 m
6 plantas m <sup>-2</sup>	0,33 m	0,16 m
8 plantas m <sup>-2</sup>	0,25 m	0,12 m
10 plantas m <sup>-2</sup>	0,20 m	0,10 m

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk e T de Cochran para a normalidade de erros e homogeneidade de variância, respectivamente. Uma vez satisfeitos os requisitos básicos, os dados foram submetidos às análises de variância. Considerou-se espaçamento entre linhas como fator qualitativo sendo comparados pelo teste F ( $P < 0,05$ ). O efeito da densidade de plantas e da interação foi analisado pela regressão polinomial. Todas as análises estatísticas foram realizadas com o uso do software R versão 3.4.1 (R DEVELOPMENT TEAM, 2006).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Componentes de produção e produtividade de espigas verdes

A densidade de plantas influenciou significativamente o comprimento e o diâmetro médios das espigas verdes nos dois regimes hídricos adotados. O comprimento e o diâmetro médios de espigas verdes despalhadas foram influenciados pelo espaçamento entre as linhas de cultivo irrigados com 100% da ETc. No cultivo com déficit hídrico houve interação significativa dos fatores apenas para o diâmetro médio de espigas despalhadas, enquanto houve efeito significativo do espaçamento para o diâmetro médio de espigas com e sem palha (Tabela 5).

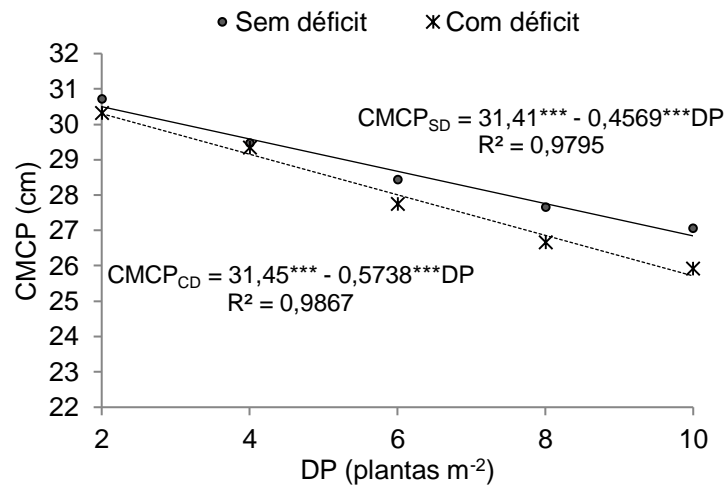
**Tabela 5** Resumo das análises de variância relativas aos efeitos do espaçamento entre linhas e da densidade de plantas sobre o comprimento médio de espigas com palha (CMCP) e sem palha (CMSP), diâmetro médio de espiga com palha (CMCP) e sem palha (DMSP) do híbrido de milho AG-1051 cultivado em condições de irrigação com e sem déficit hídrico no município de Teresina, Piauí, Brasil.

FV	CMCP	CMSP	DMCP	DMSP
Sem déficit				
Bloco	0,0716 <sup>NS</sup>	0,625 <sup>NS</sup>	1,111 <sup>NS</sup>	0,865 <sup>NS</sup>
EEL (m)	0,9923 <sup>NS</sup>	15,488*	3,364 <sup>NS</sup>	7,387*
DP (plantas m <sup>-2</sup> )	17,0484*	72,025*	104,072*	100,627*
EEL x DP	0,0429 <sup>NS</sup>	0,339 <sup>NS</sup>	3,363 <sup>NS</sup>	0,602 <sup>NS</sup>
Resíduo	0,9973	0,364	3,409	0,574
CV %	3,48	2,95	3,58	1,9
Com déficit				
Bloco	0,5703 <sup>NS</sup>	0,759 <sup>NS</sup>	0,508 <sup>NS</sup>	1,648 <sup>NS</sup>
EEL (m)	0,1822 <sup>NS</sup>	0,870 <sup>NS</sup>	17,983*	11,990*
DP (plantas m <sup>-2</sup> )	28,6462*	91,268*	121,327*	227,2 *
EEL x DP	0,2323 <sup>NS</sup>	0,097 <sup>NS</sup>	0,403 <sup>NS</sup>	7,054*
Resíduo	0,8603	0,471	1,893	1,238
CV %	3,32	3,63	2,91	3

<sup>NS</sup>: não significativo a ( $p > 0,05$ ); \*: significativo a ( $0,01 < p \leq 0,05$ ); \*\*: significativo a ( $p \leq 0,01$ ), pelo teste "F".

Os ajustes lineares negativos observados na Figura 5 indicam que o incremento na densidade de plantas proporcionou espigas com menor comprimento em ambos os regimes hídricos adotados. Esta redução no comprimento das espigas com o aumento da densidade de plantas pode ser atribuída ao aumento da competição por nutrientes e luz, e a conseqüente redução de fotoassimilados para a formação da espiga. Segundo Argenta et al. (2001a) em menores densidades, cada planta recebe maior quantidade de luz e tende a produzir espigas maiores em função da eficiência na interceptação da radiação incidente. Trabalhos realizados por Zhang et al. (2014), Adeniyani (2014) e Souza et al. (2013), avaliando o efeito da densidade de plantas sobre os componentes de produção, obtiveram efeitos semelhantes aos encontrados neste trabalho.

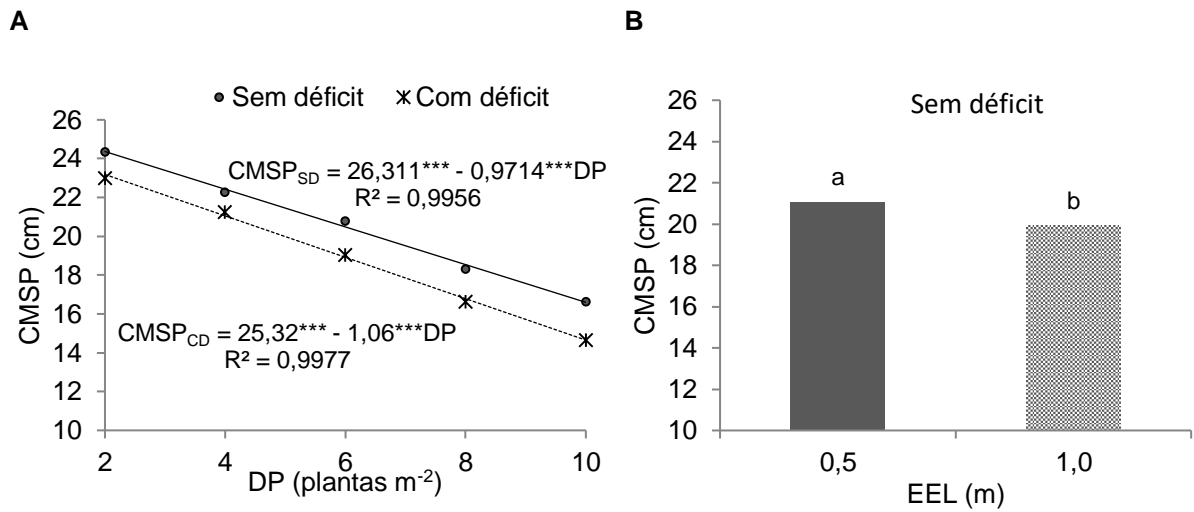
Com a redução da lâmina de irrigação houve redução no comprimento médio de espigas empalhadas variando de 1,2% a 5% da menor densidade para a maior densidade de plantas respectivamente. Dantas Junior et al. (2016) e Nascimento et al. (2017) obtiveram espigas de maior comprimento nas maiores lâminas de irrigação (125% da ETo). A redução no tamanho das espigas em condições de déficit hídrico pode estar relacionada com a redução da taxa de fotossíntese e distribuição de fotoassimilados para a formação das espigas (RIVERA-HERNÁNDEZ et al., 2010).



**Figura 5** Comprimento médio de espiga com palha (CMCP) do híbrido de milho AG-1051 irrigado com e sem déficit hídrico, em função de diferentes espaçamentos entre linhas e densidades de plantas (DP), em Teresina, PI, Brasil.

Significância: '\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*\*' 0.05 em função do teste t.

O mesmo efeito negativo com o aumento da densidade foi observado no peso médio de espigas despalhadas havendo redução no comprimento de 5,6 a 12% da maior para a menor densidade de plantas (Figura 6A). Além disso, o aumento do número de plantas por metro linear proporcionado pelo espaçamento de 1,0 m entre linhas resultou espigas de menor comprimento em média (Figura 6B). Este efeito difere dos encontrados por Torres et al. (2013) e Gilo et al. (2011), que obtiveram espigas de maior comprimento com o aumento do espaçamento de 0,45 para 0,9 m, porém com manutenção da densidade de 55.000 plantas ha<sup>-1</sup>. No presente trabalho, a redução no tamanho das espigas pode ser atribuída ao aumento da densidade até 10 plantas m<sup>-2</sup> (equivalente a 100.000 plantas ha<sup>-1</sup>), o que pode ter aumentado a competição por água e nutrientes presentes no solo, além do sombreamento proporcionado pelo adensamento, com maiores efeitos no espaçamento de 1,0 m.



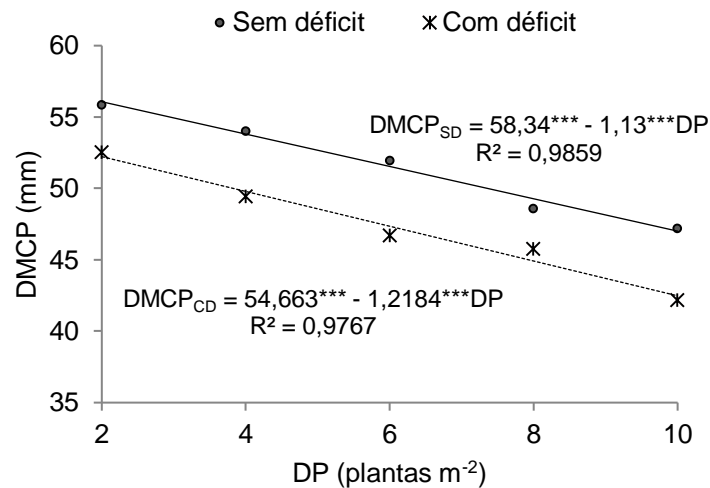
**Figura 6** Comprimento médio de espiga sem palha (CMSP) do híbrido de milho AG-1051 irrigado com e sem déficit hídrico, em função de diferentes espaçamentos entre linhas e densidades de plantas (DP), em Teresina, PI, Brasil.

*Significância: '\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*' 0.05 em função do teste t. Letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de F, em nível de 5% de probabilidade.*

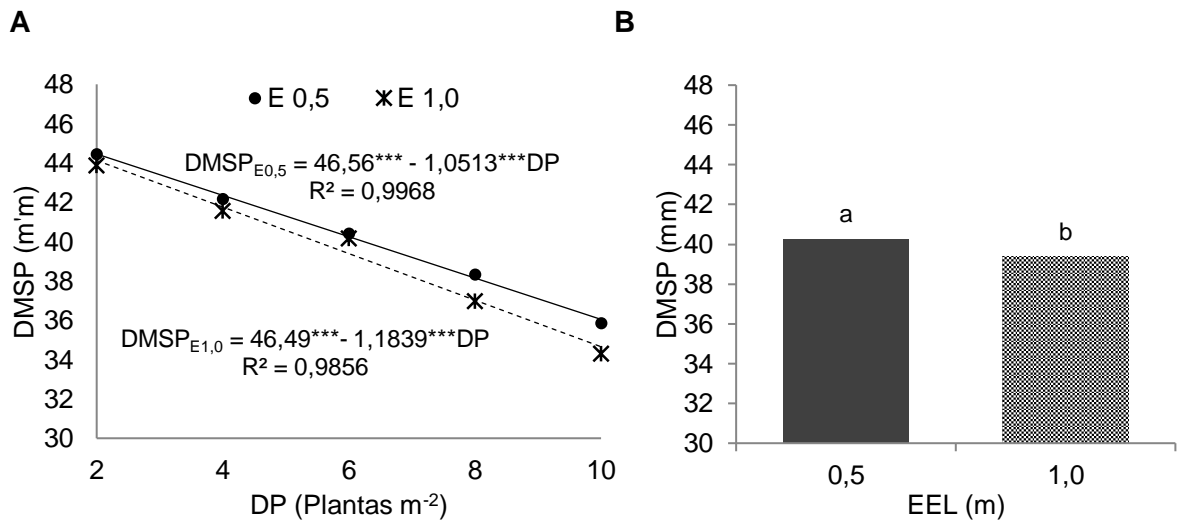
O aumento da densidade de plantas também proporcionou redução no diâmetro de espigas com palha (DMCP) nos dois regimes hídricos, variando de 5% a 10,6% da menor para a maior densidade (Figura 7). Segundo Melo et al. (2018) a deficiência hídrica pode reduzir o fornecimento de energia ao metabolismo vegetal pela inibição da fase bioquímica da fotossíntese, as plantas submetidas ao estresse hídrico não tiveram sua demanda energética completamente suprida prejudicando a formação das espigas.

Assim como no comprimento de espigas o DMSP no regime com déficit hídrico apresentou redução nos dois espaçamentos com menores valores no espaçamento 1,0 m (Figura 8B). Atribuindo-se essa redução ao maior número de plantas por metro linear, sobretudo nas maiores densidades de plantas.





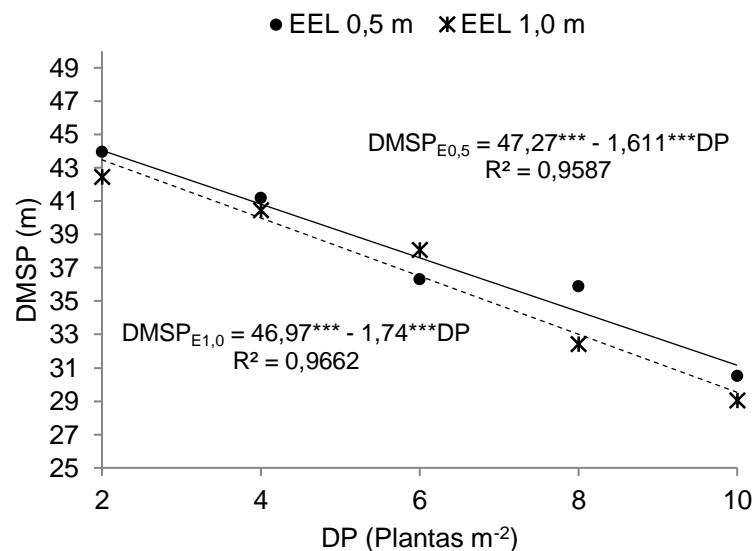
**Figura 7** Diâmetro médio de espiga com palha (DMECP) do híbrido de milho AG-1051 irrigado com e sem déficit hídrico, em função de diferentes densidades de plantas (DP), em Teresina, PI, Brasil.  
*Significância: '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 em função do teste t*



**Figura 8** Diâmetro médio de espiga sem palha (DMSP) do híbrido de milho AG-1051 irrigado sem déficit hídrico, em função de diferentes densidades de plantas (DP) e espaçamentos entre linhas (EEL), em Teresina, PI, Brasil.  
 Letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de F, em nível de 5% de probabilidade.

Em regime com déficit hídrico, observa-se em ambos os espaçamentos, que o aumento da densidade de plantas proporcionou redução linear no diâmetro médio de espigas despalhadas (Figura 9). Além disso, observa-se que em espaçamento entre linhas de 1,0 m proporcionou redução média no diâmetro das espigas de 2,9 %.

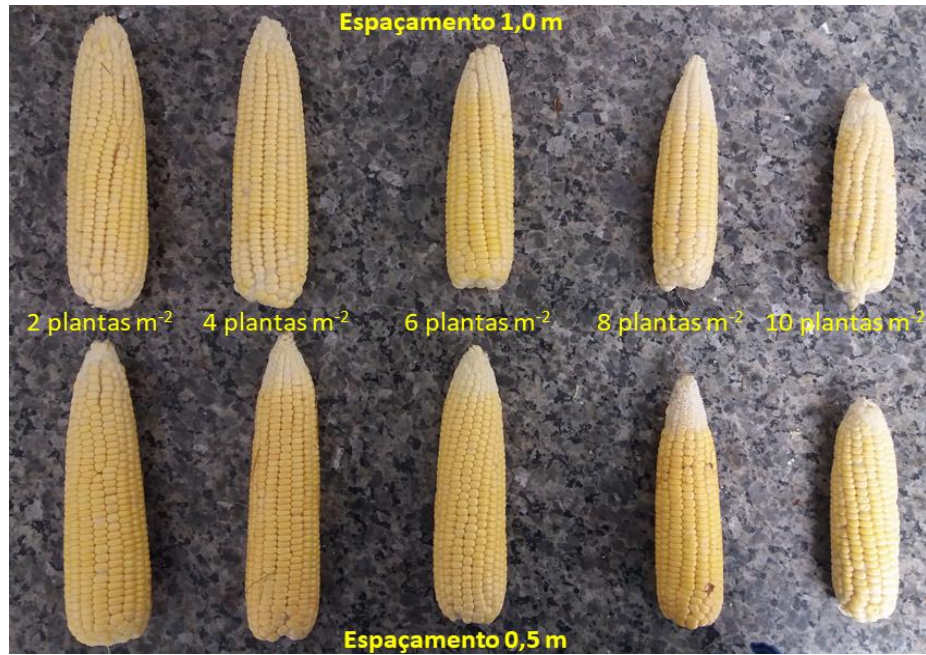
Quando comparadas com o regime em irrigação plena e espaçamento de 0,5 m a redução é de 9,3 %. Evidentemente que, em condições de déficit hídrico a competição intraespecífica aumenta, uma vez que, reduzindo a disponibilidade de água para as plantas, também reduz a disponibilidade de nutrientes. Dessa forma, na condição de deficiência hídrica, justifica-se que as maiores populações de plantas apresentem os menores valores de diâmetro de planta. Resultados semelhante foram obtidos por Nascimento et al. (2017) e Souza et al. (2016) onde o diâmetro de espiga sofreu efeito linear negativo em função das lâminas de irrigação.



**Figura 9** Diâmetro médio de espiga sem palha (DMSP) do híbrido de milho AG-1051 irrigado com déficit hídrico, em função de diferentes espaçamentos entre linhas (EEL) e densidades de plantas (DP), em Teresina, PI, Brasil.

Significância: '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 em função do teste t.

A redução no tamanho das espigas com o aumento da densidade de plantas nos dois regimes hídricos apresentadas anteriormente pode ser observada nas Figuras 10 e 11.



**Figura 10** Espigas verdes despalhadas do híbrido AG-1051 submetidas a diferentes densidades de plantas e espaçamento entre linhas irrigadas com 100 % da evapotranspiração da cultura.



**Figura 11** Espigas verdes despalhadas do híbrido AG-1051 submetidas a diferentes densidades de plantas e espaçamento entre linhas irrigadas com 50 % da evapotranspiração da cultura.

Sob irrigação plena houve interação entre o espaçamento entre linhas e densidade de plantas para o peso médio de espigas empalhadas (PMCP), peso médio de espigas despalhadas (PMSP) e produtividade de espigas verdes (PrE). A

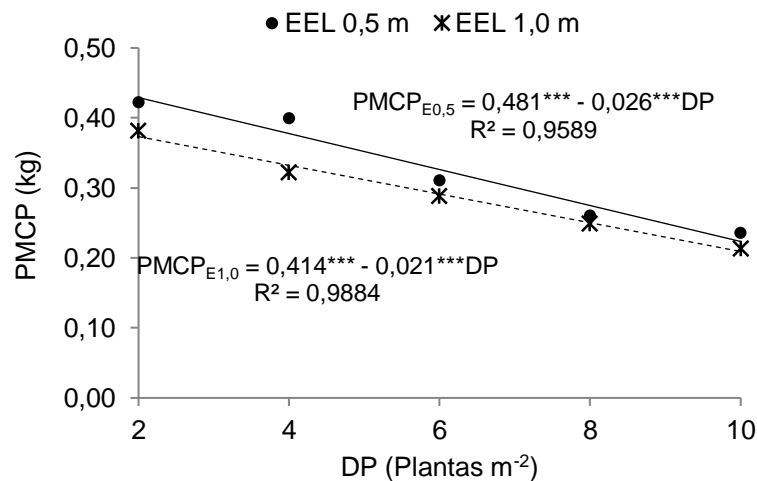
densidade de plantas afetou significativamente todas as variáveis nos dois regimes hídricos. Em condições de déficit houve interação significativa entre EEL e DP apenas para a PMCP. O espaçamento entre linhas influenciou significativamente o PMCP, PMSP e PrE no regime irrigado com 100% da ETc. Enquanto em condições de déficit o EEL influenciou significativamente o PMCP, PMSP e % de palha (Tabela 6).

**Tabela 6** Resumo das análises de variância relativas aos efeitos do espaçamento entre linhas e da densidade de plantas sobre o peso médio de espigas com palha (PMCP) e sem palha (PMSP), porcentagem de palha (%PALHA) e produtividade de espigas verdes (PrE) do híbrido de milho AG-1051 cultivado em condições de irrigação plena e com déficit hídrico no município de Teresina, Piauí, Brasil.

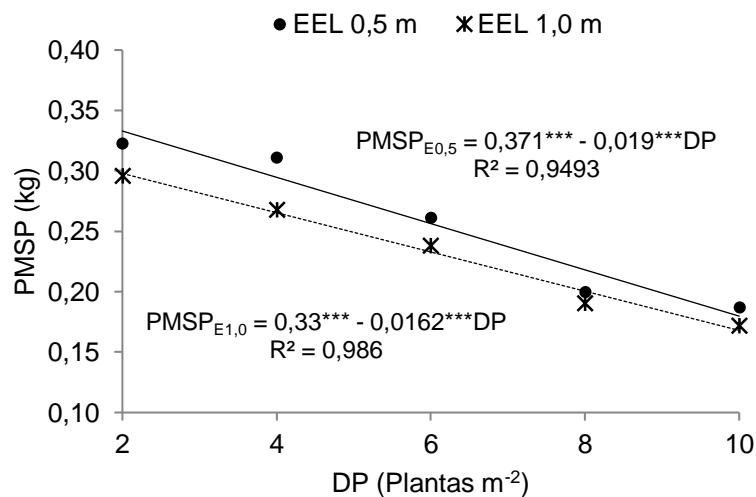
FV	PMCP	PMSP	%PALHA	PrE
Sem déficit				
Bloco	0,00073 <sup>NS</sup>	0,00049 <sup>NS</sup>	5,477 <sup>NS</sup>	6691667 <sup>NS</sup>
EEL (m)	0,126 **	0,00584**	3,553 <sup>NS</sup>	207025000**
DP (plantas m <sup>-2</sup> )	0,0437**	0,0353**	117,521*	2557087500**
EEL x DP	0,0014*	0,0008*	0,634 <sup>NS</sup>	58587500*
Resíduo	0,0003	0,00019	3,555	12969444
CV %	5,88	6,23	6,28	7,59
Com déficit				
Bloco	0,00046 <sup>NS</sup>	0,00028 <sup>NS</sup>	5,825 <sup>NS</sup>	15291667 <sup>NS</sup>
EEL (m)	0,00149*	0,00444*	77,301*	38025000 <sup>NS</sup>
DP (plantas m <sup>-2</sup> )	0,0700*	0,0404**	219,280**	478775000**
EEL x DP	0,00041*	0,00046 <sup>NS</sup>	9,583 <sup>NS</sup>	7150000 <sup>NS</sup>
Resíduo	0,0001	0,00095	9,161	15532407
CV %	3,46	16,18	9,84	10,88

<sup>NS</sup>: não significativo a ( $p > 0,005$ ); \*: significativo a ( $0,01 < p \leq 0,05$ ); \*\*: significativo a ( $p \leq 0,01$ ), pelo teste "F".

A redução no comprimento e no diâmetro das espigas verdes com a maior densidade de plantas é refletida no peso médio das espigas verdes empalhadas e despalhadas que apresentaram redução linear com o aumento da densidade de semeadura. Em espaçamento de 0,5 a redução foi de 42,85% da maior para a menor densidade e no espaçamento de 1,0 m a redução foi de 45,04% (Figura 12). Quanto ao peso médio de espigas despalhadas observa-se a mesma tendência de redução com o aumento da densidade de plantas (Figura 13).

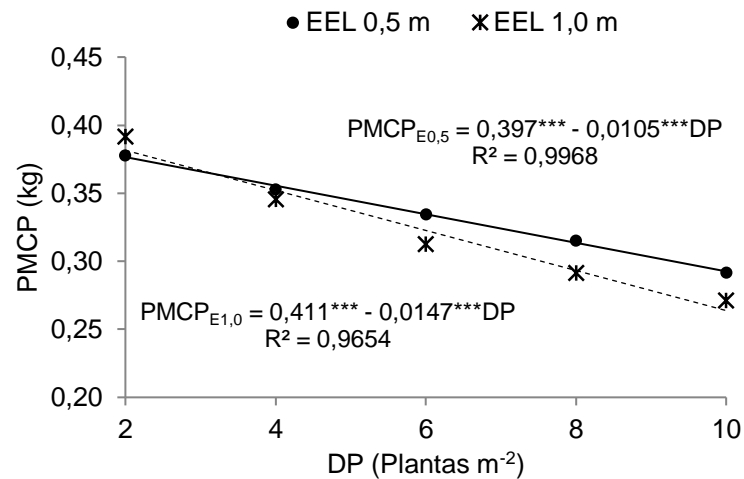


**Figura 12** Peso médio de espigas verdes com palha (PMCP) do híbrido duplo de milho AG-1051 irrigado sem déficit hídrico, em função de diferentes espaçamentos entre linhas (EEL) e densidades de plantas (DP), em Teresina, PI, Brasil. Significância: '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*\*' 0.05 '.' 0.1 em função do teste t.



**Figura 13** Peso médio de espigas verdes sem palha (PMSP) do híbrido duplo de milho AG-1051 irrigado sem déficit hídrico, em função de diferentes espaçamentos entre linhas (EEL) e densidades de plantas (DP), em Teresina, PI, Brasil. Significância: '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*\*' 0.05 '.' 0.1 em função do teste t.

No ensaio realizado com déficit hídrico observa-se redução linear do peso médio de espigas empalhadas (PMCP) com o aumento da densidade de plantas nos dois espaçamentos (Figura 14). Em espaçamento de 1,0 m entre as linhas de semeadura observa-se redução de 30,67% no peso médio das espigas com palha e no espaçamento de 0,5 m 23,68%.

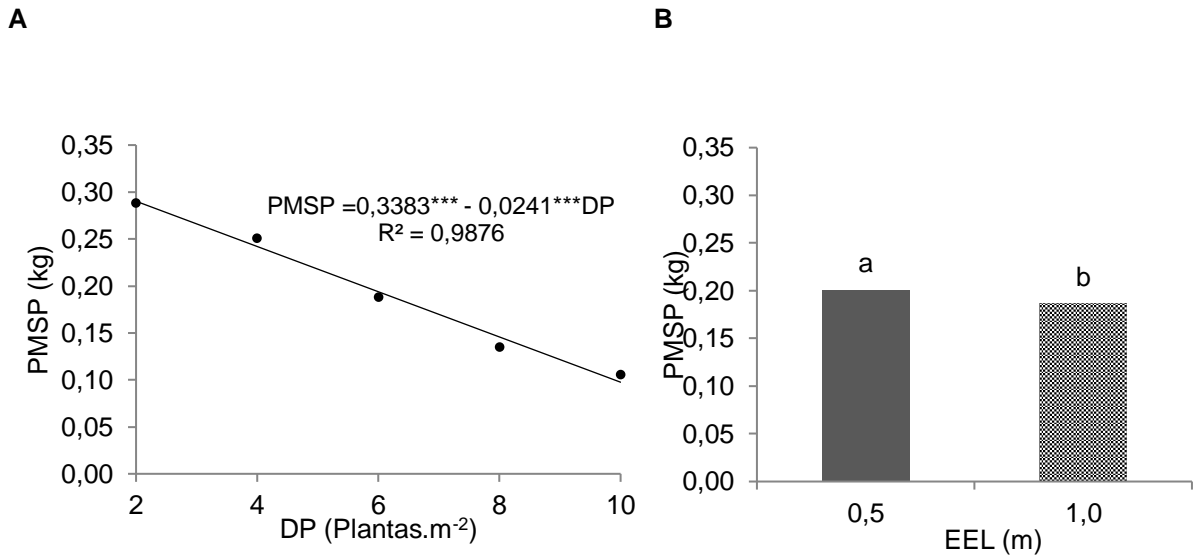


**Figura 14** Peso médio de espigas com palha (PMECP) do híbrido duplo de milho AG-1051 irrigado com déficit hídrico, em função de diferentes espaçamentos entre linhas (EEL) e densidades de plantas (DP), em Teresina, PI, Brasil.

Significância: '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 em função do teste t.

Para o peso médio de espigas verde sem palha (PMESP) observa-se ajuste linear negativo com o aumento da densidade de plantas (Figura 15A). Em condições de déficit a redução do espaçamento entre plantas na linha no espaçamento de 1,0 m entre as linhas de cultivo proporcionou espigas de menor peso com redução de 7,5% (Figura 15B). Lima et al. (2012) obtiveram resultados semelhantes aos observados neste trabalho ao avaliar o comportamento de híbridos de milho em diferentes densidades populacionais o sul maranhense.

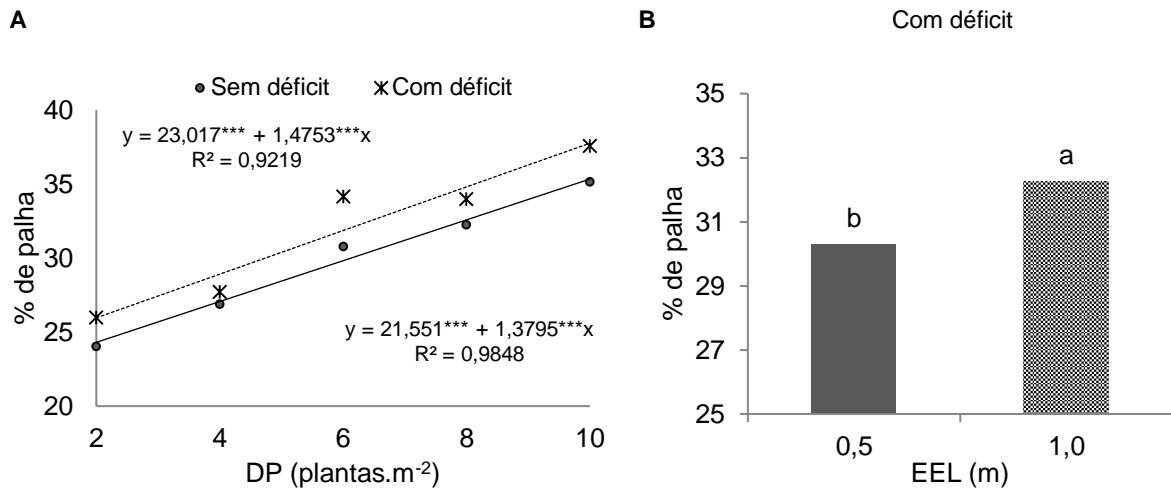
De acordo com Santos et al. (2018) a baixa população proporciona menor competição entre as plantas por água e nutrientes, além de pouco sombreamento, apresentando condições mais adequadas para a formação das espigas, estabelecendo, assim, maior quantidade de grãos por espiga e maior acúmulo de massa nos grãos. Em condições de adensamento há um aumento da competição intraespecífica e estímulo da dominância apical do pendão sobre a espiga (KUNESKI et al., 2017), provocando mudanças fisiológicas nas plantas de milho, resultando na redução do crescimento e desenvolvimento das espigas, pela redução do acúmulo de fotoassimilados nestas (ARGENTA et al., 2001b).



**Figura 15** Peso médio de espigas sem palha (PMSP) do híbrido duplo de milho AG-1051 irrigado com déficit hídrico, em função de diferentes espaçamentos entre linhas (EEL) e densidades de plantas (DP), em Teresina, PI, Brasil.

Significância: “\*\*\*” 0.001 “\*\*” 0.01 “\*” 0.05 em função do teste *t*. Letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de *F*, em nível de 5% de probabilidade.

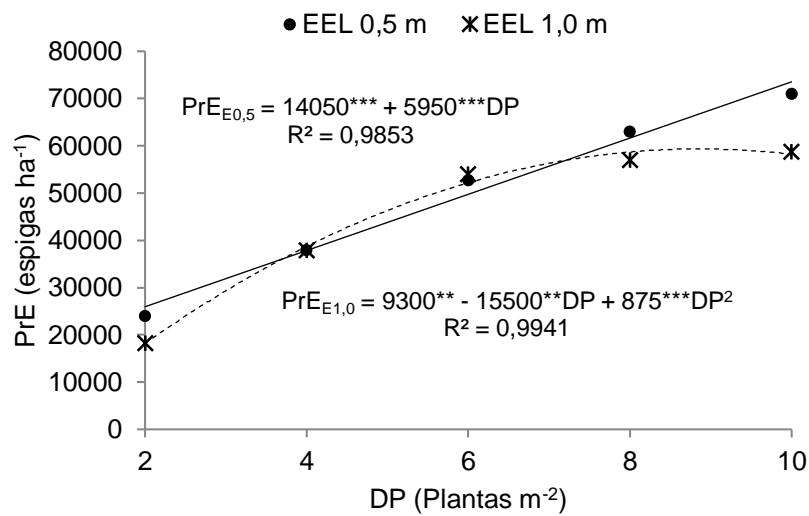
Em relação à porcentagem de palha da espiga (Figura 16A), observa-se incremento linear positivo com o aumento da densidade de plantas nos dois regimes hídricos adotados. A porcentagem de palha da espiga variou de 24,05% e 25,87% para a maior densidade nos ensaios com e sem déficit hídrico, respectivamente, e de 35,16% a 37,56% em menor densidade. Em média houve aumento da porcentagem de palha da espiga de 6,8% com a redução do espaçamento entre plantas quando se aumenta o espaçamento entre linhas para 1,0 m (Figura 16B). Estes resultados corroboram os resultados mostrados anteriormente, em que o aumento da densidade de plantas proporciona menor alocação de fotoassimilados para o enchimento dos grãos e formação das espigas, em decorrência da competição interespecífica, o que pode ser intensificado com a redução da lâmina de irrigação até os 50% da ETC (ARGENTA et al., 2001b).



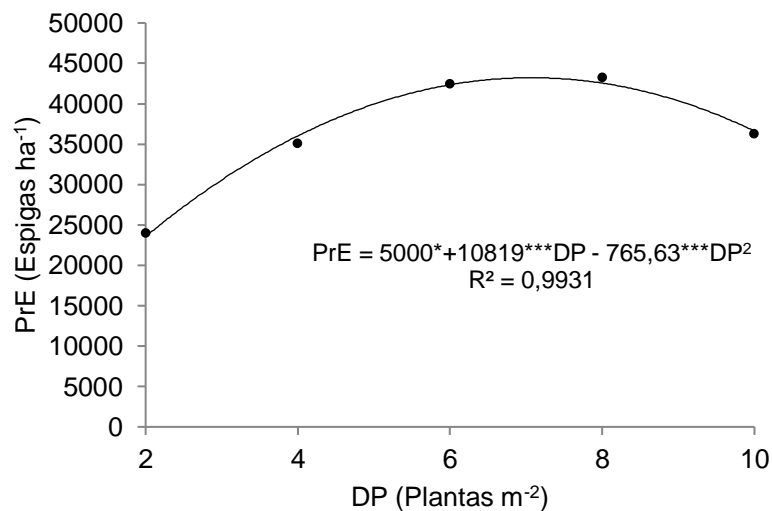
**Figura 16** Porcentagem de palha em espigas verdes do híbrido duplo de milho AG-1051 irrigado com e sem déficit hídrico, em função de diferentes espaçamentos entre linhas (EEL) e densidades de plantas (DP), em Teresina, PI, Brasil. *Significância: ‘\*\*\*’ 0.001 ‘\*\*’ 0.01 ‘\*’ 0.05 em função do teste t. Letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de F, em nível de 5% de probabilidade.*

Em cultivo irrigado com 100% da ETc, observa-se ajuste linear positivo na produtividade de espigas verdes com o aumento da densidade quando as plantas foram submetidas ao espaçamento de 0,5 m. Em espaçamento de 1,0 m obteve-se ajuste quadrático com produtividade máxima de 59.342 espigas ha<sup>-1</sup> na densidade de 8,8 plantas m<sup>-2</sup>, observando-se, portanto, tendência de redução na produtividade em maiores densidades (Figura 17). Quando submetidas ao déficit hídrico observa-se ajuste quadrático com produtividade máxima de 43.217 espigas ha<sup>-1</sup> na densidade de 7 plantas m<sup>-2</sup> (Figura 18). A tendência de redução nas maiores densidades de plantas são consequência da maior competição intraespecífica por recursos do meio, sobretudo quando em condições de déficit hídrico. A água é fator fundamental para o desenvolvimento e produtividade das culturas. A condição de déficit hídrico, associada a alta densidade de plantas, proporcionou uma má formação das espigas, que refletiram na menor produtividade alcançada. Nascimento et al. (2017) e Melo et al. (2018b), avaliando diferentes lâminas de irrigação no cultivo do milho-verde, obtiveram redução significativa da produtividade de espigas verdes em lâminas de irrigação abaixo de 50 % da ETc. Segundo Sales et al. (2016), a deficiência hídrica é um dos principais fatores responsáveis pela redução da produtividade da cultura do milho por afetar as relações hídricas da planta, reduzindo o crescimento, o desenvolvimento, consequentemente a produtividade da cultura.





**Figura 17** Produtividade de espigas verdes (PrE) do híbrido duplo de milho AG-1051 irrigado sem déficit hídrico, em função de diferentes espaçamentos entre linhas (EEL) e densidades de plantas (DP), em Teresina, PI, Brasil.  
Significância: ‘\*\*\*’ 0.001 ‘\*\*’ 0.01 ‘\*’ 0.05 ‘.’ 0.1 em função do teste t.



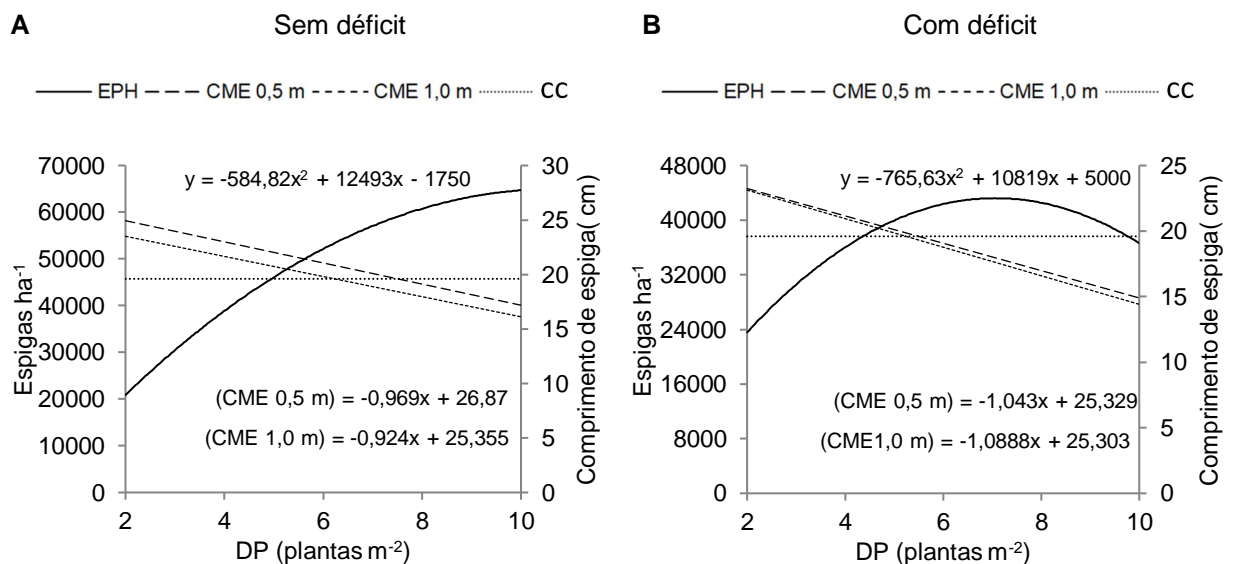
**Figura 18** Produtividade de espigas verdes (PrE) do híbrido duplo de milho AG-1051 irrigado com déficit hídrico, em função de diferentes espaçamentos entre linhas (EEL), em Teresina, PI, Brasil.  
Significância: ‘\*\*\*’ 0.001 ‘\*\*’ 0.01 ‘\*’ 0.05 ‘.’ 0.1 em função do teste t.

Vieira et al. (2010), avaliando o efeito de populações de plantas em cultivo de milho-verde, obtiveram efeito quadrático para alguns híbridos com redução na porcentagem no número de espigas comerciais com o aumento da população de plantas de 3,5 para 6,5 plantas m<sup>-2</sup>. Cardoso et al. (2014), ao avaliar a produtividade de espigas verdes sob espaçamento reduzido, observaram incremento linear na

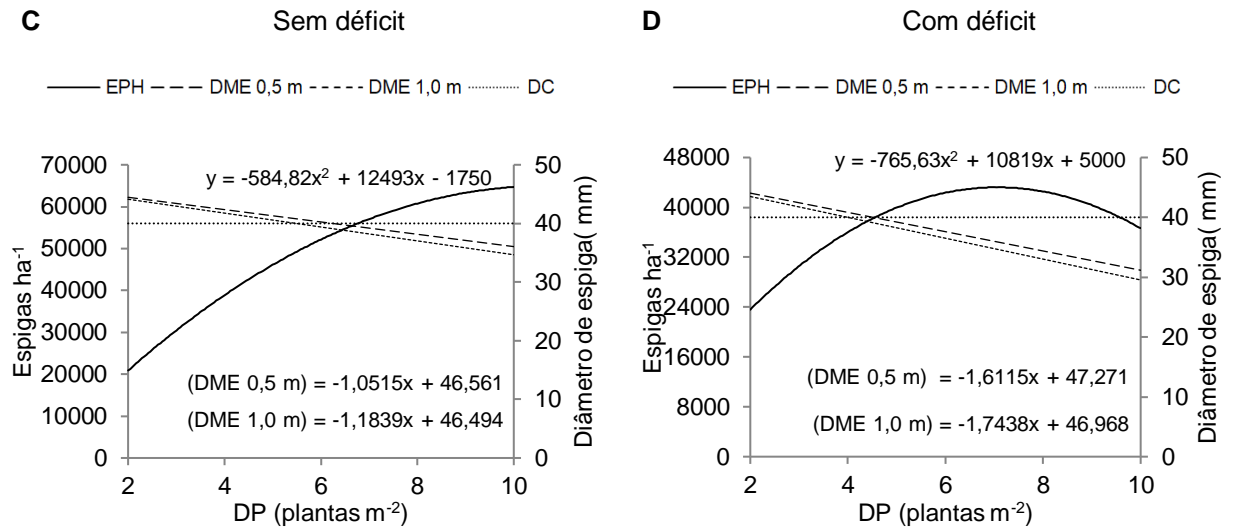
produtividade de espigas com o aumento da densidade de 3 para 11 plantas  $m^{-2}$ , porém observou comportamento inverso no peso das espigas.

Comportamento semelhante pode ser observado quando se relaciona a produtividade com comprimento e diâmetro de espigas verdes despalhadas (Figura 19). Considerando espigas comerciais despalhadas com comprimento acima de 20 cm e diâmetro acima de 40 mm segundo critério recomendado por Cardoso et al. (2004), em cultivo irrigado plenamente, densidades superiores a 7,1 plantas  $m^{-2}$  e 5,8 plantas  $m^{-2}$ , nos espaçamentos 0,5 e 1,0 m respectivamente, as espigas encontravam-se fora do comprimento comercial (Figura 19A). Densidades superiores a 6,23 plantas  $m^{-2}$  no espaçamento 0,5 m e 5,48 plantas  $m^{-2}$  no espaçamento 1,0 m proporcionam espigas foras do diâmetro comercial (Figura 19C).

Em cultivo sob déficit hídrico, densidades superiores a 5,1 e 4,9 plantas  $m^{-2}$  as espigas encontravam-se fora do comprimento comercial, nos espaçamentos 0,5 e 1,0 m respectivamente (Figura 19B), e nas densidades de 4,5 e 4 plantas  $m^{-2}$  em espaçamento 0,5 m e 1,0 m respectivamente, fora do padrão comercial para diâmetro de espigas verdes (Figura 19D).



**Figura 19** Comprimento e diâmetro médio das espigas verdes do híbrido duplo de milho AG-1051 irrigado com e sem déficit hídrico relacionados com a produtividade de espigas verdes e os padrões comerciais segundo CARDOSO et al., (2004). *Espigas por hectare (EPH), comprimento médio de espigas verdes (CME), diâmetro médio de espigas verdes (DME), comprimento comercial (CC) e diâmetro comercial (DC).*



**Figura 19** Comprimento e diâmetro médio das espigas verdes do híbrido duplo de milho AG-1051 irrigado com e sem déficit hídrico relacionados com a produtividade de espigas verdes e os padrões comerciais segundo CARDOSO et al., (2004). *Espigas por hectare (EPH), comprimento médio de espigas verdes (CME), diâmetro médio de espigas verdes (DME), comprimento comercial (CC) e diâmetro comercial (DC).*

Nestas condições considerando comprimento comercial de 20 cm, estima-se o número de espigas comerciais de 57.470 espigas utilizando o espaçamento entre linhas de 0,5 m e 51.036 espigas utilizando o espaçamento 1,0 m no regime com irrigação plena. Em condições de déficit estima-se um total de espigas comerciais de 40.263 em espaçamento 0,5 m e 39.630 em espaçamento 1,0 m.

Considerando o diâmetro comercial de 40 mm, no regime irrigado plenamente estima-se um total de 53.383 e 49.149 espigas comerciais nos espaçamentos 0,5 e 1,0 m respectivamente. No regime com déficit estima-se um total de 38.181 espigas comerciais no espaçamento 0,5 e de 36.026 espigas comerciais no espaçamento 1,0 m.

Observa-se, portanto, redução significativa no número de espigas comerciais tanto no aumento da densidade na linha de cultivo proporcionado pelo espaçamento 1,0 m, quanto na redução da lâmina de irrigação. Essa redução pode estar relacionada com aumento do acamamento pela maior competição por luz e estímulo da dominância apical do pendão sobre a espiga, causando o estiolamento da planta e redução no diâmetro do colmo (SANGOI et al., 2002). Outro efeito seria em razão das alterações morfológicas e fisiológicas em decorrência do adensamento resultando no

aumento do número de plantas dominadas na lavoura, ou seja, plantas que não produzem espigas (FOLONI et al., 2015; CAZETTA et al., 2007).

#### 4. CONCLUSÕES

O aumento da densidade de plantas e a redução do espaçamento entre plantas na linha de semeadura no espaçamento entre linhas de 1,0 m reduzem o comprimento, diâmetro e peso médios de espigas com e sem palha e há incremento na porcentagem de palha da espiga.

Em condições de déficit, o comprimento, diâmetro e peso médio das espigas são mais prejudicados pelo incremento na densidade e pelo espaçamento entre plantas reduzido, refletindo no aumento da porcentagem de palha na espiga.

A densidade 7,1 plantas m<sup>-2</sup> e espaçamento 0,5 m entre linhas proporcionam o máximo de espigas comerciais utilizando 100% da ETc.

Com déficit de 50 % da ETc a densidades de 5,1 e espaçamento 0,5 m entre linhas proporcionam maior quantidade de espigas comerciais.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADENIYAN, O. N. Effect of different population densities and fertilizer rates on the performance of different maize varieties in two rain forest agro ecosystems of South West Nigeria. **African Journal of Plant Science**, v. 8, n. 8, p. 410-415, 2014.

ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. **Fao, Rome**, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998.

ARGENTA, G. et al. Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte. **Ciência Rural**, v. 31, n. 6, p. 1075-1084, 2001a.

ARGENTA, G. et al. Resposta de híbridos simples de milho à redução do espaçamento entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 1, p. 71-78, 2001b.

BASTOS, E. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. **Boletim agrometeorológico do ano de 2018 para o Município de Teresina, PI.** (Embrapa Meio-Norte, Documentos, 266), Teresina, 2019.

CARDOSO, M. J., DE CARVALHO, H. W. L., & RIBEIRO, V. Q. Avaliação preliminar de cultivares de milho para produção de espiga verde em sistema agrícola familiar. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 35, n. 2, p. 406-409, 2004.

CARDOSO, M. J.; RIBEIRO, V. Q.; MELO, F. B. **Performance de cultivares de milho-verde no município de Teresina, Piauí.** (Embrapa Meio-Norte-Comunicado Técnico, 227), Teresina, 2011.

CARDOSO, M., TEIXEIRA, F., BASTOS, E., & RIBEIRO, V. **Produtividade de espigas verdes e eficiência do uso da água do milho BRS Vivi sob espaçamento reduzido.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 43, 2014, Campo Grande-MS. Anais... Campo Grande-MS: SBEA, 2014.

CAZETTA, D. A.; FORNASIERI FILHO, D.; ARF, O. Resposta de cultivares de trigo e triticale ao nitrogênio no sistema de plantio direto. **Científica**, v. 35, n. 2, p.155 - 165, 2007.

CONAGIN, A.; JORGE, J. P. N. Delineamento (1/5) (5x5x5) em blocos. **Bragantia**, v. 41, n. 16, p. 155-168, 1982.

COSTA, M. E. et al. Massa seca e teores de nutrientes de plantas de milho sob efeito de águas salinas e biochar. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, n. 5, p. 672-682, 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**, v. 37 n. 27, p. 26, 2016.

FOLONI, J. S. S. et al. Cultivares de milho em diferentes populações de plantas com espaçamento reduzido na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 3, p. 312-325, 2014.

GILO, E. G. et al. Comportamento de híbridos de milho no cerrado sul-mato-grossense sob diferentes espaçamentos entre linhas. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 6, p. 908-914, 2011.

KUNESKI, H. F. et al. Regulador de crescimento e características morfológicas do milho em diferentes densidades de plantas e épocas de semeadura. **Revista da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa-Congrega Urcamp**, p. 2497-2512, 2017.

LIMA, C. F. et al. Avaliação de híbridos de milho sob três densidades populacionais em fronteira agrícola no Maranhão. **Comunicata Scientiae**, v. 3, n. 1, p. 30-34, 2012.

MARTINS, J. D. et al. Potencial hídrico foliar em milho submetido ao déficit hídrico. **Irriga**, v. 15, n. 3, p. 324-334, 2010.

MARWEIN, M. A. et al. Response of water deficit regime and soil amelioration on evapotranspiration loss and water use efficiency of maize (*Zea mays* L.) in subtropical northeastern Himalayas. **International journal of biometeorology**, v. 61, n. 5, p. 845-855, 2017.

MELO, A. V. et al. Desempenho agrônômico de genótipos de milho submetidos ao estresse hídrico no sul do estado do Tocantins. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 2, p. 177-189, 2018a.

MELO, F. de B.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; PESSOA, B. L. O. **Levantamento, zoneamento e mapeamento pedológico detalhado da área experimental da Embrapa Meio-Norte em Teresina, PI.** (Embrapa Meio-Norte-Documents, 231), Teresina, 2014.

MELO, R. F. et al. Desenvolvimento e produtividade do milho BRS Gorutuba sob diferentes lâminas de irrigação e adubação orgânica. **Revista Científica Intelletto**, v. 3, n. 1, p. 1-14, 2018.

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

OLIVEIRA JR, L. F. G. Seleção de genótipos de milho mais promissores para o consumo in natura. **Food Science and Technology**, v. 26, n. 1, p. 159-165, 2006.

OURY, V. et al. Is change in ovary carbon status a cause or a consequence of maize ovary abortion in water deficit during flowering? **Plant physiology**, v. 171, n. 2, p. 997-1008, 2016.

PEREIRA, F. et al. Desempenho agrônômico da cultura do milho sob diferentes arranjos espaciais no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 5, p. 2976-2983, 2018.

PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C.; GAMA, E. E. G. **Cultivares de milho para o consumo verde**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. 217 p.

RAMOS, H. et al. Eficiência do uso da água e produtividade de espiga verde de milho sob diferentes lâminas de irrigação. In Embrapa Meio-Norte-**Artigo em anais de congresso** (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 42., 2013, Fortaleza. Anais... Fortaleza: SBEA, 2013.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2006. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 21 dez. 2019.

RIVERA-HERNÁNDEZ, B. et al. Morphological quality of sweet corn (*Zea mays* L.) ears as response to soil moisture tension and phosphate fertilization in Campeche, Mexico. **Agricultural Water Management**, v. 97, n.9, p. 1365-1374, 2010.

ROCHA, D. R.; FORNASIER FILHO, D.; BARBOSA, J. C. Efeitos da densidade de plantas no rendimento comercial de espigas verdes de cultivares de milho. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 3, p. 392-397, 2011.



SALES, R. A. et al. Estimativa das necessidades hídricas do milho cultivado nas condições edafoclimáticas de São Mateus-ES. **Enciclopédia Biosfera, Goiânia**, v. 13, n. 23, p. 598-609, 2016.

SANTOS, A. L. F. et al. Eficiência fotossintética e produtiva de milho safrinha em função de épocas de semeadura e populações de plantas. **Journal of Neotropical Agriculture**, v. 5, n. 4, p. 52-60, 2018.

SOUSA, R. S.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J. Desempenho produtivo de genótipos de milho sob déficit hídrico. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 14, n. 1, p. 49-60, 2015.

SOUZA, E. J. et al. Características da espiga do milho doce produzido sob diferentes lâminas de irrigação e doses nitrogenadas. **Revista Engenharia na Agricultura-Reveng**, v. 24, n. 1, p. 50-62, 2016.

SOUZA, L. S. B. et al. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura do milho e feijão-caupi em sistemas exclusivo e consorciado. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 4, p. 151-160, 2015.

SOUZA, R. S. et al. Produtividade e qualidade do milho doce em diferentes populações de plantas. **Semina**, v. 34, n. 1, p. 995-1010, 2013.

SANGOI, L. et al. Bases morfo-fisiológicas para a maior tolerância dos híbridos modernos de milho a altas densidades de plantas. **Bragantia**, v. 61, n. 2, p. 101-110, 2002.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology-Laboratory of Climatology. **Publications in climatology**, v. 8, n. 1, p. 104, 1955.

TORRES, F. E. et al. Desempenho de híbridos de milho cultivados em diferentes espaçamentos na região do cerrado brasileiro. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 36, n. 4, p. 411-416, 2013.

VIEIRA, M. A. et al. Cultivares de milho e população de plantas que afetam a produtividade de espigas verdes. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 81-86, 2010.

ZHANG, Q. et al. Maize yield and quality in response to plant density and application of a novel plant growth regulator. **Field Crops Research**, v. 164, n. 1, p. 82-89, 2014.

ZIMMERMANN, F.J.P. (Ed.). **Estatística aplicada à pesquisa agrícola**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004. 402p.

### CAPÍTULO III

## DESEMPENHO PRODUTIVO DE GRÃOS DE MILHO COM E SEM DÉFICIT HÍDRICO SOB DIFERENTES ARRANJOS DE PLANTAS

### RESUMO

Objetivou-se neste trabalho avaliar o efeito de diferentes espaçamentos entre linhas de cultivo e densidade de plantas em diferentes regimes hídricos sobre a produção de grãos secos do híbrido de milho AG -1051, em Teresina, Piauí. Foram conduzidos dois ensaios irrigados por aspersão convencional, um com 100% e o outro com 50% de reposição da evapotranspiração da cultura. Em cada ensaio, foi aplicado um delineamento experimental de blocos casualizados com esquema fatorial 5x2, combinando-se cinco densidades de plantas (DP) (2; 4; 6; 8 e 10 plantas m<sup>-2</sup>) e dois espaçamentos entre fileiras (EEL) (0,5 e 1,0 m), com quatro repetições. Avaliou-se a massa de 100 grãos, percentual de sabugo, produtividade de grãos e eficiência no uso da água. Houve influência significativa da densidade de plantas para todas as variáveis analisadas. O aumento da densidade de plantas proporciona redução na relação grão espiga e redução no peso de cem grãos. O arranjo de plantas que maximiza a produtividade de grãos de milho nos dois regimes hídricos é a combinação de aproximadamente 7 plantas m<sup>-2</sup> e espaçamento entre fileiras de 0,5 m. Com mesma resposta para a eficiência de uso da água.

**Palavras Chave:** *Zea mays*, densidade de plantas, espaçamento entre fileiras, grãos secos

**CHAPTER III**

**GRAIN YIELD OF MAIZE IRRIGATED WITH AND WITHOUT WATER DEFICIT  
UNDER DIFFERENT PLANT ARRANGEMENTS**

**ABSTRACT**

The objective of this work was to evaluate the effect of different spacing between crop lines and planting density in different water regimes on the dry grain production of the corn hybrid AG-1051, in Teresina, Piauí. Two assays irrigated by conventional sprinkler were conducted, one with 100% and the other with 50% replacement of ETo. In each assay, an experimental design of randomized blocks with 5x2 factorial scheme was applied, combining five planting densities (PD) (2; 4; 6; 8; 8 and 10 plants m<sup>-2</sup>), two spaces between rows (SBR) (0.5 and 1.0 m), with four replications. The weight of 100 grains, cob percentage, grain yield and water use efficiency were evaluated. There was a significant influence of planting density for all variables analyzed. The increase in plant density offers a reduction in the proportion of grain and a reduction in the weight of one hundred grains. The plant arrangement that maximizes corn grain productivity in the two water regimes is a combination of approximately 7 plants m<sup>-2</sup> and row spacing of 0.5 m. With the same answer for water use efficiency.

**Key words:** *Zea mays*, plant density, row spacing, dried grains

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 Localização da área experimental.....	112
Figura 2 Semeadura manual.....	113
Figura 3 Adubação de cobertura.....	114
Figura 4 Determinação da massa de 100 grãos e da umidade dos grãos.....	116
Figura 5 Massa de 100 grãos do híbrido duplo de milho AG–1051 irrigado com e sem déficit hídrico, em função de diferentes densidades de plantas (DP), em Teresina, PI, Brasil.....	118
Figura 6 Relação grão espiga do híbrido duplo de milho AG–1051 irrigado com e sem déficit hídrico, em função de diferentes densidades de plantas (DP), em Teresina, PI, Brasil.....	119
Figura 7 Relação grão espiga do híbrido duplo de milho AG–1051 irrigado sem déficit hídrico, em função de diferentes espaçamentos entre linhas (EEL), em Teresina, PI, Brasil.....	120
Figura 8 Produtividade de grãos (PrG) do híbrido duplo de milho AG–1051 irrigado sem déficit hídrico, em função de diferentes espaçamentos entre linhas (EEL) e densidades de plantas (DP), em Teresina, PI, Brasil.....	121
Figura 9 Produtividade de grãos (PrG) do híbrido duplo de milho AG–1051 irrigado com déficit hídrico, em função de diferentes espaçamentos entre linhas (EEL) e densidades de plantas (DP), em Teresina, PI, Brasil.....	122
Figura 10 Eficiência no uso da água (EUA) no cultivo do híbrido duplo de milho AG–1051 irrigado sem déficit hídrico, em função de diferentes espaçamentos entre linhas (EEL) e densidades de plantas (DP), em Teresina, PI, Brasil.....	123
Figura 11 Eficiência no uso da água (EUA) no cultivo do híbrido duplo de milho AG–1051 irrigado com déficit hídrico, em função de diferentes espaçamentos entre linhas (EEL) e densidades de plantas (DP), em Teresina, PI, Brasil.....	124

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 Composição química do solo na área experimental .....	112
Tabela 2 Características granulométricas do solo da área experimental.....	113
Tabela 3 Valores de coeficiente de cultura para o milho, em diferentes fases do ciclo no experimento. ....	115
Tabela 4 Composição dos espaçamentos entre plantas na linha de semeadura em relação as diferentes populações e espaçamento entre linhas.....	117
Tabela 5 Resumo das análises de variância relativas aos efeitos do espaçamento entre linhas e da densidade de plantas sobre a porcentagem de sabugo (%Sab), a massa de 100 grãos (P100), a produtividade de grão (PrG) e a eficiência no uso da água (EUA) no cultivo do híbrido de milho AG–1051 cultivado em condições de irrigação com e sem déficit hídrico no município de Teresina, Piauí, Brasil.....	118

## 1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é um dos cereais mais cultivados no mundo e o Brasil é o terceiro maior produtor ficando atrás apenas dos Estados Unidos e da China (CUNHA et al., 2019). Somente no Brasil, a produção de milho alcançou 100 milhões de toneladas na safra 2018/2019, em uma área cultivada de 17,49 milhões de hectares, o que confere uma produtividade de grãos média de 5,71 Mg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2019). No entanto o Brasil apresenta produtividade um pouco acima da média mundial e apenas metade da produtividade média dos Estados Unidos (THOMPSON e GARCIA, 2019).

Pode-se destacar, dentre os fatores que contribuem para esta diferença, as condições climáticas, as práticas de manejo inadequadas e o baixo investimento em insumos, principalmente por pequenos e médios produtores (MENDONÇA e LEAL, 2010; ROCHA et al., 2018). Dentre as técnicas de manejo, as definições da densidade de plantas e do espaçamento adequados podem afetar consideravelmente o rendimento das culturas. Sangoi et al. (2019), avaliando a resposta do milho ao incremento na densidade de plantas, sob diferentes espaçamentos entre linhas, observaram que nas densidades de 9 e 11 plantas m<sup>-2</sup> e espaçamento entre linhas reduzido de 40 cm foram estratégias de manejo efetiva para otimizar a produtividade de grãos de milho. No entanto, Murányi (2015) destaca que o aumento da densidade da planta após certo limite a produção por plantas diminui e o rendimento por unidade de área aumenta.

Outros fatores que comprometem a produção e contribuem para o baixo rendimento são a ausência de genótipos mais tolerantes ao déficit hídrico e a não uniformidade das precipitações, com a ocorrência de veranicos muitas vezes prolongados na fase crítica de desenvolvimento da cultura (SOUSA et al., 2015).

A deficiência hídrica afeta as relações hídricas da planta, reduzindo o crescimento, o desenvolvimento e conseqüentemente a produtividade da cultura (MARTINS et al., 2010; SALES et al., 2016). Além disso, pode encurtar o período de formação do grão, e reduzir o crescimento e desenvolvimento do ovário, aumentando o número de grãos abortados (OURY et al., 2016; MARWEIN et al., 2017).

Para a região Meio-Norte do Brasil, informações sobre a determinação do arranjo de plantas adequado para a cultura do milho em diferentes lâminas de irrigação, principalmente em condições de déficit hídrico, ainda são escassas. Ben et

al. (2016), avaliando o efeito de diferentes lâminas de irrigação e densidades de plantas na cultura do milho, obteve maior produtividade de 15,25 t ha<sup>-1</sup> de grãos na densidade de 130 mil plantas ha<sup>-1</sup> com a lâmina de irrigação de 100% da ETc.

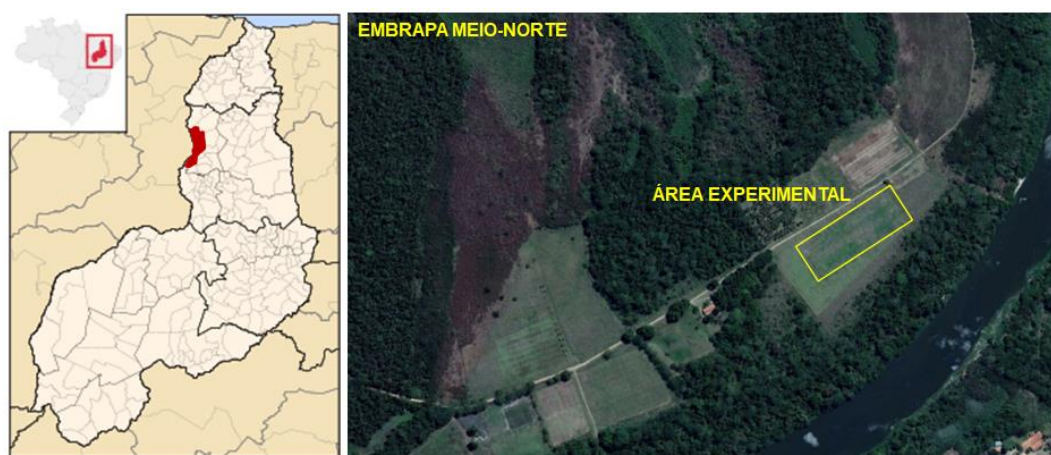
Neste contexto, a adequação da densidade de plantas em diferentes cenários de irrigação é uma forma de maximizar a aplicação de água e nutrientes do solo, e consequentemente a produtividade da cultura. Deste modo, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito do espaçamento entre linhas e da densidade de plantas em diferentes regimes hídricos, sobre os componentes de produção e produtividade de grãos secos do híbrido duplo de milho AG – 1051, em Teresina, Piauí.



## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Caracterização da área experimental

Dois experimentos foram conduzidos na área Experimental da Embrapa Meio-Norte, em Teresina, Piauí, (5°05' S, 42°29' W e 72 m de altitude) no período de setembro a dezembro de 2018. De acordo com a classificação climática de Thornthwaite e Mather (1955), o clima do município é do tipo C1sA'a', caracterizado como sub-úmido seco, megatérmico, com excedente hídrico moderado no verão. Apresenta temperaturas médias anuais de 28,2 °C, máximas de 34 °C e mínimas de 22,4 °C, umidade relativa média do ar de 69,5 % e precipitação pluviométrica média de 1.318 mm por ano (BASTOS e ANDRADE JÚNIOR, 2019).



**Figura 1** Localização da área experimental

**Fonte:** Adaptado de Google Earth.

O solo da área experimental é classificado como Neossolo Flúvico Eutrófico (MELO et al. 2014), cujas características químicas e físicas estão descritas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

**Tabela 1** Composição química do solo na área experimental

Prof. (cm)	MO dag kg <sup>-1</sup>	pH H <sub>2</sub> O	P mg dm <sup>-3</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	SB	CTC	V	m
				-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					---%---			
0 – 20	1,0	5,9	81,1	0,82	5,21	1,95	0,17	3,98	8,15	12,12	67	0
21 – 40	1,0	6,2	61,7	0,64	5,78	2,04	0,17	3,65	8,63	12,28	70	0

**Fonte:** Laboratório de Solos – Embrapa Meio-Norte

**Tabela 2** Características granulométricas do solo da área experimental

Profundidade	Granulometria (g kg <sup>-1</sup> )				Classificação textura
	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
0 – 20 cm	8,5	550,5	335,0	106,0	Franco arenoso
21 – 40 cm	8,0	548,0	318,0	126,0	Franco arenoso

**Fonte:** Laboratório de Solos – Embrapa Meio-Norte

## 2.2. Preparo do solo, adubação e semeadura

Realizou-se uma aração e uma gradagem e a adubação foi realizada com base na análise físico-química do solo (Tabelas 1 e 2) e na recomendação para a cultura na região (CARDOSO et al., 2011). Na adubação de fundação, foram aplicados 75 kg de N ha<sup>-1</sup>, 70 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> e 60 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> em sulcos de 8 cm de profundidade. A adubação de cobertura com 45 kg de N ha<sup>-1</sup> foi realizada em 29 de setembro de 2018, a lanço, entre as fileiras (Figura 3). Foram utilizados os adubos sulfato de amônio, superfosfato triplo e cloreto de potássio.

Para a semeadura utilizou-se o híbrido duplo comercial de milho AG-1051, a qual foi realizada manualmente em 11 de setembro de 2018, colocando-se duas sementes por cova (Figura 2).



**Figura 2** Semeadura manual



**Figura 3** Adubação de cobertura

Por ocasião da semeadura, realizou-se o controle preventivo de plantas daninhas com aplicação de herbicidas de pré-emergência, utilizando-se uma mistura de atrazina e s-metolaclo-ro ( $1.480 + 1.160 \text{ g ha}^{-1}$  de i.a.). Quando as plantas se encontravam no estágio de crescimento V3, o controle das plantas daninhas foi complementado pela aplicação do herbicida tembotrione ( $100,8 \text{ g. ha}^{-1}$  de i.a.). O controle da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) foi realizado com a aplicação do inseticida lufenuron ( $15 \text{ g. ha}^{-1}$  de i.a.) ao se observar o aparecimento dos primeiros sintomas de ataque.

### **2.3. Sistema de irrigação e regimes hídricos**

Para cada experimento utilizou-se sistema de irrigação por aspersão convencional fixo, com aspersores de impacto com bocais de  $4,4 \times 3,2 \text{ mm}$ , vazão de  $1,59 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , pressão de serviço de 30 mca, espaçados de  $12 \times 12 \text{ m}$  e intensidade de aplicação de  $11,04 \text{ mm h}^{-1}$ .

Realizou-se a uniformidade de distribuição de água da irrigação por meio de coletores com diâmetro de 8,0 cm, instalados em uma malha de pontos sob a área de influência de quatro aspersores ( $144 \text{ m}^2$ ). Os coletores foram instalados no centro de cada experimento de forma que a lâmina coletada representasse sua precipitação, totalizando 16 coletores em cada área avaliada. Foi determinado o coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD = 85%), obtido pela relação entre a lâmina média

de 25% dos coletores com as menores precipitações pela lâmina média de todos os coletores.

A evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) foi calculada pelo produto da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e do coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>). A ET<sub>o</sub> foi estimada pelo método de Penman-Monteith, conforme metodologia proposta por Allen et al. (1998) e o K<sub>c</sub> do milho apresentado na Tabela 3. Até os 30 dias após a semeadura foram aplicadas lâminas diárias de 100% da ET<sub>c</sub> nos dois experimentos. Logo após aplicou-se o estresse no segundo experimento reduzindo a irrigação em 50% da ET<sub>c</sub>.

**Tabela 3** Valores de coeficiente de cultura para o milho, em diferentes fases do ciclo no experimento.

Fase do ciclo	Dias após o plantio	Coeficiente de cultivo
I	0 – 40	0,8
II	41 – 54	1,2
III	55 – 74	0,9
IV	75 – 10	0,5

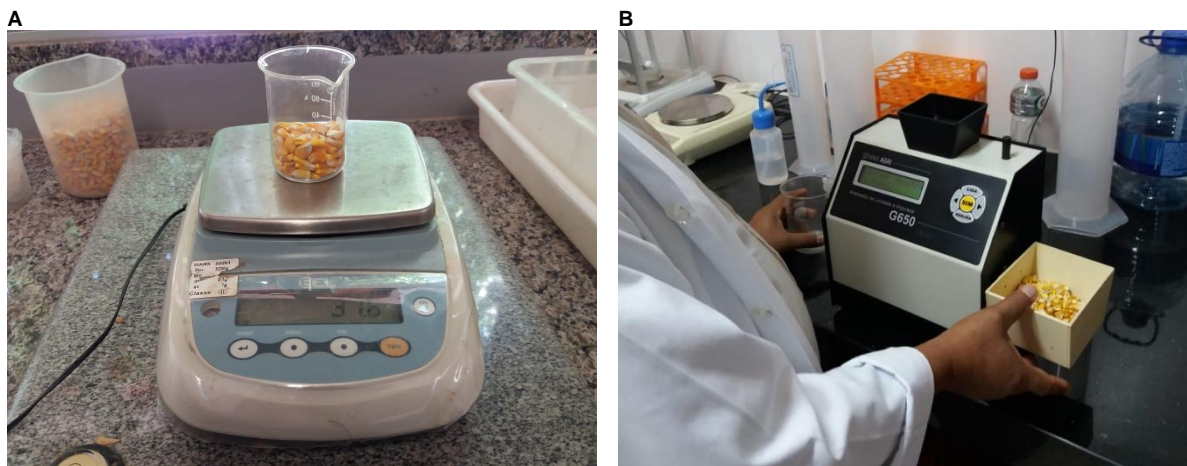
Fonte: Souza et al. (2015a).

## 2.4. Variáveis analisadas

No momento da colheita das espigas secas, determinou-se o peso total de grãos na área útil (PTG) da parcela e o peso de cem grãos (P100) (Figura 4A). A produtividade de grãos secos (PG) foi determinada pela extrapolação do peso PTGC para Mg ha<sup>-1</sup> após a correção da umidade dos grãos para 13% de acordo com a seguinte equação:

$$PTGC = \frac{100-TU\%}{87} PGNC \quad (1)$$

Onde: PTGC corresponde à produção de grãos corrigida; PGNC a produção de grãos não corrigida; TU% ao teor de umidade dos grãos determinada pelo equipamento Digital Gehaka G650i (Figura 4B).



**Figura 4** Determinação da massa de 100 grãos e da umidade dos grãos

Determinou-se o índice de espiga pela relação entre o peso total de grãos (PTG) e o peso total das espigas secas (PTE) pela equação:

$$RGE = \frac{PTG}{PTE} 100 \quad (2)$$

A eficiência no uso da água (EUA em  $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ ) foi calculada relacionando a produtividade de grãos (PG) e a lâmina de água aplicada, utilizando a seguinte expressão (SANTOS ALMEIDA et al., 2017):

$$EUA = \frac{PG}{LI} \quad (3)$$

em que, PG = produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e LI = lâmina de irrigação acumulada (mm).

## 2.5. Delineamento experimental e análises estatísticas

Em cada experimento, as plantas foram arranjadas em dois espaçamentos entre linhas (0,5 e 1,0 m) e cinco populações de plantas (2; 4; 6; 8; e 10 plantas  $\text{m}^{-2}$ ), totalizando 10 espaçamentos entre plantas na fileira (Tabela 4). Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso, com tratamentos dispostos em fatorial 2 x 5, com quatro repetições. A parcela experimental foi composta por quatro fileiras de cinco metros de comprimento compondo as áreas úteis de 5  $\text{m}^2$  e 10  $\text{m}^2$  para as parcelas

com espaçamentos de 0,5 e 1,0 m, respectivamente. Apenas as fileiras centrais foram utilizadas para as avaliações.

**Tabela 4** Composição dos espaçamentos entre plantas na linha de semeadura em relação as diferentes populações e espaçamento entre linhas

População de plantas	Espaçamento entre linhas	Espaçamento entre linhas
	0,5 m	1,0 m
Espaçamento entre plantas		
2 plantas m <sup>-2</sup>	1,00 m	0,50 m
4 plantas m <sup>-2</sup>	0,50 m	0,25 m
6 plantas m <sup>-2</sup>	0,33 m	0,16 m
8 plantas m <sup>-2</sup>	0,25 m	0,12 m
10 plantas m <sup>-2</sup>	0,20 m	0,10 m

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk e T de Cochran para a normalidade de erros e homogeneidade de variância, respectivamente. Uma vez satisfeitos os requisitos básicos, os dados foram submetidos às análises de variância. Considerou-se espaçamento entre linhas como fator qualitativo sendo comparados pelo teste de F ( $P < 0,05$ ). O efeito da densidade de plantas e interação entre espaçamento e densidade foram analisados pela regressão polinomial. Todas as análises estatísticas foram realizadas com o uso do software R versão 3.4.1 (R DEVELOPMENT TEAM, 2006).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

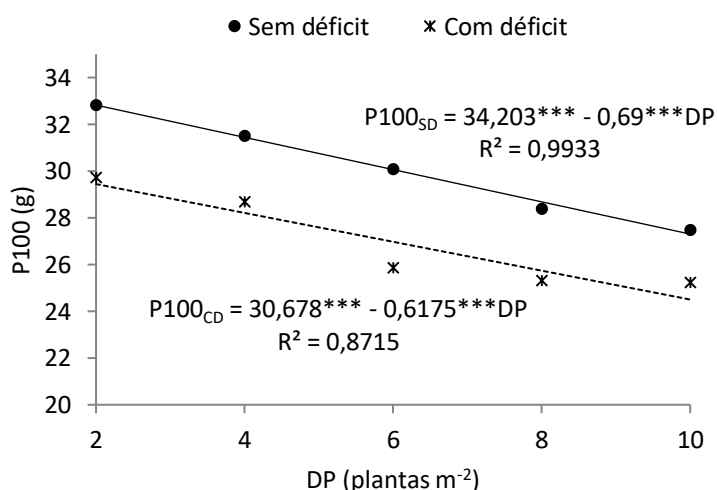
Quanto aos componentes de produção e produtividade de grãos secos, a densidade de plantas (DP) afetou significativamente todos os parâmetros avaliados independentemente da lâmina de irrigação aplicada. Em regime irrigado com 100% da ET<sub>c</sub>, o espaçamento entre linhas (EEL) afetou de forma isolada a porcentagem de sabugo (%sab), a produtividade de grãos (PrG) e a eficiência no uso da água (EUA). Em condições de déficit hídrico houve influência significativa do EEL apenas para a PrG e EUA. Houve interação significativa para a produtividade de grãos (PrG) e para a eficiência no uso da água (EUA), em ambos os regimes hídricos (Tabela 5).

**Tabela 5** Resumo das análises de variância relativas aos efeitos do espaçamento entre linhas e da densidade de plantas sobre a porcentagem de sabugo (%Sab), a massa de 100 grãos (P100), a produtividade de grão (PrG) e a eficiência no uso da água (EUA) no cultivo do híbrido de milho AG-1051 cultivado em condições de irrigação com e sem déficit hídrico no município de Teresina, Piauí, Brasil.

FV	GL	Sem déficit				Com déficit			
		P100	RGE	PrG	EUA	P100	RGE	PrG	EUA
Bloco	3	4,677 <sup>NS</sup>	0,946 <sup>NS</sup>	0,997 <sup>NS</sup>	0,058 <sup>NS</sup>	0,786 <sup>NS</sup>	26,141 <sup>NS</sup>	0,122 <sup>NS</sup>	0,0007 <sup>NS</sup>
EEL (m)	1	1,892 <sup>NS</sup>	13,98*	3,312*	0,188**	0,306 <sup>NS</sup>	23,61 <sup>NS</sup>	5,68**	0,856*
DP (plantas.m <sup>-2</sup> )	4	38,34**	164,59**	13,56**	0,772**	35,004**	256,57*	2,57**	0,343**
EEL x DP	4	0,413 <sup>NS</sup>	4,266 <sup>NS</sup>	0,960*	0,055*	1,042 <sup>NS</sup>	5,923 <sup>NS</sup>	1,47**	0,145*
Resíduo	27	4,180	3,199	0,304	0,017	0,2316	44,341	0,188	0,014
CV %		6,8	2,26	9,24	9,17	7,87	9,01	10,04	9,31

<sup>NS</sup>: não significativo a ( $p > 0,05$ ); \*: significativo a ( $0,01 < p \leq 0,05$ ); \*\*: significativo a ( $p \leq 0,01$ ), pelo teste "F".

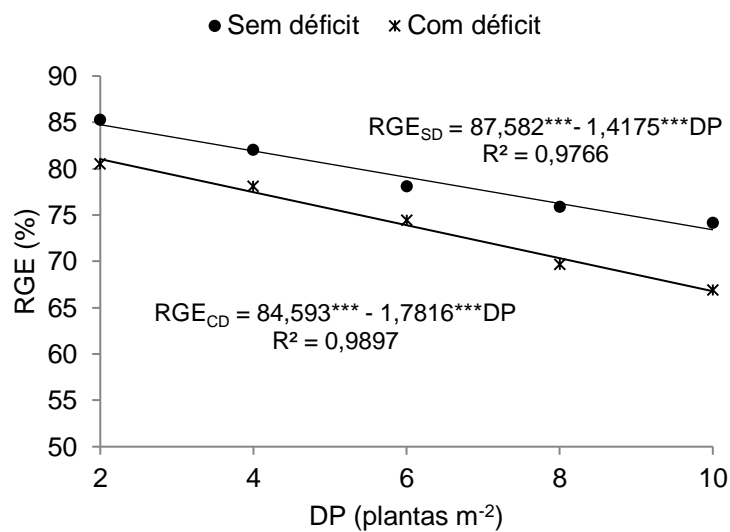
O aumento da densidade de plantas proporcionou ajuste linear negativo na massa de 100 grãos (P100) com redução mais acentuada no regime com déficit de 50% da ETo (Figura 5). Segundo Fumagalli et al. (2017), após a floração, o fluxo de fotoassimilados dentro da planta é direcionado prioritariamente ao enchimento de grãos. O incremento da densidade de plantas aumenta a competição entre indivíduos por água, luz e nutrientes, reduzindo a disponibilidade de fotoassimilados para atender a demanda de enchimento dos grãos e a manutenção das demais estruturas da planta. Em associação com o déficit hídrico, há uma maior aceleração da senescência foliar, o que pode ter encurtado o período de enchimento de grãos.



**Figura 5** Massa de 100 grãos do híbrido duplo de milho AG-1051 irrigado com e sem déficit hídrico, em função de diferentes densidades de plantas (DP), em Teresina, PI, Brasil.

Significância: '\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*\*' 0.05 em função do teste t.

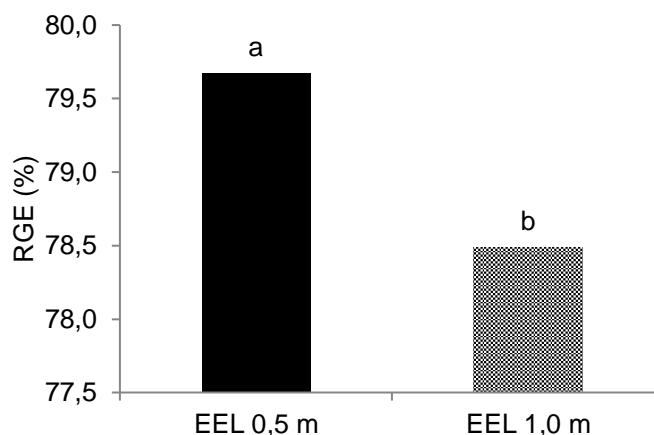
A má formação dos grãos teve reflexo na porcentagem de sabugo em relação à massa total da espiga. A Figura 6 mostra que o aumento da densidade de plantas proporcionou redução linear na relação grão espiga, com pequena redução de 1,5% no espaçamento 1,0 m (Figura 7). Isso pode ser explicado em decorrência da competição intraespecífica proporcionado pelo aumento da densidade de plantas e do número de planas por metro linear, resultando na redução da produção de fotoassimilados para o enchimento de grãos e, conseqüentemente, reduzindo o percentual do peso de grãos da espiga (SANGOI et al., 2019).



**Figura 6** Relação grão espiga do híbrido duplo de milho AG-1051 irrigado com e sem déficit hídrico, em função de diferentes densidades de plantas (DP), em Teresina, PI, Brasil.

*Significância: '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*\*' 0.05 em função do teste t. Letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de F, em nível de 5% de probabilidade.*





**Figura 7** Relação grão espiga do híbrido duplo de milho AG–1051 irrigado sem déficit hídrico, em função de diferentes espaçamentos entre linhas (EEL), em Teresina, PI, Brasil.

*Letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de F, em nível de 5% de probabilidade.*

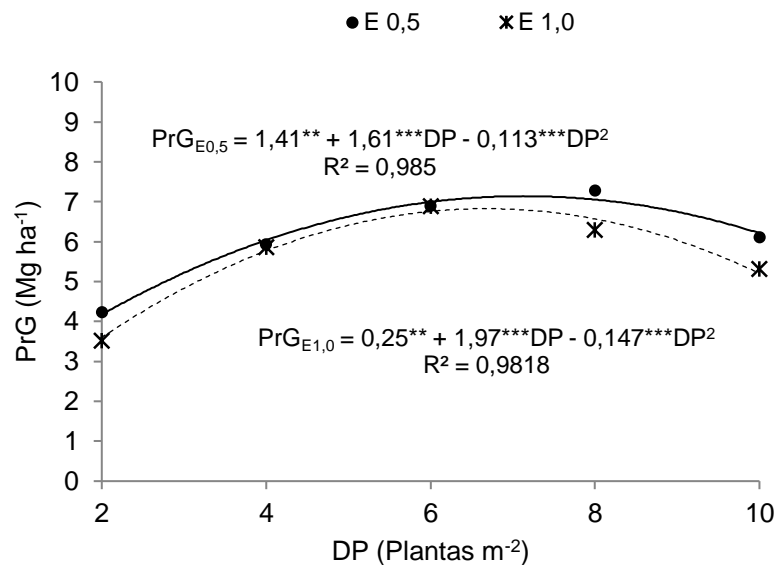
Os ajustes quadráticos mostram que estes resultados tiveram reflexos significativos na produtividade de grãos (PrG). Em regime com irrigação plena (Figura 8), plantas espaçadas com 0,5 m entre as linhas de semeadura a densidade de plantas de 7,1 plantas  $m^{-2}$  proporcionaram produtividade máxima de 7,1  $Mg\ ha^{-1}$ . Já em espaçamento entre linhas de 1,0 m a produtividade máxima de 6,8  $Mg\ ha^{-1}$  foi alcançada na densidade de 6,7 plantas  $m^{-2}$  (figura 8). Observa-se que há pouca variação entre os espaçamentos entre linhas com redução de apenas 4,2% na produtividade.

Em condição de déficit hídrico, também observa-se ajuste quadrático com produtividade máxima de 4,43  $Mg\ ha^{-1}$  foi atingida na densidade de 7 plantas  $m^{-2}$  no espaçamento 0,5 m. Quando submetidas ao espaçamento 1,0 m houve uma redução expressiva da produtividade de grãos. A produtividade máxima de 3,6  $Mg\ ha^{-1}$  foi alcançada na densidade de 5,4 plantas  $m^{-2}$ .

O aumento da produtividade de grãos em função do incremento da população de plantas pode ser explicado pelo acréscimo do número de plantas, que promove o aumento no número de espigas por unidade de área, ocorrendo assim compensação da produtividade até ponto máximo (FOLONI et al., 2014). Além disso, pode-se atribuir a proximidade entre as densidades nos dois regimes hídricos, provavelmente, se deve às características do solo da área experimental (Neossolo Flúvico) que possui maior

capacidade de armazenamento de água, em virtude disso pode suportar maior densidade de plantas.

Takasu et al. (2014) e Pereira et al. (2018) obtiveram incremento linear na produtividade de grãos de milho até a população de 100.000 e 82.500 plantas ha<sup>-1</sup> respectivamente. Enquanto Sangoi et al. (2013) e Fumagalli et al. (2017) observaram comportamento quadrático, com produtividade máxima alcançada na população de 75.000 e 60.000 plantas ha<sup>-1</sup> respectivamente.



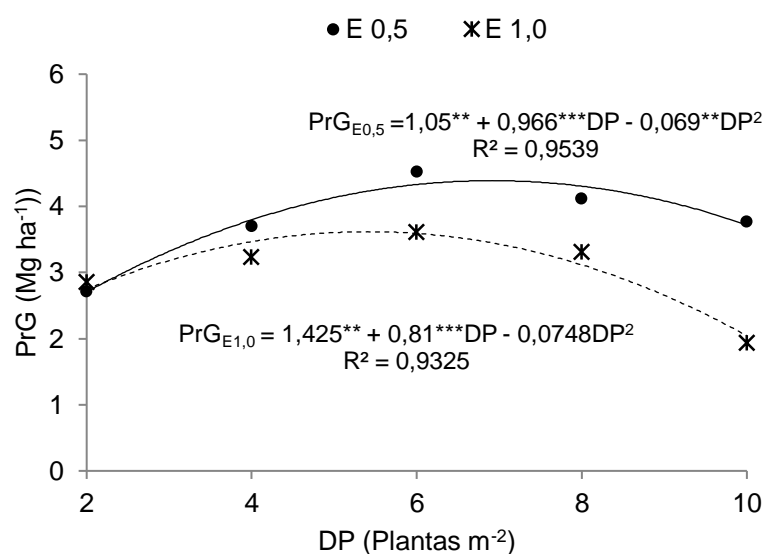
**Figura 8** Produtividade de grãos (PrG) do híbrido duplo de milho AG–1051 irrigado sem déficit hídrico, em função de diferentes espaçamentos entre linhas (EEL) e densidades de plantas (DP), em Teresina, PI, Brasil.

*Significância: \*\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*\*' 0.05 '.' 0.1 em função do teste t.*

Após atingir o ponto máximo a redução da produtividade em maiores densidades de plantas é explicada pelas alterações morfofisiológicas observadas ao longo deste trabalho. O aumento da densidade de plantas aumenta a competição entre indivíduos por água, luz e nutrientes, estimulando a dominância apical e reduzindo a disponibilidade de fotoassimilados para atender a demanda de enchimento dos grãos e a manutenção das demais estruturas da planta (folhas e calmo). A menor atividade fotossintética das folhas, causada pelo sombreamento da cultura em altas densidades e menores espaçamentos entre fileiras, reduz o suprimento de carboidratos às raízes, o qual é fundamental para a absorção de nutrientes. Esse conjunto de fatores acelera a senescência foliar e encurta o período

de enchimento de grãos, levando à redução na produtividade da cultura (KUNESKI et al., 2017; FUMAGALLI et al., 2017).

Em condições de déficit hídrico houve redução na produtividade máxima de grãos de 37,6%. Almeida et al. (2016) e Nascimento et al. (2017), ao avaliarem o efeito de métodos e lâminas de irrigação no cultivo do milho, observaram que menores lâminas de água, proporcionaram menores produtividades de grãos.



**Figura 9** Produtividade de grãos (PrG) do híbrido duplo de milho AG–1051 irrigado com déficit hídrico, em função de diferentes espaçamentos entre linhas (EEL) e densidades de plantas (DP), em Teresina, PI, Brasil.

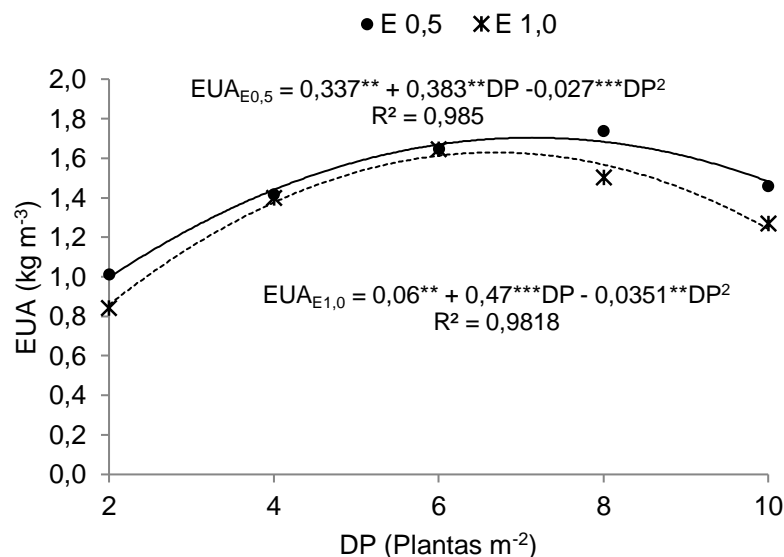
Significância: ‘\*\*\*’ 0.001 ‘\*\*’ 0.01 ‘\*’ 0.05 ‘.’ 0.1 em função do teste t.

Segundo Bergamaschi et al. (2004), o milho, na fase do pendoamento até o início do enchimento de grãos, é extremamente sensível ao déficit hídrico. Além dos efeitos da densidade, plantas de milho quando submetidas ao déficit hídrico podem sofrer alterações morfológicas no crescimento, teor de clorofila, fotossíntese e consequentemente na produtividade de grãos (DINIZ et al., 2018).

Quanto à eficiência no uso da água (EUA), observa-se a mesma tendência da produtividade para os dois regimes hídricos. A aplicação da lâmina total de 419 mm proporcionou EUA máxima de 1,7 kg m<sup>-3</sup> na densidade de 7,1 plantas m<sup>-2</sup> e espaçamento de 0,5 m e de 1,63 kg m<sup>-3</sup> na densidade de 6,7 plantas m<sup>-2</sup> em espaçamento de 1,0 m (Figura 10).

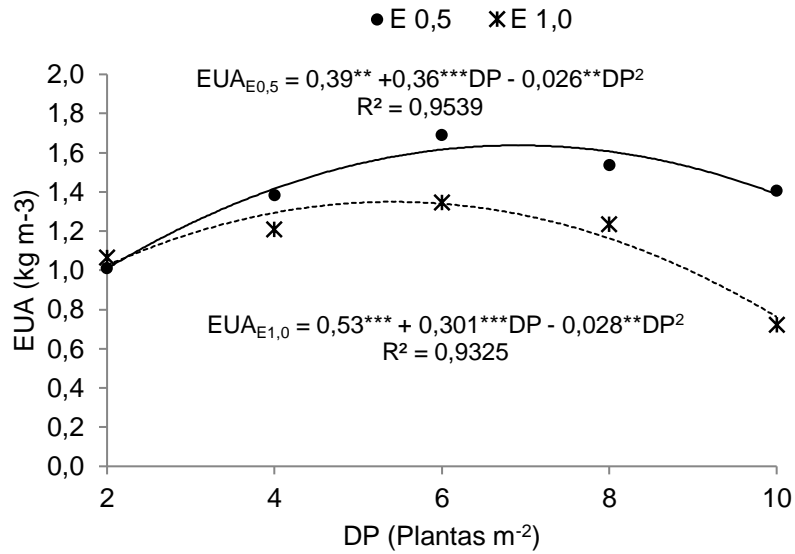
Quando aplicada a lâmina de 268 mm observa-se redução na eficiência no uso da água com ponto máximo de 1,63 kg.m<sup>-3</sup> alcançado na densidade de plantas

de 6,9 plantas  $m^{-2}$  e espaçamento entre linhas de 0,5 m (Figura 11). Quando submetidas a maior adensamento na linha no espaçamento entre linhas de 1,0 m há redução expressiva na EUA com máxima de 1,3  $kg\ m^{-3}$  na densidade de 5,4 plantas  $m^{-2}$ . A EUA relaciona a produção de biomassa ou produção comercial pela quantidade de água aplicada. Estes resultados mostram que em condições ótimas de disponibilidade de água as plantas de milho conseguem utilizar água de forma mais eficiente em maior densidade de plantas. Nascimento et al. (2017), avaliando diferentes lâminas de irrigação sob as características fisiológicas e produtivas do milho obtiveram menores valores de EUA (0,68  $kg\ m^{-3}$  e 0,64  $kg\ m^{-3}$ ) na aplicação das lâminas inferiores a 50% da ETo.



**Figura 10** Eficiência no uso da água (EUA) no cultivo do híbrido duplo de milho AG-1051 irrigado sem déficit hídrico, em função de diferentes espaçamentos entre linhas (EEL) e densidades de plantas (DP), em Teresina, PI, Brasil.

Significância: '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 em função do teste t



**Figura 11** Eficiência no uso da água (EUA) no cultivo do híbrido duplo de milho AG-1051 irrigado com déficit hídrico, em função de diferentes espaçamentos entre linhas (EEL) e densidades de plantas (DP), em Teresina, PI, Brasil.  
 Significância: ‘\*\*\*’ 0.001 ‘\*\*’ 0.01 ‘\*’ 0.05 ‘.’ 0.1 em função do teste t.

#### **4. CONCLUSÕES**

O aumento da densidade de plantas proporciona redução na relação grão espiga e redução no peso de cem grãos.

O arranjo de plantas que maximiza a produtividade de grãos de milho nos dois regimes hídricos é a combinação de aproximadamente 7 plantas  $m^{-2}$  e espaçamento entre fileiras de 0,5 m. Com mesma resposta para a eficiência de uso da água.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. **Fao, Rome**, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998.

ALMEIDA, B. M. **Déficit e excesso hídrico na cultura do milho (Zea mays L.) em ambiente protegido**. Tese (Doutorado em ciências). Escola superior de agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2016.

BASTOS, E. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. **Boletim agrometeorológico do ano de 2018 para o Município de Teresina, PI**. (Embrapa Meio-Norte, Documentos, 266), Teresina, 2019.

BEN, L. H. B. et al. Influência de lâminas de irrigação e densidade de plantas no milho “safrinha”. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 3, p. 665-676, 2016.

BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **O milho e o clima**. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, p. 11, 2014.

CARDOSO, M. J.; RIBEIRO, V. Q.; MELO, F. B. **Performance de cultivares de milho-verde no município de Teresina, Piauí**. (Embrapa Meio-Norte-Comunicado Técnico, 227), Teresina, 2011.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira de grãos, v. 7, n. 11, Safra 2019/2020** – Segundo Levantamento, Brasília, p. 1-25, novembro 2019. Disponível em:< <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acessado em: 17 ago. 2020.

CONAGIN, A.; JORGE, J. P. N. Delineamento (1/5) (5x5x5) em blocos. **Bragantia**, v. 41, n. 16, p. 155-168, 1982.

CUNHA, B. A. et al. Influência da época de semeadura na severidade de doenças foliares e na produtividade do milho safrinha. **Summa Phytopathologica**, v. 45, n. 4, p. 424-427, 2019.

DINIZ, R. P. et al. Qualidade fisiológica e expressão de alfa-amilase em sementes de milho produzidas em condições de estresse salino e hídrico. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 1, p. 37-48, 2018.

FOLONI, J. S. S. et al. Cultivares de milho em diferentes populações de plantas com espaçamento reduzido na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 3, p. 312-325, 2014.

FUMAGALLI, M. et al. Desempenho produtivo do milho híbrido simples em função de espaçamentos entre fileiras e populações de plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 3, p. 425-438, 2017.

KUNESKI, H. F. et al. Regulador de crescimento e características morfológicas do milho em diferentes densidades de plantas e épocas de semeadura. **Revista da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa-Congrega Urcamp**, p. 2497-2512, 2017.

MARTINS, J. D. et al. Potencial hídrico foliar em milho submetido ao déficit hídrico. **Irriga**, v. 15, n. 3, p. 324, 2010.

MARWEIN, M. A. et al. Response of water deficit regime and soil amelioration on evapotranspiration loss and water use efficiency of maize (*Zea mays* L.) in subtropical northeastern Himalayas. **International journal of biometeorology**, v. 61, n. 5, p. 845-855, 2017.

MELO, F. de B.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; PESSOA, B. L. O. **Levantamento, zoneamento e mapeamento pedológico detalhado da área experimental da Embrapa Meio-Norte em Teresina, PI.** (Embrapa Meio-Norte-Documents, 231), Teresina, 2014.

Mendonça, J. & Leal, J. **Comparação dos Custos de Produção e Transporte de Etanol entre Brasil e Estados Unidos.** VII SEGeT – Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2010.

MURÁNYI, E. et al. Effect of plant density and row spacing on maize (*Zea mays* L.) grain yield in different crop year. **Columella-Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 2, n. 1, p. 57-63, 2015.

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

OURY, V. et al. Is change in ovary carbon status a cause or a consequence of maize ovary abortion in water deficit during flowering?. **Plant physiology**, v. 171, n. 2, p. 997-1008, 2016.



PEREIRA, L. B. et al. Características agronômicas da planta e produtividade da silagem de milho submetido a diferentes arranjos populacionais. **Magistra**, v. 29, n. 1, p. 18-27, 2018.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2006. Disponível em: < <http://www.R-project.org>>. Acesso em: 21 dez. 2019.

ROCHA, PRR et al. Produtividade de milho cultivado sob doses de Potássio no cerrado de Roraima. **In: Embrapa Roraima-Resumo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 32., 2018, Lavras. Soluções integradas para os sistemas de produção de milho e sorgo no Brasil: resumos. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2018., 2018.

SALES, R. A. et al. Estimativa das necessidades hídricas do milho cultivado nas condições edafoclimáticas de São Mateus-ES. **Enciclopédia Biosfera, Goiânia**, v. 13, n. 23, p. 598-609, 2016.

SANGOI, L. et al. Senescência foliar e resposta de híbridos de milho liberados comercialmente para cultivo em diferentes épocas ao adensamento. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 1, p. 21-32, 2013.

SANGOI, LUÍS et al. Estratégias de manejo do arranjo de plantas visando otimizar a produtividade de grãos do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n. 1, p. 47-60, 2019.

SANTOS ALMEIDA, A. C. et al. Produtividade e eficiência de uso da água em milho cultivado com diferentes estratégias de manejo hídrico. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. v. 11, n. 3, p. 1448-1457, 2017.

SOUSA, R. S.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J. Desempenho produtivo de genótipos de milho sob déficit hídrico. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 14, n. 1, p. 49-60, 2015.

SOUZA, L. S. B. et al. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura do milho e feijão-caupi em sistemas exclusivo e consorciado. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 4, p. 151-160, 2015.

TAKASU, A. T. et al. Desempenho agrônomico do milho sob diferentes arranjos populacionais e espaçamento entrelinhas. **Agrarian**, v. 7, n. 23, p. 34-41, 2014.

THORNTON, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology-Laboratory of Climatology. **Publications in climatology**, v. 8, n. 1, p. 104, 1955.

THOMPSON, R. L.; GARCIA, J. C. A demanda de exportação para o milho do Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 16, n. 4, p. 7-30, 2019.

ZIMMERMANN, F.J.P. (Ed.). **Estatística aplicada à pesquisa agrícola**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004. 402p.