



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA,
INOVAÇÃO E TECNOLOGIA PARA A AMAZÔNIA – CITA**

**CARACTERIZAÇÃO ECOFISIOLOGICA E PRODUTIVIDADE
DE HÍBRIDOS DE MILHO EM DIFERENTES
ESPAÇAMENTOS ENTRE LINHAS DE PLANTIO EM
SENADOR GUIOMARD, ACRE**

LUAN DE OLIVEIRA NASCIMENTO

RIO BRANCO, AC
Março / 2018

LUAN DE OLIVEIRA NASCIMENTO

**CARACTERIZAÇÃO ECOFISIOLOGICA E PRODUTIVIDADE
DE HÍBRIDOS DE MILHO EM DIFERENTES
ESPAÇAMENTOS ENTRE LINHAS DE PLANTIO EM
SENADOR GUIOMARD, ACRE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia, da Universidade Federal do Acre, como requisito para obtenção do grau de **Mestre em Ciências e Inovação Tecnológica**.

Orientador: JOSIMAR BATISTA FERREIRA

Co-orientador: MARCIO DE OLIVEIRA MARTINS

RIO BRANCO, AC
Março / 2018

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

N244c Nascimento, Luan de Oliveira, 1993-

Caracterização ecofisiológica e produtividade de híbridos de milho em diferentes espaçamentos entre linhas de plantio em Senador Guiomard, Acre / Luan de Oliveira Nascimento. – 2018.

48 f.: il.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Acre, Programa de Pós-Graduação, Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia - CITA. Rio Branco, 2018.

Inclui referências bibliográficas e apêndices.

Orientador: Prof. Josimar Batista Ferreira.

Co-orientador: Prof. Marcio de Oliveira Martins

1. Milho. 2. Milho – Produtividade. 3. Grãos. I. Título.

CDD: 633.88

Bibliotecária: Maria do Socorro de O. Cordeiro

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço à Deus, pelo momento especial e pelas vitórias alcançadas. Nada seria possível sem a interferência Divina na minha vida e na de minha família. Sou crente que as minhas vitórias dependem da força do Divino Espírito Santo.

Agradeço aos meus pais, Francisco das Chagas e Maria de Fátima, que mesmo pela distância mostraram sua ajuda e atenção nos momentos difíceis; aos meus irmãos: Gleisson, Thailine e Francisco Ian de Oliveira Nascimento, que me motivaram ainda mais aos caminhos do sucesso, assim como todos meus primos, principalmente a Francisca Vanessa e Francisco Vanisson, que me apoiaram na cidade de Rio Branco – Acre.

Nesse momento gostaria de fazer um agradecimento todo especial aos orientadores desta pesquisa: Prof. Dr. Josimar Batista Ferreira e o Prof. Dr. Marcio de Oliveira Martins, que, mais importante do que um doutor em seus ensinamentos, se mostraram amigo, paciente, enfim, um exemplo não só de orientador, mas também preocupado com o futuro do seu orientado.

Agradeço a Antônia Fabiana pela ajuda em uma etapa do estudo, e também aos meus colegas: Marcelo Batista, Gerbson Maia, André Menezes, Auryane, Angelo Valente, Jeyson Miranda, e a todos que estiveram presente nos momentos dos períodos de mestrado. Agradeço também aos amigos que cativei na fazenda: o João Camilo, seu Ilídio, seu João e dona Maria, o Josi Aldo, o Gilson e sua esposa Joelma, ao Maurício, ao seu Zé, aos trabalhadores do Silo Graneleiro e aos demais pela amizade que construímos durante as atividades desta pesquisa.

Agradeço de todo coração ao proprietário do sitio São Pedro, o seu João Paraná e sua esposa dona Creuza, duas pessoas que são exemplos a serem seguidos, e presto este meu sincero agradecimento ao casal, não só por ceder a área para realização da pesquisa, mais sim pelos ensinamentos que obtive com os mesmos durante o período que frequentei sua fazenda.

Sou grato por cursar no Programa de Pós-Graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia da Amazônia, e pelo apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Enfim, agradeço a todos que contribuíram de maneira direta ou indireta na minha formação desde o ensino infantil até esse momento especial da minha vida, no qual estou realizando um sonho.

“O que as suas mãos tiverem que fazer, que façam com toda a sua força, pois na sepultura, para onde você vai, não há atividade nem planejamento, não há conhecimento nem sabedoria”. Eclesiastes 9:10

RESUMO

Objetivou-se avaliar a relação dos diferentes espaçamentos entre linhas de plantio nos componentes de produção e características ecofisiológicas de três híbridos de milho. Foram testados quatro espaçamentos entre linhas (95, 80, 60 e 40 cm) em plantações utilizando os híbridos 2B 655 PW (H1); AG 7088 PRO3 (H2) e P4285 YHR (H3), em uma área localizada no município de Senador Guiomard, Acre. O experimento durou cinco meses, onde foram avaliadas no estádio V8 e VT a fotossíntese líquida e trocas gasosas, eficiência de uso da água e de carboxilação e parâmetros de fluorescência da clorofila *a*. Adicionalmente, foram analisadas as características de crescimento e de produção dos híbridos. A fotossíntese líquida assim como as variáveis de fluorescência da clorofila *a* não foram alterada pela redução do espaçamento e nem pela escolha do híbrido nos dois períodos de avaliação. No estádio V8, o H3 apresentou menor g_s , seguida de menor E e C_i , comparada ao H1, principalmente em 40 cm. Em consequência, o H3 expôs maior média de EUA e EC. No estádio VT, em 95 cm o H3 apresentou-se com menor C_i , g_s e E . Por outro lado, o H1 em 40 cm foi o que apresentou maior média de C_i , g_s e E . A EUA não mostrou diferenças entre espaçamentos, mas foi maior em plantas do H3 com espaçamento de 95 e 80 cm. Para EC o H3 foi superior que os demais híbridos no tratamento de 95 cm. Em relação a avaliação de crescimento, os híbridos apresentaram tendência de aumentar a altura de inserção a medida que o espaçamento é reduzido. A área foliar não foi alterada pelos tratamentos. Logo, observou-se que o diâmetro do colmo diminui a medida que o espaçamento é reduzido. Nos componentes de produção observou-se que em espaçamento de 40 cm há maior número de espigas por área, porém o número de grãos é reduzido, sendo que o H3 apresentou maior massa de 100 grãos. No tocante a produtividade, os híbridos do espaçamento de 40 cm produziram mais de 50% de grãos que em espaçamentos de 95 cm. Conclui-se que apesar do menor número de grãos por espiga, a maior produtividade em espaçamento reduzido pode ser explicada pelo número muito maior de espigas por hectare. O H3 apresentou grãos maiores, sendo mais eficiente fotossinteticamente.

Palavras-chave: Fotossíntese, grãos, *Zea mays*.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the relationship of different spacings between planting lines in the production components and the ecophysiological characteristics of corn hybrids. Four row spacings (95, 80, 60 and 40 cm) were tested in plantations using the hybrids 2B 655 PW (H1), AG 7088 PRO3 (H2) e P4285 YHR (H3) in an area of Senador Guiomard, Acre. The experiment lasted five months, where liquid photosynthesis and gas exchange, water use and carboxylation efficiency and chlorophyll a fluorescence parameters were evaluated at the V8 and VT stage. Moreover, the growth and production characteristics of the hybrids were analyzed. Liquid photosynthesis as well as chlorophyll a fluorescence variables were not altered by the reduction of spacing and by the choice of the hybrid in the two evaluation periods. In the V8 stage, H3 presented lower g_s , followed by lower E and C_i , compared to H1, mainly in 40 cm. As a consequence, the H3 exhibited higher EUA and EC mean. In the VT stage, in 95 cm the H3 presented with lower C_i , g_s and E. On the other hand, the H1 in 40 cm was the one that presented higher average of C_i , g_s and E. The EUA did not show differences between spacings, but was higher in H3 plants with spacing of 95 and 80 cm. For EC, H3 was higher than the other hybrids in the treatment of 95 cm. In relation to growth evaluation, the hybrids showed a tendency to increase the insertion height as the spacing is reduced. The leaf area was not altered by treatments. Therefore, it has been observed that the diameter of the stem decreases as the spacing is reduced. In the production components it was observed that in spacing of 40 cm there are more spikes per area, but the number of grains is reduced, with H3 having a larger mass of 100 grains. Regarding productivity, the hybrids at spacing of 40 cm produced more than 50% of grains than at spacings of 95 cm. It is concluded that, despite the lower number of heads per spike, the higher productivity in reduced spacing can be explained by the much higher number of spikes per hectare (more than 100% increase). The H3 presented larger grains, being more efficient photosynthetically.

Keywords: photosynthesis, grains, *Zea mays*.

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Vista aérea da área experimental, Fazenda São Pedro, Senador Guimard – Acre (2016).	23
Figura 2. Esquematização da área experimental, com os híbridos nas parcelas e espaçamentos nas subparcelas.	25
Figura 3. Esquematização da subparcela no espaçamento de 40 cm entre linhas de plantas.	26
Figura 4. Esquematização da subparcela no espaçamento de 60 cm entre linhas de plantas.	26
Figura 5. Esquematização da subparcela no espaçamento de 80 cm entre linhas de plantas.	27
Figura 6. Esquematização da subparcela no espaçamento de 95 cm entre linhas de plantas.	27
Figura 7. Fotossíntese Líquida (A); Concentração Intercelular de CO ₂ (B); Condutância estomática (C) e Transpiração (D) realizado no estágio de desenvolvimento vegetativo 8 nos híbridos de milho: 2B 655 PW (H1), AG 7088 PRO3 (H2) e P 4285 YHR (H3).	35
Figura 8. Eficiência de Uso da Água (A) e Eficiência de Carboxilação (B) da aviação realizada no estágio de desenvolvimento vegetativo 8 dos híbridos de milho: 2B 655 PW (H1), AG 7088 PRO3 (H2) e P 4285 YHR (H3).	37
Figura 9. Taxa aparente de transferência de elétrons no PSII (A), coeficiente de extinção fotoquímico (B) e rendimento quântico efetivo do fotossistema II (D) da avaliação realizada no período de florescimento completo dos híbridos de milho: 2B 655 PW (H1), AG 7088 PRO3 (H2) e P 4285 YHR (H3).	39
Figura 10. Fotossíntese Líquida (A); Concentração Intercelular de CO ₂ (B); Condutância estomática (C) e Transpiração (D) realizado no estágio de pleno florescimento (VT) dos híbridos de milho: 2B 655 PW (H1); AG 7088 PRO3 (H2) e P 4285 YHR (H3).	40

Figura 11.	Eficiência de Uso da Água (A) e eficiência de carboxilação (B) dos híbridos 2B 655 PW (H1), AG 7088 PRO3 (H2) e P 4285 YHR (H3) realizadas no período de pleno florescimento das plantas.	43
Figura 12.	Taxa aparente de transferência de elétrons no PSII (A), coeficiente de extinção fotoquímico (B) e rendimento quântico efetivo do fotossistema II (D) da avaliação realizada no período de florescimento completo dos híbridos de milho: 2B 655 PW (H1), AG 7088 PRO3 (H2) e P 4285 YHR (H3).	45
Figura 13.	Características morfológicas dos híbridos de milho: 2B 655 PW (H1), AG 7088 PRO3 (H2) e P 4285 YHR (H3).	47
Figura 14.	Componentes de produção de grãos dos híbridos de milho: 2B 655 PW (H1), AG 7088 PRO3 (H2) e P 4285 YHR (H3).....	50

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 1. Análise química do solo da área experimental na camada de 0 a 20 cm.....	24
Tabela 2. Condições climáticas da área no período de desenvolvimento do experimento.....	24
Tabela 3. Principais características agronômicas dos híbridos de milho utilizados no estudo.....	28

LISTA DE ABREVIATURAS

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

Ci – Concentração Intercelular de CO₂

E – Transpiração foliar

EC – Eficiência de Carboxilação

ETR – taxa de transferência de elétrons no PSII

EUA – Eficiência de Uso da Água

g_s – Condutância estomática

i.a – Ingrediente ativo

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

K – Potássio

N – Nitrogênio

P – Fosforo

P_N – Fotossíntese Líquida ou Assimilação de CO₂

PSII – Fotossistema II

qP – *quenching* Fotoquímico

V4 – Quando a planta de milho apresenta 4 folhas totalmente expandidas

V8 – Quando a planta de milho apresenta 8 folhas totalmente expandidas

°C – grau Celsius

$\Delta F/F_m'$ – rendimento quântico efetivo do PSII

SUMÁRIO

	Pág.
1. INTRODUÇÃO.....	12
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1 ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO MILHO.....	14
2.2 HÍBRIDOS DE MILHO.....	16
2.3 DENSIDADE DE SEMEADURA.....	18
2.4 ECOFISIOLOGIA.....	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1 ÁREA EXPERIMENTAL.....	23
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO.....	23
3.3 DADOS CLIMÁTICOS DA SAFRA 2016/2017.....	24
3.4 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	25
3.5 CARACTERIZAÇÃO DOS HÍBRIDOS DE MILHO.....	28
3.6 IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO E TRATOS CULTURAIS..	29
3.7 AVALIAÇÕES.....	29
3.7.1 Caracteres fisiológicos dos híbridos.....	29
3.7.2 Caracteres morfológicos dos híbridos.....	30
3.7.3 Componentes de produção.....	32
3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4.1 PRIMEIRO PERÍODO DE AVALIAÇÃO FISIOLÓGICA.....	35
4.1.1 Avaliação de fotossíntese e trocas gasosas.....	35
4.1.2 Eficiência de uso da água e de carboxilação.....	37
4.1.3 Parâmetros de fluorescência da clorofila <i>a</i>	38
4.2 SEGUNDO PERÍODO DE AVALIAÇÃO FISIOLÓGICA.....	40
4.2.1 Avaliação de fotossíntese e trocas gasosas.....	40
4.2.2 Eficiência de uso da água e de carboxilação.....	42
4.2.3 Parâmetros de fluorescência da clorofila <i>a</i>	44
4.3 AVALIAÇÃO DE CRESCIMENTO.....	46
4.4 AVALIAÇÃO DE PRODUTIVIDADE.....	50
5. CONCLUSÕES.....	54
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
APÊNDICE	65

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays L.*), devido ao seu alto grau de domesticação é cultivado nos mais diversos ambientes e climas no mundo, embora tenha sua origem nas Américas (WERLE et al., 2011). Em consequência da grande quantidade de reservas acumuladas nos grãos e produção de etanol, a cultura é um dos principais cereais cultivados por fornecer matérias-primas destinadas tanto para a agroindústria como para a alimentação humana e animal (DEMÉTRIO, 2008).

Em nível de produção mundial de grãos de milho o Brasil ocupa o terceiro lugar, ficando atrás dos Estados Unidos da América (EUA) e da China. É uma espécie cultivada em todos os estados brasileiros, com grande diversidade nas condições de cultivo, abrangendo desde a agricultura tipicamente de base familiar até lavouras que utilizam os mais altos níveis tecnológicos, alcançando altas produtividades por hectare (ha) (MATTOSO; MELO FILHO, 2008). Porém a produção brasileira apresenta grande variação entre as áreas produtoras do grão, resultando em produtividade média muito abaixo do potencial produtivo que a cultura pode alcançar (SCHMITT, 2014).

A diferença existente entre a produtividade média obtida em lavouras e a que é verificada sob condições de elevado manejo pode ser atribuída a várias causas, como o uso de genótipos com baixo potencial de produtividade de grãos ou não adaptados à região de cultivo, épocas de semeadura impróprias, escolha inadequada de arranjos de plantas e aplicação de baixas doses de fertilizantes (SANGOI et al., 2010a).

Muitas pesquisas que envolvem a cultura do milho têm o fator do arranjo espacial de plantas como o alvo principal dos estudos (KAPPES et al., 2011; CALONEGO et al., 2011; TESTA et al., 2015). O ambiente interfere na resposta do rendimento de grãos de milho, conforme os ajustes no espaçamento entre linhas de plantio e também na densidade populacional de plantas, podendo ser mais pronunciadas, de acordo com as condições edafoclimáticas do local e de investimento em manejo oferecidas a comunidade de plantas durante seu crescimento e desenvolvimento (SCHMITT, 2014).

A capacidade competitiva entre as plantas afeta principalmente a quantidade e a qualidade da produção, além da eficiência do aproveitamento dos recursos disponíveis no ambiente, principalmente nas características fisiológicas associadas à

fotossíntese e ao acúmulo de massa (TAIZ; ZEIGER, 2009). A relação entre fotossíntese e a produção se torna bastante complexa por diversos fatores, entre os quais está a abertura estomática, a condutância de CO₂ no interior celular do mesofilo, a idade fenológica da planta e os estresses causados por fatores bióticos e abióticos (LEMOS, 2014). Martins (2010) avaliando a morfofisiologia de milho em estresse hídrico pôde observar maior eficiência de uso da água (EUA) para o tratamento de seca, pois este fato ocasionou uma elevação na eficiência do uso da água, uma vez que a menor abertura estomática limita mais a transpiração do que a entrada de CO₂, aumentando essa razão (FIRMANO et al., 2009).

Tradicionalmente a cultura do milho é implantada no Brasil em espaçamentos de 0,80 e 0,90 m entre linhas possibilitando o funcionamento adequado dos equipamentos de semeadura, tratos culturais e colheita (MATTOSO et al., 2006). O padrão de plantação da cultura do milho tem de voltar a ser pensado com uma redução no espaçamento entre linhas de plantas e uma equidistância mais equilibrada, pois plantas espaçadas de maneira mais uniforme competem minimamente pelos principais fatores de crescimento, como: luz, água e nutrientes (LI et al., 2015), conseqüentemente com esta redução haverá melhor interceptação da radiação solar, contribuindo para a maximização do rendimento final da cultura (ONYANGO, 2009).

No estado do Acre o milho comumente é plantado no espaçamento de 90 cm entre linhas de plantas (QUEIROZ et al., 2015), com um rendimento médio nas lavouras de grãos chegando a 2.350 kg ha⁻¹ (CONAB, 2017). Entretanto, é de grande importância avaliar práticas culturais que aumente a produtividade sem que a cultura sofra danos fisiológicos. Assim, os produtores de milho da região do estado do Acre se beneficiarão de método que aumente a produção de grãos. Sendo assim, esse trabalho teve como objetivo principal avaliar a relação dos espaçamentos entre linhas de plantio nos componentes de produção e características ecofisiológicas de diferentes híbridos de milho.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO MILHO

O milho (*Zea mays* L.) pertencente à família *Poaceae*, ao gênero *Zea* e espécie *Zea mays* L. é uma planta anual, monocotiledônea. A teoria mais aceita quanto à origem do milho é que tenha se originado diretamente do teosinto. O genitor do milho seria *Zea mays* subsp. *mexicana* ou *Zea mays* subsp. *parviglumis*, ambos conhecidos como teosintos. Estas subespécies apresentam caracteres em comum, como o mesmo número de cromossomos ($2n = 20$), além de serem capazes de cruzar com o milho resultando em descendentes férteis, apesar de já terem sido identificadas algumas barreiras genéticas entre elas (EVANS; KERMICLE, 2001).

A planta de milho, domesticada há mais ou menos 8.000 anos, não é mais capaz de sobreviver em sua forma selvagem, devido aos poucos alelos que controlam a morfologia da planta e a qualidade nutricional do grão, que foram fixados moldando uma espécie através da seleção de características desejáveis. Todo esse processo produziu um número elevado de genótipos, com características morfofisiológicas diferenciadas, tornando a espécie adaptada a vários ambientes (BUCKLER et al., 2006).

O grão mais consumido no mundo é o do milho, devido à sua versatilidade nas formas de consumo, sendo utilizado tanto na alimentação humana como animal. No Brasil, cerca de 60 a 80% dos grãos produzidos são usados para alimentação animal, essa porcentagem varia de acordo com a demanda do mercado, principalmente dos setores de produção de aves e suínos (DUARTE, 2010).

Segundo Paes (2006), um grão de milho possui massa média de 250 a 300 mg e sua composição média, em base seca, é de 72% de amido, 9,5% de proteínas, 9% de fibra e 4% de óleo, 5,5% de outros compostos. O grão é formado basicamente por quatro estruturas físicas, que são: endosperma (82%), gérmen (11%), pericarpo (5%) e ponta (2%). A proteína, principal fonte nutricional para alimentação animal, se encontra principalmente no endosperma e no gérmen.

Ainda que o Brasil ocupe a terceira posição mundial em área colhida de milho, os níveis de produtividade são baixos quando comparados aos dois maiores produtores mundiais, sendo o Estados Unidos da América e China, respectivamente

(AGRIANUAL, 2014). Na safra de 2015/2016 a produtividade média brasileira foi de apenas 5.441 kg ha⁻¹, enquanto que os Estados Unidos da América chegaram a 10.570 kg ha⁻¹, contra 5.890 kg ha⁻¹ na China (ABIMILHO, 2017). No Brasil, o milho é cultivado em praticamente todo o território nacional, onde é explorado na maioria das propriedades agrícolas, desde a pequena propriedade rural, onde é produzido com baixa tecnologia e com caráter de subsistência, até em grandes áreas, com emprego de alta tecnologia e elevada produtividade (AGRIANUAL, 2014).

No tocante a produtividade nacional na safra de 2015/2016 foi observado um rendimento médio de grãos de 5.441 kg ha⁻¹. Porém a produtividade variou entre as regiões, sendo que os estados que compõem a regional Centro-Sul obtiveram uma produtividade média entorno de 6.909 kg ha⁻¹ para safra. No mais, a região Nordeste possuiu um rendimento médio de 1.537 kg ha⁻¹, ficando atrás da produtividade média obtida pela região Norte com 3.142 kg ha⁻¹. Devido a essas variações entre as áreas produtoras do grão, a produtividade média brasileira é muito abaixo do potencial produtivo que a cultura pode alcançar (CONAB, 2017).

Os três estados brasileiros com maior rendimento de grãos de milhos da safra 2015/2016 são o estado do Mato Grosso do Sul com 9.000 kg ha⁻¹, seguido do Paraná com 7.953 kg ha⁻¹ e o estado de Goiás com 7.800 kg de grãos por hectare. Dentre os estados da região Norte, o estado do Acre se encontra numa posição intermediária em termos de produtividade chegando na safra de 2015/2016 a um rendimento médio de 2.350 kg ha⁻¹ (CONAB, 2017).

Os ótimos rendimentos obtidos pelos estados da regional Centro-Sul, principalmente Mato Grosso do Sul e Paraná, se deve às condições climáticas favoráveis e à utilização de materiais transgênicos de alta performance (CONAB, 2017). Segundo Sawazaki e Paterniani (2004) antes da década de 60, as cultivares de milho utilizadas, além de serem pouco produtivas, eram excessivamente altas, acamavam com facilidade e não toleravam altas densidades de semeadura. Com os trabalhos de melhoramento foram conseguidas mudanças expressivas não só na produtividade como na redução do porte das plantas, maior adaptabilidade a condições de estresse hídrico, menor acamamento, maior resistência a doenças e pragas e aprimoramento da qualidade nutritiva dos grãos (GUIMARÃES, 2008).

No estado do Acre os municípios que possuem maior área plantada de milho são: Sena Madureira, Rio Branco e Senador Guimard. Com relação a maiores

produtividades de grãos por área se destacam os municípios de Senador Guiomard, Rio Branco e Porto Acre, respectivamente (IBGE, 2013). Paiva (2011) cultivando um híbrido duplo em diferentes doses de adubação nitrogenada no município de Senador Guiomard – AC, no espaçamento de 90 cm entre linhas de plantas, alcançou produtividades entre 3.634 a 4.418 kg ha⁻¹, variando de forma linear com a quantidade de adubo nitrogenado.

2.2 HÍBRIDOS DE MILHO

A progênie do cruzamento de linhagens endogâmicas, ou indivíduos ou populações contrastantes, resultando em uma combinação que manifesta heterozigose nos locos gênicos, é o que chamamos rotineiramente de Híbrido (ALLARD, 1999). Para a produção de híbridos de milho Shull, em 1909, propôs que primeiramente se deveria obter linhagens puras por meio de autofecundações sucessivas para posterior hibridização, estabelecendo um método que prevalece até os dias atuais. Posteriormente, os primeiros híbridos só foram cultivados em 1920, nos Estados Unidos da América com híbridos duplos, seguidos dos híbridos triplos (1930) e finalmente os híbridos simples (1960), sendo observado aumentos crescentes em produtividade e melhores resultados para os híbridos simples (MACHADO, 2007).

Os híbridos ou variedades são os tipos de sementes de milho que podem ser encontradas no mercado, sendo que os híbridos podem ser simples, triplos ou duplos. O cruzamento de duas linhagens puras resulta em um híbrido simples, sendo recomendado para sistemas de produção que faz uso de alta tecnologia, pois possuem maior potencial produtivo, porém são os mais caros. Já o híbrido triplo é o cruzamento de uma linha pura e um híbrido simples, indicado para média e alta tecnologia, enquanto que o híbrido duplo indicado também para média tecnologia, é o resultado do cruzamento de dois híbridos simples (CRUZ et al., 2015).

Em uma visão mundial, a utilização de milho híbrido em lavouras está amplamente disseminada, e o Brasil com a utilização desses genótipos em suas lavouras é o terceiro maior produtor mundial, apesar do país apresentar uma baixa média de produtividade da cultura (CONAB, 2015). No entanto, com o uso de híbridos simples e triplos são alcançadas em algumas regiões nacional produtividades superiores a 12.000 kg ha⁻¹ (MENDES et al., 2011, OLIBONI et al.,

2012). Atualmente os programas de melhoramento genético disponibilizam uma grande quantidade de genótipos por safra, onde esses materiais têm uma curta permanência no mercado, sendo que dificilmente ficam dispostos por mais de quatro safras (EMBRAPA, 2011).

Uma cultivar de milho pode ser vendida tanto na forma convencional quanto com eventos transgênicos. No mercado brasileiro, para a safra agrícola 2014/2015, foram disponibilizadas 478 cultivares de milho, sendo 292 cultivares transgênicas e 186 cultivares convencionais, onde 320 cultivares foram, de fato, geneticamente diferentes e os demais 158 foram variações de eventos transgênicos no mesmo híbrido. Houve forte predomínio de híbridos simples (59,06%) e híbridos triplos (18,75%) de maior potencial genético, já os híbridos duplos representaram 11,25% e as variedades 10,94% (CRUZ et al., 2014). Para safra 2016/2017, estiveram disponíveis para os produtores brasileiros 315 cultivares de milho, onde 67,93% das cultivares eram transgênicas e 32,06% não apresentam nenhuma tecnologia transgênica, sendo esses chamados de convencionais (PEREIRA FILHO; BORGHI, 2016).

Para a produção de organismos geneticamente modificados é necessário a transformação genética desse ser. No caso da planta de milho ocorre a inserção de uma ou mais sequências de DNA no genoma da planta, onde na maioria das vezes essas sequências são isoladas de espécies diferentes, com o objetivo de garantir a expressão do gene desejado. As características contidas nos transgênicos fornecem vantagens, como resistência a pragas e doenças, tolerância a variações climáticas, aumento da qualidade e do valor nutricional das culturas, tolerância a alguns herbicidas, entre outros (CELLINI et al., 2004).

Segundo CTNBio (2010) a liberação para a comercialização e o plantio de organismos geneticamente modificados, no Brasil, dependem da aprovação da Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio) e do Conselho Nacional de Biossegurança (CNBs). No mercado estão disponíveis várias linhagens de milho transgênico que apresentam diferentes eventos de expressão com diferentes sequências de DNA recombinante introduzidas (JAMES, 2010).

Nos programas de melhoramento de milho, existe uma busca por genótipos que apresente retorno de altas produtividades em elevadas densidades populacionais, em torno de 80 mil a 100 mil plantas por hectare, e sob espaçamentos entre linhas mais reduzidos (DOURADO NETO et al., 2003). Dessa

maneira, a combinação do espaçamento entre as linhas e o número de plantas por metro tem sido discutida com a hipótese de que existe uma maior ou menor adaptação da cultura ao ambiente, decorrente das variações morfológicas e genéticas apresentadas pelos híbridos atuais, como forma de maximizar a produção de grãos pela otimização do uso de fatores de produção, como: água, luz e nutrientes disponíveis no agroecossistema (DOURADO NETO et al., 2003), melhor distribuição das raízes e redução das amplitudes térmicas na camada superficial do solo, nos estádios iniciais de desenvolvimento (SHARRAT; McWILLIAMS, 2005).

2.3 DENSIDADE DE SEMEADURA

Entre as gramíneas o milho é a mais sensível à alteração na densidade de plantas por área, entretanto, com o aparecimento de novos híbridos de ciclo mais precoce, com menores alturas, possuindo folhas mais eretas e em menor número, houve aumento na resposta da cultura a maiores densidades e menores espaçamentos entre linhas de plantas (GABRIEL, 2015). A ampliação da densidade populacional de plantas está em função da capacidade de suporte do meio e do sistema de produção utilizado, do tempo de duração de áreas foliares fotossintéticas ativas, da produtividade do genótipo utilizado, da época de semeadura e adequada distribuição espacial das plantas (CAVICHIOLO, 2011).

A população ou arranjo de plantas é alterado realizando modificações no espaçamento entre linhas de plantas ou no número de plantas por linha (DEMETRIO et al., 2008). Objetivando a livre condução de maquinários desde a realização da semeadura até a realização da colheita da cultura, no Brasil, o milho é tradicionalmente semeado em espaçamentos de 0,80 m e 0,90 m entre linhas de plantas (MATTOSE et al., 2006). Ainda é muito variado o espaçamento entre fileiras de milho nas lavouras, pois o interesse em cultivar o milho utilizando espaçamentos entre linhas reduzidos, de 0,45 a 0,60 m, tem sido o alvo de muitas pesquisas nos últimos anos nas mais diferentes regiões produtoras de milho, no mundo (PORTO, 2010; KAPPES et al., 2010; RIBAS et al., 2013; FOLONI et al., 2014; TESTA et al., 2015).

Entre as vantagens da utilização de espaçamentos mais estreitos, estão o aumento do rendimento de grãos em função de uma distribuição mais equidistante de plantas na área, aumentando a eficiência de utilização de luz solar, água e

nutrientes; redução da erosão, em consequência do efeito da cobertura antecipada da superfície do solo; melhor qualidade de plantio, através da menor velocidade de rotação dos sistemas de distribuição de sementes; e maximização da utilização de plantadoras, uma vez que diferentes culturas, como, por exemplo, milho e soja, poderão ser plantadas com o mesmo espaçamento, permitindo maior praticidade e ganho de tempo (CRUZ et al., 2015).

Nummer Filho e Hentschke (2006) observaram que no espaçamento de 80 cm entre as linhas de plantas de milho, ocorreu o sombreamento das plantas na mesma linha enquanto que grande quantidade de luz é perdida, uma vez que atinge o solo e não as plantas. Já no espaçamento reduzido (40 cm entre as linhas), a luz atinge um maior número de plantas e não ocorre o sombreamento entre plantas da mesma linha de semeadura. O sombreamento mais rápido do solo pode reduzir a perda de água por evaporação do solo e aumentar a eficiência e uso da água pelas plantas de milho (FORNASIERI FILHO, 2007). Neste sentido a utilização de espaçamento reduzido constitui-se numa prática de manejo cultural no cultivo do milho. Além disso, em condições de reduzida luminosidade e precipitação pluvial e deficiência de nutrientes, as plantas cultivadas em espaçamentos reduzidos podem apresentar maior aproveitamento dos recursos limitados (KAPPES et al., 2010).

Segundo Silva et al. (2006), a redução do espaçamento pode apresentar algumas limitações, sendo por isso, necessário avaliar tanto os aspectos agronômicos como os econômicos. Uma das maiores dificuldades para a implantação de espaçamentos reduzidos entre linhas de plantas se refere aos ajustes necessários na aplicação de tratamentos culturais durante o ciclo da planta e, principalmente, na operação de colheita, pois as plataformas usuais de corte das colheitadeiras são ajustadas ao recolhimento de espigas entre 70 e 90 cm entre as linhas. Assim, a redução do espaçamento entre as linhas motiva a aquisição de máquinas e de equipamentos novos ou de adaptação das existentes.

Com o aumento de população de plantas alguns híbridos de milho apresentam um aumento significativo na produtividade de grãos, entretanto há genótipos que não toleram maior densidade populacional, com reflexo na redução da produtividade (GABRIEL, 2015). Porém, o aumento excessivo na densidade de plantio pode influenciar nas características da planta, como por exemplo, a redução no número de espigas por planta (índice de espigas) e o tamanho das espigas, além

de reduzir o diâmetro do colmo, resultando em maior susceptibilidade ao acamamento e ao quebramento da planta (CRUZ et al., 2015).

Sobre o maior espaçamento entre linhas, Ribas et al. (2013) constataram que as plantas de milho são mais altas. Resultados semelhantes foram observados por Porto (2010) em que, à medida que se aumentou o espaçamento entre linhas, aumentou-se a altura de inserção da espiga, constando um acréscimo de 49 cm na altura de inserção da espiga para cada aumento de 10 cm no espaçamento. Segundo os autores, o efeito combinado da competição intraespecífica por luz e estímulo da dominância apical foi a causa para o aumento da altura de plantas. Entretanto, Gilo et al. (2011) e Kappes et al. (2011) não encontraram interação e diferenças significativas para altura de plantas, diâmetro do colmo e altura de inserção da primeira espiga, ao comparar espaçamentos entre linhas, e apenas constataram diferenças entre híbridos devido a variabilidade genética.

Sendo assim, a densidade de semeadura exige cuidadoso estudo, devido às diversas interações que ocorrem entre as plantas de milho e o ambiente, afetando a arquitetura da planta, alterando o padrão de crescimento e desenvolvimento fisiológico e influenciando na produção de carboidratos (SANGOI, 2001).

2.4 ECOFISIOLOGIA

A espécie *Zea mays* L. é uma gramínea anual que possui grande adaptação a diferentes condições climáticas, a qual pertence ao grupo de plantas com metabolismo fotossintético do tipo C4. A temperatura do ar média ideal para o desenvolvimento da cultura do milho está situada entre 10 e 30 °C, porém, apresenta sua máxima produtividade em temperaturas elevadas e alta radiação solar incidente, além de requerer um suprimento hídrico adequado durante seu ciclo vegetativo. A radiação solar incidente fotossinteticamente ativa está situada na faixa de 400 a 700 nanômetros de comprimento de onda (KUNTZ, 2005).

As plantas sob condições ambientais adversas, apresentam desempenho fotossintético diverso e cada espécie de planta é capaz de desencadear mecanismos adaptativos distintos para lidar com condições estressantes específicas (COUSINS et al., 2014). Na fotossíntese, para as reações dependentes da luz, os fótons são absorvidos pelos sistemas de clorofila da antena levando à excitação do par especial de clorofila seguidos por separação de água e separação de carga para

produzir NADPH e ATP. Esse ATP gerado e/ou NADPH são consumidos para sintetizar açúcar e outras moléculas orgânicas de dióxido de carbono (MARENCO et al., 2014).

As plantas C4 provavelmente são oriundas de anos de evolução das C3, onde muitas mudanças ocorreram na fisiologia da planta a fim de minimizar a atividade da oxigenase na Rubisco e a consequente perda de carbono por meio do ciclo fotorrespiratório (BEERLING; ROYER, 2011; GERHART; WARD, 2010; TIPPLE; PAGANI, 2007). O ciclo C4, conhecido também por Hatch-Slack, tem sido associado com uma estrutura denominada de “anatomia Kranz” que exhibe um anel interno de células de bainha do feixe e as células do mesófilo em contato com a epiderme, assim há a compartimentalização das enzimas essenciais para o funcionamento da rota. Os primeiros compostos estáveis da fotossíntese de plantas que possuem essa anatomia é o malato ou aspartato, que possuem 4 carbonos (SAGE; SAGE, 2009).

As plantas C4 são reconhecidas principalmente pela descarboxilação, com o transporte de CO₂ da atmosfera para as células da bainha através de cinco estágios. Primeiro: na célula do mesófilo ocorre a fixação do bicarbonato (HCO₃⁻) pela carboxilação do fosfoenolpiruvato catalisado pela PEPcase. A substância de quatro carbonos da reação, oxalacetato, é reduzido a malato pela NADP-malato desidrogenase ou convertido a aspartato pela aspartato aminotransferase. Segundo: o transporte do ácido de quatro carbonos para as células da bainha do feixe vascular. Terceiro: A enzima de descarboxilação, libera o CO₂ da substância de quatro carbonos, que então é produzido um ácido de três carbonos, por exemplo o piruvato. A captura do CO₂ liberado para supressão efetiva da reação oxigenase da Rubisco. Quarto: o ácido de três carbonos flui de volta à célula do mesófilo. Quinto: regeneração do aceptor HCO₃, o piruvato é convertido a fosfoenolpiruvato. A partir de então, uma molécula adicional e ATP transforma AMP a ADP, catalisada pela adenilatoquinase. O carbono liberado na bainha é admitido no ciclo C3 e deixa o cloroplasto após ser convertido a sacarose no citoplasma, que entra no floema para translocação a outras partes da planta (CHRISTIN; BESNARD, 2009; MUHAIDAT et al., 2011; SAGE et al., 2011; SAGE et al., 2012).

Diante da capacidade fotossintética das plantas há fatores internos e externos que influenciam nesse aparato fisiológico (MARENCO et al., 2014). Os fatores externos incluem disponibilidade de água e nutrientes, temperatura, irradiância e

concentração de CO₂. Já os fatores internos incluem fatores genéticos propriamente ditos, espessura da lâmina foliar, teor de clorofila, idade da folha e em algumas plantas ritmos endógenos associados ao funcionamento celular (CHATURVEDI et al., 2011).

Apesar do estresse ser prejudicial às plantas, alterando os mecanismos de trocas gasosas e os processos dependentes, algumas plantas apresentam boa capacidade de resiliência, demonstrando alta taxa de atividade biológica e aumento do crescimento e capacidade fotossintética. Entretanto, quando são submetidas à estresses abióticos severos não conseguem retomar seu estado de desenvolvimento (EFEOGLU et al., 2009; FLEXAS; MEDRANO, 2002; MONTANARO et al., 2007; XU et al., 2009).

Os vegetais exibem um conjunto de estratégias de aclimação para manter as taxas de fotossíntese adequadas em resposta aos estresses indutores abióticos, como temperaturas altas, competição intra-específicas e altos níveis de luz. Sendo assim, é interessante compreender as repostas diretas da fotossíntese quanto à luz, temperatura, concentração interna de CO₂ e indiretas mediadas por efeitos estomáticos, umidade do ar e solo, pois a produtividade dos vegetais depende das taxas fotossintéticas (LIU; HUANG, 2008; CHAVES et al., 2009; GONZÁLEZ-CRUZ; PASTENES, 2012).

As plantas dependem da energia luminosa para sobreviver e parte da radiação incidente na superfície da folha não é utilizada nos processos fotoquímicos, podendo ser refletida e/ou transmitida e até mesmo perdida de várias formas (TAIZ; ZEIGER, 2013). O estudo da fluorescência permite a aquisição de importantes informações à cerca dos processos que acontecem por meio da energia de excitação que ocorrem nas membranas dos tilacóides em presença de luz (ROHÁČEK, 2002), o que poderia ser de grande utilidade na identificação e compreensão dos contrastes morfofisiológicos existentes em diferentes genótipos e na determinação das características fotossintéticas que contribuem para uma maior produtividade (KUMAGAI et al., 2007).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido durante a safra agrícola 2016/2017 na área experimental da Fazenda São João, localizada no município de Senador Guimard, BR 317, km 57 (estrada para Boca do Acre – AM), Estado do Acre, situada a $09^{\circ} 50,9' S$, $67^{\circ} 26,4' W$, em *datum* WGS84, com altitude de 190 m. O relevo é caracterizado como suave ondulado a ondulado.

Na área observada na Figura 1 o milho é cultivado em sistema de cultivo mínimo há mais de oito anos, sem o sistema de rotação de culturas.



Figura 1. Vista aérea da área experimental, Fazenda São João, Senador Guimard – Acre (2016). Fonte: Google earth

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

O solo predominante da área, conforme a classificação dos solos do município de Senador Guimard, Estado do Acre, é o argissolo vermelho distrófico e de textura média a argilosa, o qual foi ocupado por floresta equatorial densa, sendo constituída por árvores verdes, com folhas largas e troncos delgados (RODRIGUES et al., 2003). Atualmente vem sendo explorado por culturas anuais e perenes. Antes

da instalação do experimento, foram realizadas amostragens do solo da área na camada de 0 a 0,2 m, cujo resultado é descrito na Tabela 1.

Tabela 1. Análise química do solo da área experimental na camada de 0 a 20 cm.

Macronutrientes e Resultados Complementares*											
pH		P	K	Ca	Mg	Al	H	S	CTC	V	MO
H ₂ O	CaCl ₂	----mg/dm ³ ----		-----cmol /dm ³ -----			----cmol /dm ³ ----		%	g/dm ³	
5,4	4,6	10,4	45,3	1,30	0,50	0,25	3,35	1,92	5,52	34,78	20,6

*pH – potencial hidrogeniônico em água e cloreto de cálcio; S – soma de bases; CTC – capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V – saturação por bases; MO – matéria orgânica.

3.3 DADOS CLIMÁTICOS DA SAFRA AGRÍCOLA 2016/2017

Para a região de estudo o clima predominante segundo a classificação de Köppen é do tipo Am, equatorial quente e úmido, caracterizado por altas temperaturas do ar, com média anual em torno de 25 °C e elevados índices de precipitação pluviométrica anual variando entre 1.400 a 2.500 mm, com estação seca bem acentuada nos meses de junho, julho e agosto (COSTA et al., 2012).

As condições climáticas durante o período experimental foram coletadas por estação meteorológica instalada na Fazenda, cujos dados são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2. Condições climáticas registradas na área, no período de desenvolvimento do experimento (Outubro/2016 a Março/2017).

Período do Experimento	Variáveis Climáticas				
	Temperatura do Ar (°C)	Umidade Relativa do ar (%)	Radiação Solar (W m ⁻²)	RFA (μmol m ⁻² s ⁻¹)	Chuva (mm)
Out/2016	26,3	79,5	651	334	238
Nov/2016	26,3	81,1	644	336	241,6
Dez/2016	25,9	84,5	588	338	364,4
Jan/2017	25,2	87,3	514	333	341,3
Fev/2017	25,4	87,0	576	337	236,5*
Mar/2017	25,7*	90,0*	*	*	419*

RFA: Radiação Fotossinteticamente Ativa. *Valores extraídos do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

3.4 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Os tratamentos avaliados neste estudo constituíram de três diferentes híbridos e quatro espaçamentos, com quatro repetições. Os tratamentos resultaram em combinações dos híbridos de milho com os espaçamentos. Os híbridos utilizados foram os seguintes: 2B 655 PW (H1); AG 7088 PRO3 (H2) e P4285 YHR (H3). Os espaçamentos adotados foram 40, 60, 80 e 95 cm (E1, E2, E3 e E4) entre as linhas, totalizando uma população final de 125.000; 83.333; 62.500 e 52.632 plantas ha⁻¹, respectivamente.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas, com quatro repetições. Os híbridos foram alocados nas parcelas, e nas subparcelas foram inseridos os espaçamentos entre linhas de plantas. A representação do delineamento experimental do estudo está representada na Figura 2.

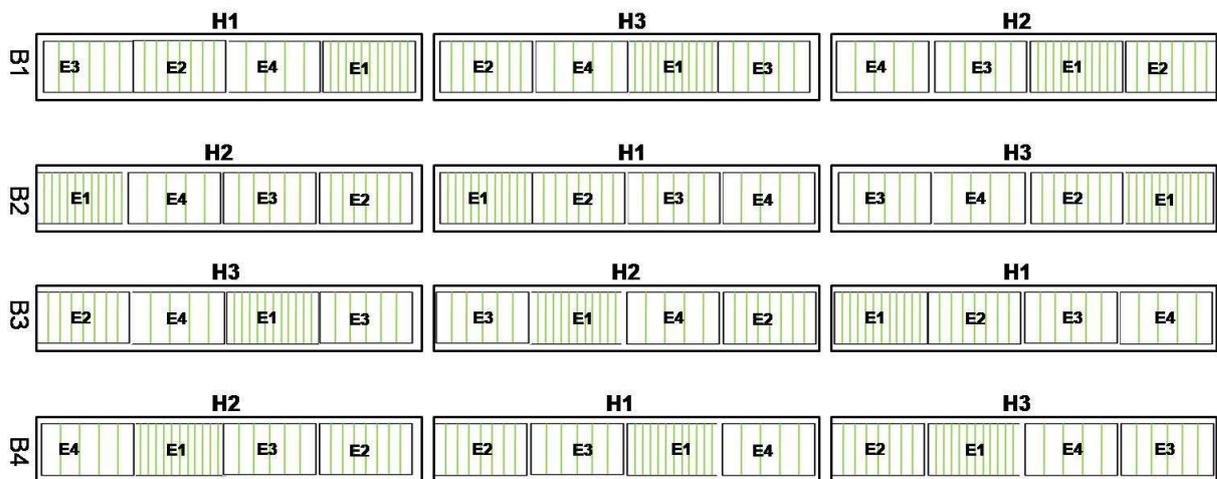


Figura 2. Esquemática da área experimental, com os híbridos nas parcelas e espaçamentos nas subparcelas.

Cada parcela dispõe de 96 m² onde foram plantados os híbridos. A área das parcelas foi dividida em quatro subparcelas de 24 m² de área, onde foram implantados os diferentes espaçamentos entre linhas de plantas. No espaçamento de 40 cm entre as linhas de plantas, cada subparcela obtendo 24 m² foram constituídas de doze linhas com cinco metros de comprimento cada, sendo consideradas como área útil as dez linhas centrais (Fig. 3). Com o espaçamento de 60 cm entre as linhas, cada subparcela com 24 m² foi constituída de oito linhas com

cinco metros de comprimento cada, sendo consideradas para avaliação as seis linhas centrais (Fig. 4). Para o espaçamento de 80 cm entre as linhas, cada subparcela com 24 m² foram constituídas de seis linhas com cinco metros de comprimento cada, sendo considerada as quatro linhas centrais como área útil (Fig. 5). Já o espaçamento de 95 cm entre as linhas, cada subparcela possuiu cinco linhas com cinco metros de comprimento cada, sendo consideradas como área útil as três linhas centrais (Fig. 6).

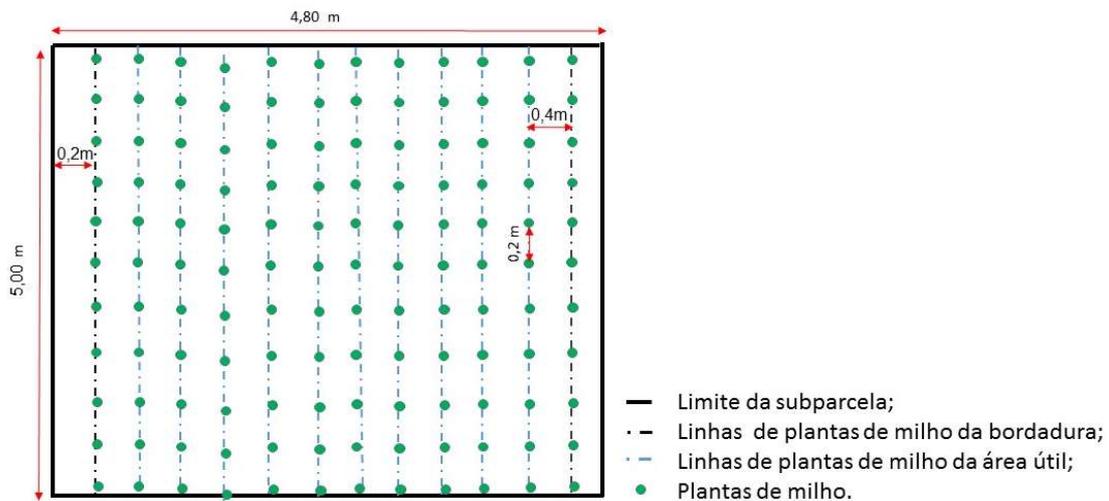


Figura 3. Esquematização da subparcela no espaçamento de 40 cm entre linhas de plantas.

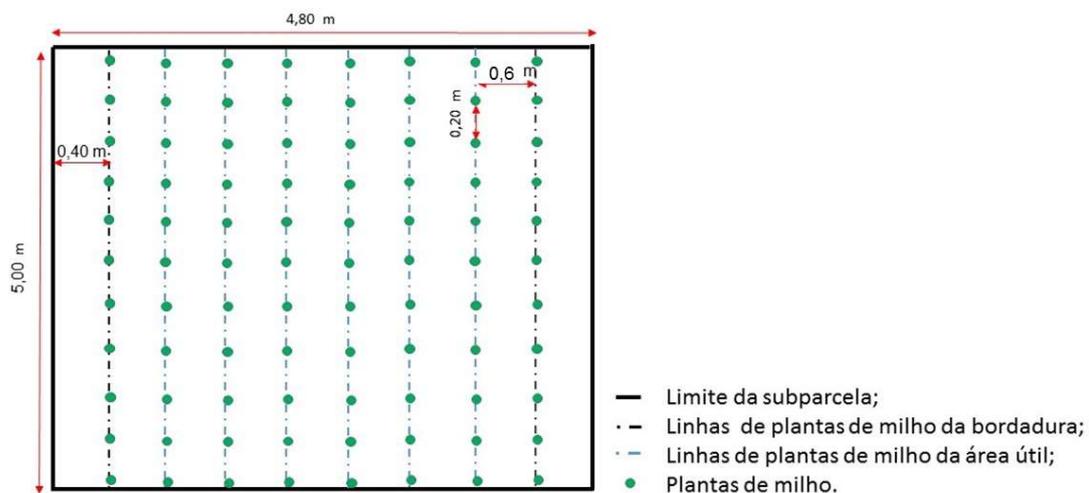


Figura 4. Esquematização da subparcela no espaçamento de 60 cm entre linhas de plantas.

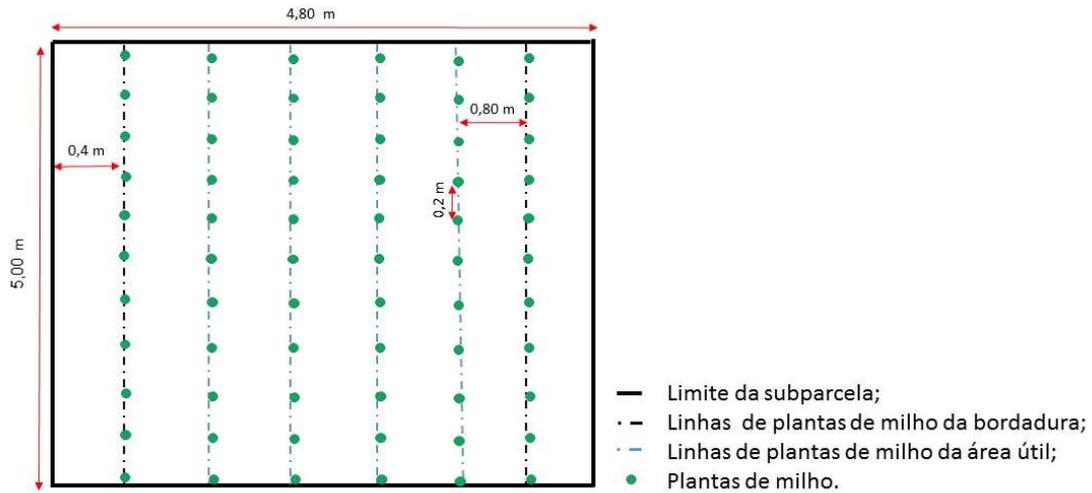


Figura 5. Esquematização da subparcela no espaçamento de 80 cm entre linhas de plantas.

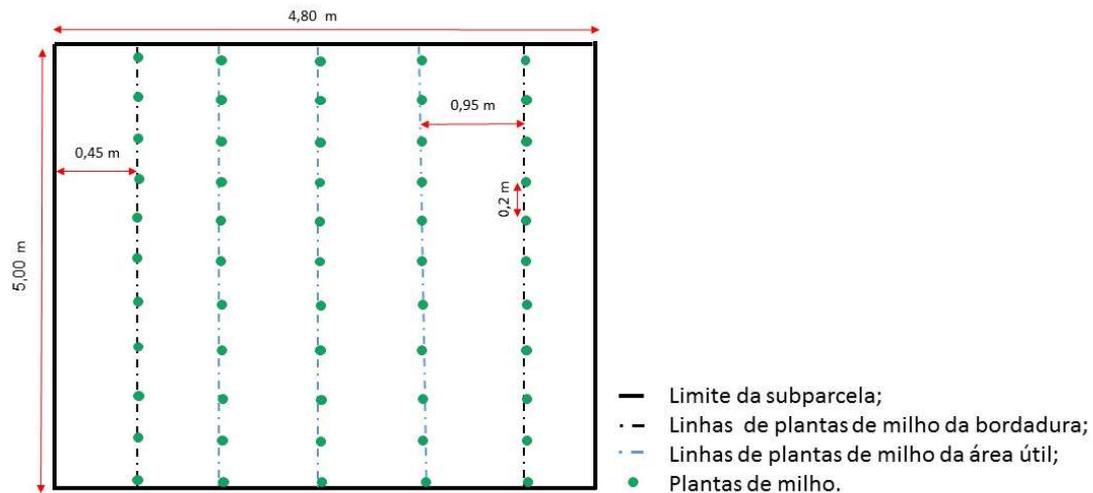


Figura 6. Esquematização da subparcela no espaçamento de 95 cm entre linhas de plantas.

Em todas as subparcelas foram descartadas as linhas de plantas de cada borda sendo considerada as demais como área útil, sendo que para todas as fileiras da área útil foram excluído 0,5 m de cada extremidade.

3.5 CARACTERIZAÇÃO DOS HÍBRIDOS DE MILHO

Visando obter resultados que tenham representatividade para as lavouras comerciais, foram utilizados híbridos para produção de grãos recomendados para o cultivo no município, atualmente utilizados por produtores da região, cujas características obtidas das empresas produtoras das sementes estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3: Principais características agrônômicas dos híbridos de milho utilizados no estudo.

Características	Híbridos		
	2B 655 PW	AG 7088 PRO 3	P 4285 YHR
Transgênica	Sim	Sim	Sim
Tipo	HT	HS	HS
Ciclo	P	P	P
Graus Dias ⁽¹⁾	840	880	120 dias
Uso	G/PSI/SGU	GRÃO	G/SPI
População ⁽²⁾	50 – 60	55 – 65	55 – 65
Época de Semeadura	N/T/S	C/N/S	N/S
Textura do grão	SEMIDURO	SEMIDURO	DURO
Altura da Planta (m)	2,15	2,30	3
Altura da Espiga (m)	1,20	1,30	1,30
Resistência ao acamamento	A	A	SI
<i>Spodoptera frugiperda</i>	R	R	R
<i>Cercospora sorgi</i>	MR	T	MR
<i>Puccinia polysora</i>	MR	T	MR
<i>Phaeosphaeria maydis</i>	MR	T	MR

*HT - Híbrido triplo; HS - Híbrido simples; P - Precoce; G – Grãos; PSI – Silagem da Planta Inteira; SGU – Silagem de Grãos Úmidos; A – Alta; N – Normal; T – Tarde; S – Safrinha; C – Cedo; SI – Sem Informação; MR – Mediamente Resistente; T – Tolerante; R – Resistente; ⁽¹⁾ valores sem especificação se referem a graus dias em °C; ⁽²⁾ mil plantas ha⁻¹.

3.6 IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO E TRATOS CULTURAIS

Na semana anterior a semeadura, as plantas daninhas presentes na área foram dessecadas com glifosato (herbicida sistêmico do grupo químico derivados de glicina), na dose de 1.920 g ha^{-1} do i. a. (ingrediente ativo), sendo mantida a massa seca das plantas dessecadas como cobertura. A semeadura foi realizada em sistema de plantio de cultivo mínimo no dia 19 de novembro de 2016 de forma manual, em sulcos espaçados com a distância de acordo com os espaçamentos desejados, porém a separação entre as plantas nas linhas de plantio foi de $0,20 \text{ m}$ em todos os tratamentos, sendo utilizado uma semente por cova.

A adubação foi realizada com base nas características químicas do solo e nas recomendações propostas por Coelho (2006), com rendimento esperado de 8 t ha^{-1} para uma população de $50.000 \text{ plantas ha}^{-1}$, sendo aplicados 60 kg P ha^{-1} , 80 kg K ha^{-1} e 120 kg N ha^{-1} (20% na base, 35% no estágio V4 e 35% no estágio V8) ajustando-se a distribuição dos fertilizantes para cada espaçamento.

Considerando que todos os híbridos utilizados eram transgênicos, apresentando o gene que expressa resistência a lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith)), assim não foi realizado controle químico da praga, tendo em vista seu baixo grau de ataque na lavoura. Por sua vez, práticas culturais, como controle de ervas daninhas, foram realizadas nos dias 09 de dezembro de 2016 e dia 21 de janeiro de 2017 com uso do glifosato, na dose de 1.920 g ha^{-1} do i.a. No controle da cigarrinha-das-pastagem (*Deois flavopicta* S.) foi aplicado no dia 09 de dezembro de 2016 o inseticida Decis (produto de contato e ingestão do grupo químico piretróide) na dose de 5 g ha^{-1} do i.a.

3.7 AVALIAÇÕES

3.7.1 Caracteres fisiológicos dos híbridos

As medidas de assimilação de CO_2 e trocas gasosas foram realizadas com um analisador de gás no infravermelho - IRGA, modelo LI-6400XT (Li-Cor Inc., Lincoln, EUA), que mede a assimilação de CO_2 atmosférico, sendo possível calcular a fotossíntese líquida, e as trocas gasosas, resultando nas medidas de transpiração foliar e condutância estomática. Ao mesmo tempo, foram realizadas

avaliações de fluorescência da clorofila *a* nas mesmas folhas com um fluorômetro acoplado ao IRGA, modelo LI-6400-40. Estas medidas foram realizadas em folhas adaptadas ao claro.

Estas avaliações de trocas gasosas e de fluorescência da clorofila *a* foram realizadas entre 10:00 e 12:00 horas do mesmo dia, em uma planta para cada tratamento nos quatro blocos, totalizando 48 indivíduos amostrais por período de avaliação. As avaliações ocorreram em dois períodos: 1° - no estágio de desenvolvimento vegetativo V8 (20 de dezembro de 2017); e 2° - no estágio de florescimento completo VT (20 de janeiro de 2017). Estas avaliações foram realizadas na região mediana das folhas bandeira, completamente expostas a radiação solar, e evitando-se a nervura central. A densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) foi mantida em $1000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ e o CO_2 de referência em $380 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$, compatível com a concentração de CO_2 ambiente.

As variáveis de trocas gasosas analisadas foram: taxa de assimilação de CO_2 (P_N); condutância estomática (g_s); concentração intercelular de CO_2 (C_i) e transpiração foliar (E). Ainda foram calculadas a eficiência de uso da água (EUA) e a eficiência de carboxilação (EC), através da relação entre CO_2 assimilado e transpiração e do CO_2 assimilado com o CO_2 intercelular, respectivamente, nas folhas dos híbridos de milho avaliados. Nas análises de fluorescência da clorofila *a*, foram avaliados o rendimento quântico efetivo do PSII ($\Delta F/F_m'$), o *quenching* fotoquímico (qP) e a taxa aparente de transferência de elétrons no PSII (ETR).

3.7.2 Caracteres morfológicos dos híbridos

Quando as plantas das áreas úteis se encontravam no estágio de pendoamento (VT), no instante em que a inflorescência masculina está completamente visível, foram avaliadas as características morfológicas dos híbridos: Área Foliar (cm^2); Altura de plantas (m); Altura de inserção de espiga (m); e Diâmetro do colmo (mm).

- Área foliar fotossinteticamente ativa

No florescimento completo das plantas foi medida a área foliar para determinação da área fotossinteticamente ativa dos híbridos. A área foliar foi obtida

medindo-se em uma planta, escolhida aleatoriamente na área útil de cada subparcela, todas as folhas fotossinteticamente ativas da planta, sendo considerada aquelas que apresentaram pelo menos 50% de sua área foliar verde, de acordo com Borrás et al. (2003).

A área foliar fotossinteticamente ativa (A) foi estimada aplicando-se a Equação 1:

$$A = \sum (C * L * 0,75) \quad (1)$$

A = área foliar (cm²);

C = Comprimento da base à extremidade da folha (cm);

L = Maior largura da folha (cm).

O valor 0,75 é um coeficiente de correção, uma vez que as folhas não apresentam área retangular.

- Altura de planta

Por ocasião do pleno florescimento foi realizada a determinação da altura média de planta, medindo da superfície do solo até a base da folha “bandeira”, com auxílio de régua graduada de madeira. Foram avaliadas dez plantas da área útil escolhidas aleatoriamente em cada subparcela.

- Altura de inserção de espiga

A altura média de inserção de espiga foi obtida em pleno florescimento pela distância entre a superfície do solo e o ponto de inserção da espiga mais elevada. Foram consideradas as mesmas plantas utilizadas para a determinação da altura média de planta.

- Diâmetro de colmo

Simultaneamente, das determinações de altura de planta e de inserção de espiga foi determinado o diâmetro de colmo. Considerou-se o diâmetro do segundo internódio, a partir da base da planta, o qual foi mensurado pelo uso de um

paquímetro digital. Vale ressaltar que tal determinação foi realizada por ocasião do pleno florescimento e que as plantas avaliadas foram as mesmas utilizadas na obtenção da altura média de planta e de inserção de espiga.

3.7.3 Componentes de produção

Por ocasião da colheita que ocorreu no dia 22 de março de 2017, foi avaliado o número total de espigas (espigas.ha^{-1}), número de grãos por espiga ($\text{grãos.espigas}^{-1}$), massa de 100 grãos (g) e rendimento de grãos (t ha^{-1}).

- Número total de espigas

Todas as espigas da área útil de cada sub parcela foram colhidas e posteriormente foi extrapolado para o total de espiga por hectare.

- Número de grãos por espiga

Das espigas colhidas da área útil de cada sub parcela foram tomadas ao acaso dez espigas, nelas foi multiplicado o número de fileiras de grãos pelo número de grãos na fileira para assim obter o número de grãos por espiga.

- Massa de 100 grãos

Após a debulha das espigas utilizadas para contagem dos números de grãos, determinou-se a massa média desses grãos, onde todos os grãos tiveram a massa medida por meio de uma balança de precisão (0,01 g) e à determinação do teor de água, possibilitando estimar a massa dos grãos corrigida para 13% de umidade. Os resultados foram estimados para massa de 100 grãos. Cabe salientar que o teor de água dos grãos foi obtido pelo método elétrico não-destrutivo indireto, mediante o uso do aparelho portátil G600 (GEHAKA, versão 3,95), o qual propicia leitura da umidade de uma amostra de grãos direta em display digital.

- Rendimento de grãos

O rendimento de grãos foi obtido a partir da debulha e medida da massa (kg) dos grãos oriundos de todas espigas colhidas na área útil da subparcela, o qual foi corrigido para um teor de umidade de 13%, por meio da Equação 2 (PORTO, 2010):

$$P13\% = [Po (100 - U) / 0,87] / 1000 \quad (2)$$

P13% = Produtividade de grãos (t.ha⁻¹) corrigida para a umidade padrão de 13%;

Po = (Estande.ha⁻¹ * Rendimento da parcela (kg) / estande da parcela);

U = umidade do grão no momento da colheita (%).

3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para verificar os pressupostos da Análise de Variância foram realizados os testes de Kolmogorov-Smirnov para normalidade e Bartlett para homogeneidade das variâncias ambos ao nível de significância $\alpha=0,05$. A rotina de cálculos para a determinação das referidas estatísticas foi realizada por meio do software ASSISTAT (SILVA; AZEVEDO, 2016). Para os casos em que, os pressupostos não foram atendidos aplicou-se um método de transformação dos valores das variáveis de fotossíntese líquida, taxa aparente do transporte de elétrons, *quenching* fotoquímico e rendimento quântico efetivo do fotossistema II, todos do segundo período de avaliação das análises fisiológicas dos híbridos.

O processo empregado para transformar os dados deste estudo foi o de Johnson, utilizando-se o programa estatístico de acesso livre Action 3.4. Segundo Moraes (2006), o método foi desenvolvido em 1949 por Norman L. Johnson, onde consiste em converter uma variável x para a distribuição normal padronizada. A transformação é definida por uma das três fórmulas a partir da determinação dos parâmetros γ (Gamma), η (Eta), ε (Épsilon) e λ (Lambda), sendo utilizadas três famílias de distribuição:

a) Família SB (onde o índice B provém de bounded ou limitado);

$$S_B : k_2(X, \lambda, \varepsilon) = \ln \left(\frac{X - \varepsilon}{\lambda + \varepsilon - X} \right), \quad \text{em que } \varepsilon < X < \varepsilon + \lambda$$

b) Família SL (onde o índice L significa Log normal);

$$S_L : k_3(X, \lambda, \varepsilon) = \ln \left(\frac{X - \varepsilon}{\lambda} \right), \quad \text{em que } \varepsilon < X < \infty$$

c) Família SU (onde o índice U provém de unbounded ou ilimitado);

$$S_U : k_1(X, \lambda, \varepsilon) = \operatorname{senh}^{-1} \left(\frac{X - \varepsilon}{\lambda} \right), \quad \text{em que } -\infty < X < \infty$$

Os dados, seguindo a distribuição normal, foram submetidos à análise de variância, e quando significativos às médias foram comparadas por meio do teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade, realizadas por meio do software ASSISTAT (SILVA; AZEVEDO, 2016).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PRIMEIRO PERÍODO DE AVALIAÇÃO

4.1.1 Avaliação de fotossíntese e trocas gasosas

Para as variáveis de trocas gasosas avaliadas no estágio de desenvolvimento vegetativo oito (V8) dos híbridos de milho em seus respectivos espaçamentos (Fig. 7), não foram observadas diferenças significativas ($p > 0,05$) para a fotossíntese líquida. Por outro lado, foram encontradas diferenças ($p < 0,05$) tanto entre os híbridos como entre os espaçamentos, para as variáveis de concentração intercelular de CO_2 (C_i), condutância estomática (g_s) e transpiração foliar (E).

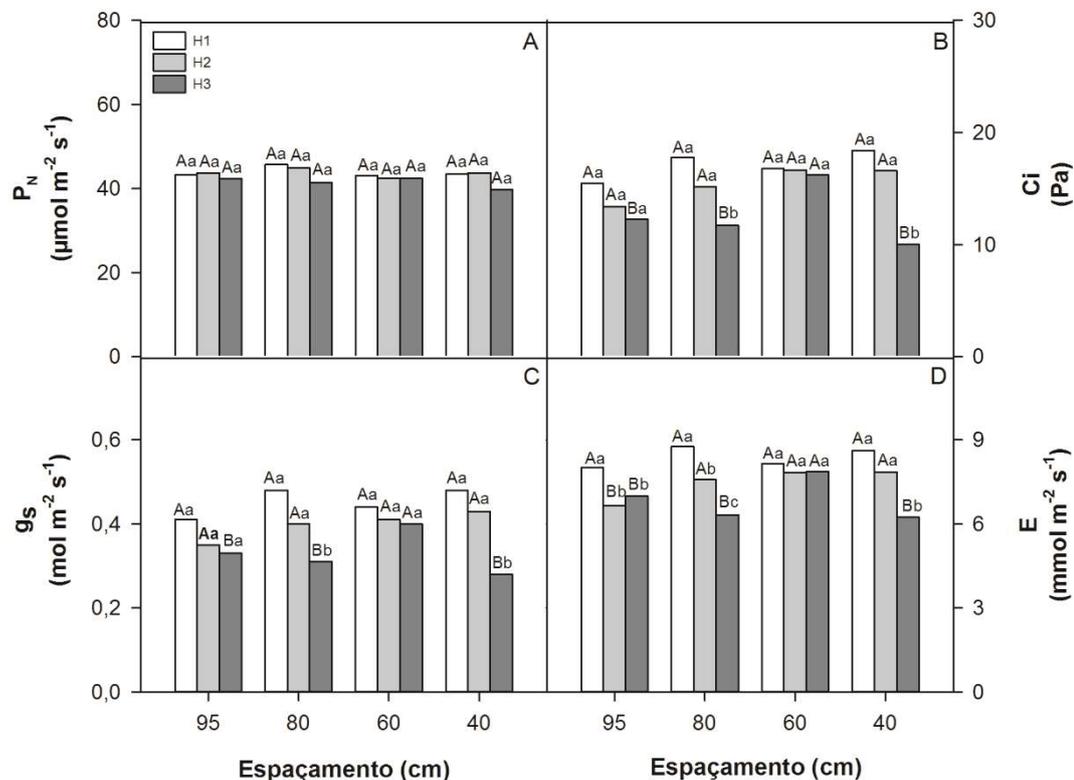


Figura 7: Fotossíntese Líquida (A); Concentração Intercelular de CO_2 (B); Condutância estomática (C) e Transpiração (D) realizado no estágio V8 nos híbridos de milho: 2B 655 PW (H1), AG 7088 PRO3 (H2) e P 4285 YHR (H3). (As médias seguida da mesma letra maiúscula entre os espaçamentos de um mesmo híbrido e letras minúscula entre os híbridos dentro do espaçamento, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade).

Os diferentes híbridos semeados a 95 e 60 cm entre linhas de plantas não apresentaram diferenças na C_i (Fig. 7B). Entretanto, no espaçamento de 80 cm foi constatado que o H3 apresentou um valor 34% inferior ao da C_i registrada para o H1. No espaçamento mais reduzido, com 40 cm de distância entre as fileiras, o H3

expôs um valor 45% menor na C_i comparado ao do H1 que obteve maior média. Concomitantemente, as plantas do híbrido H3 mostraram-se bastante sensíveis quanto a variação de C_i em função do espaçamento, quando em 60 cm entre linhas de plantas verificou-se maior média dentre os espaçamentos.

Nos resultados de condutância estomática (Fig. 7C) foi observado que no espaçamento de 95 cm não houve diferença entre os híbridos. Porém, no tratamento de 80 cm o H3 apresentou redução de 35% na condutância dos estômatos comparada as plantas do H1. Quando os híbridos são cultivados em espaçamento reduzido (40 cm) a condutância estomática do H3 apresentou-se 44% menor do que o valor alcançado pelo híbrido com maior média (H1). No tocante a variação entre os espaçamentos, foi verificada apenas diferença significativa para o H3, onde as plantas testadas no de 60 cm obtiveram uma maior abertura dos estômatos, com 24%, 28% e 38% maior que dos espaçamentos 95, 80 e 40 cm, respectivamente.

Para a transpiração (Fig. 7D), as plantas do H1 nos espaçamentos testados apresentaram resultados significativamente superior aos demais híbridos, exceto na distância de 60 cm entre linhas de plantas onde as cultivares apresentaram resultados iguais estatisticamente. Em contrapartida, foi observado que a transpiração do H2 no espaçamento de 95 cm foi menor quanto aos demais espaçamentos. Por outro lado, no H3 foi verificado que em espaçamento de 60 cm as plantas transpiram em taxas mais elevadas.

Contudo, foi constatado somente no H3 uma menor condutância estomática, seguida de menor transpiração e concentração interna de CO_2 , principalmente em espaçamento reduzidos, para realizar uma taxa fotossintética iguais aos demais híbridos. Tais resultados se assemelham aos do estudo realizado por Gomes et al. (2011) que, avaliando a resposta de crescimento e fisiologia do milho submetido a estresse salino e a diferentes espaçamentos entre linhas de plantas (50, 70 e 90 cm), constataram que não houve diferença para a P_N das plantas entre os espaçamentos.

Para manutenção da taxa de fotossíntese com a redução da abertura estomática, há necessidade de maior eficiência em consumir o carbono que se encontra internamente ao mesófilo foliar (LEMOS, 2014), fato observado para o H3. Lemos et al. (2012), trabalhando com milho em competição, observaram redução da g_s , porém sem decréscimos na taxa fotossintética do milho. Mesmo com aumento da limitação estomática e diminuição da concentração de CO_2 , a enzima fosfoenol

piruvato carboxilase (PEPcase) atua eficientemente em baixos níveis de CO₂, o que favorece em plantas C4 a manutenção do potencial fotossintético (TAIZ; ZEIGER, 2009).

4.1.2 Eficiência de uso da água e de carboxilação

A respeito dos resultados obtidos quanto a eficiência de uso da água (EUA) e de carboxilação (EC), foi observado que em ambos ocorreram diferenças significativas ($p < 0,05$) para os híbridos dentro dos espaçamentos e entre os espaçamentos para o mesmo híbrido (Fig. 8).

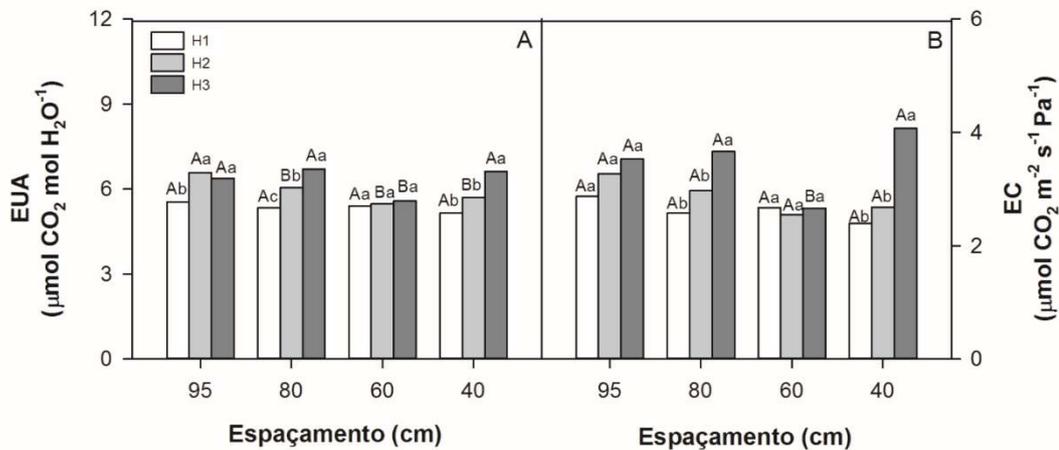


Figura 8: Eficiência de Uso da Água (A) e Eficiência de Carboxilação (B) da avaliação realizada no estádio V8 dos híbridos de milho: 2B 655 PW (H1), AG 7088 PRO3 (H2) e P 4285 YHR (H3). (As médias seguida da mesma letra maiúscula entre os espaçamentos de um mesmo híbrido e letras minúscula entre os híbridos dentro do espaçamento, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade).

O H1 foi o que apresentou menor eficiência de uso da água entre os híbridos nos espaçamentos de 95 e 80 cm. O H3 apresentou eficiência de uso da água (Fig. 8A) 21% e 22% superior, respectivamente, nos espaçamentos de 80 cm e 40 cm, comparada ao híbrido que apresentou menor média (H1). Já no espaçamento de 60 cm não houve alteração da EUA entre os híbridos. Na variação da EUA em função do espaçamento o H2 exibiu máxima eficiência de uso da água em maior distância (95 cm) entre as linhas de plantio. Porém, o H3 no espaçamento de 60 cm entre linhas de plantas apresentou uma EUA inferior aos demais espaçamentos.

Para a eficiência de carboxilação (Fig. 8B) o híbrido H3 se destaca com maior média nos tratamentos de 80 cm e 40 cm, enquanto que nos demais espaçamentos os híbridos apresentam uma EC estatisticamente similares. O híbrido que

apresentou diferença entre os espaçamentos foi o H3, onde em 60 cm de distância entre as fileiras este híbrido apresentou a menor média de eficiência de carboxilação, com 25%, 27% e 35% menor em relação ao espaçamento de 95, 80 e 40 cm, respectivamente. No entanto, a ausência de diferença entre os espaçamentos para os demais híbridos pode ser por questões bioquímicas, uma vez que, a EC depende da disponibilidade de CO₂ no mesófilo foliar, quantidade de luz, temperatura e da velocidade da atividade enzimática (SILVA et al., 2015).

Mesmo não havendo diferença significativa entre as cultivares e entre os espaçamentos para a fotossíntese líquida na fase V8, os resultados desta avaliação indicam que o H3 foi mais eficiente fotossinteticamente. Segundo Pereira et al. (2009) sob estresse hídrico as plantas adotam um mecanismo conservativo, reduzindo a condutância estomática e a transpiração, subtraindo a concentração de CO₂, o que conseqüentemente aumenta a eficiência fotossintética. Yu et al. (2016) encontraram valor de 5,4 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$, sendo este considerado o maior para eficiência de uso da água no estágio V8 com estande de 100.500 plantas ha⁻¹. No presente estudo o H3 em espaçamento reduzidos, com estande de 125.000 plantas ha⁻¹, alcançou o valor de 6,62 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$.

4.1.3 Parâmetros de Fluorescência da Clorofila a

A avaliação da fluorescência da clorofila é importante para examinar o comportamento das cultivares em relação à atividade fotoquímica, com estimativa do potencial fotossintético de maneira quase instantânea (MAXWELL; JOHNSON, 2000). Os resultados dos parâmetros referentes a fluorescência das clorofilas do PSII (Fig. 9), não variaram entre os espaçamentos e nem entre os híbridos ($p > 0,05$).

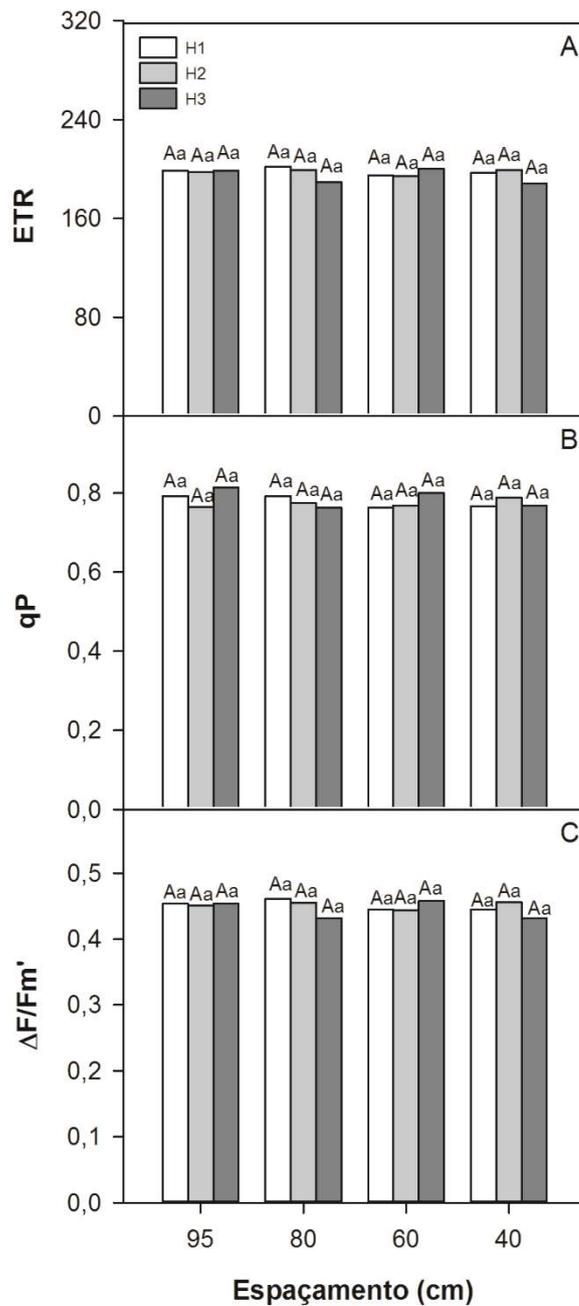


Figura 9: Taxa aparente de transferência de elétrons no PSII (A), coeficiente de extinção fotoquímico (B) e rendimento quântico efetivo do fotossistema II (D) da avaliação realizada no estágio V8 dos híbridos de milho: 2B 655 PW (H1), AG 7088 PRO3 (H2) e P 4285 YHR (H3). (As médias seguida da mesma letra maiúscula entre os espaçamentos de um mesmo híbrido e letras minúscula entre os híbridos dentro do espaçamento, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade).

Nas condições em que o experimento foi conduzido, não foram observadas diferenças significativas na taxa de transporte de elétrons no PSII (Fig. 9A), coeficiente de extinção fotoquímico (Fig. 9B) e rendimento quântico efetivo do fotossistema II (Fig. 9C). Os híbridos mantiveram valores estáveis para os

parâmetros de fluorescência da clorofila *a*, não variando em função dos espaçamentos adotados.

Em plantas sob condições de estresse ocorre declínio na eficiência do PSII, podendo ser causada pela menor dissipação de energia através da menor taxa aparente de transferência de elétrons (HAVAUX; NIYOGI, 1999; TAIZ; ZEIGER, 2009). No entanto, em espaçamentos reduzidos não foi observado redução da ETR comparado aos espaçamentos com maior distância entre linhas de plantas, logo não ocorreu diminuição da eficiência do PSII.

O *quenching* fotoquímico (qP) pode ser utilizado como um indicador de diferenças fisiológicas entre genótipos (FALQUETO et al., 2007), pois representa a proporção de energia dos fótons capturada pelos centros de reação do fotossistema II abertos e fechado via efeito fotoquímico (JUNEAU et al., 2005). Segundo Falqueto et al. (2007) o qP reflete o grau de oxidação e redução da plastoquinona A. Desta forma, no presente estudo não foi constatado diferenças fisiológicas no aparato fotoquímico dos híbridos, mesmo em plantios com população de plantas acima das recomendadas para as cultivares.

O rendimento quântico efetivo do fotossistema II, representa à proporção que os elétrons são usados na fase fotoquímica para redução do NADP⁺, onde 1 μmol de fótons causa a excitação de 1 μmol de elétrons da clorofila (SCHREIBER et al., 1998). Sendo assim, foi observado que os híbridos apresentaram igual proveito na fase fotoquímica, mesmo estando em maiores densidades populacionais.

4.2 SEGUNDO PERÍODO DE AVALIAÇÃO

4.2.1 Avaliação de fotossíntese e Trocas gasosas

Para os parâmetros de trocas gasosas avaliadas nas cultivares de milho em seus respectivos espaçamentos no estágio de pleno florescimento (VT) (Fig. 10), verificou-se que não houve diferenças significativas ($p > 0,05$) para a fotossíntese líquida, assim como no primeiro período de avaliação. No entanto, observou-se diferença tanto entre os híbridos como entre os espaçamentos na concentração interna de CO₂ ($p < 0,05$). Para condutância estomática e transpiração, foi observado diferença apenas entre os híbridos ($p < 0,05$).

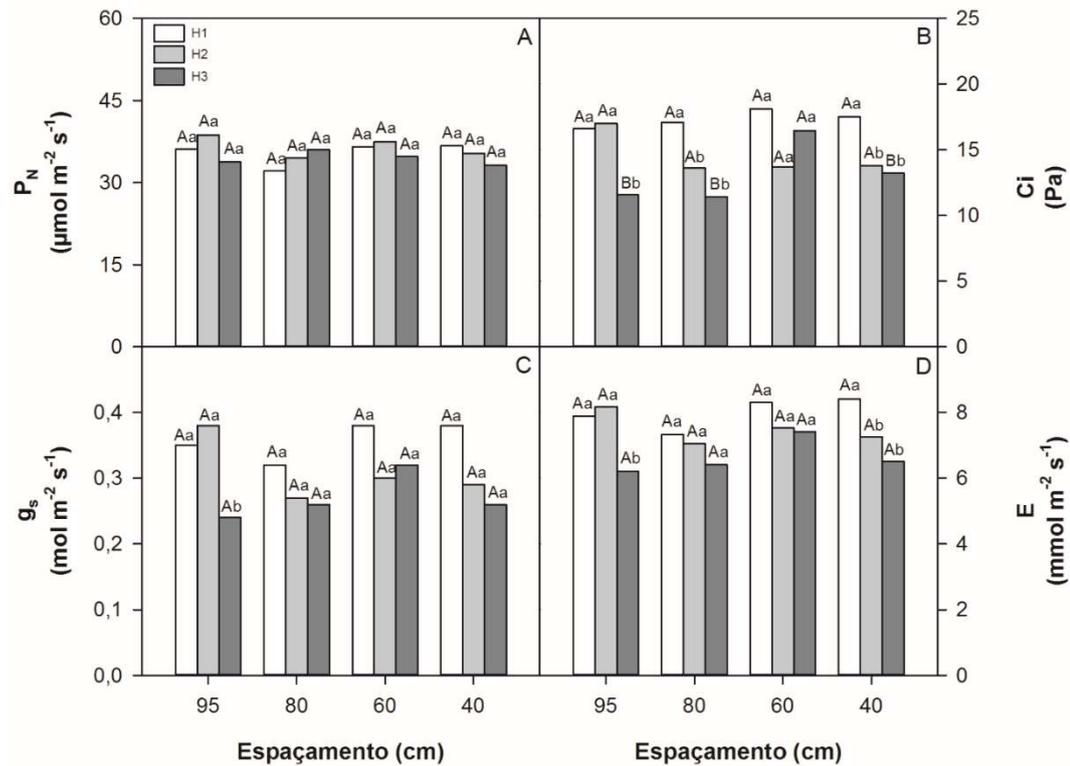


Figura 10: Fotossíntese Líquida (A); Concentração Intercelular de CO₂ (B); Condutância estomática (C) e Transpiração (D) realizado no estádio VT dos híbridos de milho: 2B 655 PW (H1); AG 7088 PRO3 (H2) e P 4285 YHR (H3). (As médias seguida da mesma letra maiúscula entre os espaçamentos de um mesmo híbrido e letras minúscula entre os híbridos dentro do espaçamento, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade).

O H1 na fase de pleno florescimento foi o que apresentou maior C_i (Fig. 10B) em todos espaçamentos testados, porém sua média foi superior significativamente aos dos demais nos tratamentos de 95, 80 e 40 cm de distância entre as fileiras. Todavia, a cultivar que apresentou diferença entre os espaçamentos para a C_i foi a H3, onde no espaçamento de 60 cm entre linhas de plantas foi observado maior média para o híbrido (30%, 31% e 20% maior em relação ao espaçamento de 95, 80 e 40 cm, respectivamente).

Uma variação entre os híbridos para condutância estomática (Fig. 10C) foi observada quando foram semeados no espaçamento de 95 cm, sendo que o H1 e H2 apresentaram médias estatisticamente similares e superiores ao H3. O mesmo padrão foi observado nos resultados de transpiração foliar (Fig. 10D), que o híbrido H3 foi o que apresentou menor média entre as cultivares quando a 95 cm entre linhas de plantas. Entretanto, em maiores densidades populacionais (40 cm) foi constatado que o H1 atingiu uma taxa transpiratória mais elevada e com diferença significativa.

Em espaçamentos que proporcionam alta densidade populacional de plantas ocorre uma maior competição intraespecífica, sendo a água um dos recursos mais disputados pelas plantas, originando a ocorrência do déficit hídrico. Logo, a resistência de um genótipo à alta densidade de plantas envolve também a resistência ao déficit hídrico (TOLLENAAR; WU, 1999). A resposta mais comum ao déficit hídrico é o fechamento estomático, que provoca reduções na taxa de fotossíntese, pois reduz a disponibilidade de CO₂ (XU et al., 2009; SANTOS et al., 2009). Porém quanto menor a capacidade de fotossíntese e condutância estomática, maior a quantidade de carbono interno na câmara subestomática, devido possivelmente a limitações não estomáticas (XU et al., 2009).

No estágio de pleno florescimento o H3 aponta ser o mais promissor entre os híbridos utilizados nesta pesquisa, pois mantém baixas concentrações intercelular de CO₂, seguida de baixa condutância estomática e transpiração, para realizar uma fotossíntese líquida igual aos dos híbridos que atingiram maiores valores para as variáveis. O resultado encontrado nesta pesquisa para a P_N, corrobora com os encontrados por Lemos (2014) que não constatou modificações na taxa fotossintética para o híbrido semeados em diferentes espaçamentos entre linhas.

As cultivares não seguiram mesma tendência do comportamento fisiológico, nos diferentes espaçamentos e períodos avaliados neste estudo. Isso se deve, possivelmente às interações do gene *Bt* com a constituição genética específica de cada híbrido, no meio em que se encontram inseridas (LEMOS, 2014). Segundo Sangoi et al. (2010a), os genótipos se desenvolvem em sistemas dinâmicos, em que ocorrem constantes mudanças, que vão desde a semeadura até a maturação, havendo um comportamento diferenciado deles em termos de resposta às variações ambientais. Essas variações, ocasionadas pela redução do espaçamento, podem provocar modificações no comportamento fisiológico vegetal (SANGOI et al., 2010a; CRUZ et al., 2014).

4.2.2 Eficiência de uso da água e de carboxilação

Os resultados de eficiência de uso da água e eficiência de carboxilação, analisadas no período de pleno florescimento das plantas, podem ser observados na figura 11.

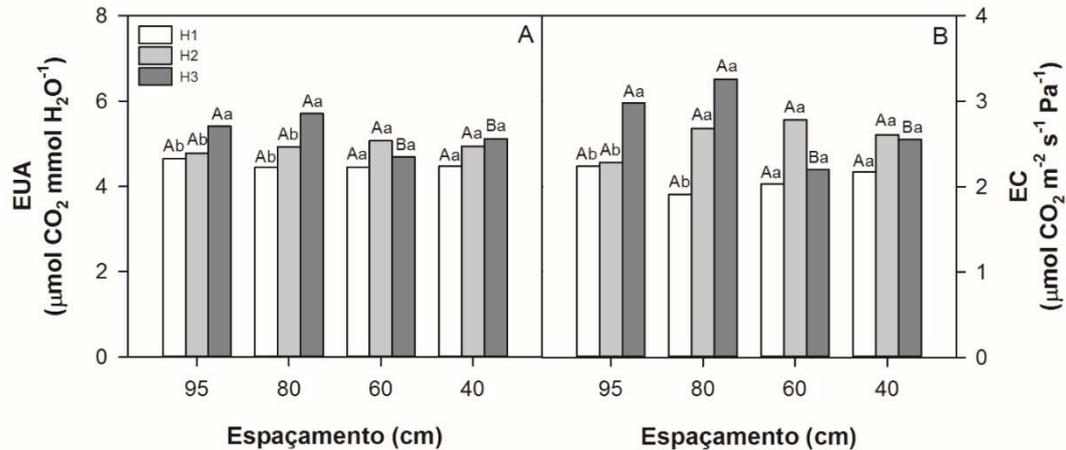


Figura 11: Eficiência de Uso da Água (A) e eficiência de carboxilação (B) dos híbridos 2B 655 PW (H1), AG 7088 PRO3 (H2) e P 4285 YHR (H3) avaliadas no estádio VT. (As médias seguida da mesma letra maiúscula entre os espaçamentos de um mesmo híbrido e letras minúscula entre os híbridos dentro do espaçamento, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade).

Em espaçamentos de 95 cm e 80 cm o H3 foi o que apresentou maior EUA (Fig. 11A), porém nos tratamentos de 60 cm e 40 cm as cultivares foram estatisticamente semelhantes. Entretanto, houve diferença entre os espaçamentos apenas no H3, onde, em maior densidade populacional (40 cm), as plantas mostraram-se uma menor eficiência de uso da água comparada a plantio com distância de 95 cm entre linhas de plantas.

Segundo Yu et al. (2016) a eficiência de uso da água no estádio de completo florescimento (VT) apresenta um valor menor que no estádio vegetativo oito (V8), pois em sua pesquisa encontraram valor de aproximadamente $4,0 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ para a eficiência de uso da água no estádio VT, em plantas de híbridos transgênicos com o estande final de $100.500 \text{ plantas ha}^{-1}$. No presente estudo o H3 em espaçamento reduzido, com um estande de $125.000 \text{ plantas ha}^{-1}$, alcançou uma eficiência de uso da água de $5,12 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$, sendo esse valor menor que a eficiência de uso da água realizada no estádio vegetativo oito.

Segundo Leakey et al. (2009) as plantas com metabolismo C4, no caso o milho, possui a Fosfoenol piruvato carboxilase (PEPcase), uma enzima primária de carboxilação, com maior afinidade pelo substrato CO_2 , não apresentando resposta de eficiência com o aumento de CO_2 atmosférico, pois está saturada nas concentrações atmosféricas de CO_2 ($384 \mu\text{L L}^{-1}$). Porém, quando as plantas estão submetidas a estresse sob falta d'água, ocorre menor abertura estomática

permitindo maior economia de água, e maior eficiência da assimilação de CO₂ (MACHADO, 2014).

Na eficiência de carboxilação (Fig. 11B), foram verificadas diferenças entre os híbridos no espaçamento de 95 cm onde o H3 exibiu maior EC. Já em 80 cm entre linhas de plantas o H1 exibiu menor média para essa variável. Em espaçamentos de 60 cm e 40 cm não foi verificado diferença entre os híbridos. Em contrapartida, somente o H3 demonstrou variação entre os espaçamentos para os valores de EC, onde em menores densidade populacionais (95 cm e 80 cm) este híbrido apresentou maiores eficiências de carboxilação que nos plantios com fileiras mais adensadas.

Muitos estresses abióticos alteram a assimilação de CO₂, embora os locais da limitação da fotossíntese possam ser muito variados (MACHADO, 2014). Souza (2011) observou que as plantas de cana-de-açúcar que apresentaram maior concentração interna de CO₂ (C_i), mas nem sempre apresentou aumento na eficiência de carboxilação. Logo, o autor inferiu que a maior taxa de fotossíntese nas plantas em ambiente com elevada concentração de CO₂, proporcionando maior C_i, pode não estar relacionada com o aumento da eficiência de carboxilação pela enzima PEPcase nem com a regeneração do substrato para a reação de carboxilação.

Alterações na eficiência de carboxilação e no fornecimento de CO₂ para os sítios de carboxilação via estômatos podem influenciar a taxa de utilização de ATP e NADPH (BAKER, 2008). Conseqüentemente, as mudanças na eficiência de carboxilação pode estar associado a uma menor velocidade máxima de carboxilação, pois Ainsworth e Rogers (2007) mostraram que com o aumento de CO₂, houve diminuição na velocidade máxima de carboxilação, não interferindo nas taxas de fotossíntese líquida. Ainda de acordo com os autores, essa diminuição na velocidade de carboxilação elevou o nível de CO₂ no interior celular, não aumentando a eficiência de carboxilação, fato observado nesta pesquisa em alguns espaçamentos para os híbridos.

4.2.3 Parâmetro de fluorescência da clorofila *a*

Não foi observado diferença estatística para a taxa aparente de transferência de elétrons no PSII (Fig. 12A), coeficiente de extinção fotoquímico (Fig. 12B) e

rendimento quântico efetivo do PSII (Figura 12C) entre os espaçamentos para o híbrido e nem entre híbridos no espaçamento.

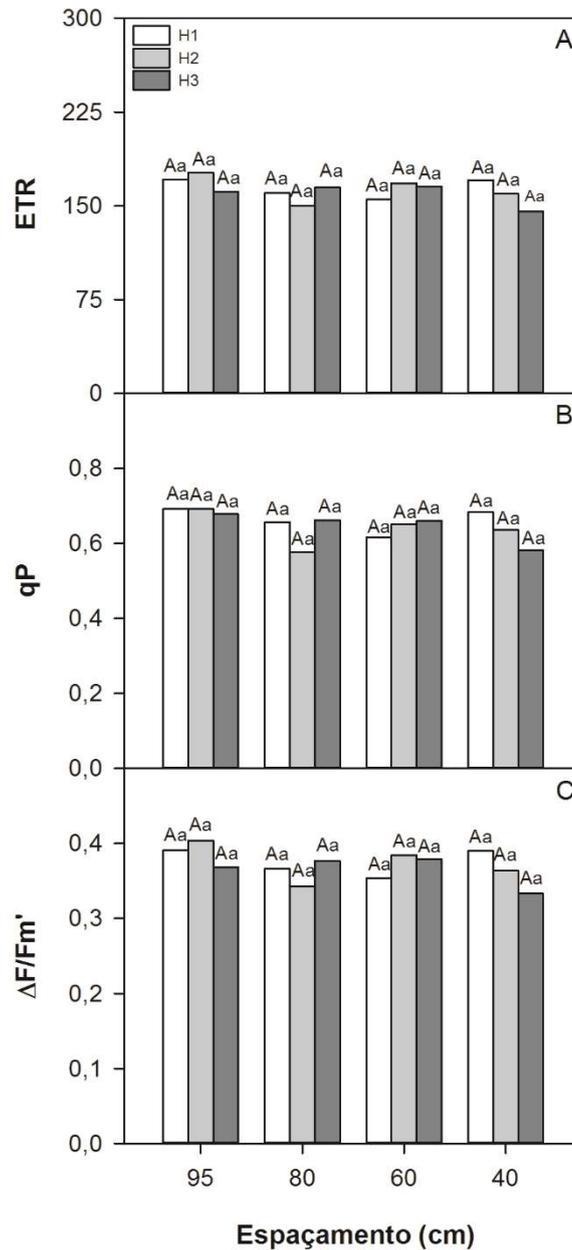


Figura 12: Taxa aparente de transferência de elétrons no PSII (A), coeficiente de extinção fotoquímico (B) e rendimento quântico efetivo do fotossistema II (D) da avaliação realizada no estágio VT dos híbridos de milho: 2B 655 PW (H1), AG 7088 PRO3 (H2) e P 4285 YHR (H3). (As médias seguida da mesma letra maiúscula entre os espaçamentos de um mesmo híbrido e letras minúscula entre os híbridos dentro do espaçamento, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade).

Os resultados indicam que em pleno florescimento os parâmetros de clorofila *a* mantêm-se estáveis tanto em plantios com espaçamentos recomendados para as cultivares (95 cm) como em populações acima daquela recomendada (40 cm), ficando evidente que o aparato fotossintético funciona de maneira uniforme independente do tratamento aplicado. Jesus Nunes (2007), avaliando linhas transgênicas de milho, observou que eles se mostram eficientes na proteção do aparato fotossintético sob estresse. Segundo o autor, isso pode revelar que a expressão constitutiva dos genes influencia o sistema fotossintético em condições de estresse abiótico.

Entretanto, o rendimento quântico efetivo do PSII ($\Delta F/F_m'$), obtido a partir da fluorescência da clorofila *a*, pode estimar a integridade do FSII de uma determinada folha, pois revela o nível energético de excitação dos pigmentos que dirigem a fotossíntese (O'NEIL et al., 2006). Esse nível depende do balanço entre irradiação e da soma das taxas de fotossíntese e dissipação térmica (SCHOLLES; HORTON, 1993). Sendo assim, neste estudo o aparelho fotossintético se manteve íntegro.

4.3 AVALIAÇÃO DE CRESCIMENTO

Na avaliação de crescimento (Fig. 13), verifica-se houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os híbridos e entre os espaçamentos nos parâmetros de altura de plantas (Fig. 13A), altura de inserção de espiga (Fig. 13B) e diâmetro do colmo (Fig. 13D). No entanto, não foi verificada alterações entre as médias ($p > 0,05$) de área foliar (Fig. 13C).

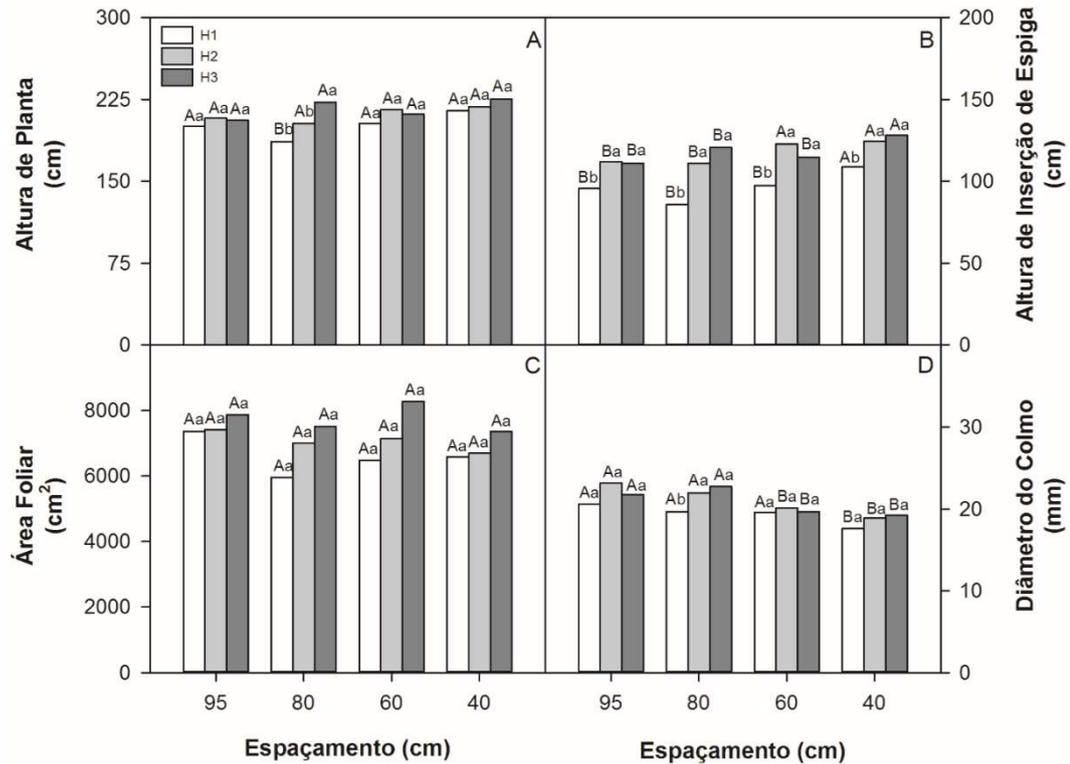


Figura 13: Características morfológicas dos híbridos de milho: 2B 655 PW (H1), AG 7088 PRO3 (H2) e P 4285 YHR (H3). As médias seguidas da mesma letra maiúscula entre os espaçamentos de um mesmo híbrido e letras minúscula entre os híbridos dentro do espaçamento, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

Os híbridos em seus respectivos tratamentos ultrapassaram uma altura média geral de 200 cm (Fig. 13A). Ainda assim, foi constatado variação entre híbridos no tratamento de 80 cm onde o H3 apresentou média de estatura de plantas superior aos demais. No entanto, somente o H1 apresentou variação entre os espaçamentos, onde em 80 cm a cultivar apresentou média de estatura de 186,2 cm, sendo esta inferior dentre os espaçamentos testados para o híbrido.

Os resultados encontrados nesta pesquisa para o H2 e H3 corroboram com os encontrados por Demétrio et al. (2008) que estudando os espaçamentos de 40, 60 e 80 cm entre linhas e Calonego et al. (2011) estudando os espaçamentos de 45 e 90 cm entre linhas, não obtiveram diferença significativa para altura de plantas entre os espaçamentos. Em contraste, Alvarez et al. (2006) e Gilo et al. (2011) verificaram em suas pesquisas, uma redução na altura de plantas com o aumento do espaçamento. Por outro lado, Scheeren et al. (2004) e Lana et al. (2009) verificaram, em espaçamentos de 45, 75 e 90 cm entre linhas que, quanto maior o espaçamento, maior a altura de plantas. Modolo et al. (2010) também obtiveram maior altura de

plantas no espaçamento de 90 cm entre linhas, enquanto os menores valores para altura de plantas foram obtidos nos espaçamentos de 70 cm e 45 cm entre linhas.

Lima et al. (2016) concluíram que a altura das plantas está condicionada as características do genótipo utilizado na lavoura, pois avaliando dois híbridos transgênicos observaram que o Agrisure TL apresentou altura 28,5% superior ao híbrido AG 9010 YG e isto se relaciona mais às características de cada material utilizado. Giló et al. (2011) analisaram seis híbridos, e verificaram que os híbridos Pioneer 30F35; 2B688 e 2B7070 apresentaram os maiores valores, para altura, respectivamente.

Em relação à altura de inserção de espiga (Fig. 13B), houve variação entre os híbridos, na qual, considerando todos os espaçamentos, o H1 apresentou menores médias, mas com as plantas dos híbridos H2 e H3 apresentando médias estatisticamente iguais em todos os casos. Quanto a variação de altura de inserção de espiga entre os espaçamentos, o H2 apresentou médias superiores no tratamento de 60 e 40 cm. Entretanto, os híbridos H1 e H3 apresentaram maiores valores na altura de inserção da espiga apenas no espaçamento de 40 cm entre linhas de plantas.

Os resultados para altura de inserção da espiga assemelham-se aos encontrados por Demétrio et al. (2008), Calonego et al. (2011) e Giló et al. (2011) que verificaram resposta significativa para altura de inserção da espiga com variação entre híbridos. Já Lima et al. (2016) observaram diferença significativa para altura da inserção de espiga tanto entre os híbridos avaliados como entre os espaçamentos testados, onde o espaçamento de 90 cm entre linhas de plantas proporcionou uma altura de espiga superior ao do espaçamento reduzido (45 cm). Do mesmo modo, Lana et al. (2009) encontraram resultados semelhantes.

Nos resultados encontrados nesta pesquisa, observou-se que, em menores espaçamentos os híbridos apresentaram maior altura de inserção de espiga. Este fato pode ser explicado pela competição intraespecífica por luz que ocorre em ambientes com maiores densidades populacional de plantas favorecendo a alongação do colmo (SANGOI et al., 2010a) vindo a aumentar somente a altura de inserção de espiga, sem interferir na altura das plantas.

As médias de área foliar não foram afetadas pelo tratamento de híbridos e nem de espaçamentos, apesar da tendência das plantas H3 apresentarem maior área foliar quando nos espaçamentos de 80 e 60 cm (Fig. 13C). Gomes et al. (2011)

avaliando as respostas de crescimento e fisiologia do milho submetido a estresse salino e em diferentes espaçamentos de cultivo, observaram que a área foliar reduziu-se com o aumento da densidade de plantio. Segundo Taiz e Zeiger (2009) a redução no crescimento foliar representa um mecanismo de defesa das plantas sob condições de estresse hídrico, reduzindo as perdas de água por transpiração. Entretanto, também representa alterações na partição de fotoassimilados e redução na área destinada ao processo fotossintético, o que pode resultar em perdas de produtividade (GOMES et al., 2011).

Em relação ao diâmetro do colmo (Fig. 13D), foi observado que no espaçamento de 95 cm os híbridos mantiveram médias semelhantes, porém para 80 cm de espaçamento, o H1 obteve o diâmetro do colmo ($p < 0,05$) inferior aos demais híbridos. Já em espaçamentos reduzidos entre linhas de plantio (60 e 40 cm) não se observou diferença significativa entre as médias. Analisando as diferenças entre espaçamentos, foi constatado que os híbridos em maiores distâncias entre linhas (95 e 80 cm) apresentam diâmetro de colmo superior aos das plantas em espaçamentos adensados (60 e 40 cm).

Corroborando com os resultados desta pesquisa para o diâmetro do colmo, Lima et al. (2016) verificaram diferença significativa para os híbridos e espaçamentos testados, concluindo que o diâmetro do colmo em espaçamento de 90 cm entre linhas de plantas foi superior ao do menor espaçamento. Contrariamente, Calonego et al. (2011) verificaram maior diâmetro do colmo para o espaçamento de 45 cm, quando comparado aos espaçamentos de 60 e 75 cm entre linhas de plantas.

Segundo Demétrio et al. (2008) a redução do espaçamento entre linhas de 80 para 40 cm não afeta o diâmetro do colmo de plantas de milho, mas a genética da cultivar pode influenciar no valor do diâmetro do colmo. Gilo et al. (2011) não verificaram alteração para o diâmetro do colmo em espaçamentos de 45 e 90 cm entre linhas, mas com resultados positivos entre os híbridos. Já Modolo et al. (2010) testando quatro híbridos e os espaçamentos de 45, 70 e 90 cm entre linhas de planta, não encontraram efeito significativo para híbridos e nem entre espaçamentos.

Conforme Strieder et al. (2007), o principal fator que influencia no diâmetro de colmo é a densidade de plantas, pois à medida que aumenta a densidade também aumenta o número de plantas dominadas, caracterizadas por possuírem menor desenvolvimento e menor diâmetro de colmo. No presente estudo, as cultivares em

plantios mais adensado apresentaram menor diâmetro de colmo, uma vez que nesses espaçamentos ocorre uma maior competição por espaço e as plantas acabam se estiolando e conseqüentemente diminuindo o diâmetro do colmo. Estas alterações podem aumentar a percentagem de plantas acamadas e quebradas (SCHIMITT, 2014), sendo que a quebra do colmo prejudica a colheita mecanizada e pode até inviabilizá-la, com perdas de produção na lavoura de milho (REZENDE et al., 2015).

4.4 AVALIAÇÃO DE PRODUTIVIDADE

Nos componentes de produção de grãos houve diferença significativa ($p < 0,05$) apenas entre os espaçamentos nas variáveis de produtividade e número de espigas por hectare (Fig. 14). Para o número de grãos por espiga, verificou-se variação das médias tanto entre os híbridos como nos espaçamentos, porém quando avaliamos a massa de 100 grãos observamos diferença apenas entre os híbridos.

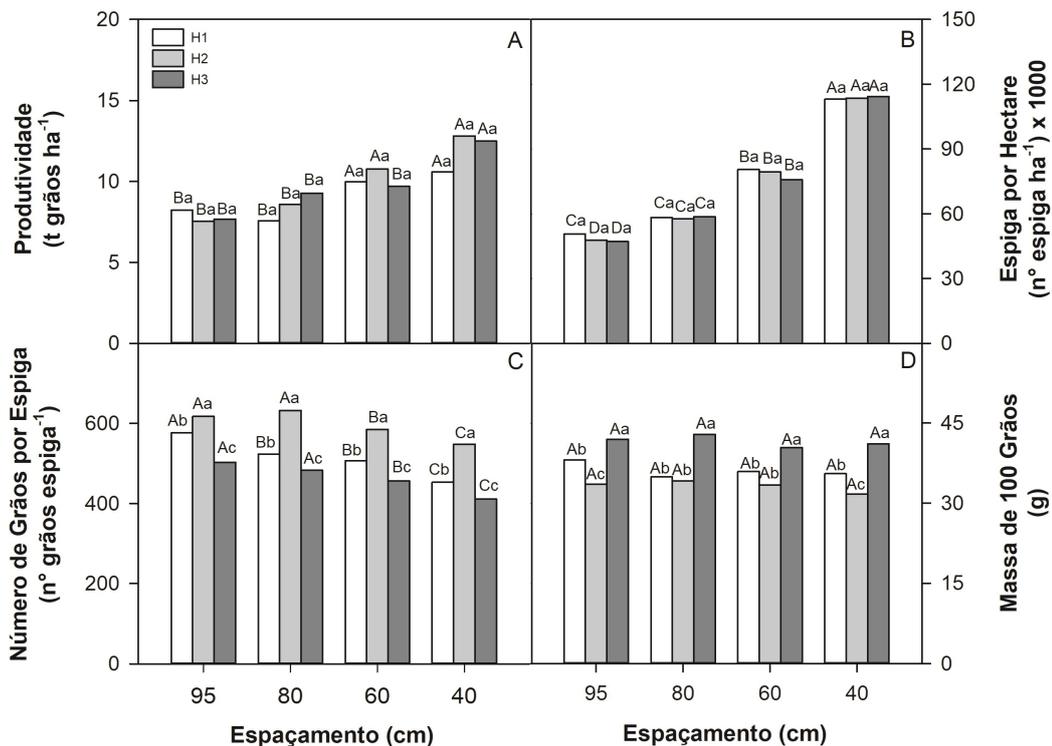


Figura 14: Componentes de produção de grãos dos híbridos de milho: 2B 655 PW (H1), AG 7088 PRO3 (H2) e P 4285 YHR (H3). As médias seguida da mesma letra maiúscula entre os espaçamentos de um mesmo híbrido e letras minúscula entre os híbridos dentro do espaçamento, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

Os valores de produtividade neste estudo variaram de 7,529 a 12,806 t ha⁻¹ em função do espaçamento entre linhas de plantas (Fig. 14A). Entretanto, percebe-se que conforme o espaçamento é reduzido a produtividade de grãos é elevada independente do híbrido analisado. No espaçamento de 40 cm entre fileiras, o H1 apresentou um rendimento 23% superior ao espaçamento de 95 cm. No H2 e H3 foi verificado no tratamento de 40 cm uma média de produtividade superior de 41% e 39%, respectivamente, ao espaçamento de 95 cm entre linhas de plantas.

Lima et al. (2016) avaliando dois híbridos de milho transgênico em dois espaçamentos entre linhas, verificou que a produtividade de grãos foi 14% superior para o menor espaçamento e 13,2% superior para o híbrido Agrisure TL comparado ao híbrido AG 9010 YG, ambos transgênicos. Lana et al. (2009) e Modolo et al. (2010) também obtiveram maior produtividade com espaçamento reduzido (45 cm) entre linhas de milho. Resultado semelhante foi obtido por Demétrio et al. (2008), onde em espaçamento de 40 cm entre linhas proporcionou maior produtividade.

Por outro lado, Silva et al. (2008) obtiveram maior produtividade em maior espaçamento entre linhas, em comparação com o espaçamento reduzido. Da mesma forma, Calonego et al. (2011) conseguiram 28,5 sacas de milho a mais no espaçamento de 90 cm entre linhas, quando comparado ao espaçamento de 45 cm. Já Giló et al. (2011) não encontraram significância para produtividade de grãos de milho entre diferentes espaçamentos.

Segundo Lima et al. (2016) os estudos de redução do espaçamento entre linhas sobre o rendimento de grãos de milho apresentam resultados bastante heterogêneos, pois diversos fatores podem estar envolvidos para que isso ocorra, como tipo de híbrido, fertilidade do solo, clima da região e manejo da cultura. Strieder et al. (2007) demonstraram em seu estudo, que o benefício da utilização de linhas mais próximas sobre o rendimento de grãos é altamente dependente do genótipo, da densidade de plantas e das condições ambientais.

Schmitt (2014) avaliando o arranjo de plantas no intuito de maximizar o desempenho agrônomo do milho em ambientes de alto manejo, observou que o rendimento aumentou com o incremento no número de plantas por unidade de área, onde os valores oscilaram entre 11,390 a 18,760 t ha⁻¹. No entanto, o produtor deve ser criterioso no momento de escolher por reduzir o espaçamento entre fileiras na cultura do milho, pois a adoção dessa técnica implica em despesas elevadas, o que,

em determinadas situações, pode tornar o investimento economicamente inviável (DIAS et al., 2007).

Segundo Balbinot Junior e Fleck (2005) a principal limitação ao uso de espaçamentos reduzidos em milho se refere à necessidade de se dispor de plataforma específica para realizar a colheita. Existem plataformas fabricadas para colher milho em espaçamentos de 40 cm a 60 cm, porém o custo das mesmas é elevado. Isso desestimula muitos agricultores a semear milho em fileiras próximas, pois há necessidade de se cultivar em áreas extensas para compensar o custo de depreciação da plataforma (DIAS et al., 2007).

Para o número de espigas por hectare (Fig. 14B) os híbridos não apresentaram variação das médias quando avaliados dentro de cada espaçamento. Por outro lado, examinando as diferenças entre os espaçamentos, observa-se que há um aumento de mais de 100% do número de espigas por hectare quando os híbridos são semeados em espaçamento de 40 cm comparando-se ao tratamento de 95 cm. Resultados obtidos por Testa et al. (2016) corroboram com os que foram obtidos nesta pesquisa, pois observou-se que o número médio de espigas colhidas por unidade de área aumenta significativamente à medida que a densidade populacional de plantas amplia-se em função da redução do espaçamento entre linhas.

A população de plantas é uma das práticas culturais que mais interferem na produtividade da cultura do milho, pois pequenas modificações na densidade podem alterar significativamente o rendimento de grãos (Silva et al., 2006). Quando se considera o fator espaçamento, fica claro que a população de plantas passa a ser o fator determinante para maior produtividade da cultura. De acordo com Maggio (2006), o incremento na produtividade do milho, em função do aumento na população de plantas possui um comportamento linear. Sendo assim, o uso de espaçamento reduzido, 40 cm entre linhas, que já leva a uma maior densidade de semeadura, torna-se favorável a maior produtividade pelos três híbridos testados neste estudo.

Nos resultados do número de grãos por espiga (Fig. 14C) nota-se que na variação entre os genótipos, a cultivar H2 apresentou-se com maior média em todos os espaçamentos. Analisando a diferença entre as médias dos espaçamentos, foi verificado que o número de grãos por espigas diminui, independente do híbrido semeado, conforme o espaçamento entre linhas de plantas é reduzido.

Segundo Testa et al. (2016) em espaçamentos reduzidos, com maiores densidades de plantas por área, há uma diminuição do tamanho das espigas reduzindo a quantidade de grãos por plantas, além do peso médio dos grãos diminuir. Conforme os referidos autores, a chave para o melhoramento do rendimento obtido a partir da aplicação de uma elevada densidade de plantas em híbridos modernos, é o maior número de grãos colhidos por unidade de área. Sangoi et al. (2010b) verificaram que o número de grãos dos híbridos por área foi incrementado linearmente com o aumento na população de 25.000 para 125.000 plantas.ha⁻¹. Segundo os mesmos autores, tal fato contribui para a maior resposta do rendimento de grãos do híbrido ao adensamento.

Os diferentes espaçamentos em que as cultivares foram semeadas não afetou a massa de cem grãos (Fig. 14D), porém o fator híbrido provocou diferenças entre as médias obtidas em qualquer espaçamento. Foi observado que o H3 apresentou maior média em todos os espaçamentos, principalmente no que proporcionou maiores densidades de plantas (40 cm) por hectare.

Segundo Li et al. (2015) em plantios com maior população, decorrente do menor espaçamento entre linhas, os grãos apresentam núcleos menores e mais leves, reduzindo o potencial produtivo por planta. No entanto, o H3 apresentou maior média da massa de cem grãos em todos os espaçamentos, principalmente no que proporciona maiores densidades de plantas por hectare. Conseqüentemente, o H3 obteve grãos maiores mesmo em espaçamento que proporcionam elevadas densidades de plantas.

5 CONCLUSÕES

Conclui-se que:

A fotossíntese líquida e os parâmetros de fluorescência da clorofila *a* não sofre influência dos tratamentos de híbridos e de espaçamentos. No entanto, o híbrido H3 é mais eficiente fotossinteticamente no estágio de oito folhas completamente desenvolvidas (V8) e no de pleno florescimento masculino da planta (VT).

Na altura de plantas os híbridos H2 e H3 não sofreram influência dos espaçamentos. No entanto, todos os híbridos apresentaram maiores altura de inserção de espigas em espaçamento reduzido (40 cm). A área foliar dos híbridos não foi influenciada pelos tratamentos aplicados neste estudo.

Para o diâmetro do colmo, independente da cultivar utilizada, em maiores distâncias entre linhas (95 e 80 cm) as plantas apresentam diâmetro superior aos das plantas em espaçamentos adensados (60 e 40 cm).

Nos resultados do número de grãos por espiga a cultivar H2 obteve maior média em todos os espaçamentos. Entretanto, o número de grãos por espigas diminui conforme o espaçamento entre linhas de plantas é reduzido.

O híbrido H3 apresentou-se com massa de 100 grãos superior aos demais em todos os espaçamentos, findando que este possuiu maior grão.

A produtividade de grãos é dependente do espaçamento entre linhas de plantas, pois quando se reduz o espaçamento aumenta a produtividade, independente do híbrido utilizado.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIMILHO - Associação Brasileira das Indústrias do Milho. **8º Acompanhamento da Safra de Milho Total - 2016/17**. Disponível em: <<http://www.abimilho.com.br/estatisticas/acompanhamento-da-safra>>. Acesso em: 09 de Jun. 2017.

AGRIANUAL - Anuário da Agricultura Brasileira. **Milho**. Informa Economics/FNP-South America, p. 349-377, 2014.

AINSWORTH, E.A.; ROGERS, A. The response of photosynthesis and stomatal conductance to rising [CO₂]: mechanisms and environmental interactions. **Plant, Cell & environment**, v. 30, p. 258-270, 2007.

ALLARD, R. W. **Principles of plant breeding**. John Wiley & Sons, 1999.

ALVAREZ, C. G. D.; VON PINHO, R. G.; BORGES, I. D. Avaliação de características bromatológicas da forragem de milho em diferentes - densidades de semeadura e 47 espaçamentos entre linhas. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 3, p. 409-414, 2006.

BALBINOT JR, A. A.; FLECK, N. G. Redução do espaçamento entre fileiras: benefícios e limitações. **Plantio Direto**, v. 5, n. 87, p. 37-41, 2005.

BAKER, N. R. A probe of photosynthesis: in vivo. **Anual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 89-113, 2008.

BEERLING, D. J.; ROYER, D. L. Convergent cenozoic CO₂ history. **Nature Geoscience**, Londres, v. 4, n. 7, p. 418-420, 2011.

BORRÁS, L.; MADDONNI, G.A.; OTEGUI, M.E. Leaf senescence in maize hybrids: plant population, row spacing and kernel set effects. **Field Crops Research**, v. 82, p.13-26, 2003.

BUCKLER, E. S.; GAUT, B. S.; MCMULIEN, M. D. Molecular and functional diversity of maize. **Current opinion in plant biology**, v. 9, n. 2, p. 172-176, 2006.

CAVICHIOLO, F. A. **Sistema de plantio direto: velocidade de semeadura e populações de plantas de milho**. Dissertação de Mestrado. UNESP. Jaboticabal/SP. 2011.

CALONEGO, J. C.; POLETO, L. C.; DOMINGUES, F. N.; TIRITAN, C. S. Produtividade e crescimento de milho em diferentes arranjos de plantas. **Revista Agrarian**, v. 4, n. 12, p. 84-90, 2011.

CELLINI, F.; CHESSON, A.; COLQUHOUN, I.; CONSTABLE, A.; DAVIES, H. V.; ENEGEL, K. H. Unintended effects and their detection in genetically modified crops. **Food and Chemical Toxicology**, v. 42, n. 7, p. 1089-1125, 2004.

CHATURVEDI, R. K.; RAGHUBANSHI, A. S.; SINGH, J. S. CHATURVEDI, R. K.; RAGHUBANSHI, A. S.; SINGH, J. S. Leaf attributes and tree growth in a tropical dry forest. **Journal of Vegetation Science**, v. 22, n. 5, p. 917-931, 2011.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v. 103, n. 4, p. 551-560. fev. 2009.

CHRISTIN, P. A.; BESNARD, G. Two independent C4 origins in Aristidoideae (Poaceae) revealed by the recruitment of distinct phosphoenolpyruvate carboxylase genes. **American Journal of Botany**, v. 96, n. 12, p. 2234–2239. dez. 2009.

COELHO, A. M. **Nutrição e Adubação do Milho**. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. Sete Lagoas, MG: EMBRAPA Milho e Sorgo - CNPMS, 10 p. 2006. (EMBRAPA - CNPMS. Circular Técnica, 78).

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: Safra 2016/17 de grãos, v. 3, n. 8 (Oitavo levantamento), Brasília, 144 p. Maio de 2017.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: 2015**. – Brasília. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_01_09_09_00_21_boletim_graos_janeiro_2015.pdf>. Acesso em: 09 jun 2017.

COSTA, F. de S.; AMARAL, E. F. do; BUTZKE, A. G.; NASCIMENTO, S. de S. **Inventário de emissões antrópicas e sumidouros de gases de efeito estufa do estado do Acre: ano base 2010**. 144 p. Rio Branco: Embrapa Acre, 2012.

COUSINS, A. B.; JOHNSON, M.; LEAKEY, A. D. B. Photosynthesis and the environment. **Photosynthesis Research**, v. 119, n. 1-2, p. 1-2, fev./mar. 2014.

CTNBio – **Comissão Técnica Nacional de Biossegurança**. Pareceres técnicos sobre aprovação de eventos geneticamente modificados. 2010. Disponível em: <http://www.ctnbio.gov.br/index.php/content/view/12482.html>. Acesso em 11 de Jun. de 2017.

CRUZ, J. C.; FILHO, I. A. P.; FILHO, M. R. A. **Árvore do conhecimento: milho**, EMBRAPA. 2015. Disponível em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_49_168200511159.html>. Acessado em: Junho de 2017.

CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A.; SIMEÃO, E.P. **Cultivo do milho: cultivares, outubro 2014**. Embrapa Milho e Sorgo. Disponível em: <http://www.apps.agr.br/upload/ax10_2908201462542300_artigo.pdf>. Acesso em: 04 Jun. 2017.

DEMÉTRIO, C. de S. **Desempenho agrônomo de híbridos de milho em diferentes arranjos populacionais em Jaboticabal-SP**. 2008. 53 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2008.

DEMÉTRIO, C. S.; FORNASIERI FILHO, D.; CAZETTA, J. O.; CAZETTA, D. A. Desempenho de híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos e densidades populacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 12, p. 1691-1697, 2008.

DIAS, V. de O.; SOUZA, RS de; ALONÇO, A. dos S. Viabilidade econômica do investimento em plataformas de colhedoras de milho em espaçamento reduzido. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 463-470, 2007.

DOURADO-NETO, D.; PALHARES, M.; VIERIA, P. A.; MANFRON, P. A.; MEDEIROS S. L.; ROMANO, M. R. Efeito da população de plantas e o espaçamento sobre a produtividade do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 2, n. 3, p. 63-77. 2003.

DUARTE, J. de O. **Cultivo do milho: mercado e comercialização**. 6. ed. Sete Lagoas-MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. (Sistema de Produção, nº 1).

EFGOGLU, B.; EKMEKÇI, Y.; ÇIÇEK, N. Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery. **South African Journal of Botany**, v. 75, n. 1, p. 34-42, Jan. 2009.

EMBRAPA, 2011. Embrapa Milho e Sorgo: **Sistema de produção do milho**, 6ª edição. Disponível em: http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_6_ed/index.htm. Acesso em 05 de Jun. de 2017.

EVANS, M. M. S.; KERMICLE, J. L. Teosinte crossing barrier1, a locus governing hybridization of teosinte with maize. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 103, n. 2-3, p. 259-265, 2001.

FALQUETO, A. R.; CASSOL, D.; JUNIOR, A. M. M.; OLIVEIRA, A. C.; BACARIN, M. A. Características da fluorescência da clorofila em cultivares de arroz com ciclo precoce, médio e tardio. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, p. 579-581, 2007.

FIRMANO, R. S.; KUWAHARAI, F. A.; SOUZAI, G. M. Relação entre adubação fosfatada e deficiência hídrica em soja. **Ciência Rural**, v. 39, n. 7, p. 1967-1973, 2009.

FLEXAS, J.; MEDRANO, H. Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. **Annals of Botany**, v. 89, n. 2, p. 183-189, 2002.

FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C.; CATUCHI, T. A.; BELLEGGIA, N. A.; TIRITAN C. S.; BARBOSA, A. M. 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.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. 1 edi. Jaboticabal: Funep, 273 pg. 2007.

GABRIEL, A. **Caracterização agrônômica e bromatológica da forragem de *topcrosses* de linhagens s3 de milho em diferentes espaçamentos**. 77 f. 2015. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual do Centro-Oeste, 2015.

GERHART, L. M.; WARD, J. K. Plant responses to low CO₂ of the past. **New Phytologist**, v. 188, n. 3, p. 674–695, Nov. 2010.

GILO, E. G.; SILVA JUNIOR, C. A.; TORRES, F. E.; NASCIMENTO, E. S.; LOURENÇÃO, A. S. Comportamento de híbridos de milho no cerrado sul-matogrossense, sob diferentes espaçamentos entre linhas. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 6, p. 908-914, 2011.

GOMES, K. R.; AMORIM, A. V.; FERREIRA, F. J.; FILHO, F. L. A.; LACERDA, C. F.; GOMES-FILHO, E. Respostas de crescimento e fisiologia do milho submetido a estresse salino com diferentes espaçamentos de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 4, 2011.

GONZÁLEZ-CRUZ, J.; PASTENES, C. Water-stress induced thermotolerance of photosynthesis in bean (*Phaseolus vulgaris*) plants: The possible involvement of lipid composition and xanthophyll cycle pigments. **Environmental and experimental botany**, v. 77, p. 127-140, 2012.

GUIMARÃES, P. de S. **Desempenho de híbridos simples de milho (*Zea mays* L.) e correlação entre heterose e divergência genética entre as linhagens parentais**. Dissertação (Mestrado em Genética, Melhoramento Vegetal e Biotecnologia) – Pós-Graduação – IAC, Campinas, 132 f. 2008.

HAVAUX, M.; NIYOGI, K. K. The violaxanthin cycle protects plants from photooxidative damage by more than one mechanism. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 96, n. 15, p. 8762-8767, 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola municipal 2013**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp?e=v&p=PA&z=t&o=11>>. Acesso em: 09 Jun. 2017.

JAMES, C. **Global status of commercialized biotech/GM crops: 2010**. Ithaca: International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications (ISAAA).

JESUS NUNES, C. M. de. **Caracterização da Resposta ao déficit hídrico de linhas transgênicas de *Medicago truncatula* cv. Jemalong**. 74 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Celular e Biotecnologia) – Universidade de Lisboa, Portugal, 2007.

JUNEAU, P.; GREEN, B. R.; HARRISON, P. J. Simulation of Pulse-Amplitude-Modulated (PAM) fluorescence: Limitations of some PAM-parameters in studying environmental stress effects. **Photosynthetica**, v. 43, n. 1, p. 75-83, 2005.

KAPPES, C.; ANDRADE, J. A. C.; ARF, O.; OLIVEIRA, A. C.; ARF, M. V.; FERREIRA, J. P. Desempenho de híbridos de milho em diferentes arranjos espaciais de plantas. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 2, p. 334-343, 2011.

KAPPES, C. **Desempenho de híbridos de milho em diferentes arranjos espaciais de plantas**. 2010. 128 p. Dissertação (Mestrado em Sistema de Produção), UNESP “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira - SP: Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, 2010.

KUMAGAI, E.; ARAKI, T.; KUBOTA, F. Effects of nitrogen supply restriction on gas exchange and photosystem II function in flag leaves of a traditional low-yield cultivar and a recently improved high-yield cultivar of rice (*Oryza sativa* L.). **Photosynthetica**, v. 45, n. 4, p. 489-495, 2007.

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

LANA, M. C.; WOYTICHOSKI JUNIOR, P. P.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; AVILA, M. R.; ALBRECHT, L. P. Arranjo espacial e adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, n. 03, p. 433-438, 2009.

LEAKEY, A. D. B.; AINSWORTH, E. A.; BERNACCHI, C. J.; ALISTAIR, R.; LONG, S. P.; ORT, D. R. Elevated CO₂ effects on plant carbon, nitrogen, and water relations: six important lessons from FACE. **Journal of Experimental Botany**, p.1-18. April 28, 2009. DOI: 10.1093/jxb/ erp96

LEMOS, J. P. **Características de híbridos isogênicos de milho cultivados sob condições de estresses**. 112 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa - MG. 2014.

LEMOS, J. P.; GALVÃO, J. C. C.; SILVA, A. A.; FONTANETTI, A.; LEMOS, L. M. C. Efeito da roçada das espécies *Bidens pilosa* e *Commelina benghalensis* nas características morfológicas do milho. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 2, n. 1, p. 32-40, 2012.

LIMA, S. F. de; ALVAREZ, R. C. F.; CONTARDI, L. M. Influência do espaçamento entre linhas em características fitotécnicas e acúmulo de massa seca de híbridos de milho. **Ambiência**, v. 12, n. 4, p. 1027-1039, 2016.

Li, J.; Xie, R. Z.; Wang, K. R.; Ming, B.; Guo, Y. Q.; Zhang, G. Q.; Li, S. K. Variations in maize dry matter, harvest index, and grain yield with plant density. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 3, p. 829-834. 2015.

LIU, X.; HUANG, B. Photosynthetic acclimation to high temperatures associated with heat tolerance in creeping bentgrass. **Journal of Plant Physiology**, v. 165, n. 18, p. 1947-1953, 2008.

MACHADO, D. F. S. P. **Fotossíntese e metabolismo de carboidratos em plantas jovens de cana-de-açúcar sob baixa temperatura e deficiência hídrica**. Tese (Doutorado) Agricultura Tropical e Subtropical – Instituto Agronômico. Campinas, 75 pg. 2014.

MACHADO, J.C. **Estabilidade de produção e da capacidade de combinação em híbridos de milho**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais. 68 p. 2007.

MAGGIO, M. A. **Acúmulo de massa seca e extração de nutrientes por plantas de milho doce híbrido “Tropical”**. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agronômico, Campinas, 47 p. 2006.

MARENCO, R. A.; ANTEZANA-VERA, S. A.; GOUVÊA, P. R. dos S.; CAMARGO, M. A. B.; OLIVEIRA, M. F. de; SANTOS, J. K. da S. Fisiologia de espécies florestais da Amazônia: fotossíntese, respiração e relações hídricas. **Revista ceres**, v. 61, p. 786-799, 2014.

MARTINS, J. D. **Modificações morfofisiológicas em plantas de milho submetidas a déficit hídrico**. 102 f. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2010.

MATTOSO, M. J.; MELO FILHO, G. A. **Coefficientes Técnicos**. In: EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Cultivo do milho. 4^a ed. Sete Lagoas: EMBRAPA, CNPMS, 2008 (Sistemas de Produção, 2). Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_4ed/manejomilho.htm>. Acesso em 09 junho 2017.

MATTOSO, M. J.; GARCIA, L. C.; DUARTE, J. O.; CRUZ, J. C. Aspectos de produção e mercado do milho. **Informe Agropecuário**, v. 27, p. 95-104, 2006.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence—a practical guide. **Journal of experimental botany**, v. 51, n. 345, p. 659-668, 2000.

MENDES, M.C.; ROSSI, E.S.; FARIA, M.V.; ALBUQUERQUE, C.J.B.; ROSÁRIO, J.G. Efeitos de níveis de adubação nitrogenada e densidade de semeadura na cultura do milho no Centro-sul do Paraná. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v.4, n.2, p.176–192, 2011.

MODOLO, A. J.; CARNIELETTO, R.; KOLLING, E. M.; TROGELLO, E.; SGARBOSSA, M. Desempenho de híbridos de milho na Região Sudoeste do Paraná sob diferentes espaçamentos entre linhas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 03, p. 435-441, 2010.

MONTANARO, G.; DICHIO, B.; XILOYANNIS, C. Response of photosynthetic machinery of field-grown kiwifruit under mediterranean conditions during drought and rewatering. **Photosynthetica**, v. 45, n. 4, p. 533-540, 2007.

MORAES, C. F. de. **Estudo da utilização do gráfico de controle individual e do índice de capacidade sigma para dados não-normais**. 2006. 184 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) – Universidade Federal de Itajubá, MG. 2006.

MUHAI DAT, R.; SAGE, T. L.; FROHLICH, M. W.; DENGLER, N. G.; SAGE, R. F. Characterization of C3–C4 intermediate species in the genus *Heliotropium* L.(Boraginaceae): anatomy, ultrastructure and enzyme activity. **Plant, Cell & Environment**, v. 34, n. 10, p. 1723-1736, 2011.

NUMMER FILHO, I.; HENTSCHEKE, C. W. Redução do espaçamento entre linhas na cultura do milho. **Revista Plantio Direto**, n. 92, 2006.

OLIBONI, R.; FARIA, M. V.; NEUMANN, M.; BATTISTELLI, G. M.; TEGONI, R. G.; RESENDE, J. T. R. Genetic divergence among maize hybrids and correlations with heterosis and combining ability. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 34, n. 1, p. 37-44, 2012.

O'NEILL, P. M.; SHANAHAN, J. F.; SCHEPERS, J. S. Use of chlorophyll fluorescence assessments to differentiate corn hybrid response to variable water conditions. **Crop Science**, v. 46, n. 2, p. 681-687, 2006.

ONYANGO, O. C. Decreased row spacing as an option for increasing maize (*Zea mays* L.) yield in Trans Nzoia district, Kenya. **Journal of Plant Breeding and Crop Science**, v. 1(8), p. 281–283, 2009.

PAIVA, C. T. C. **Cultivo de milho em plantio direto e convencional com diferentes doses de adubação nitrogenada em cobertura**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal do Acre, Rio Branco. 33 f. 2011.

PAES, M. C. D. **Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2006.

PEREIRA, L. F. M.; SILVA, A. H. A.; GONÇALVES, E. R. ; VERÍSSIMO, V. ; CAVALCANTE, P. G. S. ; BARBOSA, T. P. ; DUARTE, W. G. ; CRUZ, S. J. S. ; SILVA-JR., I. M. ; ENDRES, L. . **Trocas gasosas e eficiência fotossintética em variedades de cana-de açúcar submetidas a dois regimes hídricos**. In: IX Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

PEREIRA FILHO, I. A.; BORGHI, E. **Mercado de sementes de milho no Brasil: safra 2016/2017**. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas – MG 2016.

PORTO, A. P. F. **Cultivares de milho submetidos a diferentes Espaçamentos e manejos decapinas no planalto da Conquista – BA**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Vitória da Conquista- BA, 74 f. 2010.

QUEIROZ, L. R.; COSTA, F. de S.; OLIVEIRA, T. K. de; MARINHO, J. T. de S. **Aspectos da cultura do milho no Estado do Acre**. Embrapa Acre, Rio Branco, AC - Documentos (INFOTECA-E) 30 p. 2015.

REZENDE, W. S.; BRITO, C. H. DE; BRANDÃO, A. M.; FRANCO, C. J. F.; FERREIRA, M. V.; FERREIRA, A. S. Desenvolvimento e produtividade de grãos de milho submetido a níveis de desfolha. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 50, n.3, p.203-209, mar. 2015. DOI: 10.1590/S0100-204X2015000300003

RIBAS, M.R.; TAVARES, C.J.; REZENDE, B.P.M.; CUNHA, P.C.R.; JAKELAITIS, A. Competição de híbridos de milho com plantas daninhas em dois espaçamentos entrelinhas. **Global Science and Technology**. Rio Verde, v.06, n.02, p.38-47, 2013.

ROHÁČEK, K. Chlorophyll fluorescence parameters: the definitions, photosynthetic meaning, and mutual relationships. **Photosynthetica**, v. 40, n. 1, p. 13-29, 2002.

RODRIGUES, T. E.; GAMA, J. R. N. F.; SILVA, J. M. L. da; VALENTE, M. A.; SANTOS, E. da S.; ROLIM, P. A. M. **Caracterização e classificação de solos do município de Senador Guimard, Estado do Acre**. Embrapa Amazônia Oriental. 69 p. 2003.

SAGE, R. F.; SAGE, T. L.; KOCACINAR, F. Photorespiration and the Evolution of C4 Photosynthesis. **Annual Review of Plant Biology**, v. 63, n. 1, p. 19-47, 2012.

SAGE, T. L.; SAGE, R. F.; VOGAN, P. J.; RAHMAN, B.; JOHNSON, D. C. The occurrence of C2 photosynthesis in Euphorbia subgenus Chamaesyce (Euphorbiaceae). **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 9, p. 3183–3195, 2011.

SAGE, T. L.; SAGE, R. F. The functional anatomy of rice leaves: implications for refixation of photorespiratory CO₂ and efforts to engineer C4 photosynthesis into rice. **Plant & Cell Physiology**, v. 50, n. 4, p. 756–72, 2009.

SANGOI, L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; RAMBO, L. **Ecofisiologia da cultura do milho para altos rendimentos**. Lages: Graphel, p. 87. 2010a.

SANGOI, L.; SCHMITT, A.; ZANIN, C. G. Área foliar e rendimento de grãos de híbridos de milho em diferentes populações de plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 6, n. 03, 2010b.

SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**, v. 31, n. 1, p. 159-168, 2001.

SANTOS, M. G.; RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C.; PIMENTEL, C. Photosynthetic parameters and leaf water potential of five bean genotypes under mild water deficit. **Biologia Plantarum**, v. 53, n. 2, p. 229-236, 2009.

SAWAZAKI, E.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z. Evolução dos cultivares de milho no Brasil. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. **Tecnologias de produção do milho**. 20 ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, v.1, p.13-53, 2004.

SCHEEREN, B. R.; BAZONI, R.; BONO, J. A.; ARIAS, S. S.; OLIVEIRA, R.; SALOMÃO, L. Arranjo populacional para a cultura do milho na região central do Estado de Mato Grosso do Sul. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 26, n. 2, p. 55-60, 2004.

SCHMITT, A. **Arranjo de plantas para maximizar o desempenho agrônômico do milho em ambientes de alto manejo**. Tese (doutorado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Lages – SC. p. 226. 2014.

SCHREIBER, U.; BILGER, W.; HORMANN, H.; NEUBAUER, C. In: **Photosynthesis: a comprehensive treatise**. (ed.) Raghavendra, A.S. Cambridge University Press, Cambridge, p. 320. 1998.

SCHOLES, J. D.; HORTON, P. Photosynthesis and chlorophyll fluorescence: simultaneous measurements. In: **Methods in comparative plant ecology**. Chapman and Hall, London, p. 130-136, 1993.

SHARRAT, B. S.; MCWILLIAMNS, D. A. Microclimatic and rooting characteristics of narrow-row versus conventional-row corn. **Agronomy Journal**, v. 97, n. 4, p. 1129-1135, 2005.

SILVA, F. de A. S. e.; AZEVEDO, C. A. V. de. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **Afr. J. Agric. Res**, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016. DOI: 10.5897/AJAR2016.11522

SILVA, F. G. da; DUTRA, W. F.; DUTRA, A. F.; OLIVEIRA I. M. de; FILGUEIRAS, L. M. B.; MELO, A. S. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 946-952, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p946-952>

SILVA, A. G.; CUNHA JUNIOR, C. R.; ASSIS, R. L.; IMOLES, A. S. Influência da população de plantas e do espaçamento entre linhas nos caracteres agrônômicos do híbrido de milho P30K75 em Rio Verde, Goiás. **Bioscience Journal**, v. 24, n. 2, p. 89-96, 2008.

SILVA, P. R. F.; SANGOI, L.; ARGENTA, G.; STRIEDER, M. L. **Arranjo de plantas e sua importância na definição da produtividade em milho**. Porto Alegre: Evangraf, 63 p. 2006.

SOUZA, A. P. **Mecanismo fotossintéticos e relação fonte-dreno em cana de açúcar cultivada em atmosfera enriquecida em CO₂**. Tese (Doutorado) – Instituto de Biociência da Universidade de São Paulo, Departamento de Botânica. 208 p. 2011.

STRIEDER, M. L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; RAMBO, L.; SANGOI, L.; SILVA, A. A.; ENDRIGO, P. C. A. Resposta do milho irrigado ao espaçamento entrelinhas depende do híbrido e da densidade de plantas. **Revista Ciência Rural**, v. 37, n. 3, p. 634-642, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed Editora, 820 p. 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, p. 820. 2009.

TESTA, G.; REYNERI, A.; BLANDINO, M. Maize grain yield enhancement through high plant density cultivation with different inter – row spacings. **European Journal of Agronomy**, v. 72, p. 28-37. 2015.

TIPPLE, B. J.; PAGANI, M. The early origins of terrestrial C4 photosynthesis. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, v. 35, n. 1, p. 435-461, 2007.

TOLLENAAR, M.; WU, J. Yield improvement in temperate maize is attributable to greater stress tolerance. **Crop Science**, v. 39, p. 1597-1604, 1999.

WERLE, A. J. K.; NICOLAY, R. J.; SANTOS, R. F.; SECCO, D. Avaliação de híbridos de milho convencional e transgênico (Bt), com diferentes aplicações de inseticida em cultivo safrinha. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v. 4, n. 1, p. 150-159. 2011.

XU, Z.; ZHOU, G.; SHIMIZU, H. Are plant growth and photosynthesis limited by predrought following rewatering in grass?. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n. 13, p. 3737-3749, 2009.

YU, C. L.; HUI D.; DENG Q.; WANG J.; REDDY, K. C.; DENNIS S. Responses of corn physiology and yield to six agricultural practices over three years in middle Tennessee. **Scientific reports**, v. 6, p. 27504, 2016. DOI: 10.1038/srep27504.

APÊNDICE

APÊNDICE 1: Resumo da análise de variância das variáveis fisiológicas avaliadas no estádio V8 em três híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos entre linhas de plantas.

FV	GL	QUADRADO MÉDIO					
		P _N	C _i	gs	E	EUA	EC
BLOCO	3	46,43 ^{ns}	17,62 ^{ns}	0,026 ^{ns}	24,85*	7,30*	0,24 ^{ns}
HIB	2	27,26 ^{ns}	84,34*	0,061*	9,47*	3,80*	3,09*
Resíduo	6	10,24	8,43	0,006	1,45	0,36	0,27
ESP	3	6,44 ^{ns}	16,43*	0,006 ^{ns}	1,11 ^{ns}	1,06*	0,78*
HIB*ESP	6	4,89 ^{ns}	13,46*	0,007 ^{ns}	1,47*	0,52*	0,60*
Resíduo	27	8,17	3,98	0,003	0,52	0,21	0,17
CV% HIB		7,44	19,31	20,42	15,92	10,19	17,44
CV% ESP		6,64	13,26	14,52	9,52	7,75	13,60

HIB - Tratamento de híbridos; ESP - Tratamento de espaçamento; P_N - Fotossíntese líquida; C_i - Concentração intercelular de CO₂; gs - Condutância estomática; E - Transpiração foliar; EUA - Eficiência de uso da água; EC - Eficiência de carboxilação; * - significativo; ^{ns} - não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

APÊNDICE 2: Resumo da análise de variância das variáveis fisiológicas avaliadas no estádio VT em três híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos entre linhas de plantas.

FV	GL	QUADRADO MÉDIO					
		P _N	C _i	gs	E	EUA	EC
BLOCO	3	6,48 ^{ns}	11,75 ^{ns}	0,02*	11,90*	1,72*	0,90*
HIB	2	1,04 ^{ns}	72,25*	0,03*	7,45 ^{ns}	2,15*	1,89*
Resíduo	6	0,62	5,17	0,0034	1,59	0,18	0,14
ESP	3	0,56 ^{ns}	8,50 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,38 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,17 ^{ns}
HIB*ESP	6	0,62 ^{ns}	12,82 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,50 ^{ns}
Resíduo	27	0,55	7,46	0,0046	1,02	0,16	0,23
CV% HIB		10,89	15,15	18,78	17,10	8,57	15,24
CV% ESP		10,20	18,20	21,45	13,71	8,30	19,56

HIB - Tratamento de híbridos; ESP - Tratamento de espaçamento; P_N - Fotossíntese líquida; C_i - Concentração intercelular de CO₂; gs - Condutância estomática; E - Transpiração foliar; EUA - Eficiência de uso da água; EC - Eficiência de carboxilação; * significativo; ^{ns} não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

APÊNDICE 3: Resumo da análise de variância das variáveis de crescimento dos três híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos entre linhas de plantas.

FV	GL	QUADRRADO MÉDIO			
		AP	AE	AF	DC
BLOCO	3	144,97 ^{ns}	82,72 ^{ns}	896972 ^{ns}	0,46 ^{ns}
HIB	2	956,81 ^{ns}	2419,9*	5457956 ^{ns}	13,30*
Resíduo	6	581,59	201,7	1026619,3	0,50
ESP	3	613,41*	556,3*	1439414 ^{ns}	27,64*
HIB*ESP	6	231,03 ^{ns}	109,5 ^{ns}	461716 ^{ns}	2,31 ^{ns}
Resíduo	27	132,42	54,7	1203547	2,20
CV% HIB		11,51	12,79	14,19	3,58
CV% ESP		5,49	6,66	15,36	7,27

HIB - Tratamento de híbridos; ESP - Tratamento de espaçamento; AP – Altura de planta (cm); AE – Altura de inserção de espiga (cm); AF – Área foliar (cm²); DC – Diâmetro do colmo; * significativo; ^{ns} não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

APÊNDICE 4: Resumo da análise de variância das variáveis de produtividade dos três híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos entre linhas de plantas.

FV	GL	QUADRRADO MÉDIO			
		PG	NE	NGE	M100G
BLOCO	3	2035376 ^{ns}	117179321 ^{ns}	2110 ^{ns}	2,54 ^{ns}
HIB	2	3162188 ^{ns}	10919084 ^{ns}	70934*	290*
Resíduo	6	4290382	36825902	805	12,6
ESP	3	41457411*	9965811582*	20394*	7,33 ^{ns}
HIB*ESP	6	2406670 ^{ns}	9600418*	870 ^{ns}	4,75 ^{ns}
Resíduo	27	2385483	58605663	482	6,23
CV% HIB		21,58	8,12	5,41	9,61
CV% ESP		16,09	10,24	4,19	6,75

HIB - Tratamento de híbridos; ESP - Tratamento de espaçamento; PG – Produtividade de grãos (t ha⁻¹); NE – Número de espiga por hectare; NGE – Número de grãos por espiga; M100G – Massa de 100 grãos; * significativo; ^{ns} não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.