

ROSINEY FRANÇA MENDES



**DESEMPENHO FOTOSSINTÉTICO E CRESCIMENTO DE PLANTAS DE
MILHO CULTIVADAS SOB DIFERENTES CAPACIDADES DE CAMPO**

RIO BRANCO - AC

2019

ROSINEY FRANÇA MENDES

**DESEMPENHO FOTOSSINTÉTICO E CRESCIMENTO DE PLANTAS DE
MILHO CULTIVADAS SOB DIFERENTES CAPACIDADES DE CAMPO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal do Acre, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Dr. Marcio de Oliveira Martins

RIO BRANCO - AC

2019

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

M538d Mendes, Rosiney França, 1986 -

Desempenho fotossintético e crescimento de plantas de milho cultivadas sob diferentes capacidades de campo / Rosiney França Mendes; orientador: Dr. Márcio de Oliveira Martins. – 2019.

49 f. : ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Acre, Programa de Pós-graduação em Agronomia, Área de concentração em Produção Vegetal, Rio Branco, 2019.

Inclui referências bibliográficas e apêndices.

1. *Zea mays*. 2. Estresse hídrico. 3. Fotossíntese. I. Martins, Márcio de Oliveira (orientador). II. Título.

CDD: 630

ROSINEY FRANÇA MENDES

DESEMPENHO FOTOSSINTÉTICO E CRESCIMENTO DE PLANTAS DE MILHO CULTIVADAS SOB DIFERENTES CAPACIDADES DE CAMPO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal do Acre, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

APROVADA em 01 de março de 2019

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Marcio de Oliveira Martins (Orientador)
Universidade Federal do Acre - UFAC



Prof. Dr. Frederico Henrique da Silva Costa (Membro)
Universidade Federal do Acre - UFAC



Profa. Dra. Tatiane Loureiro da Silva (Membro)
Instituto Federal do Acre - IFAC

*Aos meus pais,
Antonio Mendes da Silva e Edna Teixeira de França,
pelos ensinamentos, amor, apoio incondicional e por
serem os meus maiores exemplos de educação,
perseverança e honestidade.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder a dádiva da vida, saúde, disposição e sabedoria para alcançar meus objetivos.

À Universidade Federal do Acre, em especial ao Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa.

Ao Prof. Dr. Marcio de Oliveira Martins, pela excelente orientação, ensinamentos, direcionamentos e conhecimentos transmitidos.

Aos professores do PPGPV/UFAC pelos ensinamentos e conhecimentos científicos transmitidos.

Aos membros da banca, Dr. Frederico Henrique da Silva Costa e Dra. Tatiane Loureiro da Silva, pelas valiosas contribuições neste trabalho.

Aos colegas do curso de mestrado e doutorado do PPGPV/UFAC pela amizade, companheirismo e partilha dos conhecimentos.

Aos colegas do Laboratório de Bioquímica e Fisiologia Vegetal da UFAC pela valiosa ajuda nas atividades de casa de vegetação e de laboratório.

A minha família e amigos, pelo apoio e incentivo.

A todos, que mesmo de forma indireta contribuíram para que fosse possível a realização e conclusão deste trabalho.

RESUMO

O milho é uma das culturas agrícolas mais importante do mundo devido a sua ampla utilização na alimentação humana e animal. O Brasil se destaca no cenário internacional como o terceiro maior produtor deste cereal. Contrariamente, no cenário nacional, o Acre representa pouco na produção, comparado aos principais estados produtores do país. Esta disparidade está diretamente relacionada aos poucos recursos tecnológicos e trabalhos de pesquisa voltados para cultura no estado, principalmente, com relação aos aspectos fisiológicos em interação com os fatores abióticos. Dentre estes, destaca-se o estresse hídrico, que impede a cultura de expressar o seu máximo potencial genético. Diante do exposto, objetivou-se neste estudo, avaliar o desempenho fotossintético e crescimento de plantas de milho cultivadas em diferentes capacidade de campo. O experimento foi conduzido na casa de vegetação da Universidade Federal do Acre, campus Rio Branco. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com 5 tratamentos hídricos (100%, 80%, 60%, 40% e 20% da capacidade de campo) e 6 repetições. As plantas foram propagadas a partir de sementes de milho híbrido cv. BRS Bandeirantes, as quais foram pré-germinadas em incubadora (BOD), e posteriormente repicadas para vasos plásticos com capacidade de 5 litros. O substrato utilizado foi uma mistura de terra vegetal comercial e areia lavada, na proporção 1:1 (v/v). Foram avaliadas as variáveis; crescimento, trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a*, pigmentos, dano de membrana e conteúdo relativo de água. Com exceção do dano de membrana, as demais variáveis analisadas foram influenciadas ($p < 0,05$) pelos tratamentos hídricos estudados. Plantas de milho cultivadas sob 20% e 100% da capacidade de campo, apresentam limitações fotossintéticas e no crescimento. Plantas de milho cultivadas sob 60% da capacidade de campo apresentam maior atividade fotossintética e crescimento.

Palavras-chave: *Zea mays*, estresse hídrico, fotossíntese, fluorescência.

ABSTRACT

Maize is one of the most important agricultural crops in the world due to its wide use on the human and animal food. The Brazil stands out in the international scenario as the third largest producer of this cereal. Contrary, in the national scenario, the Acre represents little in the production, compared to the major producing states of the country. This disparity is directly related to the few technological resources and research directed to culture in the region, mainly in relation to its physiological aspects in interaction with abiotic factors. Among these, water stress is highlighted, which prevents the culture from expressing its genetic potential maximum. In view of the above, the objective of this study was to evaluate the photosynthetic and growth performance of maize plants grown cultivated in different field capacity. The experiment was conducted in the greenhouse of the Federal University of Acre, Rio Branco campus. The experimental design was a completely randomized design with 5 water treatments (100%, 80%, 60%, 40% and 20% of field capacity) and 6 replications. The plants were propagated from seeds of hybrid corn cv. BRS Bandeirantes, which were pre-germinated at BOD incubator, and later peaked to plastic vessels with capacity of 5 L. The substrate used was a mixture of vegetable soil and washed sand, in a ratio of 1:1 (v/v). It was evaluated; growth, gas exchange, chlorophyll *a* fluorescence, pigments, membrane damage and relative water content. With exception of membrane damage, the variables analyzed were influenced ($p < 0.05$) by the applied water treatments. Maize plants grown under 20% and 100% of field capacity have photosynthetic and growth limitations. Maize plants grown under 60% of the field capacity present greater photosynthetic activity and growth.

Keywords: *Zea mays*, water stress, photosynthesis, fluorescence.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Médias diárias de temperatura, umidade relativa do ar e déficit de pressão de vapor durante o período experimental. Rio Branco, Acre, 2018..... | 21 |
| Figura 2 - Plantas de milho cultivadas sob diferentes capacidades de campo aos 60 dias após a repicagem. Rio Branco, Acre, 2018..... | 25 |
| Figura 3 - Número de folha (A), diâmetro do colmo (B) e altura (C) das plantas de milho cultivadas sob diferentes capacidades de campo aos 60 dias após a repicagem. Rio Branco, Acre, 2018..... | 26 |
| Figura 4 - Fotossíntese líquida (A), transpiração (B), condutância estomática (C) e pressão parcial de CO ₂ (D) das plantas de milho cultivadas sob diferentes capacidades de campo aos 45 dias após a repicagem. Rio Branco, Acre, 2018..... | 28 |
| Figura 5 - Quenching fotoquímico (A) e não-fotoquímico (B), e taxa de transporte de elétrons (C) das plantas de milho cultivadas sob diferentes capacidades de campo aos 45 dias após a repicagem. Rio Branco, Acre, 2018..... | 29 |
| Figura 6 - Eficiência quântica efetiva (A) e potencial (B) das plantas de milho cultivadas sob diferentes capacidades de campo aos 45 dias após a repicagem. Rio Branco, Acre, 2018..... | 30 |
| Figura 7 - Eficiência do uso de água (A) e de carboxilação (B) das plantas de milho cultivadas sob diferentes capacidades de campo aos 45 dias após a repicagem. Rio Branco, Acre, 2018..... | 31 |
| Figura 8 - Conteúdo relativo de água (A) e dano de membrana (B) das plantas de milho cultivadas sob diferentes capacidades de campo aos 60 dias após a repicagem. Rio Branco, Acre, 2018..... | 32 |
| Figura 9 - Clorofila a e b (A), relação clorofila a/b (B), clorofila total (C) e carotenoide (D) das plantas de milho cultivadas sob diferentes capacidades de campo aos 60 dias após a repicagem. Rio Branco, Acre, 2018..... | 33 |
| Figura 10 - Massas seca das folhas (A), do colmo (B), das raízes (C) e total (D) das plantas de milho cultivadas sob diferentes capacidades de campo aos 60 dias após a repicagem. Rio Branco, Acre, 2018..... | 35 |
| Figura 11 - Relação raiz/parte aérea (A) e alocação de biomassa (B) das plantas de milho cultivadas sob diferentes capacidades de campo aos 60 dias após a repicagem. Rio Branco, Acre, 2018..... | 36 |

LISTA DE APÊNDICES

- APÊNDICE A - Resumo da análise de variância de regressão para altura de planta (AP), diâmetro do colmo (DC), número de folhas (NF) e massas secas da folha (MSF), do colmo (MSC), das raízes (MSR) e total (MST) das plantas de milho cultivadas sob diferentes capacidades de campo..... 48
- APÊNDICE B - Resumo da análise de variância de regressão para alocação de biomassa na folha (BF), no colmo (BC), na raiz (BR) e relação raiz/parte aérea (RRPA) das plantas de milho cultivadas sob diferentes capacidades de campo..... 48
- APÊNDICE C - Resumo da análise de variância de regressão para dano de membrana (DM), conteúdo relativo de água (CRA), clorofilas: a (Cla), b (Clb), total (Clt), relação clorofila a/b (RClab) e carotenoide (CR) das plantas de milho cultivadas sob diferentes capacidades de campo em Rio Branco..... 48
- APÊNDICE D - Resumo da análise de variância de regressão para fotossíntese líquida (P_N), transpiração (E), condutância estomática (g_s), pressão parcial de CO_2 (C_i), eficiência do uso da água (EUA) e eficiência de carboxilação (EC) das plantas de milho cultivadas sob diferentes capacidades de campo..... 49
- APÊNDICE E - Resumo da análise de variância de regressão para eficiência quântica efetiva ($\Delta F/F_m'$), eficiência quântica máxima (F_v/F_m), quenching fotoquímico (qP), quenching não fotoquímico (NPQ) e taxa de transporte de elétrons (ETR) das plantas de milho cultivadas sob diferentes capacidades de campo..... 49

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 10 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA | 12 |
| 2.1 ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO MILHO | 12 |
| 2.2 FOTOSSÍNTESE E O CICLO C4 | 13 |
| 2.3 ESTRESSE HÍDRICO EM PLANTAS..... | 14 |
| 2.4 ESTRESSE HÍDRICO NA CULTURA DO MILHO..... | 17 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS | 20 |
| 3.1 MATERIAL VEGETAL E CONDIÇÕES DE CULTIVO..... | 20 |
| 3.2 TROCAS GASOSAS..... | 21 |
| 3.3 FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA <i>a</i> | 21 |
| 3.4 CONTEÚDO RELATIVO DE ÁGUA E DANO DE MEMBRANA..... | 22 |
| 3.5 TEORES DE CLOROFILAS E CAROTENOIDE | 23 |
| 3.6 VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO | 23 |
| 3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA | 24 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 25 |
| 5 CONCLUSÕES | 37 |
| REFERÊNCIAS | 38 |
| APÊNDICES | 47 |

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) se destaca no cenário mundial como uma das principais culturas agrícola cultivada. É um dos cereais mais amplamente utilizado, devido a sua extensa aplicação, principalmente na alimentação humana, ração animal e na produção de bicompostível.

Durante o crescimento e o desenvolvimento, as plantas são expostas a uma variedade de estresses abióticos, incluindo o déficit hídrico, inundação, salinidade, congelamento, baixas e altas temperatura, luz de baixa e alta intensidade, toxicidade por metais pesadas, ozônio, dióxido de carbono, pH do solo, Irradiação UV e vários outros. Dentre estes, o estresse por déficit hídrico é uma das principais causas do baixo desempenho dos vegetais (PRAXEDES et al., 2010; SILVA et al., 2011; MOHANTA et al., 2017). O estresse hídrico é um condicionante que reduz o desenvolvimento e potencial de produção das plantas, estando diretamente relacionado a locais com ocorrência de veranicos, ou seja, de baixa precipitação e elevada temperatura e radiação solar, bem como, ausência e manejo da irrigação (HOLANDA et al., 2014).

O estresse hídrico afeta as plantas em diversos níveis, ocorrendo modificações morfológicas, fisiológicas, bioquímicas e genéticas, incluindo ativação transcricional de genes metabólicos, produção e acúmulo de osmólitos para auxiliar na retenção de água (MILLER et al., 2010). Dessa forma, a disponibilidade hídrica afeta todos os processos, condicionando a planta a ter baixos desempenho, principalmente por impedir que as mesmas emitam folhas novas e/ou aumentem suas áreas foliares, sendo que o nível dessas alterações é decorrente da intensidade do estresse. Efeitos posteriores incluem o fechamento estomático, redução nas taxas fotossintéticas, redução drástica na produtividade e, em uma fase final, morte da planta (CHAVES et al., 2009).

A fotossíntese de plantas cultivadas sob estresse hídrico é diretamente afetada. No primeiro momento, as trocas gasosas são reduzidas em virtude do fechamento estomático ocasionando uma redução na disponibilidade de CO₂ dentro do parênquima lacunoso das folhas. Isso faz com que a carboxilação seja afetada, reduzindo a produção de esqueletos de carbono (FLEXAS et al., 2010). Em um segundo momento, as enzimas que participam da fase bioquímica da fotossíntese têm sua atividade reduzida em consequência da falta de água, onde se inicia uma fase de limitação metabólica o que compromete seriamente todo o processo fotossintético (HU et al., 2011; FLEXAS et al., 2016).

A ocorrência de estresse por déficit hídrico na cultura do milho pode ocasionar danos em todas as fases. Na fase vegetativa, devido ao menor alongamento celular e à redução da massa, há uma diminuição na taxa fotossintética, conseqüentemente a produção de grãos é afetada. Na fase do florescimento, a ocorrência de dessecação dos estilos-estigmas, aborto dos sacos embrionários, distúrbios na meiose, aborto das espiguetas e morte dos grãos de pólen resultarão em redução no rendimento. Na fase de enchimento de grãos, afeta o metabolismo da planta e o fechamento dos estômatos, reduzindo a taxa fotossintética e, conseqüentemente, a produção de fotoassimilados e sua translocação para os grãos (CRUZ, 2010).

Espécies anuais de elevado interesse econômico como o milho, são diretamente afetadas por períodos com excesso e/ou falta de água, o que pode acarretar em uma diminuição do potencial genético da cultura. Estudos que esclareçam as mudanças que ocorrem nas espécies durante o período de estresse hídrico, são de extrema importância para compreensão dos processos fisiológicos, e posteriores manejo e melhoramento da cultura. Entretanto, as pesquisas acerca do tema na região norte e principalmente no Acre, são escassas, e quando existem, são superficiais, onde não há total esclarecimento dos processos fisiológicos das plantas estudadas nestas condições de cultivo.

Pelo exposto, objetivou-se neste estudo avaliar o desempenho fotossintético e crescimento de plantas de milho cultivadas em diferentes capacidades de campo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Em decorrência das variações climáticas impactos ambientais negativos vêm impedindo a expansão na agricultura em alguns setores. Por exemplo, os períodos de estiagens e cheias tem se tornado cada vez mais frequentes, e percebe-se um estreitamento entre a relação dos vegetais cultivados com a disponibilidade hídrica. Evidencia-se na literatura que dentre os estresses abióticos, o hídrico é o que mais interfere no desempenho das culturas agrícolas. A cultura do milho é uma das mais afetadas por este tipo de estresse, por ser extremamente dependente das condições hídricas durante suas fases de crescimento e desenvolvimento.

2.1 ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO MILHO

O milho (*Zea mays* L.) pertence à ordem Gramineae e família Poaceae. É uma planta herbácea, fotossinteticamente eficiente do grupo C4, alógoma, monoica, apresenta uma inflorescência masculina (pendão) e uma feminina (espiga) em diferentes locais da planta protândrica (GALVÃO et al., 2015).

A espécie é originária da América Central, sendo um dos principais cereais cultivados no mundo, faz parte da composição de muitos produtos utilizados na alimentação humana e animal e é matéria-prima para a indústria, principalmente em função da quantidade e da natureza das reservas energéticas acumuladas nos grãos (BRITO et al., 2013).

O milho é um dos mais eficientes armazenador de energia existente na natureza. De uma semente que pesa pouco mais de 0,3 g é formada uma planta, geralmente com mais de 2,0 m de altura, isto dentro de um espaço de tempo de cerca de nove semanas. Posteriormente, produz cerca de 600 a 1.000 sementes similares àquela da qual se originou (ALDRICH et al., 1982).

É uma das culturas de maior importância econômica do mundo, cultivado em países de clima tropical, subtropical e de clima temperado. No Brasil, apresenta posição de destaque, sendo cultivada em cerca de 17,39 milhões de hectares, com uma produtividade média de 5,52 t.ha⁻¹ (CONAB, 2017). Cultivado em duas safras no ano, as regiões Centro-Oeste, Sul, Sudeste e Nordeste, são as maiores produtoras do país, respectivamente. A região Norte ocupa o último lugar na produção nacional com 2,52 mil toneladas. Dentro dos estados da região norte, o Acre ocupa o quarto lugar com produção de 81,5 toneladas (IBGE, 2019).

2.2 FOTOSSÍNTESE E O CICLO C4

A fotossíntese é o mecanismo pelo qual os vegetais e algumas bactérias sintetizam compostos orgânicos utilizando a luz como fonte de energia. A energia fixada via fotossíntese é armazenada em compostos orgânicos que são utilizados no metabolismo celular da planta. A exceção da energia fixada por microrganismos quimiossintetizadores, a fixada pelas plantas durante a fotossíntese constitui a base da cadeia alimentar do planeta (MARENCO et al., 2014).

A fotossíntese em plantas superiores engloba duas fases: a Fotoquímica onde a água fornece elétrons através de sua fotooxidação no lúmen do tilacóide liberando O_2 , e a Bioquímica onde tem-se a fixação do carbono oriundo do CO_2 , tendo como resultado a formação de triose fosfato, que poderão ser usada para formação de amido no cloroplasto ou de sacarose no citosol (PIKART, 2014).

A atividade fotossintética é dependente dos fatores externos (abióticos) que incluem disponibilidade de água, nutrientes, temperatura, irradiância e concentração de CO_2 , e também dos fatores internos (bióticos) que incluem características genéticas propriamente ditas, espessura da lâmina foliar, clorofila, idade da folha, e em algumas plantas, os ritmos endógenos associados ao funcionamento celular (GONZÁLEZ-CRUZ; PASTENES, 2012).

Com o incremento do O_2 na atmosfera, o processo fotossintético oxidativo de carbono também aumentou (EHLERINGER et al., 1991). Plantas C3, por não possuírem mecanismos de concentração de CO_2 , têm elevada produção de 2-fosfoglicolato pelo processo fotorrespiratório, com isso, ocorreu o surgimento das plantas do ciclo C4, que são provavelmente oriundas de anos de evolução das plantas do ciclo C3, onde muitas mudanças ocorreram em sua fisiologia a fim de minimizar a atividade da oxigenase na rubisco e a consequente perda de energia por meio do ciclo fotorrespiratório (GERHART; WARD, 2010; BEERLING; ROYER, 2011). Logo, as plantas do ciclo C4 dominam os climas mais quentes das regiões tropicais e subtropicais (EDWARDS et al., 2010).

Plantas C4 assim são classificadas por formarem como primeiro produto da fotossíntese o ácido oxalacético (4C), o qual é rapidamente reduzido a ácido málico e ácido aspártico, ambos com quatro carbono, porém mais estáveis (HATCH; SLACK, 1967). Outra característica das C4 é a presença de uma camada proeminente de células clorofiladas envolvendo os feixes vasculares das folhas (anatomia kranz ou síndrome

de Kranz). Nestas, além da presença da Rubisco, presente apenas nas células da bainha Kranz, é encontrada nas células do mesofilo foliar a fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPcase), enzima que possui afinidade maior pelo CO_2 do que a Rubisco (KLUGE et al., 2015).

O mecanismo de concentração de carbono C4 acarreta impactos na fisiologia das plantas, em razão da elevada afinidade de fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPC) em relação ao carbono, as folhas C4 mantêm menor condutância estomática, menor taxa de perda de água por unidade de carbono fixada e maior eficiência quanto ao uso da água (TAYLOR et al., 2010). A anatomia das plantas C4 garante compartimentalização das enzimas essenciais para o funcionamento do ciclo. Os primeiros compostos estáveis da fotossíntese são o malato ou aspartato, que possuem quatro carbonos. As espécies formadoras de aspartato, requerem menos poder redutor para conversão do ácido oxalacético do que as espécies formadoras de malato (SAGE et al., 2012).

A fotossíntese de plantas C4 partilham dos mesmos processos fotossintéticos fundamentais das plantas do ciclo C3, tais como: complexos coletores de luz e componentes de transporte de elétrons (TAIZ et al., 2017). No entanto, existem diferenças significativas entre os dois tipos fotossintéticos, que fazem as respostas diferirem em vários níveis em um ambiente estressante (GHANNOUM, 2008). As plantas C4 se diferem das C3 por algumas características presentes, tais como: (1) bainha do feixe vascular bem definida; (2) dimorfismo dos cloroplastos; (3) duas vias de carboxilação, envolvendo PEPcase, nas células do mesofilo, e Rubisco, nas células da bainha do feixe vascular e; (4) fotorrespiração desprezível devido aos mecanismos de concentração de CO_2 (NAYYAR; GUPTA, 2006).

2.3 ESTRESSE HÍDRICO EM PLANTAS

Os fatores ambientais influenciam no crescimento e desenvolvimentos dos vegetais. No entanto, quando esses fatores conduzem a um desvio das condições fisiológicas, eles são tidos como fatores de estresse. De todos os fatores estressante envolvidos no cultivo de cereais, a disponibilidade hídrica corresponde ao grupo dos mais importantes e que devem ser estudados (CRAMER et al., 2011; ZHU, 2016).

A água é uma das principais e mais abundantes substâncias presentes na superfície terrestre, sendo o meio responsável para o desenvolvimento de toda atividade

celular (LEHNINGER, 2006). Considerada como fundamental constituinte vegetal, compõe cerca de 95% da biomassa verde dos vegetais, e é de grande importância para a manutenção da integridade funcional de moléculas biológicas, células, tecidos e organismos (TAIZ; ZEIGER, 2009; CHAVARRIA; SANTOS, 2012). Juntamente com a temperatura, a água é o recurso determinante para o funcionamento e crescimento pleno das plantas, ao mesmo tempo em que é considerado também como o mais limitante, uma vez que constitui a matriz e o meio onde ocorre a maioria dos processos bioquímicos essenciais à vida dos vegetais (LEHNINGER, 2006). Desta forma, tanto a distribuição natural as plantas distribuídas naturalmente na superfície da terra, como as cultivadas nas atividades agrícolas diversas, são altamente dependentes da disponibilidade hídrica (PIMENTEL, 2004; SANTOS et al., 2011).

Na fotossíntese, a água é demandada na liberação de prótons e elétrons da etapa fotoquímica, assim como na regulação da abertura e fechamento dos estômatos, possibilitando a absorção de CO_2 e a mobilização de fotoassimilados pela planta (CHAVARRIA; SANTOS, 2012). A água atua também como a fonte de oxigênio molecular existente na atmosfera, que é produzido na fotossíntese, assim como do hidrogênio utilizado para síntese de carboidratos a partir da redução do CO_2 (PIMENTEL, 2004).

As plantas podem estar submetidas a diversos tipos de estresses ambientais (ANGELOCCI, 2002). Segundo Jones e Jones (1989), o estresse, numa visão geral, é definido como uma pressão excessiva de algum fator adverso que tende a dificultar o funcionamento normal dos sistemas. Do ponto de vista botânico, o estresse é definido como um significativo desvio das condições normais para a vida da planta, resultando em mudanças e respostas do organismo (BLUM et al., 1991).

Plantas cultivadas em ambientes naturais estão propensas a diversos fatores abióticos que podem acarretar determinados tipos de estresse e comprometer seus potenciais produtivos. Segundo Larcher (2000) o estresse pode levar a alterações e respostas no interior dos organismos, podendo ser reversíveis no começo, ou se tornar permanente. O estresse hídrico é considerado dentre os fatores abióticos, um dos principais limitantes ambientais que interfere no rendimento das culturas (CHAVES; OLIVEIRA, 2004).

Um dos principais fatores causador de estresse nas plantas é a disponibilidade hídrica. As plantas podem sofrer danos tanto por excesso como por falta de água. No entanto, o estresse ocasionado por deficiência hídrica é o mais comum, afetando

sobretudo, a produtividade (CAVALCANTE et al., 2009). A deficiência hídrica se destaca entre os diversos estresses abióticos limitantes da produção agrícola mundial (MANAVALAN et al., 2009). Segundo Oliveira et al. (2015) a disponibilidade hídrica tem sido um dos limitantes para evolução das espécies. Desta forma, a habilidade para lidar com o estresse hídrico é um importante determinante de seleção natural das plantas e produtividade das culturas agrícolas.

Os efeitos causados pelo estresse hídrico provocam mudanças na anatomia, fisiologia e bioquímica das plantas, com intensidade dependente do tipo de planta e da duração, as quais podem estarem submetidas ao estresse (ARAÚJO et al., 2010). Pode afetar as planta em seus diferente estádios de crescimento e desenvolvimento, até mesmo na germinação e consequentemente na estabilização do estande (BALARDIN et al., 2011). E na produtividade (COSTA et al., 2008; BILIBIO et al., 2010).

Do ponto de vista fisiológico e bioquímico, o estresse hídrico afeta a fotossíntese das plantas em decorrência dos efeitos estomáticos e não estomáticos (ARAÚJO et al., 2010). Em situações em que o estresse é considerado leve ou moderado, o efeito estomático prevalece, diminuindo a fotossíntese pelo aumento da resistência à difusão do CO₂ (GALMÉS et al., 2011). Smit e Singels (2006) associam o aumento desta resistência devido ao fechamento estomático em função da diminuição do potencial de água na folha e redução do conteúdo de água no solo, ou ainda em resposta a elevada demanda atmosférica (ENDRES et al., 2010). Nesse caso, o fechamento estomático pode ser o indicador mais sensível do estresse, do que a perda de turgor.

Por outro lado, o efeito não estomático relaciona-se com os processos fotoquímicos e bioquímicos. No primeiro, o estresse hídrico reduz o transporte de elétrons e afeta a síntese de ATP e NADPH, enquanto que nos processos bioquímicos, há uma redução da eficiência de carboxilação e/ou na quantidade e atividade das enzimas responsáveis pelo metabolismo fotossintético, principalmente a rubisco (TAIZ et al., 2017).

As plantas sob condições ambientais adversas, apresentam desempenho fotossintético e crescimento diverso, senda cada espécie capaz de desencadear mecanismos adaptativos distintos para lidar com as condições estressantes específicas (COUSINS et al., 2014). As perdas resultantes de estresses abióticos como o estresse hídrico, pode afetar o crescimento e desenvolvimento das plantas, impactando em uma redução no rendimento de até 50% (BOYER, 1982).

Conforme Bellard et al. (2012) os impactos do estresse hídrico no crescimento e desenvolvimento das plantas são evidentes pelos desafios ecológicos em função das mudanças climáticas, e que as restrições fisiológicas à produção vegetal são agravadas pelo aumento da população humana e pela competição por recursos ambientais, criando novos problemas para a produção agrícola e florestal. O estresse hídrico provocado pela baixa disponibilidade de água é o principal fator que limita o crescimento e a produtividade das plantas em todo o mundo, e as mudanças globais provavelmente tornará a escassez de água uma limitação ainda maior à produtividade das plantas em uma escala cada vez mais crescente (CHAVES et al., 2003; HAMDY et al., 2003).

As plantas desenvolveram estratégias para eliminar ou diminuir os impactos da estresse hídrico, tais como: promover o crescimento vegetativo rápido; evitar a desidratação, pela retenção de água nos tecidos; desenvolvimento da "tolerância" fisiológica à seca (BERGER et al., 2010). A resistência à seca por exemplo, baseia-se tipicamente no aumento da atividade de enzimas antioxidantes e mudanças na morfologia e fisiologia da planta (KRESLAVSKI et al., 2009). O estresse hídrico provocado por déficit hídrico severo pode resultar em declínios significativos na produtividade primária líquida e eventos de mortalidade dos vegetais em grande escala (ALLEN et al., 2010; HICKE; ZEPPEL, 2013).

2.4 ESTRESSE HÍDRICO NA CULTURA DO MILHO

O estresse hídrico é o fator ambiental que mais interfere no desempenho da cultura do milho, sendo a disponibilidade de água às plantas que mais influencia no rendimento de grãos, por ocasionar perturbações fisiológicas e morfológicas que prejudicam o crescimento e desenvolvimento da cultura (MARTINS et al., 2010). O milho é uma gramínea altamente suscetível ao estresse hídrico (MAGALHÃES; DURÃES, 2006).

A cultura do milho apresenta sensibilidade ao estresse hídrico provocado pela baixa disponibilidade de água no solo, principalmente no período crítico, que inicia no florescimento até enchimento dos grãos. Assim, as perdas de produtividade nas safras de milho nas maiores áreas produtoras do Brasil, estão relacionadas a disponibilidade de água de cada região (HERNÁNDEZ et al., 2015). A grande variabilidade na produção de milho tem como causa principal o estresse por deficiência hídrica, devido ao regime de chuvas inconstantes nas diversas regiões do país, esse fato demonstra a alta exigência de água demandada pela cultura (SOUZA et al., 2015).

Conforme Wu et al. (2011), o milho cultivado sob deficiência hídrica apresentou redução na formação de fitomassa e na transpiração quando a umidade nos vasos foram inferiores a 90%, interferindo nos fotoassimilados para o enchimento dos grãos. Brito et al. (2013) afirmam que o crescimento da cultura é limitado pela deficiência hídrica, sendo o diâmetro e a massa seca do colmo, as variáveis indicadas para o estudo do estresse hídrico em milho, por serem mais sensíveis, e que as trocas gasosas são reduzidas pela limitação em água, sendo a condutância estomática a variável fisiológica mais sensível ao estresse ocasionado pela deficiência hídrica.

Schittenhelm (2010) estudando o efeito do suprimento hídrico baixo, médio e alto, na cultura do milho, verificou maiores produções nas maiores lâminas e maiores eficiências no uso da água nas menores lâminas aplicadas, todavia, usando a matéria seca de toda a planta. Nascimento et al. (2017) ao analisaram a produtividade de espigas de milho verde sob diferentes regimes hídricos observaram efeito negativo da deficiência hídrica sobre a altura e o desenvolvimento das plantas. Bergamaschi et al. (2004) afirmam que a produtividade de grãos de milho é decorrente das condições hídricas durante o período crítico, que se estende do pendoamento até o início do enchimento de grãos. O déficit hídrico por uma semana durante o florescimento pode reduzir em 50% o rendimento de grãos; se posterior à polinização, reduz em 30% (NICKELL, 1983).

Conforme Bastos et al. (2017) o estresse provocado pelo déficit hídrico influenciou no fechamento dos estômatos, reduziu a transpiração, a fotossíntese e conseqüentemente a produção de fotoassimilados e o crescimento das plantas. Rivera-Hernández et al. (2010) corroboram que há decréscimos no comprimento de espigas com estresse hídrico. Bergamaschi et al. (2006) observaram uma redução linear com maior impacto na produtividade de grãos à medida que se elevou o déficit hídrico na fase de florescimento. Biscaro et al. (2008) constataram que o diâmetro de colmo e a produtividade de espigas despalhadas expressaram maiores valores em função do maior tempo de irrigação e com maior oferta de água.

Bergamaschi et al. (2006) afirmam que o déficit hídrico tem maior impacto sobre o rendimento de grãos de milho quando ocorre no florescimento. Segundo os referidos autores, a adoção de uma dose de rega de 60% daquela necessária para elevar a umidade do solo à capacidade de campo permite aumentar a eficiência de uso da irrigação.

Guimarães et al. (2014) analisaram diferentes mecanismos fisiológicos que as plantas de milho apresentam sob estresse por deficiência hídrica e notaram que os decréscimos da condutância estomática (g_s) durante o experimento foram bastante acentuados entre as cultivares estudadas, ainda segundo os referidos autores, a deficiência hídrica severa promove como uma das primeiras respostas o fechamento estomático, como estratégia para diminuir a perda de água, promovendo decréscimo na taxa fotossintética.

Segundo Maldaner et al. (2014) quando as plantas de milho são submetidas a condições de estresses como a deficiência hídrica por um período prolongado ocorre decréscimo na distribuição de fotoassimilados, promovendo a redução dos caracteres morfológicos e perdas na produtividade da cultura. Caron et al. (2017) relatam que a redução no rendimento da cultura ocorre pelo fato de que as plantas não exibem reservas suficientes de fotoassimilados para manter o desenvolvimento das plantas e manter o potencial de produção, e dessa forma a cultura é condicionada ao suprimento de fotoassimilados advindos da fotossíntese a qual também é influenciada pelas condições do estresse.

A seleção de genótipos mais tolerantes ao estresse hídrico é uma forma de melhorar a adaptação do milho. Assim, o uso de parâmetros fisiológicos pode aumentar a precisão na identificação de genótipos superiores nesses ambientes de cultivo (ARAUS et al., 2011). Portanto, estudos que avaliem a tolerância da cultura ao estresse hídrico quanto as repostas fisiológicas, são altamente requeridas, pois podem trazer melhorias por meio do manejo adequado e/ou melhoramento, os quais poderão influenciar no melhor rendimento da cultura.

3 MATERIAL E MÉTODOS

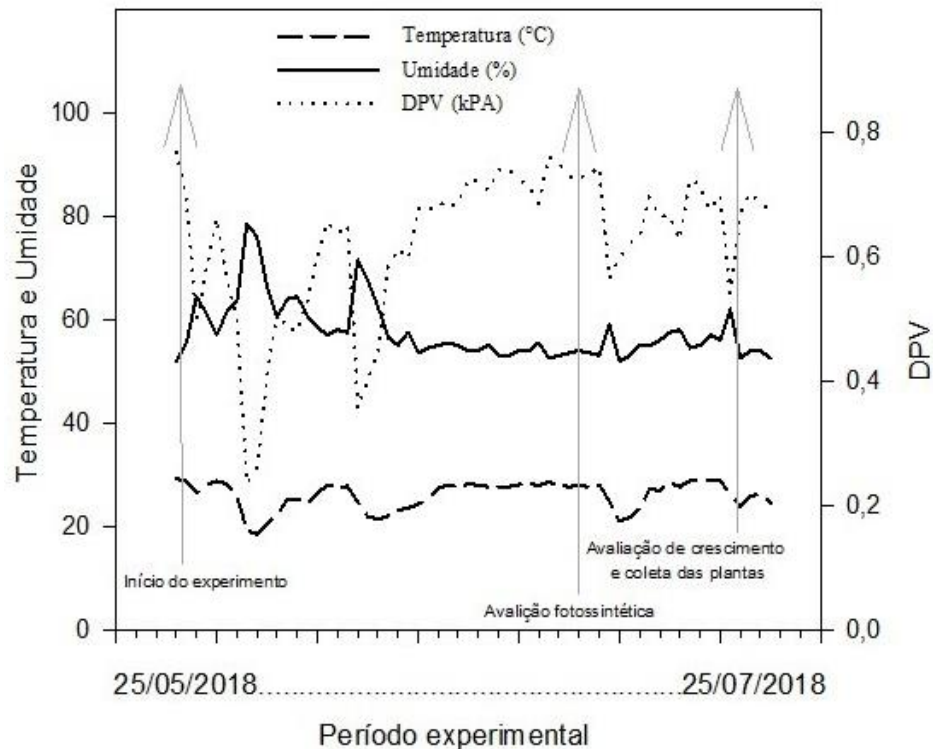
3.1 MATERIAL VEGETAL E CONDIÇÕES DE CULTIVO

O experimento foi realizado na casa de vegetação da Universidade Federal do Acre, Campus Rio Branco. As plantas foram propagadas a partir de sementes de milho híbrido cv. BRS Bandeirantes, as quais foram pré-germinadas em incubadora (BOD), e posteriormente repicadas para os vasos. O substrato utilizado foi uma mistura de terra vegetal comercial e areia lavada, na proporção 1:1 (v/v). O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado com 5 tratamentos hídricos (100%, 80%, 60%, 40% e 20% da capacidade de campo) e 6 repetições. As unidades experimentais estiveram constituídas por vasos plástico de 5 litros e com uma planta.

A capacidade de campo para os tratamentos hídricos foi estabelecida previamente como o conteúdo de água retida pelo substrato seco após sofrer saturação e posterior drenagem do excesso. A massa de água retida no substrato foi considerada como 100% da capacidade de campo (CAIRO, 1995). Posteriormente, os demais tratamentos hídricos (20, 40, 60 e 80%) foram estabelecidos calculando-se as respectivas porcentagens do peso de água retido no tratamento hídrico 100%. A manutenção dos tratamentos hídricos foi realizada por meio da pesagem diária dos vasos e com as devidas reposições do volume de água transpirada, utilizando-se uma balança digital com capacidade para 15 kg.

As variáveis climáticas (temperatura e umidade relativa do ar) foram medidas diariamente durante todo o período experimental por meio de um termohigrômetro digital instalado na casa de vegetal. Estes dados foram utilizados posteriormente para o cálculo do Déficit de Pressão de Vapor - DPV (Figura 1). O DPV foi calculado pela diferença entre a pressão de saturação de vapor d'água (e_s) e a pressão parcial de vapor (e_a), conforme a equação ($\Delta e = e_s - e_a$), onde Δe se refere ao déficit de pressão de vapor (PEREIRA et al., 2002). A pressão de saturação de vapor (e_s) e a pressão parcial de vapor (e_a) foi calculada aplicando-se a equação de Tetens (1930), sendo: $e_s = 0,6108 \times 10^{7,5 \times T_{ar} / 237,3 + T_{ar}}$, em que T_{ar} é a temperatura do ar em °C. A pressão parcial de vapor (e_a) foi calculada pela equação: $e_a = UR\% \times e_s / 100$. Em que UR é a umidade relativa atual do ar em %.

Figura 1 - Médias diárias de temperatura, umidade relativa do ar e déficit de pressão de vapor durante o período experimental. Rio Branco, Acre, 2018.



3.2 TROCAS GASOSAS

As trocas gasosas foram avaliadas utilizando-se um analisador de gás no infravermelho (IRGA). Foram avaliadas a fotossíntese líquida (P_N), a condutância estomática (g_s), a transpiração foliar (E) e a pressão parcial de CO_2 (C_i). Para tanto, foi utilizada a parte mediana da folha, evitando-se a nervura central. Nas referidas medidas, a temperatura da câmara foi mantida em 28 °C, a concentração de CO_2 externa (referência) mantida em 400 ppm e a densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativa (PPFD) na folha, mantida em 1200 μmol de fótons. A eficiência do uso da água (EUA) foi calculada pela relação entre a fotossíntese líquida e a transpiração foliar (P_N/E). A eficiência de carboxilação (EC) foi verificada a partir da relação entre a fotossíntese líquida e a pressão parcial de CO_2 (P_N/C_i).

3.3 FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA *a*

No mesmo momento da avaliação das trocas gasosas, foram analisados os parâmetros de fluorescência da clorofila *a*. Para tanto, foi utilizado um fluorômetro acoplado ao IRGA (modelo Li-6400-40). As medidas foram realizadas por meio do

método de pulso de saturação conforme Schreiber et al. (1994) nas folhas iluminadas e adaptadas ao escuro por 30 minutos. A intensidade e duração do pulso de saturação de luz foram de 8000 $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e 0,7 segundos, respectivamente. A luz azul foi mantida em 10% da radiação aplicada para maximizar a abertura estom\u00e1tica. Desta forma, os seguintes par\u00e2metros foram medidos: efici\u00eancia qu\u00e2ntica potencial do fotossistema II [$F_v / F_m = (F_m - F_o) / F_m$], efici\u00eancia qu\u00e2ntica atual do fotossistema II ($[\Delta F / F_m' = (F_m' - F_s) / F_m']$), quenching fotoqu\u00edmico [$qP = (F_m' - F_s) / (F_m' - F_o')$], quenching n\u00e3o-fotoqu\u00edmico [$NPQ = (F_m - F_m') / F_m'$] e taxa aparente de transporte de el\u00e9trons para o fotossistema II [$ETR = ((F_m' - F_s) / F_m') \times \text{PPFD} \times 0,4 \times 0,85$]. A constante 0,4 foi estabelecida como fra\u00e7\u00e3o de energia de excita\u00e7\u00e3o distribu\u00edda para o PSII, e 0,85 sendo a constante para a fra\u00e7\u00e3o de luz absorvida pela folhas. O F_m e F_o s\u00e3o, respectivamente, fluoresc\u00eancia m\u00e1xima e m\u00ednima de folhas adaptadas ao escuro e, F_m' e F_s , s\u00e3o respectivamente, fluoresc\u00eancia m\u00e1xima e em equil\u00edbrio din\u00e2mico e F_o' \u00e9 a fluoresc\u00eancia m\u00ednima ap\u00f3s ilumina\u00e7\u00e3o com vermelho-distante de folhas expostas a luz (GENTY et al., 1989; SCHREIBER et al., 1994; SILVA et al., 2010).

3.4 CONTE\u00cdDO RELATIVO DE \u00c1GUA E DANO DE MEMBRANA

Para a avalia\u00e7\u00e3o do conte\u00fado relativo de \u00e1gua (CRA), foram retirados dez discos de mesmo di\u00e2metro ($\cong 100 \text{ mg}$) da mesma folha utilizada nas avalia\u00e7\u00f5es de trocas gasosas e fluoresc\u00eancia. Posteriormente, esses discos foram pesados para a obten\u00e7\u00e3o da massa fresca (MF). Em seguida foram umedecidos com \u00e1gua deionizada em placa de petri forradas com papel germitest, e deixados de repouso por 24h a 4 $^{\circ}\text{C}$ protegido da luz. Ap\u00f3s este per\u00edodo foram novamente pesados para a obten\u00e7\u00e3o da massa t\u00fargida (MT). Em seguida, colocados em sacos de papel e levados \u00e0 estufa de circula\u00e7\u00e3o for\u00e7ada de ar a 65 $^{\circ}\text{C}$ at\u00e9 atingirem massa constante (aproximadamente 4 dias) e, ap\u00f3s o referido per\u00edodo, foram pesados para obten\u00e7\u00e3o da massa seca (MS). Por fim, o CRA foi obtido a partir da formula: $\text{CRA} = [(MF - MS) / (MT - MS)] \times 100$, sendo os resultados obtidos em porcentagem (CAIRO, 1995).

O dano de membrana (DM) foi estimado a partir do vazamento de eletr\u00f3litos utilizando dez discos foliares obtidos da mesma folha utilizada na determina\u00e7\u00e3o do CRA. Esses discos foram imersos em 18 mL de \u00e1gua deionizada por 24h. Posteriormente, a condutividade da suspens\u00e3o foi mensurada utilizando-se um condut\u00edmetro de bancada calibrado em solu\u00e7\u00e3o padr\u00e3o, onde foi realizada a medida, obtendo-se a primeira condutividade (C1). Logo ap\u00f3s, o material foi levado

ao banho-maria a 100 °C durante 1h, após resfriamento, foi feita nova medição da condutividade elétrica, obtendo-se a segunda medida (C2). Para obtenção do DM, as medidas foram inseridas na fórmula: $DM = (C1 / C2) \times 100$ (SILVA et al., 2010).

3.5 TEORES DE CLOROFILAS E CAROTENOIDE

Para determinação dos teores de clorofilas e carotenoides, 50 mg das mesmas folhas utilizadas para o CRA e DM foram retirados e cortados em pequenos fragmentos, em seguida foram colocados em tubos de ensaio protegidos da luz (envolvidos com papel alumínio) contendo 7 mL de acetona 80%. Os tubos foram colocados em geladeira a 4 °C por 48h para extração dos pigmentos. Posteriormente, a acetona com os pigmentos extraídos foi levada ao espectrofotômetro para leitura da absorbância nos comprimentos de onda 663 nm, 647 nm e 470 nm. De posse das leituras observadas nos respectivos comprimentos de ondas determinou-se de acordo com as equações de Lichtenthaler e Wellburn (1983) Clorofila total = $(17,3 \times A_{647} + 7,18 \times A_{663})$; Clorofila a = $(12,21 \times A_{663} - 2,81 \times A_{647})$; Clorofila b = $(20,13 \times A_{647} - 5,03 \times A_{663})$ e Carotenoides = $(1000 \times A_{470} - 3,27 \times [\text{clorofila a}] - 104 \times [\text{clorofila b}]) / 229$. Os resultados foram obtidos em mg/L e posteriormente transformados para mg/g de massa fresca.

3.6 VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO

Aos 60 dias após a repicagem foram avaliadas as variáveis; altura de planta (medidas a partir do colo da planta até inserção da última folha desenvolvida com auxílio de uma trena), diâmetro do colmo (medidos a 10 cm do colo da planta com auxílio de paquímetro digital) e número de folhas (considerando apenas as folhas completamente desenvolvidas). Para a avaliação da massa seca, as plantas foram coletadas e divididas em folha, colmo e raízes, onde os referidos órgãos foram acondicionados separadamente em sacos de papel e levados a estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até atingirem massa constante. Posteriormente, todo o material foi pesado em balança analítica.

De posse dos resultados de massa seca, foi calculado a relação raiz/parte aérea por planta, dividindo-se a massa seca das raízes pela soma das massas secas da folha e do colmo. A alocação de biomassa por planta foi obtida por meio da divisão da massa seca de cada órgão (folha, colmo e raízes) pela massa seca total, obtendo os valores em porcentagem.

3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

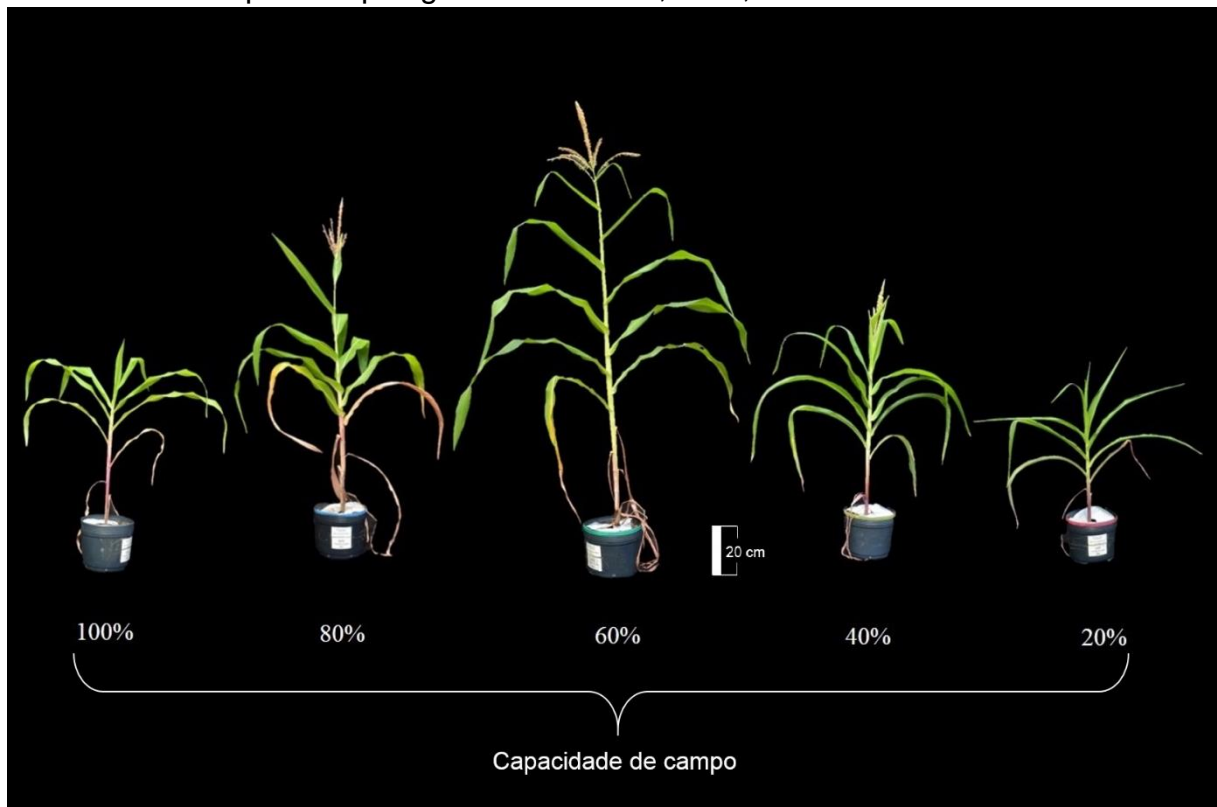
Os dados foram submetidos aos testes de Grubbs (1969) para verificação da presença de dados discrepantes, Shapiro e Wilk (1965) para verificação da normalidade dos erros, e Cochran (1941) para verificação da homogeneidade das variâncias. Para os dados que não apresentaram normalidade dos erros e/ou homogeneidade das variâncias, efetuou-se a transformação. Posteriormente, foi realizada a análise de regressão considerando-se as equações de maior grau significativo ($p < 0,05$), a qual foi realizada com auxílio do software estatístico SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2011). Os gráficos com as curvas de respostas foram elaborados no programa SigmaPlot (versão 12.0).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As plantas de milho cultivadas nos diferentes tratamentos hídricos apresentaram crescimento e desenvolvimento distintos. Em 20% e 100% da capacidade de campo além do crescimento reduzido, as plantas não floresceram, diferentemente, em 40%, apesar do crescimento reduzido, ocorreu florescimento, porém mais tardio e desuniforme quando comparado com as cultivadas em 60% e 80% da capacidade de campo (Figura 2).

Os aspectos observados quanto ao florescimento das plantas de milho foram similares aos de Melo et al. (2018) que avaliando genótipos de milho observaram atraso no florescimento nos tratamentos com baixa disponibilidade de água. Storck et al. (2009) também observaram florescimento tardio do milho cultivado sob estresse hídrico.

Figura 2 - Plantas de milho cultivadas sob diferentes capacidades de campo aos 60 dias após a repicagem. Rio Branco, Acre, 2018.



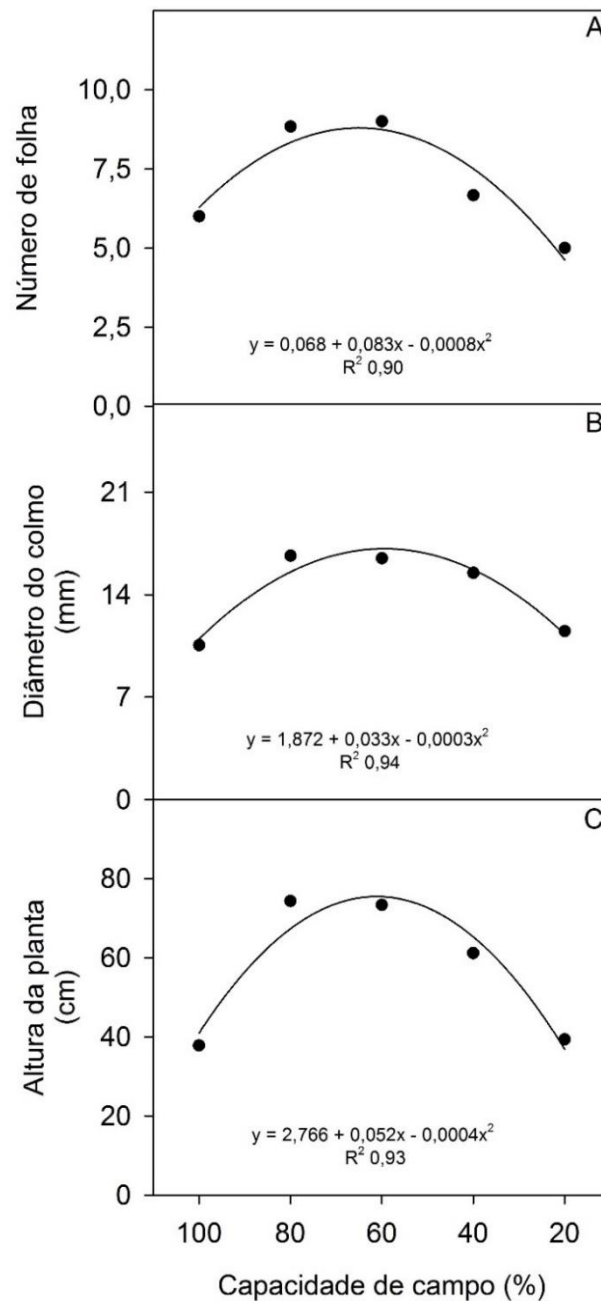
As variáveis número de folha, diâmetro do colmo e altura de planta foram influenciadas ($p < 0,05$) pelos tratamentos hídricos, ajustando-se como resposta em função quadrática com pontos máximos de 52%, 55% e 65% da capacidade de campo, respectivamente. Nos tratamentos hídricos 20%, 40% e 100%, as plantas de milho apresentaram as maiores limitações para as respectivas variáveis analisadas (Figura 3A, B e C).

As limitações de crescimento das plantas de milho nos tratamentos hídricos 20%, 40% e 100%, estão relacionadas com a baixa atividade fotossintética, nas quais o estresse

hídrico implica no fechamento estomático, decréscimo da transpiração e da fotossíntese (NASCIMENTO et al., 2017). Outro fator, é a redução da turgescência das células que está diretamente ligada a expansão celular (MUNNS; TESTER, 2008; PADILHA et al., 2016).

Tognon (2010) afirma que a redução do crescimento é um dos principais sintomas do estresse hídrico, estando a água diretamente ligada à expansão e alongação celular, e que sua restrição ocasiona paralisação nos processos fisiológicos da planta. Kresovic et al. (2016) avaliando a deficiência e excesso hídrico constataram que o estresse causado durante a fase vegetativa diminuiu o número de folhas e outros componentes de rendimento da cultura do milho.

Figura 3 - Número de folha (A), diâmetro do colmo (B) e altura (C) das plantas de milho cultivadas sob diferentes capacidades de campo aos 60 dias após a repicagem. Rio Branco, Acre, 2018.



As variáveis fotossíntese líquida (P_N), transpiração (E), condutância estomática (g_s) e pressão parcial de CO_2 (C_i) (Figura 4A, B, C e D), foram influenciadas ($p < 0,05$) pelos tratamentos hídricos analisados, apresentando como resposta ajustes em função quadrática com pontos máximos de 63%, 55% e 58% da capacidade de campo para as variáveis P_N , E e g_s , respectivamente, e ponto mínimo de 39% da capacidade de campo para a variável C_i .

Nos tratamentos hídricos com 20%, 40% e 100% da capacidade de campo, foram os que apresentaram as maiores limitações nos parâmetros de trocas gasosas, sendo 50%, 30% e 69% de redução da P_N , 66%, 38% e 55% de redução na taxa de E , e 59%, 25% e 47% de redução na g_s das plantas de milho quando comparado com seus respectivos pontos máximos. Com relação a variável pressão parcial de CO_2 (C_i) as plantas de milho apresentaram maiores concentrações no tratamento hídrico com 100% da capacidade de campo, e os menores valores, 60% e 54% de redução de C_i observados nos tratamentos com 20% e 40% da capacidade de campo.

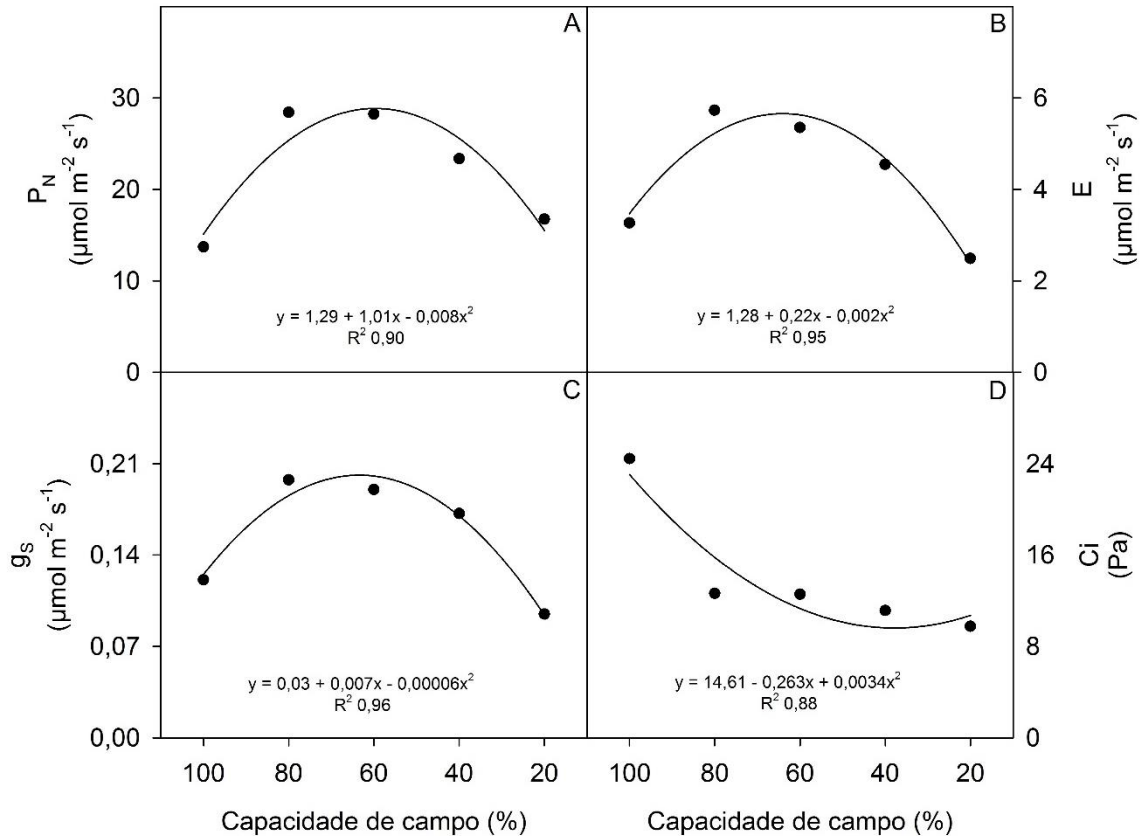
A limitação da fotossíntese líquida observada nos tratamentos com baixa disponibilidade de água (20% e 40% da capacidade de campo) está diretamente relacionada com a regulação estomática, pois segundo Virlovet e Fromm (2015) plantas expostas à seca têm baixa condutância estomática, conseqüentemente a isso também ocorre a redução da transpiração evitando assim a perda de água, o que acaba resultando na restrição à entrada de CO_2 ocasionando assim a redução da fotossíntese (LÓPEZ-CLIMENT et al., 2008; MCDOWELL et al., 2008).

No tratamento com 100% da capacidade de campo também houve redução das variáveis P_N , E e g_s que foram praticamente semelhantes ao das plantas cultivadas nos tratamentos com baixa disponibilidade de água, sendo o C_i maior quando comparado aos demais tratamentos. Isso ocorreu provavelmente devido as plantas estarem em um substrato com baixa oxigenação (hipoxia) pois essa situação promove decréscimo na capacidade fotossintética das plantas por afetar importantes processos associados com absorção e assimilação do CO_2 , e que o alto acúmulo de C_i pode estar relacionado com o CO_2 provindo da atividade respiratória e com a redução de carboxilação que nestas condições é afetada (VU; YELENOSKY 1991; LIVRAMENTO et al., 2001; PARRY et al., 2002).

Em relação a redução da condutância estomática no referido tratamento hídrico, o mesmo pode não estar relacionado com a diminuição no conteúdo de água na planta (POMPELLI et al., 2010; SILVA et al., 2010; ARCOVERDE et al., 2011). Sugerindo que os

estômatos nesta situação estão respondendo a outros fatores, como hormônios (por exemplo, ácido abscísico (ABA) com origem nas raízes (WILKINSON; DAVIES, 2002).

Figura 4 - Fotossíntese líquida (A), transpiração (B), condutância estomática (C) e pressão parcial de CO₂ (D) das plantas de milho cultivadas sob diferentes capacidades de campo aos 45 dias após a repicagem. Rio Branco, Acre, 2018.



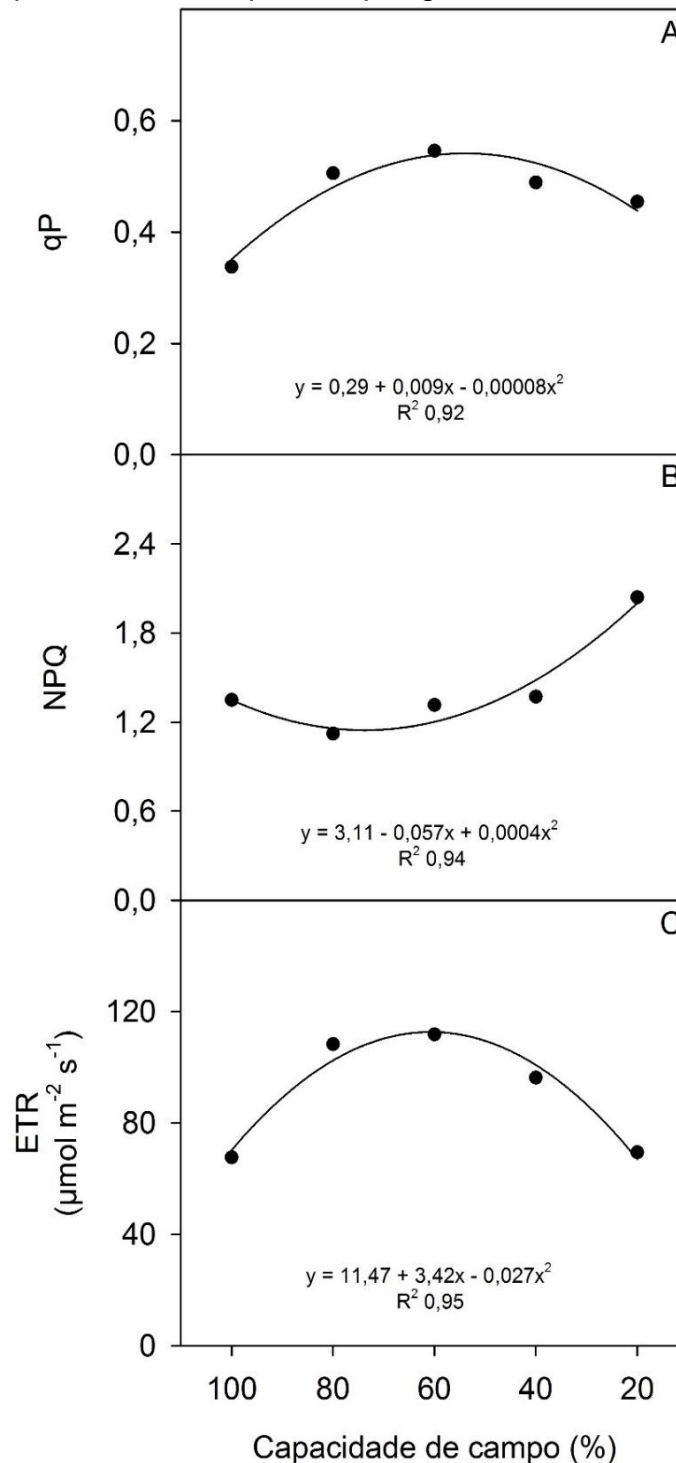
O quenching fotoquímico (qP) e não-fotoquímico (NPQ), e a taxa de transporte de elétrons (ETR) (Figura 5A, B e C) foram influenciados ($p < 0,05$) pelos tratamentos hídricos, ajustando-se em função quadrática com pontos máximos de 56% e 63% da capacidade de campo para qP e ETR, e ponto mínimo de 71% da capacidade de campo para o NPQ.

Os baixos valores de qP e ETR foram observados nos tratamentos hídricos com 20%, 40% e 100% da capacidade de campo, sendo seus comportamentos semelhantes aos da eficiência quântica efetiva e da eficiência quântica potencial do fotossistema II ($\Delta F/F_m'$ e F_v/F_m) nos referidos tratamentos hídricos (Figuras 6A e B), mostrando dessa forma que houve algum tipo de dano aos fotossistemas, e que pela pequena diferença dos valores de (F_v/F_m) que mostra a integridade das membranas dos tilacoides e das proteínas que formam os fotossistemas, sugere-se que o dano causado tenha sido uma fotoinibição reversível (MURCHIE; NYIOGI, 2011).

Em relação ao NPQ, o maior valor foi observado no tratamento com a menor

disponibilidade de água (20% da capacidade de campo) sendo neste, 59% mais elevado quando comparado aos valores dos demais tratamentos hídricos. Conforme Lawlor e Tezara (2009) o NPQ é uma forma de dissipação de energia muito utilizada quando se tem energia em excesso que não está sendo aproveitada fotoquimicamente e é um recurso muito utilizado nas plantas que estão cultivadas sob deficiência hídrica.

Figura 5 - Quenching fotoquímico (A) e não-fotoquímico (B) e taxa de transporte de elétrons (C) das plantas de milho cultivadas sob diferentes capacidades de campo aos 45 dias após a repicagem. Rio Branco, Acre, 2018.

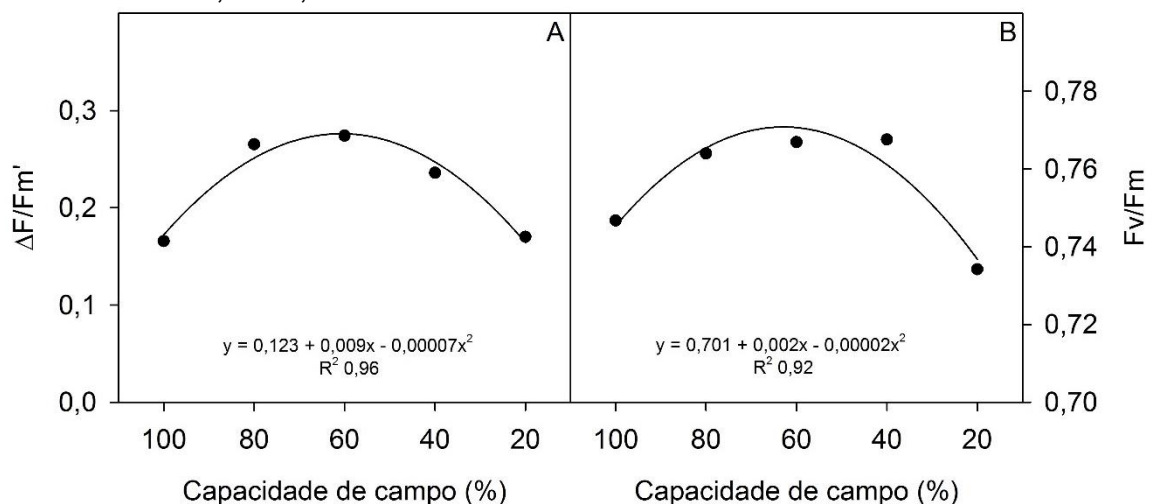


Para as variáveis eficiência quântica efetiva ($\Delta F/F_m'$) e eficiência quântica potencial do fotossistema II (F_v/F_m) (Figura 6A e B), houve influência significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos hídricos analisados, tendo como resposta ajustes em função quadrática com pontos máximos de 64% e 50% da capacidade de campo. As diferenças das referidas variáveis analisadas não foram muito acentuadas entre os tratamentos, ainda assim, provocaram danos aos fotossistemas, o qual ocasionou decréscimos nos parâmetros fotossintéticos nas plantas de milho cultivadas em 20% e 100% da capacidade de campo.

Murchie e Nyiogi (2011) destacam que os baixos valores de F_v/F_m indicam que houve algum tipo de dano aos fotossistemas, provocando assim fotoinibição, a qual pode ser dinâmica (temporária) ou permanente (crônica). Bolh ar-Nordenkampf et al. (1989) relatam que quando a planta est a com seu aparelho fotossintético intacto, o F_v/F_m deve variar entre 0,75 e 0,85 enquanto uma queda nesta razão reflete a presença de dano fotoinibit rio nos centros de rea o do PSII. Os valores de F_v/F_m observados nos tratamentos hídricos com 20% e 100% da capacidade de campo estão um pouco abaixo dessa amplitude.

Lichtenthaler e Miehe (1997) afirmam que em geral as plantas apresentam sintomas característicos em seu aparato fotossintético, como o rápido decréscimo na rela o F_v/F_m sempre que há deficiência hídrica no solo, como em milho (CRUZ, 2006), por outro lado, Ghannoum et al. (2003) não encontraram altera es significativas na rela o F_v/F_m em quatro espécies de gramíneas de ciclo C4, Heuer (1997) acredita que as altera es na rela o F_v/F_m geralmente são percebidas quando o estresse   muito severo ou em estresse de média e longa dura o.

Figura 6 - Eficiência quântica efetiva (A) e potencial (B) das plantas de milho cultivadas sob diferentes capacidades de campo aos 45 dias após a repicagem. Rio Branco, Acre, 2018.

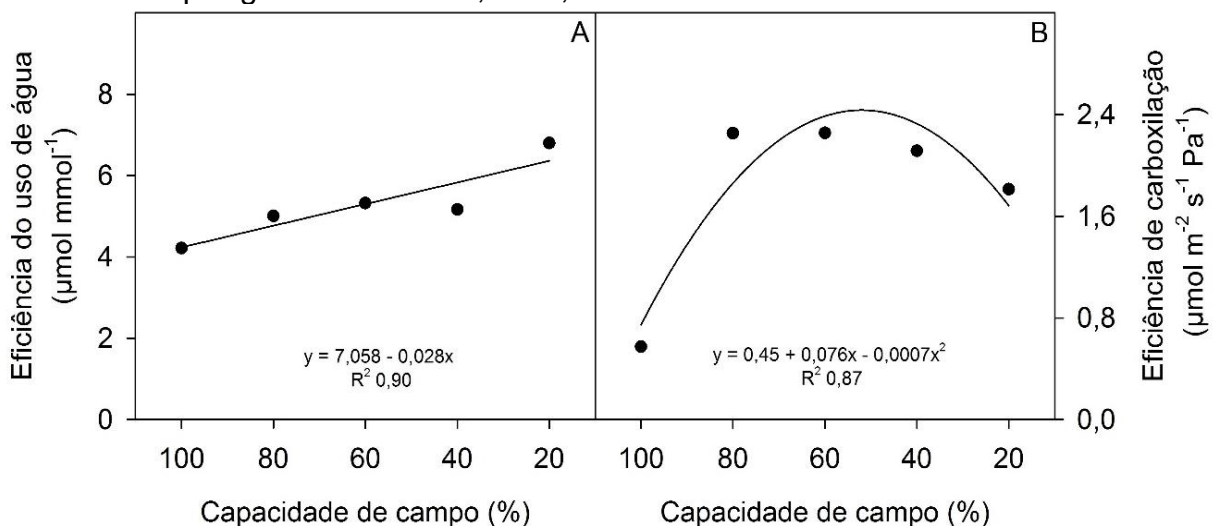


A eficiência do uso da água e de carboxilação foram afetadas ($p < 0,05$) pelos tratamentos hídricos (Figura 7A e B). A eficiência de carboxilação ajustou-se em função quadrática com ponto máximo de 54% da capacidade de campo. Já a variável eficiência do uso da água ajustou-se em função linear crescente, sendo que na medida em que houve diminuição na disponibilidade de água no substrato até o limite de 20% da capacidade de campo, ocorreu aumento da eficiência pelas plantas de milho, as quais foram 38% mais eficientes quando comparada às do tratamento hídrico com 100% da capacidade de campo.

Segundo Larcher (2004), a melhor relação entre assimilação fotossintética de CO_2 e consumo de H_2O ocorre quando os estômatos estão parcialmente fechados, podendo ser demonstrada no início do estresse hídrico quando os dois processos de difusão são prontamente reduzidos, fazendo com que a relação A/E alcance valores mais altos. Portanto, o aumento da eficiência no uso da água no tratamento com baixa disponibilidade de água no substrato (20% da capacidade de campo), evidenciado no presente estudo, pode ter sido favorecido pelo fechamento estomático, observado a partir dos resultados de g_s e E apresentados anteriormente.

A eficiência de carboxilação no tratamento hídrico com 100% da capacidade de campo apresentou redução de 56% comparada aos demais tratamentos hídricos. A baixa eficiência de carboxilação no referido tratamento foi motivada pelo fato das plantas de milho apresentarem uma alta concentração intracelular de CO_2 (C_i) que por alguma razão o mesmo não foi utilizado na atividade de carboxilação, o que inclusive comprometeu a atividade fotossintética, fazendo com que as plantas de milho tivessem uma menor taxa de fotossíntese líquida como já mostrado nos resultados de P_N anteriormente.

Figura 7 - Eficiência do uso de água (A) e de carboxilação (B) das plantas de milho cultivadas sob diferentes capacidades de campo aos 45 dias após a repicagem. Rio Branco, Acre, 2018.

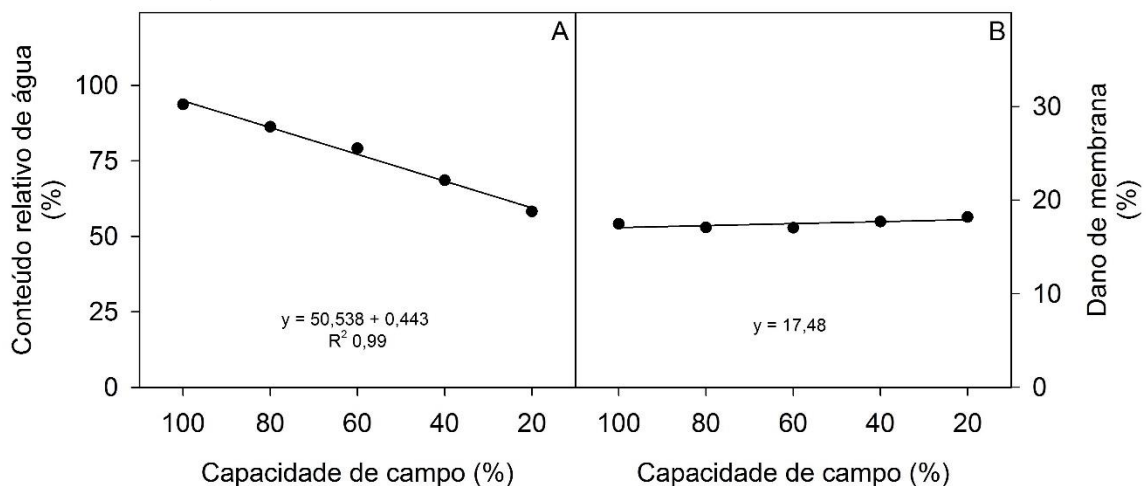


Para o conteúdo relativo de água (CRA) houve influência significativa ($p < 0,05$) dos tratamentos hídricos (Figura 8A) que ajustou-se em função linear decrescente, sendo o maior CRA observado nas plantas bem irrigadas (100% da capacidade de campo), e o menor, nas plantas cultivadas em baixa disponibilidade de água (20% da capacidade de campo) com variação de 38% entre os dois tratamentos hídricos, porém não ocasionou dano de membrana (Figura 8B).

A diminuição do conteúdo relativo de água nas plantas de milho cultivadas sob baixa disponibilidade hídrica, pode estar relacionada com a menor pressão de turgor na célula (XAVIER et al., 2014). Souza et al. (2015) notaram que o conteúdo relativo de água (CRA) nas folhas de milho foi afetado pela deficiência hídrica, observando valores de 60%. Nesse estudo, na condição de maior deficiência hídrica o CRA foi de 38%.

O vazamento de eletrólitos em tecidos foliares é um parâmetro amplamente utilizado para estimar danos causados pelo estresse hídrico (ZHAO et al., 2009). Nesse estudo, a variável dano de membrana (DM) que mede o vazamento de eletrólitos não foi influenciada ($p > 0,05$) pelos tratamentos hídricos estudados.

Figura 8 - Conteúdo relativo de água (A) e dano de membrana (B) das plantas de milho cultivadas sob diferentes capacidades de campo aos 60 dias após a repicagem. Rio Branco, Acre, 2018.



As variáveis clorofila a, b, relação clorofila a/b, clorofila total e carotenoides (Figura 9A, B, C e D) foram influenciadas ($p < 0,05$) pelos tratamentos hídricos, as quais ajustaram-se em função quadrática com pontos máximos de 61% para clorofila a, 67% para relação clorofila a/b, 59% para clorofila total, 61% para carotenoide, e ponto mínimo de 70% para clorofila b.

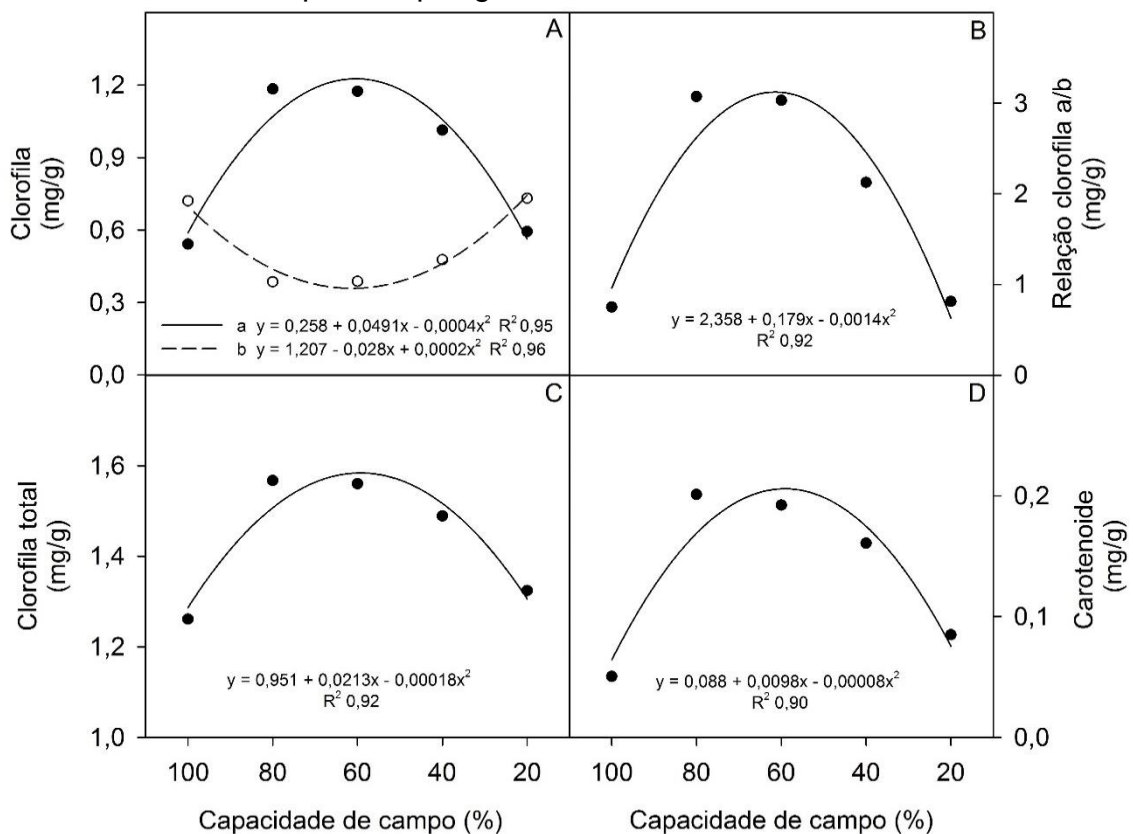
Os tratamentos com baixa e alta disponibilidade de água (20% e 100% da capacidade de campo) tiveram as maiores reduções, 50% e 54% clorofila a, 74% e

76% na relação clorofila a/b, 16% e 20% clorofila total, e 58% e 75% carotenoides, respectivamente. A variável clorofila b, cujo comportamento foi inverso ao da clorofila a, apresentou incremento de 88% e 84% para os respectivos tratamentos hídricos (20% e 100% da capacidade de campo).

Conforme Taiz et al. (2017), os pigmentos fotossintéticos desempenham função importante na fotossíntese, sendo o aumento dos mesmos responsáveis pela captação de energia luminosa, evidenciando-se a clorofila a, como o principal pigmento dos complexos coletores de luz para as reações fotoquímicas. Nesse estudo, nos tratamentos hídricos com 60% e 80% da capacidade de campo, o teor de clorofila a, impulsionou o maior incremento da clorofila total e da relação clorofila a/b, bem como, o carotenoide que tem função de fotoproteção na planta (STREIT et al., 2005).

Nos tratamentos com baixa e alta disponibilidade hídrica, houve redução dos pigmentos, justificando o baixo crescimento das plantas de milho nos referidos tratamentos. Silva et al. (2014) afirmam que a degradação das clorofilas é uma das implicações do estresse hídrico, que pode reduzir a eficiência fotossintética, além de afetar outros processos como a divisão e expansão celular.

Figura 9 - Clorofila a e b (A), relação clorofila a/b (B), clorofila total (C) e carotenoide (D) das plantas de milho cultivadas sob diferentes capacidades de campo aos 60 dias após a repicagem. Rio Branco, Acre, 2018.



As massas secas da folha, do colmo, das raízes e total (Figura 10A, B, C e D) foram influenciadas ($p < 0,05$) pelos tratamentos hídricos, ajustando-se em função quadrática com pontos máximos de 61%, 56% e 59% da capacidade de campo, respectivamente.

As variáveis de massas secas apresentaram os mesmos comportamentos da maioria das variáveis descritas anteriormente. Os tratamentos com 20%, 40% e 100% da capacidade de campo, apresentaram as maiores reduções nas massas secas, 70%, 41% e 71% da folha, 76%, 44% e 80% do colmo, 51%, 24% e 73% das raízes, e 69%, 39% e 76% da massa seca total.

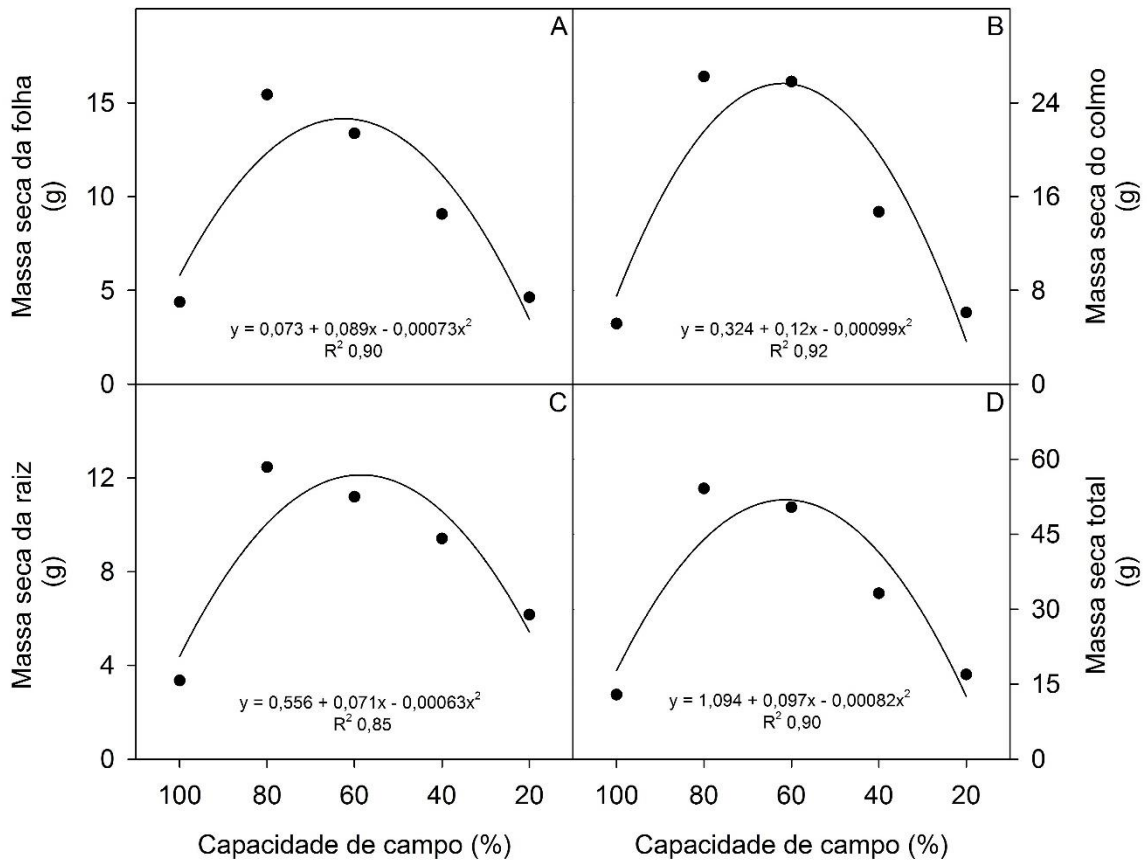
O decréscimo de massa nas plantas cultivadas sob baixa disponibilidade hídrica é consequência dos mecanismos da própria planta para evitar a perda excessiva de água, como a diminuição da área foliar. Desta forma há baixa interceptação de radiação e menor condutância estomática, fazendo com que ocorra redução na assimilação de CO_2 , e assim menor acúmulo de biomassa (CAVATTE et al., 2011).

Além disso, o decréscimo da massa seca é resultado do nível de deficiência hídrica imposta à cultura. Xavier et al. (2014) explica que a deficiência hídrica reduz a pressão de turgor e o fluxo nos vasos condutores, sendo que esses fatores provocam decréscimo no alongamento celular e no desenvolvimento das plantas, promovendo assim a redução de área foliar, altura e diâmetro, resultando em perda de biomassa vegetal.

A redução das referidas variáveis no tratamento hídrico com 100% da capacidade de campo, ou seja em alta disponibilidade de hídrica, está relacionado as limitações fotossintéticas impostas às plantas nestas condições, pois como já mencionado anteriormente, as variáveis fotossintéticas foram significativamente afetadas neste tratamento hídrico. O que acabou provocando o menor crescimento da cultura e comprometendo o ganho de biomassa vegetal.

Segundo Ferreira Junior (2013), a formação de biomassa pelo vegetal pode ser conceituada por uma relação fisiológica simples, a qual se baseia na radiação absorvida e na eficácia de conversão em matéria seca, sendo esse processo afetado pelo estresse hídrico nas plantas. Tais características foram observadas nesse estudo, pois as plantas cultivadas nos tratamentos hídricos (20%, 40% e 100% da capacidade de campo), ou seja, em condições de estresse hídrico, apresentaram reduções em seus parâmetros fotossintéticos, e conseqüentemente diminuição na massa seca.

Figura 10 - Massas secas das folhas (A), do colmo (B), das raízes (C) e total (D) das plantas de milho cultivadas sob diferentes capacidades de campo aos 60 dias após a repicagem. Rio Branco, Acre, 2018.



A relação raiz/parte aérea e alocação de biomassa (Figura 11A e B) foram influenciadas ($p < 0,05$) pelos tratamentos hídricos, as quais apresentaram como reposta ajuste em função quadrática com ponto máximo de 63% para alocação de biomassa no colmo, e pontos mínimos de 46% para alocação de biomassa na folha, 73% para alocação de biomassa nas raízes, e 70% para relação raiz/parte aérea.

As plantas de milho tiveram incremento de 49% e 31% na relação raiz/parte aérea nos tratamentos hídricos com baixa disponibilidade de água (20% e 40% da capacidade de campo), respectivamente, quando comparado aos demais tratamentos hídricos (60% 80% e 100% da capacidade de campo). Em relação a alocação de biomassa constatou-se incremento no colmo das plantas de milho cultivadas nos tratamentos hídricos com 60% e 80% da capacidade de campo, e decréscimos nos tratamentos hídricos com 20% e 100% da capacidade de campo.

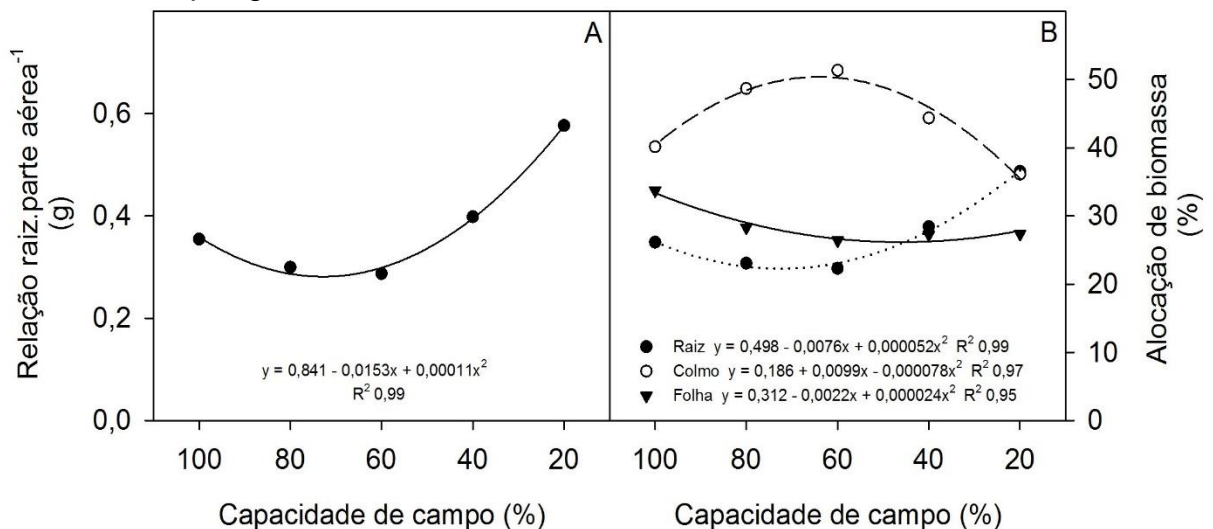
As plantas de milho alocaram mais biomassa para a folha quando foram cultivadas no substrato com alta disponibilidade hídrica (80% e 100% da capacidade de campo), sendo que a referida variável diminuiu nos tratamentos hídricos com capacidade de campo

abaixo de 80%. Para a alocação de biomassa nas raízes, o maior valor foi observado nos tratamentos com baixa disponibilidade de água (20% da capacidade de campo), e os menores, nos tratamentos hídricos com 60% e 80% da capacidade de campo.

Os resultados obtidos para a relação raiz/parte aérea mostraram que as plantas de milho apresentam maior crescimento radicular quando são cultivadas em substrato com baixa disponibilidade de água. Segundo Zhu et al. (2010) isso ocorre por se tratar de um importante processo adaptativo no qual a manutenção do crescimento das raízes durante períodos de menor disponibilidade de água permite que a planta tenha acesso a água em perfis mais profundos. Da mesma forma Oosterom et al. (2016) afirmam que plantas submetidas a escassez hídrica apresentam decréscimo no turgor celular, no entanto, as raízes se desenvolvem a procura de zonas úmidas, e quando todas as camadas estão úmidas, o sistema radicular tende a permanecer na camada superficial.

Para alocação de biomassa na folha, o resultado foi inverso ao que ocorreu nas raízes. Nas capacidades de campo a partir de 80%, a biomassa da folha foi reduzida. Por fim, no colmo as menores alocações de biomassa foi nos tratamentos hídricos com 20% e 100% da capacidade de campo. Conforme Wu et al. (2011) a cultura do milho tende a apresentar redução da biomassa nos referidos órgãos quando estão cultivadas sob condições de estresse hídrico, já que essas variáveis representam órgãos produtores e armazenadores de carboidratos.

Figura 11 - Relação raiz/parte aérea (A) e alocação de biomassa (B) das plantas de milho cultivadas sob diferentes capacidades de campo aos 60 dias após a repicagem. Rio Branco, Acre, 2018.



5 CONCLUSÕES

Plantas de milho cultivadas sob 20% e 100% da capacidade de campo apresentam limitações estomáticas e não-estomáticas que influenciam negativamente na fotossíntese e no crescimento.

Plantas de milho cultivadas sob 20% e 100% da capacidade de campo apresentam menor teor de massa seca e de pigmentos fotossintetizantes.

Plantas de milho cultivadas sob 60% da capacidade de campo apresentam maior atividade fotossintética e crescimento.

REFERÊNCIAS

- ALDRICH, S. R.; SCOTT, W. O.; LENG, E. R. **Modern corn production**. 2. ed. Champaign: A & L Publication, 1982. 371p.
- ALLEN, C. D.; MACALADY, A. K.; CHENCHOUNI, H.; BACHELET, D.; MCDOWELL, N.; VENNETIER, M.; KITZBERGER, T.; RIGLING, A.; BRESHEARS, D. D.; HOGG, E. H.; GONZALEZ, P. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. **Forest ecology and management**, v. 259, n. 4, p. 660-684, 2010.
- ANGELOCCI, L. R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera: Introdução ao tratamento biofísico**. FEALQ, Piracicaba, São Paulo, Brasil, 2002.
- ARAÚJO, S. A. C.; VASQUEZ, H. M.; CAMPOSTRINI, E.; NETTO, A. T.; DEMINICIS, B. B.; LIMA, E. S. Características fotossintéticas de genótipos de capim-elefante anão (*Pennisetum purpureum* Schum.), em estresse hídrico. **Acta Scientiarum: Animal Sciences**, v. 32, n. 1, p. 1-7, 2010.
- ARAUS, J. L.; SERRET, M. D.; EDMEADES, G. O. Phenotyping maize for adaptation to drought. In: MONNEVEUX, P.; RIBAUT, J. M. (Ed.). **Drought Phenotyping in Crops: from theory to practice**. Texcoco: CGIAR Generation Challenge Programme, p. 263- 283, 2011.
- ARCOVERDE, G. B.; RODRIGUES, B. M.; POMPELLI, M. F.; SANTOS, M. G. Water relations and some aspects of leaf metabolism of *Jatropha curcas* young plants under two water deficit levels and recovery. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 23, n. 2, p. 123-130, 2011.
- BALARDIN, R. S.; SILVA, F. D. L.; DEBONA, D.; CORTE, G. D.; FAVERA, D. D.; TORMEN, N. R. Tratamento de sementes com fungicidas e inseticidas como redutores dos efeitos do estresse hídrico em plantas de soja. **Ciência Rural**, v. 41, n. 7, p. 1120-1126, 2011.
- BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; JÚNIOR, A. S. D. A.; NASCIMENTO, F. N.; RAMOS, H. M. Desempenho da produtividade de espigas de milho verde sob diferentes regimes hídricos. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 1, p. 94-108, 2017.
- BEERLING, D. J.; ROYER, D. L. Convergent cenozoic CO₂ history. **Nature Geoscience**, v. 4, n. 7, p. 418-420, 2011.
- BELLARD, C.; BERTELSMEIER, C.; LEADLEY, P.; THUILLER, W.; COURCHAMP, F. Impacts of climate change on the future of biodiversity. **Ecology letters**, v. 15, n. 4, p. 365-377, 2012.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; BIANCHI, C. A. M.; MÜLLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.831-839, 2004.

- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F.; BERGOCI, J. I.; MÜLLER, A. G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A. O.; RANDIN, B.; BIACHI, C. A. M.; PEREIRA, P. G. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 2, p. 243-249, 2006.
- BERGER, B.; PARENT, B.; TESTER, M. High-throughput shoot imaging to study drought responses. **Journal of experimental botany**, v. 61, n. 13, p. 3519-3528, 2010.
- BILIBIO, C.; CARVALHO, J. A.; MARTINS, M.; REZENDE, F. C.; FREITAS, E. A.; GOMES, L. A. A. Desenvolvimento vegetativo e produtivo da berinjela submetida a diferentes tensões de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 7, p. 730-735, 2010.
- BISCARO, G. A.; MAIA, S. C. M.; SILVA, T. R. B. da. Influência da aplicação de água no milho verde irrigado na região do cerrado Sul-Mato-Grossense. **Agrarian**, v. 1, n. 1, p. 67-77, 2008.
- BLUM, A.; JOHNSON, J. W.; RAMSEUR, E. L.; TOLLNER, E. W. The effect of a drying top soil and a possible non-hydraulic root signal on wheat growth and yield. **Journal of Experimental Botany**, v. 42, n. 10, p. 1225-1231, 1991.
- BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R.; LONG, S. P.; BAKER, N. R.; ÖQUIST, G.; SCHREIDER, U.; LECHNER E. G. Chlorophyll fluorescence as probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: A review of current instrument. **Functional Ecology**, v.3, n. 4, p.497- 514, 1989.
- BOYER, J. S. Plant productivity and environment. **Science**, v. 218, n. 4571, p. 443-448, 1982.
- BRITO, M. E. B.; ARAÚJO FILHO, G. D.; WANDERLEY, J. A. C.; MELO, A. S.; COSTA, F. B.; FERREIRA, M. G. P. Crescimento, fisiologia e produção do milho doce sob estresse hídrico. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 5, p. 1244-1254, 2013.
- CAIRO, P. A. R. **Curso básico de relações hídricas de plantas**. Vitória da Conquista. UESB, 32p, 1995.
- CARON, B. O.; OLIVEIRA, D. M.; ELLI, E. F.; ELOY, E.; SCHWERZ, F.; SOUZA, V. Q. Elementos meteorológicos sobre características morfológicas e produtivas do milho em diferentes épocas de semeadura. **Revista Científica**, v. 45, n. 2, p.105-114, 2017.
- CAVALCANTE, A. C. R.; CAVALLINI, M. C.; LIMA, N. R. C. B. **Estresse por déficit hídrico em plantas forrageiras**. Embrapa Caprinos e Ovinos, 2009.
- CAVATTE, P. C.; MARTINS, S. C. V.; MORAIS, L. E.; SILVA, P. E. M.; SOUZA, L. T. A fisiologia dos estresses abióticos. **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Suprema, Visconde do Rio Branco, p. 39-79, 2011.
- CHAVARRIA, G.; SANTOS, H. P. Plant water relations: absorption, transport and control mechanisms. In: **Advances in selected plant physiology aspects**. InTechOpen, pp. 105-132, 2012.

- CHAVES, M. M., OLIVEIRA, M. M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 407, p. 2365-2384, 2004.
- 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, 2009.
- CHAVES, M. M.; MAROCO, J. P.; PEREIRA, J. S. Understanding plant responses to drought - from genes to the whole plant. **Funct Plant Biol**, v. 30, n. 3, p. 239-264, 2003.
- COCHRAN, W. G. The distribution of the largest of a set of estimated variances as a fraction of their total. **Annals of Eugenics**, v. 22, n. 11, p. 47-52, 1941.
- CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. safra 2016/17: décimo levantamento. Brasília, DF: Conab, v. 4, n. 10, jul. 2017. 171 p.
- COSTA, J. R.; PINHO, J. L. N.; PARRY, M. M. Produção de matéria seca de cultivares de milho sob diferentes níveis de estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 5, p. 443-450, 2008.
- COUSINS, A. B.; JOHNSON, M.; LEAKEY, A. D. B. Photosynthesis and the environment. **Photosynthesis Research**, v. 119, n. 1, p. 1-2, 2014.
- CRAMER, G. R.; URANO, K.; DELROT, S.; PEZZOTTI, M.; SHINOZAKI, K. Effects of abiotic stress on plants: a systems biology perspective. **BMC Plant Biology**, v. 11, n. 163, p. 1-14, 2011.
- CRUZ, J. C. (Ed.). **Cultivo do milho**. 6. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de produção, 1). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/27037/1/Plantio.pdf>. Acesso em: 11 out. 2018.
- CRUZ, R. F. D. da. **Indução e recuperação do stresse hídrico em variedades portuguesas de milho**. 2006. 182 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Minho, Braga, 2006.
- EDWARDS, E. J.; OSBORNE, C. P.; STRÖMBERG, C. A.; SMITH, S. A.; BOND, W. J.; CHRISTIN, P. A.; COUSINS, A. B.; DUVALL, M. R.; FOX, D.L.; FRECKLETON, R. P.; GHANNOUM, O.; HARTWELL, J.; HUANG, Y.; JANIS, C. M.; KEELEY, J. E.; KELLOGG, E. A.; KNAPP, A. K.; LEAKEY, A. D.; NELSON, D. M.; SAARELA, J. M.; SAGE, R. F.; SALA, O. E.; SALAMIN, N.; STILL, C. J.; TIPPLE, B. The origins of C4 grasslands: integrating evolutionary and ecosystem science. **Science**, v. 328, n. 1, p. 587-591, 2010.
- EHLERINGER, J. R.; SAGE, R. F.; FLANAGAN, L. B.; PEARCY, R. W. Climate change and the evolution of C4 photosynthesis. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 6, n. 3, p. 95-99, 1991.
- ENDRES, L.; SILVA, J. V.; FERREIRA, V. M.; BARBOSA, G. V. S. Photosynthesis and water relations in Brazilian sugarcane. **The Open Agriculture Journal**, v. 4, n. 1, p. 31-37, 2010.

FERREIRA JUNIOR, R. A. **Crescimento, eficiência no uso da radiação e energia de biomassa em cana-de-açúcar irrigada**. 2013. 72f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista. Botucatu. 2013.

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

FLEXAS, J.; DÍAZ-ESPEJO, A.; CONESA, M. A.; COOPMAN, R. E.; DOUTHE, C.; GAGO, J.; TOMÁS, M. Mesophyll conductance to CO₂ and Rubisco as targets for improving intrinsic water use efficiency in C₃ plants. **Plant, Cell & Environment**, v. 39, n. 5, p. 965-982, 2016.

FLEXAS, J.; GALMÉS, J.; GALLÉ, A.; GULÍAS, J.; POU, A.; RIBAS CARBO, M.; MEDRANO, H. Improving water use efficiency in grapevines: potential physiological targets for biotechnological improvement. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v. 16, n. 1, p. 106-121, 2010.

GALMÉS, J.; RIBAS-CARBÓ, M.; MEDRANO, H.; FLEXAS, J. Rubisco activity in Mediterranean species is regulated by the chloroplastic CO₂ concentration under water stress. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 2, p. 653-665, 2011.

GALVÃO J.C.C.; BORÉM A.; PIMENTEL M.A. **Milho: do Plantio à Colheita**. Viçosa: Ed. UFV, 2015. 351p.

GENTY, B.; BRIANTAIS, J. M.; BAKER, N. R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron-transport and quenching of chlorophyll fluorescence. **Biochimica Et Biophysica Acta**, v. 990, n. 1, p. 87-92, 1989.

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

GHANNOUM, O. C₄ photosynthesis and water stress. **Annals of Botany**, v.103, n. 4, p.635-644, 2008.

GHANNOUM, O.; CONROY, J. P.; DRISCOLL, S. P.; PAUL, M. J.; FOYER, C. H.; LAWLOR, D. W. Nonstomatal limitations are responsible for drought-induced photosynthetic inhibition in four C₄ grasses. **New Phytologist**, v. 159, n. 3, p. 599-608, 2003.

GONZÁLEZ-CRUZ, J.; PASTENES, C. Water-stress-induced thermotolerance of photosynthesis in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants: The possible involvement of lipid composition and xanthophyll cycle pigments. **Environmental and experimental botany**, v. 77, n. 1, p. 127-140, 2012.

GRUBBS, F. E. Procedures for detecting outlying observations in samples. **Technometrics**, v. 11, n. 1, p. 1-21, 1969.

GUIMARÃES, P. S.; BERNINI, C. S.; PEDROSO, F. K. J.; PATERNIANI, M. A. G. Z. Characterizing corn hybrids (*Zea mays* L.) for water shortage by principle components analysis. **Maydica**, v. 59, n. 1, p. 72-79, 2014.

HAMDY, A.; RAGAB, R.; SCARASCIA-MUGNOZZA, E. Coping with water scarcity: water saving and increasing water productivity. **Irrig Drain**, v. 52, n. 1, p. 3-20, 2003.

HATCH, M. D.; SLACK, C. R. Participation of phosphoenolpyruvate synthetase in photosynthetic CO₂ fixation of tropical grasses. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 120, n. 1, p. 224-422. 1967.

HERNÁNDEZ, M.; ECHARTE, L.; DELLA MAGGIORA, A.; CAMBARERI, M.; BARBIERI, P.; CERRUDO, D. Maize water use efficiency and evapotranspiration response to N supply under contrasting soil water availability, **Field Crops Research**, v. 178, n. 1, p. 8-15, 2015.

HEUER, B. Photosynthetic carbon metabolism of crops under salt stress. In: PESSARAKLI, M. (ed.). Handbook of Photosynthesis. New York: Marcel Dekker, Inc., 1997, p. 887-896.

HICKE, J. A.; ZEPPEL, M. J. Climate-driven tree mortality: insights from the piñon pine die-off in the United States. **New Phytologist**, v. 200, n. 2, p. 301-303, 2013.

HOLANDA, L. A. D.; SANTOS, C. M.; NETO, S.; DANTAS, G.; SOUSA, A. D. P.; SILVA, M. D. A. Variáveis morfológicas da cana-de-açúcar em função do regime hídrico durante o desenvolvimento inicial. **Irriga**, v. 19, n. 4, p. 573-584, 2014.

HU, H.; BOISSON-DERNIER, A.; ISRAELSSON-NORDSTRÖM, M.; BÖHMER, M.; XUE, S.; RIES, A.; SCHROEDER, J. I. Carbonic anhydrases are upstream regulators of CO₂-controlled stomatal movements in guard cells. **Nature cell biology**, v. 13, n. 6, p. 734, 2011.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**, Rio de Janeiro, mar. 2019. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618>>. Acesso em: 12 abr. 2019.

JONES, H. G.; JONES, M. B. Introduction: some terminology and common mechanisms. In: **Plants under stress: biochemistry, physiology, ecology, and their applications to plant improvement** (eds. by Jones HG, Flowers M & Jones MB), p. 1-10, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1989.

KLUGE, R. A.; TEZOTTO-ULIANA, J. V.; DA SILVA, P. P. M. Aspectos Fisiológicos e Ambientais da Fotossíntese. **Revista Virtual de Química**, v.7, n.1, p. 56-73, 2015.

KRESLAVSKI, V. D.; CARPENTIER, R.; KLIMOV, V. V.; ALLAKHVERDIEV, S. I. Transduction mechanisms of photoreceptor signals in plant cells. **Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews**, v. 10, n. 2, p. 63-80, 2009.

KRESOVIC, B.; TAPANAROVA, A.; TOMIC, Z.; ZIVOTIC, L.; VUJOVIC, D.; SREDOJEVIC, Z.; GAJIC, B. Grain yield and water use efficiency of maize as influenced by different irrigation regimes through sprinkler irrigation under temperate climate. **Agricultural Water Management**, v. 169, p. 34-43, 2016.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Paulo: Rima Artes e Textos, 2000. 531p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2004. 531p.

LAWLOR, D. W.; TEZARA, W. Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in water-deficient leaf cells: a critical evaluation of mechanisms and integration of processes. **Annals of Botany**, v. 103, n. 4, p. 561-579, 2009.

LEHNINGER, N. D. L. **Princípios de bioquímica**. São Paulo, 2006.

LICHTENTHALER, H. K.; MIEHÉ, J. A. Fluorescence imaging as a diagnostic tool for plant stress. **Trends in Plant Science**, v. 2, n. 8, p.316-320, 1997.

LICHTENTHALER, H. K.; WELLBURN, A. R. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. **Biochemical Society Transactions**, p. 591-592, 1983.

LIVRAMENTO, D.E.; ALVES, J.D.; MAGALHÃES, M. M.; FREITAS, R. B.; MEYER, L.E.; Avaliação das trocas gasosas, eficiência fotoquímica e desenvolvimento de plantas de milho (*Zea mays* L.) submetidas a diferentes regimes de encharcamento do sistema radicular. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 8, 2001, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: SBFV, 2001. CD-ROM.

LÓPEZ-CLIMENT, M. F.; ARBONA, V.; PÉREZ-CLEMENTE, R. M.; GÓMEZCADENAS, A. Relationship between salt tolerance and photosynthetic machinery performance in citrus. **Environmental and Experimental Botany**, v. 62, n. 2, p.176-184, 2008.

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

MALDANER, L. J.; HORING, K.; SCHNEIDER, J. F.; FRIGO, J. P.; AZEVEDO, K. D.; GRZESIUCK, A. E. Exigência agroclimática da cultura do milho (*Zea mays*). **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, n. 1, p. 13-23, 2014.

MANAVALAN, L. P.; GUTTIKONDA, S. K.; TRAN, L. S. P.; NGUYEN, H. T. Physiological and molecular approaches to improve drought resistance in soybean. **Plant and Cell Physiology**, v. 50, n. 7, p. 1260-1276, 2009.

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

MARTINS, J. D.; CARLESSO, R.; KNIES, A. E.; OLIVEIRA, Z. B.; BROETTO, T.; RODRIGUES, G. J. Potencial hídrico foliar em milho submetido ao déficit hídrico. **Irriga**, v. 15, n. 3, p. 324-334, 2010.

MELO, A. V.; DOS SANTOS, V. M.; VARANDA, M. A. F.; CARDOSO, D. P.; DIAS, M. A. R. Desempenho agrônomo de genótipos de milho submetidos ao estresse hídrico no Sul do Estado do Tocantins. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 2, p. 177-189, 2018.

MCDOWELL, N.; POCKMAN, W. T.; ALLEN, C. D.; BRESHEARS, D. D.; COBB, N.; KOLB, T.; PLAUT, .; SPERRY, J.; WEST, A.; WILLIAMS, D. G.; YEPEZ, E. A. Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? **New Phytologist**, v. 178, n. 4, p. 719-739. 2008.

MILLER, G.; SUZUKI, N.; CIFTCI-YILMAZ, S.; MITTLER, R. Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. **Plant, Cell and Environment**, v. 33, n. 4, p. 453-467, 2010.

MOHANTA, T. K.; BASHIR, T.; HASHEM, A.; ABD-ALLAH, E. F. Systems biology approach in plant abiotic stresses. **Plant physiology Biochemistry**, v. 121, n. 1, p. 58-73, 2017.

- MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of Salinity Tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, n. 1, p. 651-681, 2008.
- MURCHIE, E. H.; NIYOGLI, K. K. Manipulation of Photoprotection to Improve Plant Photosynthesis. **Plant physiology**, v. 155, n. 1, p. 86-92, 2011.
- NASCIMENTO, F. N.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; RAMOS, H. M. Desempenho da produtividade de espigas de milho verde sob diferentes regimes hídricos. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 1, p. 94-108, 2017.
- NAYYAR, H.; GUPTA, D. Differential sensitivity of C3 and C4 plants to water deficit stress: Association with oxidative stress and antioxidants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 58, n. 3, p. 106-113, 2006.
- NICKELL, L. G. **Plant growth regulating chemicals**. Boca Raton: CRC Press, 1983. v.2.
- OLIVEIRA, A. R.; BRAGA, M. B.; WALKER, A. M. Comportamento vegetativo e qualidade tecnológica de cultivares de cana-de-açúcar submetidas ao estresse hídrico em condições Semiáridas do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, núm. esp., p. 525-541, 2015.
- OOSTEROM, E. J. V.; F, YANG, Z.; ZHANG, F.; DEIFEL, K. S.; COOPER, M.; MESSINA, C. D.; HAMMER, G. L. Hybrid variation for root system efficiency in maize: potential links to drought adaptation. **Functional Plant Biology**, v. 43, n. 6, p. 502-511, 2016.
- PADILHA, N. S.; SILVA, C. J.; PEREIRA, S. B.; SILVA, J. A. N.; HEID, D. M.; BOTTEGA, S. P.; SCALON, S. P. Q. Crescimento inicial do pinhão-manso submetido a diferentes regimes hídricos em latossolo vermelho distrófico. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 513-521, 2016.
- PARRY, M. A. J.; ANDRALOJC, P. J.; KHAN, S.; LEA, P. J.; KEYS, A. J. Rubisco activity: effects of drought stress. **Annals of Botany**, v. 89, n. 7, p. 833-839, 2002.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia fundamentos e aplicações**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.
- PIKART, F. C. **Heterogeneidade fotossintética em folhas de *Guzmania monostachia* (L.) Rusby ex Mez (Bromeliaceae)**. 74 f. 2014. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.
- PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil, Edur, 2004.
- POMPELLI, M. F.; BARATA-LUÍS, R.; VITORINO, H. S.; GONCALVES, E. R.; ROLIM, E. V.; SANTOS, M. G.; ALMEIDA-CORTEZ, J. S.; FERREIRA, V. M.; LEMOS, E. E. P.; ENDRES, L. Photosynthesis, photoprotection and antioxidant activity of purging nut under drought deficit and recovery. **Biomass and Bioenergy**, v. 34, n. 8, p. 1207-1215, 2010.
- PRAXEDES, S. C.; LACERDA, C. F. de; DAMATTA, F. M.; PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Salt tolerance is associated with differences in ion accumulation, biomass allocation and photosynthesis in cowpea cultivars. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 196, n. 3, p. 193-204, 2010.

RIVERA-HERNÁNDEZ, B.; CARRILLO-AVILA, E.; OBRADOR-OLAN, J. J.; JUAREZ-LOPEZ, J. F.; ACEVES-NAVARRO, L. A. Morphological quality of sweet corn (*Zea mays* L.) ears as response to soil moisture tension and phosphate fertilization in Campeche, Mexico. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 9, p. 1365-1374, 2010.

SAGE, R. F.; SAGE, T. L.; KOCACINAR, F. Photorespiration and the evolution of C4 photosynthesis. **Annual review of plant biology**, v. 63, p. 19-47, 2012.

SANTOS, M. C. S.; LIRA, M. A.; TABOSA, J. N.; MELLO, A. D.; SANTOS, M. V. F. Comportamento de clones de *Pennisetum* submetidos a períodos de restrição hídrica controlada. **Archivos de zootecnia**, v. 60, n. 229, p. 31-39, 2011.

SCHITTENHELM, S. Effect of drought stress on yield and quality of maize/sunflower and maize/sorghum intercrops for biogas production. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 196, n. 4, p. 253-261, 2010.

SCHREIBER, U., BILGER, W., NEUBAUER, C. Chlorophyll fluorescence as a noninvasive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis. In: Schulze, E. D., Caldwell, M. M. (Ed.). **Ecophysiology of photosynthesis**, Springer, Berlin, p. 49-70. 1994.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3, p. 591-611, 1965.

SILVA, E. N. da; RIBEIRO, R. V.; FERREIRA-SILVA, S. L.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. Salt stress induced damages on the photosynthesis of physic nut young plants. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 1, p. 62-68, 2011.

SILVA, E. N.; FERREIRA-SILVA, S. L.; FONTENELE, A.V.; RIBEIRO, R. V.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. Photosynthetic changes and protective mechanisms against oxidative damage subjected to isolated and combined drought and heat stresses in *Jatropha curcas* plants. **Journal of Plant Physiology**, v. 167, n. 14, p.1157-1164, 2010.

SILVA, M. A.; SANTOS, C. M.; VITORINO, H. S.; RHEIN, A. F. L. Pigmentos fotossintéticos e índice SPAD como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 1, p. 173-181, 2014.

SMIT, M. A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, v. 98, n. 2, p. 91-97, 2006.

SOUZA, L. C.; MELO, N. C.; SIQUEIRA, J. A. M.; SILVA, V. F. A.; OLIVEIRA NETO, C. F. Comportamento bioquímico no milho submetido ao déficit hídrico e a diferentes concentrações de silício. **Revista Agrarian**, v. 8, n. 29, p. 260-267, 2015.

STORCK, L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; LOPES, S. J.; TOEBE, M.; SILVEIRA, T. R. da. Duração do subperíodo semeadura-florescimento, crescimento e produtividade de milho em condições contrastante. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 8, n. 1, p. 27-39, 2009.

STREIT, N. M.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W.; HECKTHEUER, L. H. H. As clorofilas. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p. 748-755, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: E.Artmed, 2009. 819p.

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

TAYLOR, S.H, HULME S.P, R.E., M., RIPLEY, B.S, Woodward FI, Osborne CP Ecophysiological traits in C3 and C4 grasses: a phylogenetically controlled screening experimente, **New Phytologist**, v. 185, n. 3, p. 780-791, 2010.

TETENS, V. O. Über einige meteorologische Begriffe, **Zeitschrift Geophysic**, v. 6, n. 1, p. 297-309, 1930.

TOGNON, G. B. **Potencial ornamental, propagação, rendimento de óleos essenciais e resposta à deficiência hídrica de ipoméias**. 2010. 133 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2010.

VIRLOUVET, L.; FROMM, M. Physiological and transcriptional memory in guard cells during repetitive dehydration stress. **New Phytologist**, v. 205, n. 2, p. 596-607, 2015.

VU, J. C. V.; YELENOSKI, G. Photosynthetic responses of citrus tree to soil flooding. **Physiologia Plantarum**, v. 81, n. 1, p.7-14, 1991.

WILKINSON, S.; DAVIES, W. J. ABA-based chemical signalling: the coordination of responses to stress in plants. **Plant Cell and Environment**, v. 25, n. 2, p. 195-210, 2002.

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

XAVIER, D. A.; FURTADO, G. F.; SOUSA JÚNIOR, J. R.; SOUSA, J. R. M.; ANDRADE, E. M. G. Produção de fitomassa do milho sob lâminas de irrigação e adubação nitrogenada. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 3, p. 144-148, 2014.

ZHAO, F. J.; MA, J. F.; MEHARG, A. A. MCGRATH, S. P. 2009. Arsenic uptake and metabolism in plants. **New Phytologist**, v. 181, n. 4, p. 777-94, 2009.

ZHU, J.; BROWN, K. M.; LYNCH, J. P. Root cortical aerenchyma improves the drought tolerance of maize (*Zea mays* L.). **Plant, cell and Environment**, v. 33. n. 5, p. 740-749, 2010.

ZHU, J. K. Abiotic stress signaling and responses in plants. **Cell**, Cambridge, v. 167, p. 313-324, 2016.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Resumo da análise de variância de regressão para altura de planta (AP), diâmetro do colmo (DC), número de folha (NF), e massas secas da folha (MSF), do colmo (MSC), das raízes (MSR) e total (MST) das plantas de milho cultivadas sob diferentes capacidade de campo.

| FV | GL | QM | | | | | | |
|----------------------|-----|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | AP ¹ | DC ¹ | NF ² | MSF ¹ | MSC ¹ | MSR ¹ | MST ¹ |
| Regressão Quadrática | 1 | 2,47* | 1,06* | 8,04* | 7,22* | 13,25* | 5,34* | 8,92* |
| Tratamentos | (4) | - | - | - | - | - | - | - |
| Erro | 25 | 0,002 | 0,005 | 0,032 | 0,028 | 0,005 | 0,005 | 0,005 |
| CV (%) | - | 1,0 | 2,64 | 10,70 | 7,98 | 2,91 | 3,43 | 2,19 |

*Significativo ($p < 0,05$), ¹Dados transformados por Ln(x) e ²Dados transformados por Sen(x).

APÊNDICE B - Resumo da análise de variância de regressão para alocação de biomassas na folha (BF), no colmo (BC), na raiz (BR), e relação raiz parte aérea (RRPA) das plantas de milho cultivadas sob diferentes capacidade de campo.

| FV | GL | QM | | | |
|----------------------|-----|-------|--------|--------|-------|
| | | BF | BC | BR | RRPA |
| Regressão Quadrática | 1 | 78,1* | 810,9* | 368,8* | 0,15* |
| Tratamentos | (4) | - | - | - | - |
| Erro | 25 | 10,25 | 8,20 | 3,51 | 0,001 |
| CV (%) | - | 11,20 | 6,49 | 6,88 | 9,82 |

*Significativo ($p < 0,05$).

APÊNDICE C - Resumo da análise de variância de regressão para dano de membrana (DM), conteúdo relativo de água (CRA), clorofilas: a (Cla), b (Clb), total (Clt), relação clorofila a/b (RClab) e carotenoide (CR) das plantas de milho cultivadas sob diferentes capacidade de campo.

| FV | GL | QM | | | | | | |
|----------------------|-----|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|-------|--------------------|
| | | DM | CRA ¹ | Cla | Clb | Clt | RClab | CR |
| Regressão Linear | 1 | 2,65 ^{ns} | 0,84* | - | - | - | - | - |
| Regressão Quadrática | 1 | 2,55 ^{ns} | - | 2,22* | 0,69* | 0,43* | 28,4* | 0,09* |
| Tratamentos | (4) | - | - | - | - | - | - | - |
| Erro | 25 | 4,95 | 2.10 ⁻⁴ | 7.10 ⁻⁴ | 2.10 ⁻⁴ | 0,001 | 0,003 | 2.10 ⁻⁶ |
| CV (%) | - | 12,73 | 1,26 | 2,97 | 2,40 | 2,35 | 2,57 | 1,00 |

*Significativo ($p < 0,05$), ^{ns}Não significativo ($p > 0,05$) e ¹Dados transformados por Ln(x).

APÊNDICE D - Resumo da análise de variância de regressão para fotossíntese líquida (P_N), transpiração (E), condutância estomática (g_s), pressão parcial de CO_2 (C_i), eficiência do uso da água (EUA) e eficiência de carboxilação (EC) das plantas de milho cultivadas sob diferentes capacidade de campo.

| FV | GL | QM | | | | | |
|----------------------|-----|--------|-------|-------------------|-------|-------|-------|
| | | P_N | E | g_s | C_i | EUA | EC |
| Regressão Linear | 1 | - | - | - | - | 18,9* | - |
| Regressão Quadrática | 1 | 961,8* | 38,5* | 0,04* | 163,1 | - | 7,2* |
| Tratamentos | (4) | - | - | - | - | - | - |
| Erro | 25 | 4,62 | 0,29 | $7 \cdot 10^{-5}$ | 2,73 | 0,5 | 0,05 |
| CV (%) | - | 9,72 | 12,64 | 5,46 | 11,71 | 13,22 | 12,11 |

*Significativo ($p < 0,05$).

APÊNDICE E - Resumo da análise de variância de regressão para eficiência quântica efetiva ($\Delta F/F_m'$), eficiência quântica máxima (F_v/F_m), quenching fotoquímico (qP), quenching não fotoquímico (NPQ) e taxa aparente de transporte de elétrons (ETR) das plantas de milho cultivadas sob diferentes capacidade de campo.

| FV | GL | QM | | | | |
|----------------------|-----|-----------------|-----------|-------|-------|-----------------|
| | | $\Delta F/F_m'$ | F_v/F_m | qP | NPQ | ETR |
| Regressão Quadrática | 1 | 0,07* | 0,004* | 0,08* | 2,04* | 1×10^4 |
| Tratamentos | (4) | - | - | - | - | - |
| Erro | 25 | 0,0002 | 0,0001 | 0,002 | 0,019 | 45,43 |
| CV (%) | - | 7,09 | 1,55 | 8,28 | 10,12 | 7,05 |

*Significativo ($p < 0,05$).