

MÁRCIA SILVA DE MENDONÇA



**RESPOSTAS AGRONÔMICAS E FISIOLÓGICAS DE GENÓTIPOS DE  
AMENDOIM FORRAGEIRO SUBMETIDOS AO DÉFICIT HÍDRICO**

RIO BRANCO - AC

2020

MÁRCIA SILVA DE MENDONÇA

**RESPOSTAS AGRONÔMICAS E FISIOLÓGICAS DE GENÓTIPOS DE  
AMENDOIM FORRAGEIRO SUBMETIDOS AO DÉFICIT HÍDRICO**

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.

Orientadora: Dra. Giselle M. Lessa de Assis

Co-orientador: Dr. Márcio de Oliveira Martins

RIO BRANCO - AC

2020

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

---

- M539r Mendonça, Márcia Silva de, 1991 -  
Respostas agronômicas e fisiológicas de genótipos de amendoim forrageiro submetidos ao déficit hídrico / Márcia Silva de Mendonça; Orientador: Dr<sup>a</sup> Giselle M. Lessa de Assis e Coorientador: Dr. Márcio de Oliveira Martins -2020.  
119 f.: il.; 30 cm.
- Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Acre, Programa de Pós – Graduação em Produção Vegetal, Mestre em Produção Vegetal, Rio Branco, 2020.  
Inclui referências bibliográficas e anexos.
1. *Arachis pintoi*. 2. Déficit hídrico. 3. Tolerância à seca. I. Assis, Giselle M. Lessa de. (Orientadora). II. Martins, Márcio de Oliveira. (Coorientador). III. Título.

CDD: 338.1

---

Bibliotecária: Nádia Batista Vieira CRB-11º/882

**MÁRCIA SILVA DE MENDONÇA**

**RESPOSTAS AGRONÔMICAS E FISIOLÓGICAS DE GENÓTIPOS DE  
AMENDOIM FORRAGEIRO SUBMETIDOS AO DÉFICIT HÍDRICO**

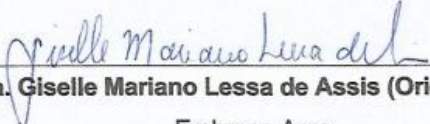
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal do Acre, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientadora: Dra. Giselle M. Lessa de Assis

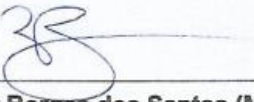
Co-orientador: Dr. Márcio de Oliveira Martins

APROVADA em 29 de setembro de 2020.

**BANCA EXAMINADORA**

  
\_\_\_\_\_  
**Dra. Giselle Mariano Lessa de Assis (Orientadora)**  
Embrapa Acre

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Judson Ferreira Valentim (Membro)**  
Embrapa Acre

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Vanderley Borges dos Santos (Membro)**  
Universidade Federal do Acre

*A Vitor Hugo e Murilo Vinicius,  
Dedico e Ofereço.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por sempre me guiar e me conceder saúde e forças para nunca desistir.

À Dra. Giselle Mariano Lessa de Assis, pela excelente orientação, profissionalismo e ensinamentos transmitidos.

Ao Dr. Márcio de Oliveira Martins, pelos preciosos ensinamentos, gentileza e atenção.

Aos professores do PPGPV/UFAC pelos ensinamentos e conhecimentos científicos transmitidos que serão fundamentais ao longo da minha vida.

Aos membros da banca examinadora, Dr. Judson Valentim e Dr. Vanderly Borges, pela colaboração.

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

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

Aos analistas da Embrapa Acre Fernando Pretti e Rafael Clemêncio, pela ajuda e colaboração nos momentos que sempre que precisei.

Aos colegas do curso pós-graduação pela amizade e carinho.

À minha família e amigos, pelo apoio e incentivo.

A todos, que de forma direta ou indireta contribuíram para que fosse possível realizar a conclusão deste trabalho, muito obrigada.

## RESUMO

A obtenção de genótipos de amendoim forrageiro mais produtivos em condições de menor disponibilidade hídrica é um grande desafio para os melhoristas, em função da complexidade dos mecanismos de tolerância à seca associada com a falta de critérios de seleção bem definidos para esta espécie. O objetivo deste estudo foi avaliar as respostas agronômicas e fisiológicas em genótipos de amendoim forrageiro submetidos ao déficit hídrico, assim como analisar a eficiência dos métodos empregados e identificar os caracteres mais adequados para seleção dos genótipos. Foram realizados dois experimentos, conduzidos em casa telada na Embrapa Acre. No Experimento 1, foram avaliados quatro genótipos de amendoim forrageiro com desempenhos agronômicos distintos e conhecidos durante o período seco do ano (Belomonte, BRS Mandobi, BRA 039799 e BRA 042242). O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 2 com 5 repetições totalizando 40 unidades experimentais. Os dois regimes hídricos (irrigado e não irrigado) foram impostos por 15 dias, quando foi realizada a avaliação. Foram avaliados caracteres fisiológicos e agronômicos. No Experimento 2, apenas dois genótipos contrastantes (Belomonte e BRS Mandobi) foram avaliados em quatro regimes hídricos: 20%, 40%, 60% e 80% da capacidade de campo. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial (2 x 4) com 5 repetições. Foram avaliadas características fisiológicas e agronômicas 60 dias após a imposição dos diferentes regimes hídricos. Não foi possível diferenciar genótipos de amendoim forrageiro para melhor desempenho agronômico sob déficit hídrico em ensaio conduzido com supressão da irrigação por 15 dias em vasos de 5 litros. Genótipos identificados como mais tolerantes à seca ao terem suas próprias respostas comparadas nos regimes hídricos irrigado e não irrigado não necessariamente são os mais produtivos no período seco em avaliações de campo. As correlações entre os caracteres agronômicos e fisiológicos não mantêm o mesmo padrão nos regimes irrigado e não irrigado. A seleção de genótipos para maior desempenho agronômico sob déficit hídrico é adequada quando realizada a 40% da capacidade de campo. Características agronômicas como número de estolões, massa seca de raiz e massa seca total mostram-se promissoras para uso na seleção de genótipos de amendoim forrageiro sob déficit hídrico.

**Palavras-chave:** *Arachis pintoi*. Déficit hídrico. Tolerância à seca.

## ABSTRACT

Obtaining more productive forage peanut genotypes in conditions of lower water availability is a major challenge for breeders, due to the complexity of drought tolerance mechanisms associated with the lack of well-defined selection criteria for this species. The objective of this study was to evaluate agronomic and physiological responses in forage peanut genotypes submitted to water deficit, as well as to analyze the efficiency of the methods used and to identify the most appropriate traits for the selection of genotypes. Two experiments were carried out in a greenhouse at Embrapa Acre. In Trial 1, four forage peanut genotypes with distinct and known agronomic performances during the dry period of the year (Belomonte, BRS Mandobi, BRA 039799 and BRA 042242) were evaluated. Completely randomized design was used, in a 4 x 2 factorial scheme with 5 replications. Two water regimes (irrigated and non-irrigated) were imposed for 15 days, when the evaluation was carried out. Physiological and agronomic traits were evaluated. In Trial 2, only two contrasting genotypes (Belomonte and BRS Mandobi) were evaluated in four water regimes: 20%, 40%, 60% and 80% of the field capacity. The experimental design was completely randomized, in a factorial scheme (2 x 4) with 5 replications. Physiological and agronomic characteristics were evaluated 60 days after the imposition of different water regimes. It was not possible to differentiate forage peanut genotypes for better agronomic performance under water deficit in a trial conducted with suppression of irrigation for 15 days in 5-liter pots. Genotypes identified as more drought tolerant when having their own responses compared in irrigated and non-irrigated water regimes are not necessarily the most productive in the dry period in field evaluations. The correlations between agronomic and physiological traits do not show the same pattern in irrigated and non-irrigated regimes. The selection of genotypes for greater agronomic performance under water deficit is adequate when performed at 40% of the field capacity. Agronomic characteristics such as number of stolons, root dry matter yield and total dry matter yield are promising for use in the selection of forage peanut genotypes under water deficit.

**Keywords:** *Arachis pintoi*. Water deficit. Drought tolerance.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 -</b>	Etapas do preparo dos estolões de genótipos de amendoim forrageiro para plantio via propagação vegetativa.....	44
<b>Figura 2 -</b>	Médias da temperatura (°C), umidade relativa do ar (%) e déficit de pressão de vapor (DPV, kPA) de vapor durante o período experimental em casa telada na Embrapa Acre.....	46
<b>Figura 3 -</b>	Redução da capacidade de campo do solo no tratamento não irrigado em genótipos de amendoim forrageiro avaliados ao longo do tempo, Embrapa Acre, 2019.....	52
<b>Figura 4 -</b>	Médias da fotossíntese (A), condutância estomática (B), transpiração (C), concentração interna de CO <sub>2</sub> (D) em genótipos de amendoim forrageiro submetidos a dois regimes hídricos, cultivados em casa telada, Rio Branco, AC.....	55
<b>Figura 5 -</b>	Médias da eficiência de carboxilação em genótipos de amendoim forrageiro submetidos a dois regimes hídricos, cultivados em casa telada, Rio Branco, AC.....	56
<b>Figura 6 -</b>	Médias da eficiência do uso da água (A) e eficiência intrínseca do uso da água (B) em genótipos de amendoim forrageiro submetidos a dois regimes hídricos, cultivados em casa telada, Rio Branco, AC.....	58
<b>Figura 7 -</b>	Médias da eficiência quântica potencial (A) e eficiência quântica efetiva do fotossistema II (PSII) (B) em genótipos de amendoim forrageiro submetidos a dois regimes hídricos, cultivados em casa telada, Rio Branco, AC.....	60
<b>Figura 8 -</b>	Médias da taxa de transferência de elétrons (A), excesso de energia (B), quenching fotoquímico (C) e quenching não fotoquímico (D) em genótipos de amendoim forrageiro submetidos a dois regimes hídricos, cultivados em casa telada, Rio Branco, AC.....	63
<b>Figura 9 -</b>	Médias do número de folhas verdes (A), número de estolões (B), vigor da planta (C) e índice SPAD (D) em genótipos de amendoim forrageiro submetidos a dois regimes hídricos, cultivados em casa telada, Rio Branco, AC.....	66
<b>Figura 10 -</b>	Médias da massa fresca da parte aérea (A), massa fresca da raiz (B), massa seca da parte aérea (C), massa seca da raiz (MSR) (D), massa seca total (E) e razão entre as massas secas de raiz e parte aérea (F) em genótipos de amendoim forrageiro submetidos a dois regimes hídricos, cultivados em casa telada, Rio Branco, AC.....	71

<b>Figura 11 -</b>	Fotossíntese (A), transpiração (B), condutância estomática (C) e concentração interna de CO <sub>2</sub> (D) avaliadas aos 60 dias de experimentação em duas cultivares de amendoim forrageiro submetidas a diferentes regimes hídricos Embrapa Acre, 2019.....	83
<b>Figura 12 -</b>	Eficiência de carboxilação avaliada aos 60 dias de experimentação em duas cultivares de amendoim forrageiro submetidas a diferentes regimes hídricos Embrapa Acre, 2019.....	85
<b>Figura 13 -</b>	Eficiência intrínseca do uso da água avaliada aos 60 dias de experimentação em duas cultivares de amendoim forrageiro submetidas a diferentes regimes hídricos, Embrapa Acre, 2019.....	86
<b>Figura 14 -</b>	Conteúdo relativo de água (A) e dano de membrana (B) avaliados aos 60 dias de experimentação em duas cultivares de amendoim forrageiro submetidas a diferentes regimes hídricos, Embrapa Acre, 2019.....	87
<b>Figura 15 -</b>	Número de estômatos na face adaxial (NEad) (A) e número de estômatos na face abaxial (NEab) (B) avaliados aos 60 dias de experimentação em duas cultivares de amendoim forrageiro submetidas a diferentes regimes hídricos, Embrapa Acre, 2019.....	88
<b>Figura 16 -</b>	Número de folhas verdes (A), número de estolões (B), vigor da planta (C) e índice SPAD (D) avaliados aos 60 dias de experimentação em duas cultivares de amendoim forrageiro, submetidas a diferentes regimes hídricos Embrapa Acre, 2019.....	90
<b>Figura 17 -</b>	Massa seca da parte aérea (A), massa seca de raiz (B), razão massa seca da raiz e parte aérea (C) e massa seca total (D) avaliadas aos 60 dias de experimentação em duas cultivares de amendoim forrageiro submetidas a diferentes regimes hídricos, Embrapa, Acre, 2019.....	92

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 -** Médias da capacidade de campo (%) referentes ao regime não irrigado observadas em quatro genótipos de amendoim forrageiro durante período de 15 dias na Embrapa Acre, 2019..... 53
- Tabela 2 -** Síntese das respostas agronômicas e fisiológicas obtidas para 21 caracteres avaliados em quatro genótipos de amendoim forrageiro cultivados sob regime hídrico irrigado e não irrigado aos 15 dias de experimentação em casa telada na Embrapa Acre, 2019. Em vermelho: houve redução significativa; em verde: não houve diferença significativa; em azul: houve aumento significativo entre os regimes irrigado e não irrigado a 5% de probabilidade pelo teste Tukey para o genótipo em questão..... 75
- Tabela 3 -** Coeficientes de correlação de Pearson entre caracteres agronômicos e de trocas gasosas avaliados em genótipos de amendoim forrageiro sob dois regimes hídricos aos 15 dias de experimentação..... 77
- Tabela 4 -** Coeficientes de correlação de Pearson entre caracteres agronômicos e fluorescência da clorofila *a* avaliados em genótipos de amendoim forrageiro sob dois regimes hídricos aos 15 dias de experimentação..... 79
- Tabela 5 -** Síntese das respostas agronômicas e fisiológicas obtidas para 18 caracteres avaliados, comparando o Belomonte em relação ao BRS Mandobi submetidos a quatro regimes hídricos aos 60 dias de experimentação em casa telada na Embrapa Acre, 2019. Em vermelho: houve redução significativa; em amarelo: não houve diferença significativa; em azul: houve aumento significativo a 5% de probabilidade pelo teste Tukey..... 95

## LISTA DE ANEXOS

- ANEXO A – Resumo da análise de variância em relação ao monitoramento da umidade do solo no tratamento não irrigado, em quatro genótipos (GEN) de amendoim forrageiro avaliados ao longo do tempo, Embrapa Acre, 2019..... 117
- ANEXO B – Resumo da análise de variância em quatro genótipos (GEN) de amendoim forrageiro submetidos a dois regimes hídricos (RH) aos 15 dias de cultivo, tendo como variáveis: fotossíntese ( $P_N$ ), condutância estomática ( $g_s$ ), transpiração (E), concentração interna de  $CO_2$  ( $C_i$ ), eficiência do uso da água (EUA), eficiência intrínseca no uso da água ( $E_{iUA}$ ) e eficiência carboxilação (EC), Embrapa Acre, 2019..... 117
- ANEXO C – Resumo da análise de variância em características fisiológicas avaliadas em quatro genótipos (GEN) de amendoim forrageiro submetidos a dois regimes hídricos (RH), aos 15 dias de cultivo, tendo como variáveis: eficiência quântica máxima ( $F_v/F_m$ ) e efetiva ( $\Delta F/F_m'$ ) do fotossistema II, taxa transporte de elétrons no fotossistema II (ETR), excesso de elétrons (EXC), quenching fotoquímico (qP) e quenching não fotoquímico (NPQ), Embrapa Acre, 2019..... 118
- ANEXO D – Resumo da análise de variância em quatro genótipos (GEN) de amendoim forrageiro submetidos a dois regimes hídricos (RH) aos 15 dias de cultivo, tendo como variáveis: número de folhas verdes (NFV), número de estolões (NE), vigor (VIG) e índice SPAD (SPAD), Embrapa Acre, 2019..... 118
- ANEXO E – Resumo da análise de variância em quatro genótipos (GEN) de amendoim forrageiro sob influência de dois regimes hídricos (RH) aos 15 dias de cultivo, tendo como variáveis: massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR), razão entre as massas secas da raiz e parte aérea (MSR/MSPA) e massa seca total (MST), Embrapa Acre, 2019..... 119
- ANEXO F – Resumo da análise de variância em dois genótipos (GEN) de amendoim forrageiro submetidos a quatro regimes hídricos (RH) aos 60 dias, para fotossíntese ( $P_N$ ), condutância estomática ( $g_s$ ), transpiração (E), concentração interna de  $CO_2$  ( $C_i$ ), eficiência do uso da água (EUA), eficiência intrínseca no uso da água ( $E_{iUA}$ ) e eficiência carboxilação (EC), Embrapa, Acre, 2019..... 119

ANEXO G – Resumo da análise de variância em dois genótipos (GEN) de amendoim forrageiro submetidos a quatro regimes hídricos (RH) aos 60 dias de experimentação, tendo como variáveis: dano de membrana (DM), conteúdo relativo de água (CRA), número de estômatos na face adaxial (NE <sub>Ad</sub> ) e número de estômatos na face abaxial (NE <sub>Ab</sub> ), Embrapa Acre, 2019.....	120
ANEXO H – Resumo da análise de variância em dois genótipos (GEN) de amendoim forrageiro submetidos a quatro regimes hídricos (RH) aos 60 dias de experimentação, tendo como variáveis: número de folhas verdes (NFV), número de estolões (NE), vigor das plantas (VIG), índice SPAD (SPAD), Embrapa Acre, 2019.....	120
ANEXO I – Resumo da análise de variância em dois genótipos (GEN) de amendoim forrageiro submetidos a quatro regimes hídricos (RH) aos 60 dias de cultivo, tendo como variáveis: massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR), razão entre as massas seca da raiz e parte aérea (MSR/MSPA) e massa seca total (MST), Embrapa Acre, 2019.....	121

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	18
2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO <i>Arachis pintoi</i> .....	18
2.2 PRINCIPAIS CULTIVARES DE AMENDOIM FORRAGEIRO.....	20
2.3 MELHORAMENTO GENÉTICO PARA TOLERÂNCIA À SECA .....	22
2.3.1 Melhoramento genético do amendoim forrageiro para tolerância à seca	24
2.4 FOTOSSÍNTESE EM PLANTAS C3 .....	26
2.5 ESTRESSE HÍDRICO EM PLANTAS .....	29
2.5.1 Mecanismos de tolerância à seca em plantas .....	30
2.5.2 Tolerância à seca em amendoim forrageiro.....	32
2.6 CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E FISIOLÓGICAS.....	34
2.6.1 Características agronômicas.....	34
2.6.2 Características fisiológicas.....	35
2.6.2.1 Índice SPAD.....	36
2.6.2.2 Conteúdo relativo de água e dano de membrana .....	36
2.6.2.3 Trocas gasosas.....	37
2.6.2.4 Fluorescência da clorofila <i>a</i> .....	38
2.7 CORRELAÇÕES ENTRE CARACTERES .....	40
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	43
3.1 EXPERIMENTO 1 .....	43
3.2 EXPERIMENTO 2.....	49
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	52
4.1 EXPERIMENTO 1 .....	52
4.1.1 CAPACIDADE DE CAMPO.....	52
4.1.2 TROCAS GASOSAS .....	54
4.1.3 FLORESCÊNCIA DA CLOROFILA <i>a</i> .....	60
4.1.4 CARACTERES VEGETATIVOS E ÍNDICE SPAD .....	65
4.1.5 CARACTERES AGRONÔMICOS DESTRUTIVOS .....	70
4.1.6 CORRELAÇÃO DE PEARSON .....	76
4.2 EXPERIMENTO 2.....	82
4.2.1 TROCAS GASOSAS .....	83

4.2.1.1 Conteúdo relativo de água e dano de membrana .....	86
4.2.1.2 Número de estômatos.....	87
4.2.2 CARACTERES VEGETATIVOS E ÍNDICE SPAD .....	89
4.2.3 CARACTERES AGRONÔMICOS DESTRUTIVOS .....	92
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>98</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>99</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>116</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui 214,7 milhões de cabeças de gado (IBGE, 2019) e sua área de pastagens é estimada em 183 milhões de ha (LAPIG, 2020). O país é atualmente o maior exportador de carne bovina do mundo (ABIEC, 2019), o que reforça a importância da pecuária para a economia brasileira. A maior parte das pastagens cultivadas no país é formada exclusivamente por gramíneas, porém estudos e casos de sucesso demonstram que o consórcio de gramíneas com leguminosas é promissor, tanto para pequenos quanto para médios e grandes produtores (SHELTON et al., 2005; BARCELLOS et al., 2008; ASSIS et al., 2009a; VALENTIM; ANDRADE, 2015; ANDRADE et al., 2015; EMBRAPA, 2017; FERNANDES et al., 2017; ERMGASSEN et al., 2018).

O amendoim forrageiro (*Arachis pintoi* Krapov. & W. C. Greg.), leguminosa perene exclusiva da flora brasileira, é capaz de aumentar a rentabilidade e sustentabilidade da atividade pecuária (ANDRADE et al., 2004; ASSIS; VALENTIM, 2013; SALES et al., 2015), além de auxiliar na recuperação de pastagens degradadas (ASSIS et al., 2013). Possui excelente qualidade nutricional para criação de animais (RAMOS et al., 2010), aumenta a disponibilidade de forragem (VALENTIM et al., 2017) e adiciona nitrogênio no sistema pela fixação biológica (MIRANDA et al., 2003), melhorando a fertilidade e qualidade do solo.

No entanto, as pastagens cultivadas com esta leguminosa estão sujeitas a diferentes estresses abióticos, dentre os quais se destaca a baixa disponibilidade hídrica no solo. Esse é um dos fatores abióticos mais preocupantes e, ao mesmo tempo, mais comum da natureza, porque ocorre em função das variações climáticas e da distribuição irregular das chuvas (SEKI et al., 2007; MILLER et al., 2010). No Brasil, conforme as diferentes regiões, é comum o déficit hídrico no solo em determinado período no ano. Para Monteiro et al. (2014), a limitação hídrica do solo gera grandes reduções da produtividade e rendimento das culturas em todo o mundo.

A produção pecuária a pasto também sofre as consequências da baixa disponibilidade hídrica no solo, visto que as plantas dependem de condições pluviométricas satisfatórias para melhor produtividade (SILVA et al., 2011). As variações climáticas que ocorrem em grande parte do trópico úmido brasileiro podem reduzir a produtividade do amendoim forrageiro nos períodos de seca. Lima et al. (2003) e Nascimento (2006) relatam que quando a estiagem é superior a quatro



meses, as plantas perdem suas folhas e alguns estolões podem morrer. Nesse contexto, torna-se necessário desenvolver cultivares de amendoim forrageiro com maior produtividade de forragem no período seco. Avaliações de acessos do Banco de Germoplasma do Amendoim Forrageiro mostram que há variabilidade genética para esta característica (ASSIS et al., 2012; MIQUELONI, 2018; SANTOS, 2018). A obtenção de genótipos mais produtivos em condições de menor disponibilidade hídrica é um grande desafio para os melhoristas, em função da complexidade dos mecanismos de tolerância à seca associada com a falta de validação de critérios de seleção bem definidos para o amendoim forrageiro.

A identificação de características responsáveis pelo maior desempenho produtivo na seca em genótipos de amendoim forrageiro sob condições de estresse hídrico, por meio do estudo morfofisiológico, poderá fornecer informações importantes para os programas de melhoramento e uma abordagem adequada para a seleção indireta de genótipos mais produtivos em períodos de menor disponibilidade hídrica. Atualmente não há método bem definido de avaliação e seleção em larga escala para tolerância à seca em amendoim forrageiro (ASSIS et al., 2012; SANTOS, 2018).

O objetivo deste estudo foi avaliar as respostas agronômicas e fisiológicas em genótipos de amendoim forrageiro submetidos ao déficit hídrico, assim como analisar a eficiência dos métodos empregados e identificar os caracteres mais adequados para seleção dos genótipos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

As leguminosas forrageiras são conhecidas pelo elevado teor de proteínas, (MIRANDA et al., 2003) fixação biológica de nitrogênio (LASCANO, 1994; LIMA et al., 2003) e pelo potencial de complementar a sazonalidade das gramíneas para incrementar o desempenho animal e melhorar a produção (HUTTON et al., 2011).

A utilização de espécies leguminosas é considerada de baixo custo (LUCCARELLI; SANTOS, 2016) e apresenta bons resultados (EMBRAPA, 2018), mas a espécie deve ser adaptada às condições edafoclimáticas locais, pois são fatores que ocasionam redução da produtividade (FAROOQ et al., 2009; ASSIS; VALENTIM, 2013; VALENTIM et al., 2017).

A espécie *Arachis pintoi* (amendoim forrageiro) tem avaliação positiva na produção animal quando comparada com outras espécies leguminosas tropicais herbáceas (MAGALHÃES et al., 2011; SIMEÃO et al., 2016).

O interesse no amendoim forrageiro é crescente e consolida-se em áreas de produção de bovinos, pois as cultivares desenvolvidas para uso forrageiro são persistentes sob pastejo (EMBRAPA, 2018), com elevado valores alimentícios e com impactos positivos sobre a produtividade animal (FERREIRA, 2014).

O amendoim forrageiro é uma opção promissora para o trópico úmido brasileiro, tanto em produção quanto em qualidade de matéria seca (ALONZO et al., 2017). Possui plasticidade fenotípica, que lhe confere possibilidade de adaptação a diferentes ambientes. No entanto, informações acerca de sua tolerância a seca ainda são limitadas (KRAPOVICKAS e GREGORY, 2007).

### 2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO *Arachis pintoi*

As leguminosas do gênero *Arachis* são originárias da América do Sul. No limite do Mato Grosso do Sul e Paraguai encontra-se *Arachis guaranítica*, considerada como possível espécie mais antiga do gênero. Estes locais são considerados o centro de origem e distribuição dessa cultura (LIMA et al., 2003). *Arachis pintoi* é a principal leguminosa do gênero utilizada em pastagens no Brasil e possui potencial para uso em formação de pastos para criação de animais com finalidade de produção de leite, carnes (ALONZO et al., 2017) e, paisagismo (SOUZA et al., 2017).

É uma leguminosa perene e estolonífera, com 30-40 cm de altura. O início do florescimento ocorre a partir de quatro a cinco semanas após a emergência das plântulas. Produz camada densa de estolões com entrenós curtos e os pontos de crescimento protegidos, que se fixam ao solo por meio de raízes abundantes (RAMOS et al., 2010; VALENTIM et al., 2003).

Embora se desenvolva melhor em climas com boa distribuição pluviométrica, o amendoim forrageiro pode sobreviver a períodos de seca superiores a quatro meses e a geadas em regiões subtropicais, se adaptando a diferentes tipos de solos, com texturas variando de argilosa à arenosa (PIZARRO; RINCÓN, 1994).

A produtividade de matéria seca (MS) de forragem do amendoim forrageiro é atributo importante, assim como sua excelente capacidade de rebrota, principalmente pelos pontos de crescimento estarem protegidos do pastejo (VALENTIM et al., 2001; ANDRADE et al., 2006; FERNANDES et al., 2017).

A produtividade de forragem do *A. pinto* é elevada, variando de 15 a 21 toneladas de MS/ha/ano (VALENTIM et al., 2001). O amendoim forrageiro possui excelente valor nutritivo, com teores de proteína bruta e digestibilidade da matéria seca variando de 13 a 26% e 62 a 70%, respectivamente (GOBBI et al., 2011; FERREIRA et al., 2012). Urbanski (2016) menciona que o valor nutricional desta espécie é maior que a maioria das leguminosas e gramíneas forrageiras tropicais principalmente, nos períodos de estiagem.

Valentim et al. (2003) observaram teores médios de proteína bruta variando de 17,9 a 21,7% em acessos e cultivares de amendoim forrageiro, em Rio Branco, Acre.

Santos (2012), estudando as cultivares Belomonte e BRS Mandobi no período de seca, em Rio Branco, Acre, observou teores de proteína bruta na cultivar Belomonte com média de 7,7% superior em relação ao BRS Mandobi. Oliveira et al. (2011), avaliando dez genótipos de amendoim forrageiro, incluindo Belomonte, durante a primavera no município de São Carlos (SP), encontraram teores de proteína bruta variando de 23,29 a 26,99% e digestibilidade de matéria seca de 76,1%, destacando o elevado teor proteico desta leguminosa.

Fernandes et al. (2017) avaliaram a qualidade da forragem em oito acessos e duas cultivares de amendoim forrageiro, dentre as quais o Belomonte, BRS Mandobi e BRA 039799, cultivados no Cerrado brasileiro. Os autores observaram teores de proteína bruta de 21,88% e digestibilidade de matéria seca de 66,48%, destacando o Belomonte e BRA 039799, como mais produtivos em termos de rendimento de matéria

seca e teores de proteína bruta, apresentando melhor qualidade de forragem entre os acessos e cultivares avaliadas.

Segundo Vasconcelos et al. (2013), a utilização do amendoim forrageiro consorciado com a gramínea promove ganhos positivos no desempenho produtivo animal e, conseqüentemente, aumentando a rentabilidade de produtores.

Ladeira et al. (2002) verificaram superioridade no valor nutritivo dessa forrageira em relação a outras leguminosas tropicais de importância comercial, como o estilosantes, soja perene, leucena e alfafa, apresentando alta digestibilidade dos nutrientes. A boa produção de forragem e o excelente valor nutricional destacam o amendoim forrageiro como uma das alternativas mais promissoras para melhoria da alimentação dos animais e na qualidade das pastagens no trópico úmido brasileiro.

Os interesses e desafios da agricultura são propiciar aumentos na produtividade, levando ao maior retorno dos investimentos associados à utilização de sistemas sustentáveis. A eficiência no uso da pastagem está relacionada à escolha da espécie forrageira. Estudos referentes às leguminosas do gênero *Arachis* são recentes em relação à sua implantação em pastagens nos sistemas de produção animal no Brasil, quando comparadas com outras espécies de leguminosas tropicais (AMATO et al., 2007; RAMOS et al., 2010; ASSIS et al., 2013; ANDRADE et al., 2015; VALENTIM et al., 2017).

## 2.2 PRINCIPAIS CULTIVARES DE AMENDOIM FORRAGEIRO

Cultivares de amendoim forrageiro disponíveis no país possuem características importantes para o fornecimento de forragem na alimentação animal com acréscimo no teor de proteínas semelhantes e/ou maiores aos de outras leguminosas forrageiras (SALES et al., 2013a; SILVA et al., 2016). As principais cultivares de amendoim forrageiro utilizadas no Brasil são Belomonte (PEREIRA et al., 1999), BRS Mandobi (ASSIS; VALENTIM, 2009a), Alqueire-1 (PEREZ, 2004) e Amarillo MG-100 (Matsuda Genética 100) (COOK et al., 1990; VALLS, 1992; BARCELLOS et al., 2008).

O Belomonte (anteriormente, denominado Belmonte) foi lançado em 1999 no Brasil (PEREIRA, 1999), e desde então é uma das cultivares mais utilizadas, em pastagens, principalmente na região amazônica (EMBRAPA, 2019). O cultivo é realizado de forma vegetativa, em virtude da pouca produção de sementes, não apresenta floração abundante, sendo utilizado principalmente estolões bem

desenvolvidos para sua multiplicação (VALLS et al., 1994; PAGANELLA; VALLS, 2002; PEREIRA, 2018). Em 2015, esta cultivar foi registrada pela Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC) no Registro Nacional de Cultivares (RNC) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2019). Atualmente, o Belomonte é a cultivar mais utilizada em pastagens consorciadas no Brasil, especialmente no estado do Acre, por apresentar ótima adaptação ao trópico úmido e possuir alta compatibilidade e competitividade com diversas gramíneas forrageiras, como as espécies do gênero *Brachiaria*, *Panicum maximum* cv. Massai e com o *Cynodon nlemfuensis* (ANDRADE et al., 2015).

A cultivar BRS Mandobi foi obtida por meio de seleção massal realizada na Embrapa Acre em 1999 (ASSIS; VALENTIM, 2009a). Em 2008, foi registrada no Registro Nacional de Cultivares e protegida em 2011, conforme as normas do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2018). Sua principal característica é a elevada produção de sementes (VALENTIM et al., 2009). Em 2019, foi lançada como a primeira cultivar brasileira de amendoim forrageiro propagada por sementes (EMBRAPA, 2019). Possui excelente adaptação a regiões tropicais úmidas e pode ser utilizada em consórcio com gramíneas, em bancos de proteína e para produção de feno ou silagem (VASCONCELOS et al., 2013; SALES et al., 2015). Porém, sua produção de forragem no período seco é menor quando comparada com a cultivar Belomonte (VALENTIM et al., 2003; ASSIS et al., 2008; SANTOS, 2012; OLIVEIRA et al., 2011; FERNANDES et al., 2017). A principal vantagem da cv. BRS Mandobi em relação ao Belomonte é a sua elevada produtividade de sementes. Apresenta ainda elevado vigor, boa produtividade de biomassa, bom estabelecimento, tolerância a solos de baixa permeabilidade ou bem drenados (ASSIS, 2011).

A cv. Amarillo é proveniente de material coletado no Brasil em 1954. Foi levada para Austrália, onde foi lançado e denominado como Amarillo. Em 1995 a cultivar (Matsuda Genética 100 ou MG-100), foi utilizada comercialmente no país e registrada pela empresa Matsuda, no RNC (Registro Nacional de Cultivares) em 2001 (BARCELLOS et al., 2008). Assim como as demais cultivares, é utilizada na alimentação de animais, para fins ornamentais. Possui elevado teor de proteína e também se destaca pelo bom estabelecimento e tolerância ao déficit hídrico (ARGEL; PIZARRO, 1992; PAGANELLA; VALLS, 2002; VALENTIN et al., 2003; ALONZO, 2017).

A cultivar Alqueire-1, lançada em 2006, foi obtida pela seleção a partir de mistura de acessos na Fazenda Alqueire, no município de Rio Pardo no Rio Grande do Sul. Sua principal característica de interesse é a resistência ao frio e geadas. Também apresenta atributos agronômicos favoráveis, como boa produtividade e cobertura de solo (PEREZ et al., 2001; PEREZ, 2004).

As principais vantagens da cv. Belomonte em relação às cultivares Amarillo e Alqueire-1 se deve à sua ótima adaptação às condições edafoclimáticas do Acre, excelente produtividade de forragem, teores de proteína bruta, além de apresenta boa compatibilidade com diferentes gramíneas e persistência ao pastejo, sendo uma das principais cultivares recomendadas para a formação de pastos na região (VALENTIM et al., 2001).

### 2.3 MELHORAMENTO GENÉTICO PARA TOLERÂNCIA À SECA

A tolerância à seca em plantas é uma característica complexa, com envolvimento de muitos genes e mecanismos fisiológicos específicos, os quais são influenciados pelo ambiente (VERSLUES et al., 2006; CHAVES et al., 2009).

Para Mitra (2001) a tolerância à seca refere-se à capacidade da planta em resistir à redução do potencial hídrico dos tecidos e continuar produzindo com perda mínima na produção. Esta tolerância depende de quando ocorre o déficit hídrico, da intensidade e do tempo de exposição ao estresse, idade e condição nutricional da planta, bem como, da qualidade e tipo de solo (CÂMARA et al., 2007).

A tolerância à seca é o resultado de diversas características morfofisiológicas que se expressam de formas diferentes (MATOS et al., 2019). Nesse sentido, o termo tolerância à seca, é usado para descrever os mecanismos que as plantas utilizam para a manutenção da turgescência e a sobrevivência, assim como, a produtividade durante a seca (PIMENTEL, 2004).

As espécies vegetais também diferem quanto à capacidade de tolerar o déficit hídrico, com diferenças entre e dentro das espécies (PIMENTEL, 2004; TAIZ et al., 2017). Existem espécies que tanto podem ser sensíveis, sendo os processos fisiológicos prejudicados devido à redução na hidratação dos tecidos, quanto tolerantes, com processos fisiológicos e metabólicos capazes de manter a hidratação dos tecidos mesmo com baixo suprimento hídrico, o que permite as plantas desenvolverem diferentes mecanismos de tolerância à seca (DURÃES et al., 2004;

QUEIROZ et al., 2008; SILVEIRA et al., 2015). Adicionalmente, existem variações no desempenho produtivo entre espécies e cultivares submetidas ao déficit hídrico. Por isso, para selecionar plantas com maior produtividade no período seco é necessário o conhecimento dos mecanismos e comportamentos dos genótipos em condições de estresse hídrico (PATERNIANI et al., 2019).

Assim como uma única característica não é suficiente para obter uma planta tolerante em condições de estresse, o local para avaliação dos genótipos também apresenta grande relevância, principalmente quando o melhoramento está em fase inicial de avaliação e seleção (PIMENTEL, 2004).

Para seleção de plantas tolerantes à seca, a avaliação em ambiente protegido torna-se mais viável, devido ao controle do ambiente, no qual avalia-se somente o efeito dos fatores em estudo com e/ou sem estresse. Desta forma, o conhecimento dos mecanismos que mais contribuem para maior tolerância, em virtude da vantagem do monitoramento da água disponibilizada para plantas, auxilia a imposição dos fatores como duração, intensidade e severidade do estresse, otimizando tempo, espaço e permitindo determinar metodologias adequadas para avaliações das plantas (LISAR et al., 2012; PATERNIANI et al., 2019).

Na obtenção de plantas para tolerância à seca, características secundárias têm sido utilizado em diversos programas de melhoramento genético, em experimentos com ou sem estresse hídrico para auxiliar nas avaliações (PATERNIANI et al., 2015; FERRÃO et al., 2016).

Em plantas cultivadas como amendoim forrageiro, soja, milho, cana-de-açúcar, e trigo, diferentes estudos têm sido propostos com características agrônômicas e fisiológicas e suas relações com a produtividade das plantas sob déficit hídrico, como o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular (GUIMARÃES et al., 2011), teor de clorofila na folha (SILVA et al., 2014), ângulo de inclinação da folha (CASAROLI et al., 2007), eficiência no uso da água (FERRÃO et al., 2016) e conteúdo relativo de água na folha (XAVIER et al., 2014).

Programas de melhoramento voltados para a seleção de plantas com maior absorção de água pelas raízes ou com menor perda de água são promissores, podendo refletir em valores de produtividade mais atrativos em condições de déficit hídrico (SILVEIRA et al., 2015). Ferramentas associadas à biotecnologia, marcadores moleculares e fisiologia vêm sendo utilizadas para auxiliar no processo de seleção (FERRÃO et al., 2016).

### 2.3.1 Melhoramento genético do amendoim forrageiro para tolerância à seca

A maior limitação para o melhoramento genético da tolerância ao déficit hídrico em plantas é o conhecimento da base genética e das repostas fisiológicas, principalmente em regiões com ocorrência de períodos de estiagens (FRITSCH NETO; BORÉM, 2011).

No amendoim forrageiro, estudos realizados em campo e em ambiente protegido, variáveis como produção de forragem, cobertura do solo, massa seca da parte aérea e de raízes, número de estolões e teor de clorofila nas folhas, podem ser utilizadas como características secundárias para seleção e identificação de genótipos tolerantes ou sensíveis ao estresse hídrico e que são de fácil avaliação (SALES et al., 2012, 2013a; SIMEÃO et al., 2016; SANTOS, 2018).

A avaliação e a seleção de acessos e híbridos mais produtivos no período seco vêm sendo conduzidas pelo Programa de Melhoramento Genético do Amendoim Forrageiro, coordenado pela Embrapa Acre, onde encontra-se o Banco Ativo de Germoplasma do Amendoim Forrageiro (ASSIS et al., 2012). Porém, estudos voltados para identificação de características morfofisiológicas em diferentes genótipos são necessários, para viabilizar as demandas do programa de melhoramento desta espécie e permitir melhor conhecimento das características que compõem os acessos disponíveis para maior tolerância à seca (ASSIS et al., 2012).

Neste contexto, a Embrapa Acre vem realizando diversos estudos e selecionando genótipos com características agronômicas e fisiológicas de interesse e que diretamente são relacionadas com tolerância à seca (VALENTIM; ANDRADE, 2006; ASSIS; VALENTIM, 2009; MENEZES et al., 2012, SANTOS, 2012; MIQUELONI, 2018; SANTOS, 2018).

Os requisitos em programas de melhoramento são associados a existência de variabilidade genética e a definição de metodologias eficientes e viáveis para a seleção de plantas. Estudos realizados em campo no período seco, evidenciam variabilidade entre genótipos de amendoim forrageiro para tolerância à seca (VALENTIM et al., 2003; ASSIS et al., 2008; FERREIRA, 2014; SIMEÃO et al., 2016; FERNANDES et al., 2017; SANTOS, 2018; ASSIS; SANTOS, 2019).

As características observadas em genótipos de amendoim forrageiro, como produção de matéria seca (SIMEÃO et al., 2016), cobertura do solo (ASSIS et al., 2013; FERNANDES et al., 2017), número de estolões e folhas (SALES et al., 2013a),



vigor (ASSIS et al., 2007), ângulo de inclinação das folhas (SANTOS et al., 2017), crescimento e desenvolvimento do sistema radicular (ASSIS; SANTOS, 2019), valor nutricional (MENEZES et al., 2012), digestibilidade da matéria seca (FERREIRA et al., 2012) e teor de clorofila (SILVA et al., 2016) podem ser relacionadas com tolerância à seca, tendo em vista que tais características são boas indicadoras da existência de variabilidade genética na espécie.

Por meio das características supracitadas pode-se avaliar os efeitos do déficit hídrico na espécie e, ainda, utilizá-las como critério de seleção, para identificar genótipos mais tolerantes à seca (SIMEÃO et al., 2016).

Dentre as pesquisas realizadas como parte do Programa de Melhoramento Genético do Amendoim Forrageiro, Assis e Valentim (2009) avaliaram características agrônômicas de estabelecimento e produtividade, em 21 acessos de amendoim forrageiro no Acre, dos quais seis apresentaram resultados promissores (EA8, EA19, Belomonte, EA52, EA27 e EA77). Os autores verificaram que no período de estabelecimento a seleção para característica cobertura do solo, apresentou maior variabilidade entre as 12 e 16 semanas após o plantio e após esse período diminuiu em função da menor variabilidade observada. Já para a avaliação de produção de matéria seca, considerando seis cortes dos acessos avaliados, seis apresentaram resultados promissores (EA8, EA19, Belomonte, EA52, EA27 e EA77). Os autores confirmaram existência de variabilidade genética para as características avaliadas e sugeriram que os acessos mais promissores podem ser utilizados em programas de hibridação ou lançados como novas cultivares.

Estudo realizado por Simeão et al. (2016) avaliaram 18 acessos de amendoim forrageiro, nas condições climáticas do Cerrado, encontraram herdabilidade no sentido amplo de moderada a alta para as variáveis produção de matéria seca total e matéria seca de folhas nos períodos de chuva e seca.

Estudo conduzido por Santos (2018) identificou 17 genótipos de amendoim forrageiro, entre acessos e híbridos, promissores para produção de forragem. A autora classificou três genótipos (BRA 040894, BRA 042242 e BRA 030945) com alto potencial de produção de matéria seca, tanto no período seco como no chuvoso e mais três genótipos (BRA 015253, BRA015121, BRA 041467) e um híbrido (F1 C15-98) como promissores para produção de matéria seca e sementes, independente do período avaliado.

Miqueloni (2018) avaliou características agronômicas e bromatológicas em 67 genótipos de amendoim forrageiro, utilizando modelos mistos e índices de seleção, considerando como critérios de seleção características relacionadas ao uso como forragem e fins ornamentais, sob duas formas de propagação, por sementes e por via vegetativa. Os resultados das duas formas de propagação apresentaram variabilidade suficiente para permitir a seleção de genótipos de amendoim forrageiro tanto para a produção de forragem como fins ornamentais

A seleção de genótipos de amendoim forrageiro mais tolerantes ao estresse hídrico favorece a adaptação em ambientes propensos a períodos de estiagens ou veranicos (SIMEÃO et al., 2016), o que contribui para a melhoria do sistema de produção e qualidade de forragem disponível e, conseqüentemente aumento da produtividade da espécie.

#### 2.4 FOTOSÍNTESE EM PLANTAS C3

O processo pelo qual as plantas sintetizam compostos orgânicos a partir da conversão de energia solar em energia química é denominado de fotossíntese ou síntese utilizando a luz como fonte de energia. Toda biomassa produzida pelos assimilados dos vegetais sustentam os milhões de organismos heterotróficos, por isso é considerada a base da cadeia alimentar do planeta (SAGE; STATA, 2015).

A fotossíntese é composta de muitas etapas individuais que funcionam em conjunto e com alta eficiência. Embora envolva uma série complexa de reações químicas, é possível compreendê-la por meio de duas fases: a primeira fase refere-se à fotoquímica, onde ocorre a absorção de luz e o transporte de elétrons nos tilacoides. Nesta fase, é realizada a conversão de energia luminosa em energia química (ATP e NADPH), sendo a água essencial, por fornecer elétrons a partir da oxidação e liberar oxigênio (O<sub>2</sub>). A segunda corresponde à fase bioquímica e ocorre no estroma, onde é realizada a fixação do CO<sub>2</sub> e formação de compostos orgânicos (açúcares) (PIKART, 2014; KLUGE et al., 2015).

Esse processo é denominado Ciclo de Calvin-Benson ou via C<sub>3</sub>, devido à produção do primeiro intermediário fotossintético ser um composto orgânico de três carbonos, o 3-fosfoglicerato (3-PGA) (TAIZ et al., 2017). Basicamente, a fase bioquímica da fotossíntese compreende as fases de carboxilação, redução e

regeneração, tendo como os produtos finais da fotossíntese os açúcares, como amido no cloroplasto ou sacarose no citosol (TAIZ et al., 2017).

O processo é iniciado a partir da captação da luz, realizada pelo complexo de antena, formado por uma proteína que, associada às clorofilas, maximiza a energia absorvida. Por um processo de ressonância, moléculas de clorofila transferem energia para um centro de reação que eletronicamente desestabiliza-as (RAVEN, 2007). Neste processo, as moléculas de água são quebradas e os elétrons atômicos de hidrogênio usados no transporte de elétrons. As proteínas presentes nos tilacoides, ao transferirem elétrons, reduzem (aumento de prótons) o NADP (nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato) transformando em NADPH. ATP (adenosina trifosfato) é também produzido no processo e a energia dele e do NADPH é utilizada para a funcionalidade do ciclo de Calvin, um ciclo semi-aberto de reações que, quimicamente, executa adições de carbono, utilizando o carbono (C) do CO<sub>2</sub> para alongar moléculas de 3 carbonos (ácido 3 fosfoglicérico - 3PGA) até moléculas de 6 carbonos (frutose-6-fosfato, um açúcar) (KLUGE et al., 2015; TAIZ et al., 2017).

A maior parte da frutose-6-fosfato formada é utilizada no metabolismo para a produção de amido no cloroplasto e outra parte descarboxilada (perca de uma molécula de CO<sub>2</sub>) formando novamente Ribulose 1,5 bisfosfato (RuBP), composto que entrará no ciclo de carboxilação e, novamente, o reiniciará. Nele, o CO<sub>2</sub> penetra no mesofilo a partir dos estômatos, sendo, portanto, essencial a abertura estomática. Pela câmara subestomática, o CO<sub>2</sub> que entra nas células é capturado pela Ribulose 1,5 bisfosfato carboxilase (RUBISCO) que se localiza nas membranas dos tilacoides. Este complexo enzimático possui dois substratos, o CO<sub>2</sub> e a RuBP (ribulose-1,5-bisfosfato), que fecha o ciclo de carboxilação (PRISCO, 1989; IKKONEN et al., 2018).

Um dos caminhos da via tem início com o 3PGA (ácido 3 fosfoglicérico), mas algumas plantas, como cana-de-açúcar e milho, desenvolveram um sistema complementar à via C<sub>3</sub>, chamado de via C<sub>4</sub>, porque nelas um sistema caracterizado por mudança morfológica (bainha do feixe vascular) permite à folha o armazenamento de ácidos com 4 carbonos antes de estes serem captados pela RUBISCO (KLUGE et al., 2015; TAIZ et al., 2017). Ao contrário das plantas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>, outro mecanismo fotossintético desenvolvido por algumas plantas é denominado como metabolismo ácido das crassuláceas (CAM). Essas plantas fecham os estômatos durante o dia, assimilando o CO<sub>2</sub> durante a noite. Por isso, dependendo da eficiência fixação do

carbono na fotossíntese, as plantas foram classificadas em C3, C4 ou CAM (TAIZ et al., 2017).

Plantas C3 possuem uma característica que as diferenciam dos demais mecanismos de fixação de CO<sub>2</sub>, que é o ciclo oxidativo C2 do carbono ou denominado fotorrespiração (TAIZ et al., 2017). Nesse ciclo pode ocorrer redução na fixação do CO<sub>2</sub>, realizada pela enzima ribulose 1,5 bisfosfato carboxilase (Rubisco), em virtude da dupla função catalítica carboxilase e oxigenase (KLUGE et al., 2015). Assim, tanto o CO<sub>2</sub> quanto o O<sub>2</sub> competem pelo mesmo sítio ativo do ciclo de Calvin-Benson (GOWIK; WESTHOFF, 2011).

Quando ocorre a fixação do oxigênio (O<sub>2</sub>) com a ribulose-1,5- bisfosfato é gerado uma molécula de três carbonos (3-fosfoglicerato) e outro de dois carbonos 2-fosfoglicolato. Nesta situação, a fotorrespiração é utilizada para recuperar os dois carbonos gerados pela atividade oxigenase, na forma de 2-fosfoglicolato. Este ciclo envolve três organelas: cloroplasto, peroxissomo e mitocôndria (STITT et al., 2010). Inicialmente, ocorre a formação do glicolato a partir do 2-fosfoglicolato no cloroplasto. O glicolato migra para o peroxissomo onde é convertido para glicina (aminoácido) e peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), o qual é tóxico para a célula, e por isso ocorre a degradação do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> pela enzima catalase (TAIZ et al., 2017). A glicina é alocada do peroxissomo para a mitocôndria. Duas moléculas de glicina (2C) produzem uma molécula de serina (aminoácido com 3 carbonos). Nesta etapa ocorre liberação de NH<sub>3</sub> e de CO<sub>2</sub>. Devido ao consumo de oxigênio no cloroplasto e liberação de CO<sub>2</sub> na mitocôndria, este ciclo é chamado de fotorrespiração (PRISCO, 1989). Em seguida, a serina (3C) formada na mitocôndria migra para o peroxissomo onde é convertida para glicerato. O glicerato (3C) migra para o cloroplasto onde é convertido para 3-fosfoglicerato (3C), com gasto de ATP (TAIZ et al., 2017).

Posteriormente, duas moléculas de 2-fosfoglicolato (composto de dois carbonos) são formadas e, em seguida, são convertidas em uma molécula de 3-fosfoglicerato (3-PGA) e uma molécula de CO<sub>2</sub> (PRISCO, 1989; TAIZ et al., 2017). Assim, 25% do carbono fixado é perdido para a atmosfera e 75% é recuperado pela fotorrespiração, retornando ao ciclo de Calvin (PRISCO, 1989).

No entanto, o equilíbrio entre os ciclos fotossintético e da fotorrespiração em plantas C3, é determinado por três fatores: propriedades cinéticas da Rubisco, concentrações dos substratos CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> no ambiente intracelular e temperatura (BUCHANAN et al., 2000; TAIZ et al., 2017). Como há baixa razão entre CO<sub>2</sub>:O<sub>2</sub>

prevalecente na atmosfera, a fotorrespiração é indispensável para recuperação de parte do carbono perdido. Em regiões tropicais e subtropicais, o aumento da temperatura e deficiência hídrica podem resultar aumento da atividade oxigenase da Rubisco (FOYER et al., 2009).

## 2.5 ESTRESSE HÍDRICO EM PLANTAS

O estresse hídrico pode ser ocasionado pela falta (déficit hídrico) ou excesso (inundação) de água. A falta de água é um dos principais causadores de estresse nas culturas agrícolas, limitando o crescimento, desenvolvimento e a produtividade das plantas cultivadas no mundo (CHAVES et al., 2003; MANAVALAN et al., 2009).

Segundo Taiz et al. (2017), o termo estresse hídrico é definido como um fator externo, que exerce influência negativa nas plantas, podendo ser descrito como todo o conteúdo de água de um tecido ou célula que está abaixo do máximo exibido quando a planta se apresenta no estado de maior hidratação.

Em situação de estresse hídrico pode ocorrer aclimatação ou adaptação da planta, onde a tolerância aumenta devido um estresse anterior. Neste caso, diz-se que a planta está aclimatada. A adaptação da planta, por outro lado, está ligada ao nível de resistência genética, o qual é obtido pelo processo de seleção natural, adquirido ao longo de muitas gerações (TAIZ et al., 2017).

Quando as plantas são submetidas ao déficit hídrico, ocorrem diversas alterações a nível morfofisiológico, que resulta em mudanças fenotípicas que permitem as plantas amenizarem os efeitos do estresse (TAIZ et al., 2017).

Dentre os mecanismos morfofisiológicos mais eficientes adotados pelas plantas em condições de déficit hídrico, pode-se citar o ajustamento osmótico, o qual permite a manutenção da turgescência celular, por meio do acúmulo de solutos, porém, apenas por um curto período de tempo (MONTEIRO et al., 2014). As alterações desenvolvidas pelas plantas também variam conforme a intensidade e duração do estresse, espécies, genótipos e estádios de crescimento e desenvolvimento (INMAMBAMBER; SMITH, 2005).

Um dos primeiros efeitos do déficit hídrico nas plantas é a redução da turgescência celular. Como consequência, diminui a expansão foliar, sendo considerada uma resposta precoce adaptativa ao déficit hídrico e um dos primeiros

efeitos do estresse, percebido antes mesmo do fechamento estomático (TAIZ et al., 2017).

Em níveis morfológicos, o estresse hídrico diminui a biomassa seca de folhas e caules. Por outro lado, as raízes quando expostas ao déficit hídrico, tendem a apresentar maior crescimento e desenvolvimento até alcançar as camadas mais úmidas e profundas do solo (SILVEIRA et al., 2015; TAIZ et al., 2017).

Entre os efeitos fisiológicos, de modo geral, destacam-se a diminuição na taxa fotossintética e condutância estomática, em decorrência do fechamento dos estômatos. Consequentemente, há uma diminuição da transpiração e o suprimento de CO<sub>2</sub> para a fotossíntese, o que prejudica o crescimento da planta.

Segundo Araújo et al. (2010), o déficit hídrico afeta a fotossíntese das plantas em consequência de efeitos estomáticos e não estomáticos. 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 CO<sub>2</sub> (GALMÉS et al., 2011). Smit e Singels (2006) relacionam o aumento da 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 à elevada demanda atmosférica (ENDRES et al., 2010). Nesse caso, o fechamento estomático pode ser o indicador mais sensível do estresse do que mesmo a perda de turgor.

Em contrapartida, o efeito não estomático, conforme Taiz et al. (2017), relaciona-se com os processos fotoquímicos e bioquímicos. No primeiro, o déficit hídrico reduz o transporte de elétrons e afeta a síntese de ATP e NADPH, enquanto nos processos bioquímicos, há redução na eficiência carboxilação e/ou na quantidade e atividade das enzimas responsáveis pelo metabolismo fotossintético, principalmente a Rubisco.

### 2.5.1 Mecanismos de tolerância à seca em plantas

A tolerância à seca é definida como mecanismo de resistência que proporciona à planta a capacidade de crescer, florescer e apresentar rendimento econômico satisfatório sob baixa disponibilidade hídrica (FAROOQ et al., 2009). Outros autores a definem como a capacidade da planta manter potencial produtivo satisfatório sob condição hídrica limitada por apresentar maior capacidade de obtenção da água ou maior eficiência no uso da água disponível (SILVEIRA et al., 2015; TAIZ et al., 2017).

As plantas apresentam diferentes estratégias para se adaptar e sobreviver ao estresse hídrico, devido a vários mecanismos em níveis morfológicos, fisiológicos e bioquímicos (CHAVES et al., 2009; SILVEIRA et al., 2015). Tais mecanismos são definidos da seguinte forma (TAIZ; ZEIGER, 2009):

- (i) Escape: as plantas apresentam rápido ciclo de vida, completando seu crescimento vegetativo antes que o estresse se torne severo o suficiente para causar danos ao processo fotossintético;
- (ii) Retardo: refere-se à manutenção do turgor e volume celular, em decorrência do maior desenvolvimento sistema radicular para absorção de água, assim como pela diminuição da perda de água;
- (iii) Tolerância: é associada à capacidade da planta em manter suas funções fisiológicas mesmo em condições de déficit hídrico.

Toda via, os mecanismos de resistência à seca são expressos nas plantas a partir de genes que promovem maior adaptação sob condições edafoclimáticas adversas (PIMENTEL, 2004).

As características que conferem a capacidade das plantas em tolerar a seca são muito complexas e, geralmente, estão associadas à diminuição da superfície de exposição à radiação solar para reduzir a perda de água, por meio do fechamento dos estômatos, ou ainda, à absorção de água por meio de raízes mais profundas, (DURÃES et al., 2004; SILVEIRA et al., 2015).

Sob estresse hídrico, um dos mecanismos fisiológicos utilizado pelas plantas para reduzir a desidratação é o ajustamento osmótico. Este mecanismo é estabelecido na planta a partir do acúmulo de solutos como prolina, sacarose e outros, que contribuem para manter a integridade celular e demais processos dependentes (FAROOQ et al., 2009).

Os mecanismos utilizados pelas plantas são expressos em função do tempo, duração e intensidade do estresse, e dependem de fatores como, espécie, genótipos e idade da planta (INMAM-BAMBER; SMITH, 2005).

Na literatura, diferentes estudos relatam grande variabilidade para a tolerância à seca entre espécies, assim como variações conforme o genótipo dentro da mesma espécie. Sendo assim, diferentes genótipos de uma mesma espécie podem apresentar respostas distintas quanto ao déficit hídrico (PIMENTEL, 2004).

### 2.5.2 Tolerância à seca em amendoim forrageiro

Define-se seca como termo meteorológico para um período de ausência ou insuficiente de precipitação, que, normalmente, resulta em déficit hídrico para a planta (TAIZ et al., 2017). É também considerada uma condição na qual as plantas sofrem redução do seu crescimento ou produtividade, devido à insuficiência de suprimento de água, ou a um grande déficit de umidade do ar, mesmo com um suprimento de água adequado do solo (PIMENTEL, 2004).

As respostas mais proeminentes das plantas sob baixa quantidade de água disponível no solo, possivelmente, estão relacionadas à redução das características morfológicas, devido ao decréscimo das taxas fotossintéticas (TAIZ et al., 2017). Estas modificações são essenciais por reduzir a perda de água (CHAVES et al., 2009). Em períodos de seca, plantas tolerantes podem reduzir o crescimento aéreo. Por outro lado, o desenvolvimento das raízes aumenta, propiciando absorção de água nas camadas mais profundas do solo (TAIZ et al., 2017).

A distribuição irregular de chuvas é característica do clima tropical e ocasiona déficit hídrico no solo em determinado período no ano, que se acentua em função de mudanças climáticas bruscas podendo ocorrer até mesmo em meio ao período chuvoso (veranicos). Na região Amazônica, apesar do relativo curto período seco, ocorre limitação que reduz ou elimina o suprimento de água às plantas, podendo alterar o desempenho agrônomico e fisiológico das espécies cultivadas em função da limitação hídrica do solo (GONÇALVES et al., 2010; SANTOS, 2012).

Em áreas de pastagens, pela exposição ao ambiente, há riscos severos de redução da produtividade, principalmente por condições de déficit hídrico, pois baixos teores de água no solo são limitantes. O amendoim forrageiro apresenta considerável tolerância em condições de seca, apresentando, porém, redução na produtividade de forragem e cobertura do solo. Quando submetido a estresse hídrico prolongado, apresenta decréscimo na distribuição de fotoassimilados, levando à redução do tamanho, número e emissão de folhas e estolões. Observa-se também queda de folhas e morte de estolões, com reflexo negativo no vigor e diminuição do potencial produtivo (RAMOS et al., 2013; SALES et al., 2013a; PEREIRA et al., 2015).

Estudos mostram que existe variabilidade para características como produção de matéria seca e cobertura do solo dentro da espécie, o que possibilita a seleção de genótipos de maior interesse agrônomico sob condição hídrica limitada no solo



(SANTOS, 2012; SANTOS, 2018). No entanto, ainda são poucas as respostas morfofisiológicas em diferentes genótipos em condições de estresse hídrico (SALES, 2011; ASSIS; SANTOS et al., 2015; SANTOS, 2019).

Santos (2018), avaliando as cultivares BRS Mandobi e Belomonte, para a validação de uma metodologia e identificação de genótipos com maior tolerância à seca em ambiente protegido, observou diferenças no sistema radicular das plantas, onde o BRS Mandobi apresentou maior comprimento de raiz. Ressalta-se que o BRS Mandobi é considerado menos tolerante à seca em comparação ao Belomonte, quanto à produção de matéria seca em período de estiagens em condições de campo (SANTOS, 2012).

Sales et al. (2013a) verificaram que, sob estresse hídrico moderado e severo (25 e 50% da capacidade de campo), o amendoim forrageiro reduz a produção de forragem a partir de 50% da capacidade de campo, devido à menor emissão de folhas e estolões, e sob estresse severo diminui em 25% a emissão de folhas, apresentando maior abscisão e redução no número de folhas. Em outro estudo, Santos et al. (2017) avaliaram a influência da disponibilidade hídrica no aparecimento de estolões em genótipos amendoim forrageiro, sob estresse moderado (50% da capacidade de campo) em tubos de acetato. Observaram que o estresse moderado e o recipiente favoreceram o desenvolvimento das plantas, proporcionando aumento no número de estolões dos genótipos avaliados. Embora o estresse não tenha prejudicado as plantas, o recipiente se mostrou adequado para estudos futuros de tolerância à seca na espécie.

Fernandes et al. (2017), avaliando as cultivares Belomonte e BRS Mandobi e oito acessos de amendoim forrageiro durante três anos nas condições climáticas de Planaltina (DF), observaram variabilidade entre os genótipos de amendoim forrageiro para característica cobertura do solo e produtividade. Os autores também verificaram que o Belomonte manteve a cobertura do solo em torno de 80% sob menor disponibilidade de água no solo, enquanto, o BRS Mandobi, sendo mais sensível ao déficit hídrico, demonstrou decréscimo de pelo menos 50% na cobertura do solo. Estes resultados confirmaram as diferenças genéticas observadas por Santos (2012) entre as duas cultivares, evidenciando maior produção de forragem do Belomonte sob menor disponibilidade hídrica no solo, sendo considerado mais tolerante ao estresse hídrico em relação ao BRS Mandobi, quando avaliados para cobertura do solo e produção de forragem no período de seca.

Experimentos de campo e casa de vegetação têm evidenciado a plasticidade de estruturas como raízes e folhas de amendoim forrageiro, visando minimizar os efeitos do déficit hídrico nas plantas. Assis e Santos (2019) avaliaram o sistema radicular em diferentes genótipos de amendoim forrageiro sob duas disponibilidades hídricas. Verificaram plasticidade do sistema radicular, cujo crescimento foi estimulado sob estresse moderado. No entanto, para identificar genótipos tolerantes à seca, é necessário impor déficit hídrico mais severo. Em condições de campo, Santos et al. (2017) avaliaram 32 genótipos de amendoim forrageiro quanto ao ângulo de inclinação da folha na época seca. Observaram diferenças no ângulo de inclinação das folhas na época seca em genótipos de amendoim forrageiro indicando a possibilidade de selecionar genótipos com maior plasticidade, capazes de inclinar suas folhas para a posição vertical na época seca do ano.

Neste contexto, não há cultivares de amendoim forrageiro indicadas como tolerantes à seca e, além disso, características agronômicas e fisiológicas necessitam ser investigadas e avaliadas por metodologia eficiente, ainda a ser validada para a espécie.

## 2.6 CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E FISIOLÓGICAS

Diversas características agronômicas e fisiológicas têm sido relacionadas com a tolerância à seca em plantas cultivadas e podem ser estudadas por meio de metodologias simples e eficientes que contribuem para obtenção e identificação de plantas adaptadas a períodos secos (ASSIS; VALENTIM, 2009; SANTOS et al., 2016; SIMEÃO et al., 2016; FERNANDES et al., 2017).

### 2.6.1 Características agronômicas

As primeiras características das plantas afetadas pelo déficit hídrico, normalmente, ocorrem nos órgãos da parte aérea e raiz (TAIZ et al., 2017).

As massas fresca e seca da parte aérea das plantas podem ser reduzidas, em função da limitação da expansão foliar, número e emissão de folhas, inibição do comprimento e número de estolões, com o intuito de diminuir a perda de água e manter a turgescência celular (LISAR et al., 2012).

A manutenção de água nos tecidos promove a redução na transpiração, em consequência, reduz o influxo de CO<sub>2</sub>, prejudicando assimilação fotossintética, o que afeta a produção de biomassa aérea da planta (TAIZ et al., 2017).

Por outro lado, a raiz é tida como principal órgão da planta para a adaptação à seca (FAROOQ et al., 2009), sendo utilizada como uma das estratégias de defesa em condições de deficiência hídrica no solo. O desenvolvimento de uma raiz principal mais longa favorece o alcance das camadas mais profundas do solo, onde a água e nutrientes estão disponíveis para absorção (TAIZ et al., 2017). Nesta situação, o ácido abscísico é o responsável por esta função, o que contribui para melhor adaptação e sobrevivência da planta em ambientes sujeitos a períodos de estiagens (PINHEIRO; CHAVES, 2011).

A síntese do ácido abscísico causa o fechamento dos estômatos sob baixa disponibilidade hídrica no solo, entretanto, aumenta o crescimento das raízes, por isso, a razão massa seca da parte aérea e raiz tende a ser maior (FAROOQ et al., 2009). Isso ocorre devido à planta realizar a translocação de maior quantidade dos fotoassimilados para o desenvolvimento radicular em detrimento da parte aérea, refletindo numa adaptação à seca (CHAVARRIA; SANTOS, 2012).

O decréscimo na massa seca total das plantas sob estresse hídrico é consequência dos mecanismos utilizados pela planta para evitar a perda de água, como a diminuição do número e tamanho das folhas. Essa redução é consequência da menor interceptação solar e condutância estomática, o que causa menor assimilação de CO<sub>2</sub> para a fotossíntese, diminuindo o acúmulo de biomassa da planta (FAROOQ et al., 2009).

### 2.6.2 Características fisiológicas

Estudos fisiológicos são possíveis por meio do analisador de trocas de gases por infravermelho (IRGA), que atualmente é o equipamento mais utilizado na análise de processos fotossintéticos, permitindo a compreensão de fenômenos que ocorrem nas plantas (GONÇALVES et al., 2010; SILVA et al., 2015).

Características fisiológicas como teor de clorofila, conteúdo relativo de água, dano de membrana, bem como aquelas relacionadas às trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* vem sendo usadas para mensurar os efeitos do déficit hídrico nas plantas (SILVA et al., 2007; LIU; HUANG, 2008; HONG et al., 2012).

### 2.6.2.1 Índice SPAD

O teor de clorofila na folha pode ser obtido por meio do índice SPAD. Este índice permite avaliar a eficiência fotossintética das plantas, pois as clorofilas presentes nas folhas são um dos pigmentos responsáveis pela captura de luminosidade e são essenciais para a fase fotoquímica da fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2009).

A análise da eficiência fotossintética por meio do índice SPAD, torna-se uma ferramenta importante para identificação de plantas tolerantes ou sensíveis sob déficit hídrico (JABEEN et al., 2008), devido às consequências ocasionadas pelo estresse hídrico, como a perda de clorofilas e decréscimo da fotossíntese nas plantas (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Este método permite leitura rápida, simples e não é destrutivo. Em alguns estudos tem apresentado a mesma eficiência quanto ao tradicional método de espectrofotometria (JIANG et al., 2006; JABEEN et al., 2008). O índice SPAD tem evidenciado resultados satisfatórios em culturas como abacaxizeiro (LEONARDO et al., 2013), cana-de-açúcar (SILVA et al., 2013), café (TORRES NETTO et al., 2005), sorgo (XU et al., 2000), mostrando-se como uma característica importante para diferenciação de plantas tolerantes ao déficit hídrico (SILVA et al., 2014) e como indicativo do estado nutricional da planta, quanto ao teor de nitrogênio (SILVA et al., 2009). Pôrto et al. (2011) verificaram alta correlação entre os valores do índice SPAD e os teores de nitrogênio nas folhas, pelo fato de que 70% do nitrogênio contido nas folhas estão nos cloroplastos (ARGENTA et al., 2001).

### 2.6.2.2 Conteúdo relativo de água e dano de membrana

O conteúdo relativo de água corresponde é definido como a quantidade de água do tecido vegetal no momento na análise, comparada com o máximo de água que tal tecido pode armazenar (CAIRO, 1995).

O dano de membrana ou vazamento de eletrólitos é utilizado para verificar os danos nas membranas celulares, uma vez que, quanto maior vazamento de eletrólitos, menor é a integridade da membrana celular (ZHAO et al., 2009). Geralmente, ocorre em condições de estresses abióticos, devido à formação e ao acúmulo de espécies reativas de oxigênio, as quais promovem processos peroxidativos, podendo causar perdas de eletrólitos e diminuir a turgescência celular (QUEIROZ et al., 2002).

Neste contexto, essas variáveis são eficientes para estudos visando tolerância à seca e podem contribuir na diferenciação de genótipos sob estresse hídrico (JAMES; COOPER, 2008).

### 2.6.2.3 Trocas gasosas

A restrição hídrica promove diferentes respostas na atividade fotossintética das plantas. Desta forma, a avaliação das trocas gasosas representa uma importante ferramenta para elucidar os mecanismos utilizados pelas plantas quando submetidas ao déficit hídrico (GONÇALVES et al., 2010; SILVA et al., 2015).

As principais características consideradas como trocas gasosas são a fotossíntese, condutância estomática, transpiração, concentração interna de CO<sub>2</sub>, eficiência do uso da água, eficiência intrínseca do uso da água e eficiência de carboxilação. Estas variáveis são utilizadas como indicadores, quanto à capacidade das plantas para se manterem em ambientes com baixa disponibilidade hídrica (LISAR et al., 2012; TAIZ et al., 2017).

A fotossíntese é um dos principais mecanismos fisiológicos relacionada ao aumento da produtividade das plantas. No entanto, pode ser afetada pelo estresse hídrico. Sua eficiência tende a diminuir devido ao fechamento dos estômatos, ocasionado pela inibição da expansão foliar, para evitar a perda de água, o que reduz a transpiração e limita a entrada de CO<sub>2</sub>, gás altamente requerido pela atividade fotossintética (CHAVES et al., 2009; TAIZ et al., 2017).

A condutância estomática é o principal mecanismo responsável pelo controle das trocas gasosas, tendo em vista que o influxo de CO<sub>2</sub> e a perda de água pela transpiração ocorrem através dos estômatos. Ainda, permite identificar se a fotossíntese é limitada por fatores estomáticos ou bioquímicos (CHAVES et al., 2009; ARAÚJO et al., 2010).

Sob déficit hídrico, a concentração interna de CO<sub>2</sub> no mesófilo foliar é reduzida, devido ao fechamento dos estômatos (SILVA et al., 2015). Com o fechamento estomático, as plantas não apenas diminuem a perda de água por transpiração, como também o suprimento de CO<sub>2</sub> para a fotossíntese (LARCHER, 2004) e, como consequência, a produção de biomassa das plantas é comprometida. Por outro lado, o aumento na concentração interna de CO<sub>2</sub> pode indicar também que o CO<sub>2</sub> não está sendo fixado na fase de carboxilação do ciclo de Calvin-Benson. Isso indica que pode

existir limitação bioquímica (FLEXAS et al., 2007), o que reduz a taxa fotossintética (HU et al., 2011).

A transpiração corresponde à evaporação do tecido da planta. É um processo impulsionado pela diferença de vapor de água entre espaço intercelular e o ar circundante do ambiente, ou seja, é determinada pelo suprimento de calor que ocorre durante o dia e pela disponibilidade de água no solo, sendo reduzida com o fechamento dos estômatos (PIMENTEL, 2004; TAIZ et al., 2017).

Sob alta temperatura, a transpiração aumenta e quando a umidade do ar é elevada, diminui. Elevada transpiração torna-se prejudicial, pois promove a desidratação da planta. Por outro lado, faz-se necessária, pois permite a captação de CO<sub>2</sub>, para a fotossíntese (TAIZ et al., 2017).

A eficiência do uso da água consiste na relação entre a fotossíntese e a transpiração e é definida como a quantidade de biomassa acumulada por unidade de água utilizada. Expressa também a eficiência de determinada espécie em fixar carbono enquanto transpira (JAIMEZ et al., 2005; MANAVALAN et al., 2009). Em relação à eficiência intrínseca do uso da água, refere-se à relação entre a fotossíntese e a condutância estomática. Sob menor disponibilidade de água no solo, a manutenção de elevadas taxas fotossintéticas associadas a menores valores de condutância estomática e transpiração são características de plantas tolerantes, sendo refletido pela maior eficiência do uso da água e eficiência intrínseca do uso da água (CHAVES et al., 2009). Portanto, ambas características permitem verificar como os estômatos estão sendo controlados e, ainda, permitem a diferenciação de genótipos tolerantes à seca (MANALAVAN et al., 2009).

Plantas de metabolismo C3 possuem menores valores de eficiência do uso da água e eficiência intrínseca do uso da água devido à necessidade de manter os estômatos constantemente abertos para facilitar a atividade carboxilase da Rubisco, o que causa diminuição na fotossíntese, assim como, aumentos na concentração interna de CO<sub>2</sub> e transpiração (LLOYD; FARQUHAR, 2008).

#### 2.6.2.4 Fluorescência da clorofila *a*

A fluorescência da clorofila *a* é utilizada com sucesso em estudos para avaliar as interações entre as plantas e estresses abióticos, consistindo em importante indicadora das condições do aparato fotossintético das plantas (MAXWELL;

JOHNSON, 2000). Deste modo, a avaliação da fluorescência da clorofila *a* indica o nível de excitação da energia que dirige a fotossíntese e fornece subsídios para estimar a inibição ou o dano no processo de transferência de elétrons do fotossistema II (BOLHÀR-NORDENKAMPF et al., 1989).

Apesar das trocas gasosas serem importantes e eficientes para observar as respostas fotossintéticas das plantas em condição de estresse hídrico (GENTY et al., 1989; DURÃES, 2004; SANTOS et al., 2010), diagnosticar danos no aparato fotossintético em função do déficit hídrico pode ser vantajoso. Nesta situação, a fluorescência da clorofila *a* permite avaliação da eficiência fotoquímica por meio de diversas variáveis (WU et al., 2015).

Por meio da fluorescência da clorofila *a* são verificadas as características eficiência quântica máxima ( $F_v/F_m$ ) e eficiência quântica efetiva ( $\Delta F/F_m'$ ) do fotossistema II (PSII), quenchings fotoquímico ( $qP$ ) e não fotoquímico (NPQ), taxa de transporte de elétrons no PSII (ETR) e excesso de elétrons (EXC).

Quando uma planta está com seu aparato fotossintético intacto, a razão  $F_v/F_m$  deve variar entre 0,75 e 0,85 (BOLHÀR-NORDENKAMPF et al., 1989), enquanto um declínio nesta razão revela dano fotoinibitório nos centros de reação do PSII (BJÖRKMAN; DEMMING, 1987). Maxwell e Johnson (2000) também salientam que há valores de eficiência quântica máxima em folhas saudáveis de diferentes espécies vegetais e que, valores inferiores a estes observados, indicam que a planta está exposta a algum tipo de estresse abiótico.

O quenching fotoquímico quantifica a capacidade fotoquímica do PSII, a qual corresponde à proporção de centros de reação abertos do PSII (AZEVEDO NETO et al., 2011). Os valores de referência do quenching fotoquímico são de 0 a 1; quanto mais próximos de 1, maior a proporção de energia no PSII.

O quenching não-fotoquímico, por sua vez, refere-se ao excesso de energia radiante que não está sendo aproveitada fotoquimicamente, sendo, portanto, dissipada na forma de calor (LAWLOR; TEZARA, 2009). Os valores de referência são na faixa de 0,5 a 3,5 (MAXWELL; JOHNSON, 2000).

Eficiência quântica efetiva do PSII ( $\Delta F/F_m'$ ) está relacionada à proporção de luz absorvida pela clorofila associada ao PSII usada na atividade fotoquímica (BONIFACIO et al., 2011) e indica a quantidade de elétrons transportados, sendo um importante indicativo da eficiência da fotossíntese nas plantas (LICHTENTHALER et al., 2005).

A taxa de transferência de elétrons (ETR) representa a fração de elétrons que efetivamente conduz a redução de NADP<sup>+</sup> a NADPH (BONIFACIO et al., 2011).

O excesso de energia (EXC) corresponde à fração de energia que não pode ser usada para conduzir a atividade fotoquímica (MAIA et al., 2018). A avaliação da fluorescência da clorofila *a* no amendoim forrageiro é útil para a identificação da capacidade de tolerância dos genótipos ao quanto déficit hídrico do solo.

## 2.7 CORRELAÇÕES ENTRE CARACTERES

A correlação entre características tem grande importância para o melhoramento de plantas, uma vez que permite estimar o grau de associação entre dois caracteres, com a possibilidade de informar as mudanças que ocorrem em um caráter quando se realiza a seleção em outro a ele correlacionado (RAMALHO et al., 1993).

O uso da correlação fenotípica é uma estratégia de seleção nos programas de melhoramento genético, por permitir progressos mais rápidos em relação ao uso de seleção direta em determinadas situações (CARVALHO et al., 2004).

De modo geral, a correlação simples somente quantifica a relação linear entre par de caracteres e nem sempre permite inferências sobre causa e efeito desta associação (RAMALHO et al., 1993). Porém, o grau de associação entre os caracteres é importante, porque a seleção de um caráter pode alterar o comportamento do outro (CRUZ et al., 2014). Desta forma, o grau de associação entre dois caracteres, a partir das estimativas de correlações fenotípicas, possibilita o uso de seleção indireta quando a característica de interesse apresenta baixa herdabilidade e/ou dificuldades na avaliação (CRUZ et al., 2012).

Nesta situação, a seleção indireta é recomendada, utilizando outra característica com elevada herdabilidade e de fácil medição, desde que seja altamente correlacionada com uma característica de difícil seleção direta (CRUZ et al., 2014). Assim, a seleção indireta com base na resposta correlacionada pode gerar resultados rápidos e eficientes para caracteres de interesse.

Miqueloni et al. (2017) inferem que em muitos casos é interessante diminuir o número de características em avaliação, o que otimiza tempo e recursos para condução do experimento. Assim, o conhecimento da correlação entre os caracteres viabiliza a identificação de características correlatas de fácil mensuração.



Neste contexto, para a clareza das informações sobre a relação entre os caracteres deve-se considerar três aspectos importantes: a magnitude, a direção e a significância. As correlações positivas sugerem tendência de aumento em ambos caracteres e negativas indicam que quando uma variável aumenta a outra diminui (NOGUEIRA et al., 2012). De acordo com Resende (2015), os valores do coeficiente de correlação variam de -1 a 1 e são classificados como baixos (0 a 0,33), médios (0,34 a 0,66) e altos (0,67 a 1,00). É importante ressaltar que há variações intrínsecas dentre as diferentes espécies, sendo necessário obter a correlação dentro da mesma espécie para uma interpretação adequada da correlação (UNÊDA-TREVISOLI, 2000).

Estudos de correlações são utilizados com frequência no amendoim forrageiro, com base em caracteres morfológicos e agrônômicos, considerando adicionalmente, períodos de seca e chuva para identificação da magnitude e da direção da relação entre os caracteres (AZEVEDO et al., 2011; SIMEÃO et al., 2016; FERNANDES et al., 2017).

Alguns resultados apresentam correlações de elevada magnitude entre características como a produção de matéria seca com a cobertura do solo (0,85) e o vigor (0,68) (VALENTIM et al., 2003), índice SPAD e altura das plantas (-0,78) (SILVA et al., 2016).

Mota et al. (2015), ao avaliarem características morfológicas, estimaram correlações fenotípicas em progênies de amendoim forrageiro e identificaram caracteres que viabilizam o uso da seleção indireta.

Simeão et al. (2016), em estudo com acessos de amendoim forrageiro no período chuvoso e de seca, estimaram correlações genotípicas entre as variáveis de produção de matéria seca e obtiveram correlações positivas de média a alta magnitude, variando de 0,74 a 0,99, respectivamente.

Existem estudos voltados para a seleção de genótipos de amendoim forrageiro em períodos secos, em virtude da existência de variabilidade observada (ASSIS et al., 2008; SANTOS, 2012; FERNANDES et al., 2017; SANTOS, 2018). Pimentel (2004) cita que uma característica somente não determina a tolerância à seca de uma espécie e, portanto, diferentes variáveis devem ser consideradas e correlacionadas.

O estudo da correlação pode auxiliar na seleção baseada em características de mais fácil medição, permitindo a identificação de plantas com maior tolerância aos diferentes fatores abióticos, sobretudo ao déficit hídrico.

A identificação de genótipos tolerantes à seca bem como a validação de critérios de seleção utilizando metodologia adequada em programas de melhoramento

genético, poderão contribuir para o lançamento de cultivares de amendoim forrageiro com maior produtividade de matéria seca no período seco do ano.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados dois experimentos em casa telada, situada no campo experimental da Embrapa Acre, em Rio Branco, Acre (latitude 9°58'22"S, longitude de 67°48'40"W e altitude de 160 m).

#### 3.1 EXPERIMENTO 1

O Experimento 1 foi realizado em casa telada no período de 28 fevereiro a 4 de abril de 2019. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial (4 x 2) com 5 repetições, totalizando 40 unidades experimentais.

Os genótipos de amendoim forrageiro avaliados foram as cultivares Belomonte e BRS Mandobi, e os acessos BRA 042242 e BRA 039799, ambos pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma do Amendoim Forrageiro. Os genótipos utilizados foram anteriormente avaliados em ensaios de campo (SANTOS, 2012; SIMEÃO et al., 2016; FERNANDES et al., 2017; MIQUELONI, 2018; SANTOS, 2018) que identificaram a cv. BRS Mandobi como a menos produtiva no período seco do ano e com maior senescência das folhas e morte de estolões em comparação às demais.

Para cada genótipo foram impostos dois regimes hídricos: irrigado (considerado o controle, com 90% da capacidade de campo) e não irrigado (suspensão da irrigação, 20 dias após o período de estabelecimento).

Os genótipos foram plantados em vasos de polietileno preto, com capacidade de 5 litros. Foram utilizados solo e areia lavada como substrato na proporção 1:1, preenchendo-se cada vaso com 6 kg de substrato. O solo foi retirado da camada superficial (0-20 cm) de uma área no campo experimental da Embrapa Acre, peneirado e secado em galpão coberto por sete dias. A areia foi peneirada, lavada e seca em estufa a 50 °C por 72h.

Os atributos químicos do solo e areia apresentados na instalação do experimento foram determinados conforme a metodologia descrita por Teixeira et al. (2017) e são apresentados a seguir, respectivamente: pH (H<sub>2</sub>O) = 5,40 e 5,90; matéria orgânica = 22,44 e 0,36 g kg<sup>-1</sup>; P = 27,64 e 28,66 mg dm<sup>-3</sup>; K = 0,75 e 0,16 mg dm<sup>-3</sup>; Ca = 6,25 e 1,72 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>; Mg = 1,25 e 1,02 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>; H+Al = 0,71 e 0,19 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>; Na = 0,05 e 0,03 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>; Al = 0,01 e 0,01 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>; Soma de Bases = 8,30 e 2,93

$\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ;  $\text{CTC} = 8,31$  e  $2,93 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ; Saturação de Bases =  $92,11$  e  $94,05\%$ ; Saturação por Alumínio =  $0,08$  e  $0,23\%$ .

Os estolões maduros colhidos foram lavados para retirar o excesso de solo e imersos em solução de hipoclorito de sódio a 2,5% durante 5 min para a desinfecção. Em seguida, foram lavados em água corrente. Após a limpeza, foram padronizados para o comprimento de 19 a 21 cm, contendo de cinco a nove nós. Foi realizada a indução do enraizamento pela imersão de 2/3 do estolão em água destilada por 72 horas, seguindo a metodologia de Santos (2018). As etapas do preparo são ilustradas na Figura 1.

**Figura 1** - Etapas do preparo dos estolões de genótipos de amendoim forrageiro para plantio via propagação vegetativa



A capacidade de campo do substrato foi determinada antes do início do experimento. A determinação da máxima capacidade de campo foi realizada em casa telada em vasos com quatro repetições. Os vasos com substrato seco foram pesados, saturados e, após a drenagem total da água, pesados novamente. A capacidade máxima de retenção de água foi determinada pela diferença entre os pesos do substrato úmido e seco (CAIRO, 1995). Essa quantidade máxima de água do substrato em valores percentuais equivale a 100% da capacidade de campo, a partir

da qual foi obtida a quantidade de água necessária para obtenção de 90% da capacidade de campo para o regime hídrico irrigado (controle).

Inicialmente, foram plantados quatro estolões por vaso a 13,5 cm de profundidade, o que correspondeu ao enterrio de 2/3 do estolão. Durante a fase inicial de estabelecimento (primeiros 20 dias), todos os genótipos foram submetidos a substrato com 90% da capacidade de campo. Para tanto, todos os vasos foram pesados e monitorados diariamente, efetuando-se a reposição de água até atingir o peso correspondente, utilizando-se uma balança digital com capacidade para 15 kg (Toledo Prix 3 Plus).

Vinte dias após o plantio foi realizado o desbaste, mantendo-se três estolões por vaso. Nesse momento, foi iniciada a imposição dos diferentes regimes hídricos: irrigado, com 90% da capacidade de campo (controle); e não irrigado: com suspensão da irrigação. O período de experimentação ocorreu durante 15 dias, sendo finalizado pela ocorrência da senescência de folhas e desidratação de estolões, com redução drástica da capacidade de campo. O decréscimo da capacidade de campo foi monitorado ao longo do período experimental. Os dados da capacidade de campo ao longo do tempo foram analisados em delineamento inteiramente casualizado em parcelas subdividas no tempo, sendo alocados na parcela os genótipos e na subparcela, o tempo, conforme o Modelo 1 abaixo (ZIMMERMANN, 2014):

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + ea_{ik} + t_j + \alpha t_{ij} + eb_{ijk}, \text{ em que:}$$

$Y_{ijk}$  é o valor observado;

$\mu$  é a constante (média) comum a todas as observações;

$\alpha_i$  é o efeito do i-ésimo genótipo;

$ea_{ik}$  é o erro a associado ao i-ésimo genótipo na k-ésima repetição;

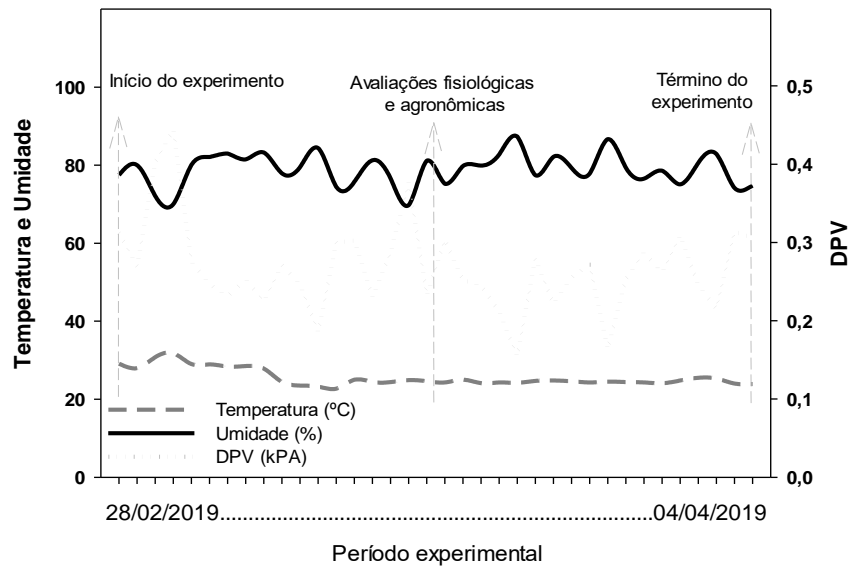
$t_j$  é o efeito do j-ésimo tempo;

$\alpha t_{ij}$  é o efeito da interação entre o i-ésimo genótipo e o j-ésimo tempo;

$eb_{ijk}$  é o erro b associado ao i-ésimo genótipo, na k-ésima repetição e no j-ésimo tempo.

Adicionalmente, foram mensuradas a temperatura e a umidade relativa do ar por meio de datalogger disposto no interior da casa telada (Figura 2). O déficit de pressão de vapor foi obtido pela diferença entre a pressão de saturação de vapor d'água ( $e_s$ ) e a pressão parcial de vapor ( $e_a$ ) (PEREIRA et al., 2002), conforme a equação de Tetens (1930).

**Figura 2** - Médias da temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), umidade relativa do ar (%) e déficit de pressão de vapor (DPV, kPA) de vapor durante o período experimental em casa telada na Embrapa Acre



As avaliações agrônômicas e fisiológicas foram realizadas aos 15 dias após a imposição dos diferentes regimes hídricos. Os caracteres fisiológicos foram os de trocas gasosas (itens 1 a 7) e os de fluorescência da clorofila *a* (itens 8 a 13), além do índice SPAD (14). Os agrônômicos foram os relacionados ao crescimento vegetativo (itens 15 a 17) e os destrutivos (itens 18 a 23). Os caracteres avaliados e suas descrições são apresentados a seguir:

- 1) Assimilação fotossintética de  $\text{CO}_2$  ( $P_N$ ) ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ );
- 2) Transpiração ( $E$ ) ( $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ );
- 3) Condutância estomática ( $g_s$ ) ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ );
- 4) Concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ) ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ );
- 5) Eficiência no uso de água (EUA) ( $\mu\text{mol mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ): calculada pela razão  $P_N/E$ ;
- 6) Eficiência intrínseca no uso da água (EiUA) ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}$ ): calculada pela razão  $P_N/g_s$ ;

- 7) Eficiência de carboxilação (EC) ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$ ): calculada pela razão  $P_N/C_i$ ;
- 8) Eficiência quântica potencial do PSII [ $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$ ], em que  $F_m$  e  $F_0$  referem-se à fluorescência máxima e mínima de folhas adaptadas ao escuro, respectivamente (SCHREIBER et al., 1994; SILVA et al., 2010);
- 9) Eficiência quântica atual do PSII [ $\Delta F/F_m' = (F_m' - F_s)/F_m'$ ], em que  $F_m'$  e  $F_s$  referem-se à fluorescência máxima e em equilíbrio dinâmico, respectivamente;
- 10) Quenching fotoquímico [ $qP = (F_m' - F_s)/(F_m' - F_0')$ ], em que  $F_0'$  é fluorescência mínima após iluminação com vermelho distante de folhas expostas a luz;
- 11) Quenching não fotoquímico [ $NPQ = (F_m - F_m')/F_m'$ ];
- 12) Taxa de transferência de elétrons [ $ETR = (\Delta F/F_m' \times 0,5 \times DFFFA \times 0,85)$ ]. Para obtenção da taxa de transferência de elétrons em plantas  $C_3$  é utilizado 0,5 como fração da energia de excitação distribuída para o PSII. A densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) foi de  $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ;
- 13) Excesso de energia [ $EXC = (ETR/P_N)$ ];
- 14) Índice SPAD (SPAD): foram realizadas três medições consecutivas no folíolo apical direito em cinco folhas totalmente expandidas tomadas ao acaso em cada vaso. Para fins de análise, foi calculada a média das medições. Utilizou-se o medidor indireto de clorofila Minolta SPAD-502 (*Soil Plant Analysis Development*) (MINOLTA, 1989) nas avaliações;
- 15) Número de folhas verdes (NFV): contagem do número de folhas verdes totalmente expandidas por vaso;
- 16) Número de estolões (NE): contagem do número de estolões por vaso;
- 17) Vigor das plantas (VG): avaliações visuais conforme os critérios abaixo:

1. Péssimo
2. Ruim
3. Regular
4. Bom
5. Ótimo

- 18) Massa fresca da parte aérea (MFPA, g vaso<sup>-1</sup>): foi realizado corte rente ao solo e posterior pesagem de toda a parte aérea do vaso, utilizando-se balança analítica;
- 19) Massa fresca das raízes (MFR, g vaso<sup>-1</sup>): foi realizada lavagem do sistema radicular em água corrente sobre peneiras, seguido da secagem em temperatura ambiente por 30 minutos e pesagem em balança analítica;
- 20) Massa seca da parte aérea (MSPA, g vaso<sup>-1</sup>): secagem em estufa a 65 °C até massa constante da parte aérea, seguida da pesagem em balança analítica;
- 21) Massa seca de raiz (MSR, g vaso<sup>-1</sup>): secagem em estufa a 65 °C até massa constante das raízes, seguida da pesagem em balança analítica;
- 22) Massa seca total (MST, g vaso<sup>-1</sup>): somatório da MSPA e MSR;
- 23) Razão entre massas seca de raiz e da parte aérea (MSR/MSPA, g vaso<sup>-1</sup>).

Foi utilizado um analisador de gás infravermelho (IRGA; modelo portátil LI-6400xt, LI-COR Biosciences Inc., Lincoln, Nebraska, USA) para obtenção das variáveis de trocas gasosas entre 08:30 e 12:00. As leituras por este aparelho foram realizadas na região mediana no primeiro par de folíolo, evitando a nervura central, abrangendo 2 cm em folhas totalmente expandidas. Nas análises pelo IRGA, utilizaram-se radiação fotossinteticamente ativa (PAR) constante (1200  $\mu\text{mol}$  fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), concentração atmosférica de  $\text{CO}_2$  (400 ppm), temperatura (30° C) e umidade ambiente.

As variáveis de fluorescência da clorofila *a* foram analisadas no mesmo folíolo em que foram realizadas as medidas das trocas gasosas, com auxílio de um fluorômetro acoplado ao IRGA. As medições foram feitas no claro e escuro. As folhas



foram submetidas ao escuro por 30 minutos, para que os centros de reação estivessem completamente abertos, com perda de calor mínima. Para indução da fluorescência nas plantas que permaneceram no escuro, realizou-se a aplicação de um pulso de luz saturante ( $1200 \mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$  por 0,8 s).

Os dados referentes aos caracteres fisiológicos e agrônômicos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) a 5 % de probabilidade, considerando o Modelo 2 (ZIMMERMANN, 2014):

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + e_{ijk}, \text{ em que:}$$

$Y_{ijk}$  é o valor observado;

$\mu$  é uma constante (média) comum a todas as observações;

$\alpha_i$  é o efeito do nível do fator  $\alpha$  (genótipos);

$\beta_j$  é o efeito do nível do fator  $\beta$  (regimes hídricos);

$\alpha\beta_{ij}$  é o efeito da interação do nível do fator  $\alpha$  com o efeito do nível do fator  $\beta$ ;

$e_{ijk}$ : erro experimental associado à observação  $Y_{ijk}$ .

Após a análise de variância, foi realizado o teste de Tukey (1949) a 5% de significância para comparação das médias e o estudo do desdobramento das interações entre os fatores. Para estas análises, foram utilizados o software SISVAR (FERREIRA, 2011) e o SigmaPlot versão 12.0. Posteriormente, foram estimadas as correlações de Pearson entre as variáveis, conforme Cruz et al. (2014). A significância dos coeficientes de correlação para cada característica foi avaliada pelo teste t, aos níveis de 1% e de 5% de probabilidade. Para esta análise foi utilizado o programa Genes (CRUZ, 2013).

### 3.2 EXPERIMENTO 2

O Experimento 2 foi realizado em casa telada no período de 21 de maio a 10 de agosto de 2019 na Embrapa Acre. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial (2 x 4) com 5 repetições, totalizando 40 unidades experimentais. As cultivares utilizadas foram Belomonte e BRS Mandobi, ambas pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma do Amendoim Forrageiro. As plantas foram cultivadas no mesmo tipo de vaso utilizado no Experimento 1.

Foram aplicados quatro regimes hídricos: 80%, 60%, 40% e 20% da capacidade de campo. Os regimes hídricos foram estabelecidos calculando-se as respectivas porcentagens do peso de água retido na capacidade de campo de 100%.

Foram utilizados solo e areia como substrato, seguindo o mesmo procedimento do Experimento 1, entretanto, para o preenchimento dos vasos utilizaram-se 7 kg de substrato. Os atributos químicos e físicos do solo e areia, respectivamente, apresentados na instalação do experimento foram: pH (H<sub>2</sub>O) = 6,91 e 5,54; P = 29,27 e 23,45 mg dm<sup>-3</sup>; K = 0,53 e 0,09 mg dm<sup>-3</sup>; Ca = 5,92 e 2,33 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>; Mg = 0,94 e 1,22 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>; H+Al = 0,82 e 0,39 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>; Al = 0 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>; Soma de bases = 7,39 e 4,03 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>; CTC = 8,21 e 4,03 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>; Saturação de Bases = 90,01 e 90,32%; saturação por Alumínio = 0%; Areia Grossa g kg<sup>-1</sup> 171 e 256; Areia Fina g kg<sup>-1</sup> 483 e 731; Argila g kg<sup>-1</sup> 192 e 5; Silte g kg<sup>-1</sup> 154 e 8. As determinações foram realizadas conforme a metodologia descrita por Teixeira et al. (2017).

As etapas relacionadas ao enraizamento, período de estabelecimento, desbaste, determinação da capacidade de campo seguiram o mesmo protocolo apresentado para o Experimento 1. Porém, o período de duração do Experimento 2 foi maior, compreendendo 60 dias entre o início da imposição dos regimes hídricos e as avaliações ao término da experimentação.

Os caracteres fisiológicos avaliados foram os mesmos descritos nos itens 1 a 7 e 14 do Experimento 1. Adicionalmente, foram avaliados:

- 1) Conteúdo relativo de água (CRA): inicialmente, foram retirados dez discos foliares de mesmo diâmetro ( $\cong 100$  mg). Posteriormente, esses discos foram pesados para a obtenção da massa fresca (MF), em seguida, foram imersos em 20 mL de água deionizada numa placa de petri por 24h a 4 °C no escuro. Após este período os discos foliares foram pesados para obtenção da massa turgida (MT). Em seguida, os discos foliares foram acondicionados em estufa à 65 °C até atingirem a massa constante e, após este período foram pesados para obtenção da massa seca (MS). Os dados foram obtidos da seguinte forma:  $CRA = (MF - MS / MT - MS) \times 100$ . Os resultados foram expressos em porcentagem, conforme metodologia descrita por Cairo (1995);
- 2) Dano de membrana (DM): foi estimado a partir do vazamento de eletrólitos utilizando dez discos foliares. Estes discos foram imersos em 10 mL de água

deionizada por 8 horas. Em seguida, a condutividade da suspensão foi mensurada utilizando-se um condutivímetro de bancada calibrado em solução padrão, onde foi realizada a medida, obtendo-se a primeira condutividade (C1). Posteriormente, estes discos foram colocados em banho-maria a 100 °C por 1h. Após o resfriamento foi realizada nova medição da condutividade elétrica (C2). Ao final, esta variável foi obtida da seguinte forma:  $DM = (C1/C2) \times 100$ , conforme metodologia de Martins (2012);

- 3) Número de estômatos: foi realizada contagem nas superfícies abaxial (NEAb) e adaxial (NEAd) ( $\text{mm}^2$ ) do folíolo apical. Utilizou-se material fresco, onde foi realizado corte à mão livre numa área de 1  $\text{mm}^2$ , na região mediana do folíolo. Em seguida, foram montadas em lâminas com a adição de uma gota de água destilada na superfície foliar, com o auxílio de uma pinça. As imagens foram observadas usando microscópio óptico com ampliação de 40x. A contagem do número de estômatos foi realizada para cada superfície, contando aleatoriamente os estômatos.

Com relação às variáveis agronômicas (de crescimento e destrutivas), também foram avaliadas as mesmas apresentadas no Experimento 1, exceto as descritas nos itens 18 e 19.

O Modelo 2 empregado no Experimento 1 foi o mesmo utilizado para a análise estatística dos dados do Experimento 2. Foram realizadas análises de variância e o estudo do desdobramento das interações entre os fatores. As análises estatísticas foram realizadas no software SISVAR (FERREIRA, 2011) e o SigmaPlot versão 12.0.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

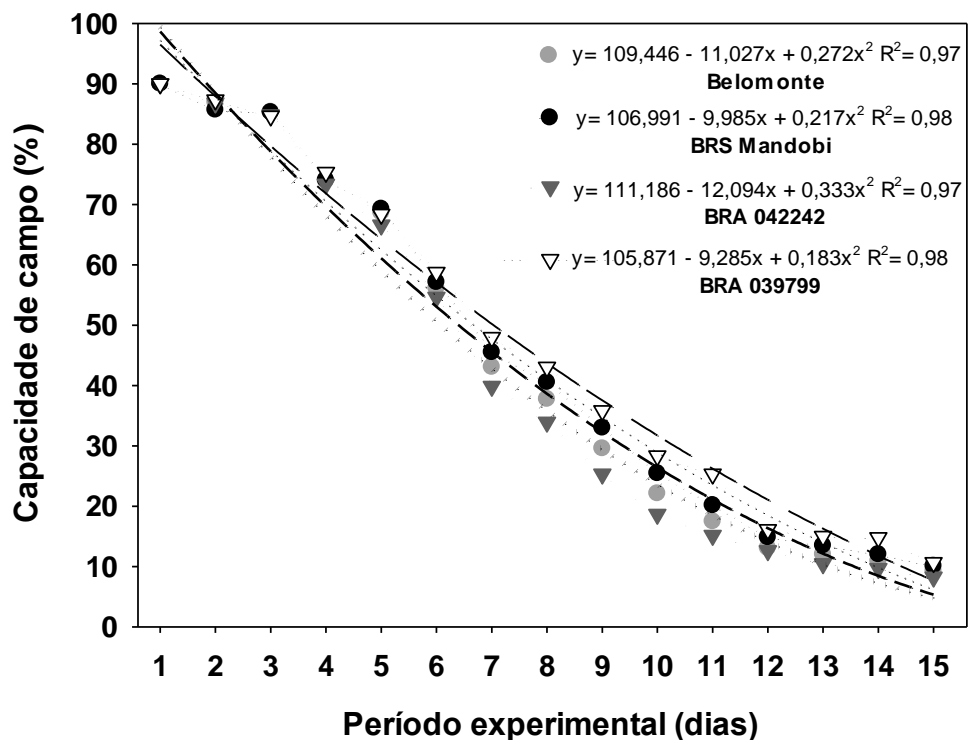
### 4.1 EXPERIMENTO 1

Durante o período de condução do Experimento 1, as médias da temperatura, umidade e déficit de pressão de vapor foram de 25 °C, 78% e 0,27 kPa, respectivamente (Figura 2), apresentando valores numa faixa satisfatória, considerando que, para o amendoim forrageiro, a temperatura ótima de crescimento está em torno de 25 °C e 30 °C (NASCIMENTO, 2006).

#### 4.1.1 CAPACIDADE DE CAMPO

A partir da suspensão da irrigação, verificou-se redução gradual da umidade do solo por meio da capacidade de campo até o término do experimento, com efeito significativo para genótipos e o tempo de suspensão hídrica (ANEXO A, Figura 3 e Tabela 1).

**Figura 3** - Redução da capacidade de campo do solo no tratamento não irrigado em genótipos de amendoim forrageiro avaliados ao longo do tempo, Embrapa Acre, 2019



Apesar das plantas estarem sob as mesmas condições, houve diferença na capacidade de campo entre os genótipos, principalmente entre o 7º e o 11º dia após a suspensão da irrigação. No 7º dia, a capacidade de campo variou de 39,88% a 47,98%, enquanto no 11º dia a variação foi de 15,17% a 25,33% (Tabela 1).

**Tabela 1** - Médias da capacidade de campo (%) referentes ao regime não irrigado observadas em quatro genótipos de amendoim forrageiro durante período de 15 dias na Embrapa Acre, 2019

Dias	GENÓTIPOS			
	Belomonte	BRS Mandobi	BRA 042242	BRA 039799
-----Capacidade de campo (%)-----				
1	90,00 a	90,00 a	90,00 a	90,00 a
2	86,96 a	85,69 a	86,83 a	87,36 a
3	85,35 a	85,28 a	84,88 a	84,68 a
4	73,93 a	74,07 a	73,40 a	75,34 a
5	68,69 a	69,30 a	66,61 a	68,38 a
6	56,14 a	57,14 a	54,66 a	58,79 a
7	43,11 ab	45,52 ab	39,88 b	47,98 a
8	37,73 ab	40,55 a	33,91 b	43,06 a
9	29,54 bc	32,97 ab	25,31 c	35,82 a
10	22,09 bc	25,44 ab	18,66 c	28,34 a
11	17,45 b	20,14 ab	15,17 b	25,33 a
12	13,02 a	14,83 a	12,62 a	16,12 a
13	12,01 a	13,49 a	10,47 a	15,01 a
14	10,87 a	12,01 a	9,66 a	14,76 a
15	9,26 a	10,06 a	8,25 a	10,65 a
Média Geral	43,74	45,10	42,02	46,78

Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem, entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Neste intervalo, nota-se que o BRA 042242 apresentou, em geral, capacidade de campo inferior aos demais, indicando que este genótipo absorveu maior quantidade de água (Tabela 1). Por outro lado, o BRA 039799 e o BRS Mandobi apresentaram os maiores valores, retirando menor quantidade de água do solo neste período. Em condição de estresse hídrico pode ocorrer variabilidade para a tolerância à seca entre espécies e entre genótipos de uma mesma espécie (CARREGA et al.,

2019), o que torna a tolerância à seca dependente da intensidade e da duração do estresse hídrico nas plantas (ARRUDA et al., 2015).

#### 4.1.2 TROCAS GASOSAS

Para as características relacionadas às trocas gasosas, verificou-se interação significativa entre genótipos e regimes hídricos para concentração interna de CO<sub>2</sub>, eficiência do uso da água e eficiência intrínseca do uso da água ( $p < 0,05$ ) e efeito isolado significativo de regimes hídricos para as variáveis, exceto para eficiência de carboxilação (ANEXO B).

Houve redução da fotossíntese, condutância estomática e transpiração para todos os genótipos ao serem comparados com eles mesmos entre os regimes irrigado e não irrigado (Figuras 4A, 4B e 4C). Para concentração interna de CO<sub>2</sub>, houve diferença apenas para o BRS Mandobi e BRA 039799.

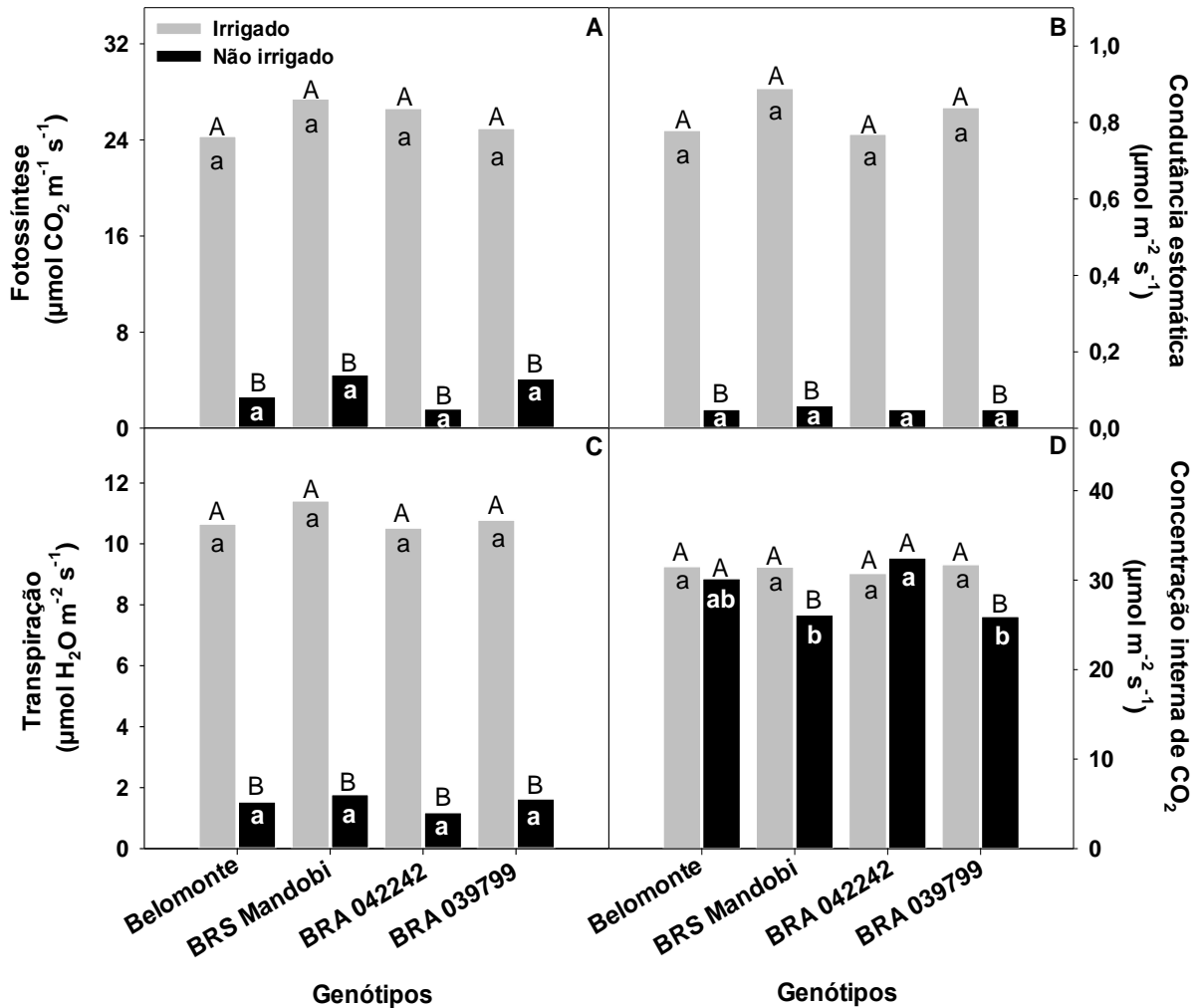
Ao comparar os genótipos dentro de cada regime hídrico, notou-se que não houve diferença entre eles no tratamento irrigado nem no não irrigado para fotossíntese, condutância estomática e transpiração (Figura 4A, 4B, C e 4D). Para concentração interna de CO<sub>2</sub>, observou-se valores maiores para o BRA 042242, que não diferiu do Belomonte no regime não irrigado (Figura 4D). Não houve diferença entre os genótipos no regime irrigado para esta variável.

As reduções na fotossíntese foram bastante expressivas, variando de 95,04% no BRA 042242 até 83,46% no BRA 039799. A diminuição da fotossíntese nestes genótipos está relacionada ao fechamento dos estômatos, que reduz a absorção e assimilação de CO<sub>2</sub> e inibe o processo fotossintético nas plantas (DUTRA et al., 2015), e pode ser confirmado pela baixa eficiência de carboxilação (Figura 5).

Houve redução da eficiência de carboxilação para todos os genótipos ao comparar o regime hídrico irrigado e não irrigado, com valores que variaram de 95,34%, 87,01%, 79,48% e 79,31% para os genótipos BRA 042242, Belomonte, BRA 039799 e BRS Mandobi respectivamente. A eficiência de carboxilação apresenta estreita relação com a concentração interna de CO<sub>2</sub> e eficiência na assimilação de carbono pela plantas (MACHADO et al., 2005), No presente estudo, observa-se que no BRS Mandobi e BRA 039799 houve redução na eficiência de carboxilação sob estresse hídrico e, esta diminuição foi ocasionada pela limitação da entrada de CO<sub>2</sub> no mesófilo foliar devido o fechamento dos estômatos (CHAVES et al., 2009; FLEXAS

et al., 2016), visto que, esses genótipos apresentaram menor concentração interna de CO<sub>2</sub> (Figura 4D).

**Figura 4** - Médias da fotossíntese (A), condutância estomática (B), transpiração (E) (C), concentração interna de CO<sub>2</sub> (D) em genótipos de amendoim forrageiro submetidos a dois regimes hídricos, cultivados em casa telada, Rio Branco, AC



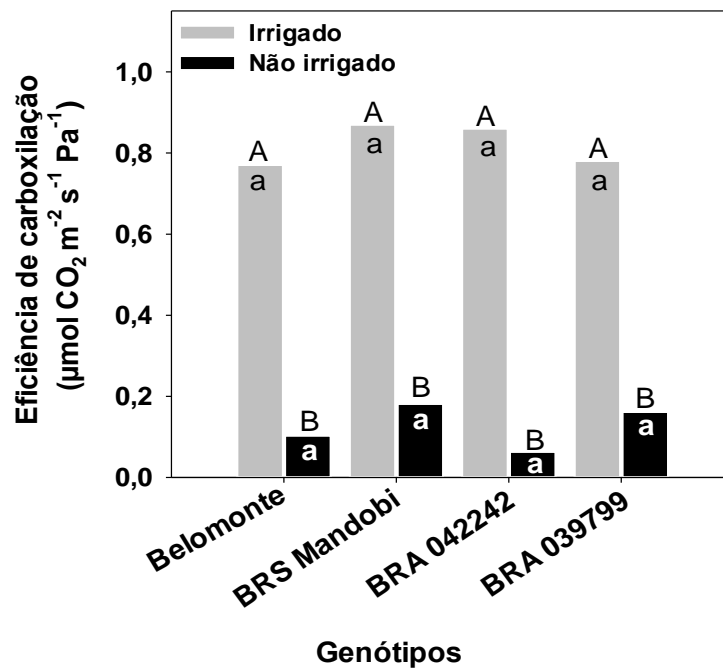
Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre regimes hídricos (dentro de cada genótipo) pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre genótipos dentro do regime hídrico irrigado (letras pretas) e dentro do regime hídrico não irrigado (letras brancas) pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Por outro lado, para o Belomonte e BRA 042242 o fechamento dos estômatos não causou redução na concentração interna de CO<sub>2</sub>, sugerindo uma limitação metabólica na fotossíntese (LAWLOR; CORNIC, 2002; FLEXAS et al., 2012), devido à diminuição na eficiência de carboxilação da Rubisco e consequente aumento da fotorrespiração (PARRY et al., 2002), comprometendo a eficiência de carboxilação nesses genótipos sob déficit hídrico. A eficiência de carboxilação depende do CO<sub>2</sub>

disponível no mesófilo foliar. No entanto, se torna limitada, visto que, em condições de menor condutância estomática, o CO<sub>2</sub> utilizado é proveniente da respiração, o que causa a taxa fotossintética menor (TAIZ et al., 2017). Sun et al. (2018) citam que a diminuição da fotossíntese em virtude de elevada concentração interna de CO<sub>2</sub> pode estar relacionada não somente por fatores estomáticos, mas também bioquímicos em consequência de aumentos na fotorrespiração.

**Figura 5** - Médias da eficiência de carboxilação em genótipos de amendoim forrageiro submetidos a dois regimes hídricos, cultivados em casa telada, Rio Branco, AC



Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre regimes hídricos (dentro de cada genótipo) pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre genótipos dentro do regime hídrico irrigado (letras pretas) e dentro do regime hídrico não irrigado (letras brancas) pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Em condições de seca, é comum que uma das primeiras características fisiológicas prejudicada seja a fotossíntese, fato que também está atrelado à regulação estomática (AZEVEDO NETO et al., 2010). Alterações nestas características ocorrem devido à diminuição do potencial hídrico e pressão de turgor dos tecidos, o que dificulta as atividades fotossintéticas das plantas, principalmente quando submetidas ao déficit hídrico (LISAR et al., 2012). Nesse sentido, a menor disponibilidade de água no solo afetou o crescimento e inibiu o desenvolvimento dos genótipos avaliados neste estudo.



Para concentração interna de CO<sub>2</sub>, a redução no BRS Mandobi e BRA 039799 foi de 17,00% e 18,26%, respectivamente, ao compará-los nos tratamentos com e sem estresse. Este fato pode ser explicado pela eficiência de carboxilação (Figura 5), de modo que a menor concentração interna de CO<sub>2</sub> é devido à baixa eficiência de carboxilação ocasionada pelo fechamento dos estômatos. A menor disponibilidade de água no solo ocasiona o fechamento estomático e, conseqüentemente, limita a entrada de CO<sub>2</sub> na célula (SILVA et al., 2015) e diminui a produção de fotoassimilados na planta, o que implica no menor desempenho produtivo da planta em condições de estresse.

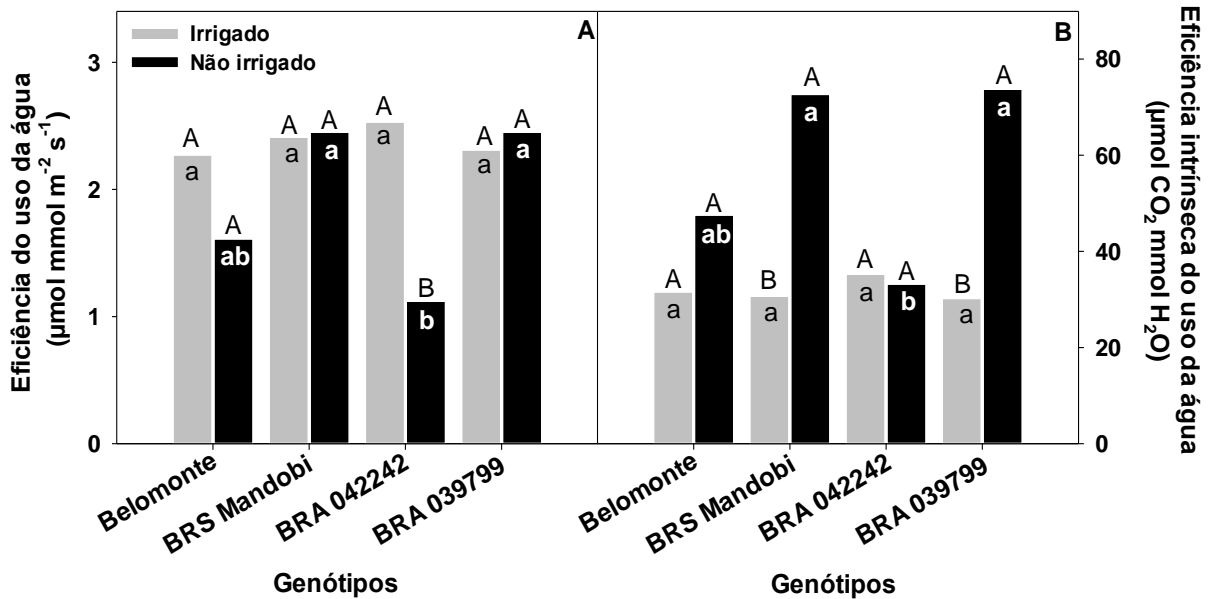
A redução da condutância estomática, assim como da transpiração, podem ser associadas à sensibilidade ao déficit hídrico, visto que, nestas condições, as plantas sensíveis tendem a modificar mais rápido suas funções fisiológicas, de modo a manter o conteúdo de água necessário para o funcionamento das células, ocasionando também, maiores limitações à entrada de CO<sub>2</sub> (DUTRA et al., 2015).

É importante salientar que quando a condutância estomática aumenta, proporciona maior entrada de CO<sub>2</sub> no interior da folha, minimizando o decréscimo da fotossíntese em condições hídricas limitadas, no entanto, quando diminui pode favorecer a perda de água por reduzir a transpiração. Entretanto, impede o influxo de CO<sub>2</sub>, reduzindo as taxas fotossintéticas (ARRUDA et al., 2015). Na literatura, relatam que o fechamento dos estômatos é uma defesa desenvolvida pela planta para enfrentar o déficit hídrico no solo. Isso ocorre devido à necessidade de diminuir a perda de água pelo os estômatos, devido à transpiração, a qual tem influência direta da entrada de CO<sub>2</sub> (DUTRA et al., 2015; SILVA et al., 2015).

Quanto à eficiência do uso da água, foi observado decréscimo apenas para o BRA 042242 entre os regimes irrigado e não irrigado (55,95%) (Figura 6A). Dentro do regime irrigado não houve diferença entre os genótipos, porém, no regime não irrigado, a menor média foi do BRA 042242, a qual não diferiu do Belomonte. Para Jaimez et al. (2005), a assimilação de CO<sub>2</sub> na planta está relacionada à cada unidade de água que a mesma perde. Nesse sentido, não houve diferenças para esta variável no BRS Mandobi e BRA 039799, quando comparados ao controle, sendo, portanto, mais eficientes na utilização da água disponível sob estresse. Esta resposta está associada à transpiração, que foi reduzida durante o período de 15 dias, mesmo apresentando menor fotossíntese e redução da condutância estomática, havendo

melhor eficiência do uso da água nesses genótipos. Yousfi et al. (2009) citam que em condições de déficit hídrico, as plantas podem diminuir a transpiração e condutância estomática e melhorar a eficiência do uso da água. Os autores ainda acrescentam que isto pode influenciar no desempenho produtivo da planta sob estresse.

**Figura 6** - Médias da eficiência do uso da água (A) e eficiência intrínseca do uso da água (B) em genótipos de amendoim forrageiro submetidos a dois regimes hídricos, cultivados em casa telada, Rio Branco, AC



Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre regimes hídricos (dentro de cada genótipo) pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre genótipos dentro do regime hídrico irrigado (letras pretas) e dentro do regime hídrico não irrigado (letras brancas) pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Por outro lado, no Belomonte e BRA 042242 sob estresse hídrico, ocorreu menor eficiência do uso da água, levando a uma redução significativa do crescimento e do acúmulo de biomassa destes genótipos. Plantas que apresentam maior eficiência do uso da água são mais tolerantes à seca (SILVEIRA et al., 2015), no entanto, quando o crescimento da planta é afetado, a eficiência do uso da água diminui proporcionalmente (FAROOQ et al., 2009).

Larcher (2004) cita que a melhor relação entre absorção de  $\text{CO}_2$  e consumo de água ocorre quando os estômatos estão parcialmente fechados, podendo ser observada no início do déficit hídrico quando os dois processos de difusão são igualmente reduzidos, fazendo com que a eficiência do uso da água alcance valores mais altos. Nesse sentido, aos 15 dias após a supressão da irrigação, pode-se inferir

que, principalmente, o BRA 039799 e o BRS Mandobi utilizaram a água de forma mais eficiente (com menor absorção de água do solo, conforme Tabela 1), o que pode ter sido favorecido pelo fechamento parcial dos estômatos.

Em relação à eficiência intrínseca do uso da água, para o Belomonte e BRA 042242 não houve diferenças entre o regime irrigado e não irrigado (Figura 6B). Para o BRS Mandobi e para o BRA 039799, houve aumento de 136,71% e 144,26%, respectivamente, em relação ao controle. Não houve diferença entre os genótipos dentro do regime irrigado. No entanto, no regime não irrigado, a eficiência intrínseca do uso da água foi menor no BRA 042242 e maior no BRS Mandobi e BRA 039799. O Belomonte, entretanto, não diferiu dos demais genótipos para essa característica sob estresse.

A maior eficiência do uso da água e eficiência intrínseca do uso da água observada no BRA 039799 e BRS Mandobi sob déficit hídrico podem estar relacionadas à maior capacidade de manutenção das taxas fotossintéticas atrelada à redução da transpiração, por meio do fechamento estomático, conforme discutido por Chaves et al. (2004). Porém, essas relações não foram observadas no presente estudo (Figura 4A, 4B e 4C).

As respostas fisiológicas associadas às trocas gasosas avaliadas 15 dias após a supressão da irrigação apresentaram, de forma geral, declínio acentuado. O estresse ao qual os genótipos foram submetidos provavelmente mostrou-se excessivo, considerando que a capacidade de campo no dia da avaliação era, em média, de 10,55%.

Nesse sentido, ressalta-se que o período de avaliação foi relativamente longo e pode ter dificultado a identificação de diferença entre os genótipos. A utilização de vasos rasos de 5 L (20,5 cm de altura) ocasionou uma secagem rápida do solo, de forma que estudos futuros poderão ser realizados em menor tempo de avaliação, ou ainda, ser conduzidos com diferentes capacidades de campo pré-estabelecidas (conforme Experimento 2 dessa dissertação).

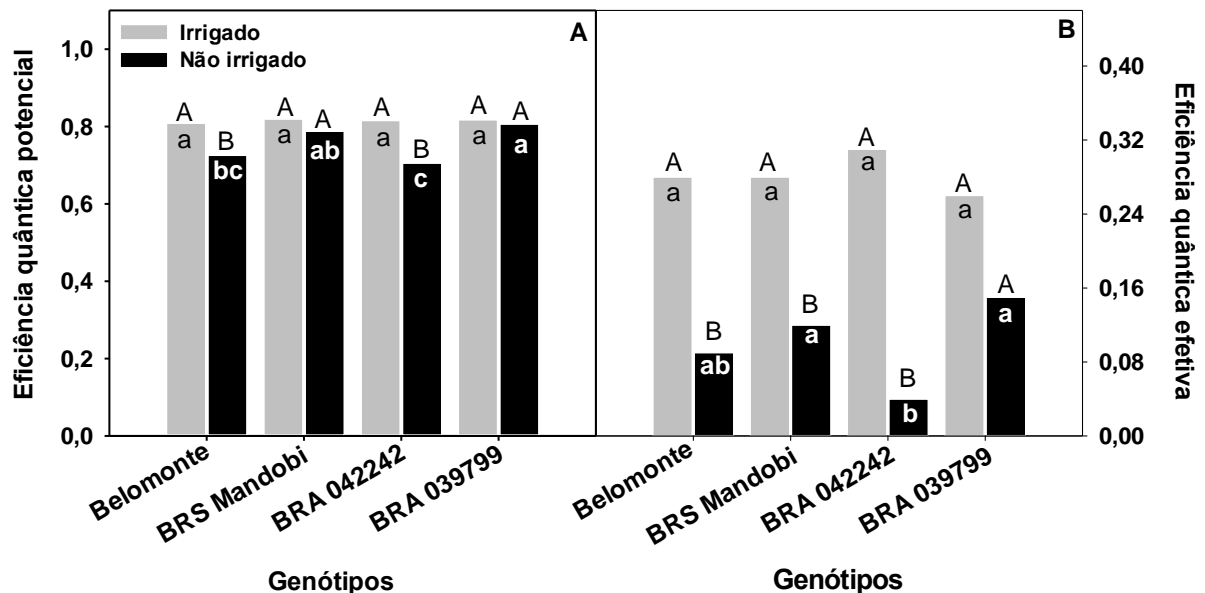
Sugere-se adicionalmente determinar o ponto de murcha permanente, assim como verificar a capacidade de recuperação de diferentes genótipos submetidos ao déficit hídrico com posterior elevação da capacidade de campo para níveis adequados ao desenvolvimento da espécie.

#### 4.1.3 FLORESCÊNCIA DA CLOROFILA *a*

Houve interação significativa entre genótipos e regimes hídricos para eficiência quântica efetiva, taxa de transporte de elétrons e quenching fotoquímico ( $p < 0,01$ ). Houve efeito significativo isolado de genótipo e regime hídrico ( $p < 0,01$ ) somente para eficiência quântica potencial e efeito significativo de regime hídrico ( $p < 0,01$ ) para excesso de elétrons e quenching não fotoquímico (ANEXO C).

Quanto à eficiência quântica potencial do fotossistema II (PSII), houve diferença entre regimes hídricos apenas para o Belomonte e para o BRA 042242, que tiveram seus valores reduzidos em 10,20% e 13,55%, respectivamente (Figura 7A). Ao comparar os genótipos, não houve diferença entre eles dentro do regime irrigado. Porém, no regime não irrigado a maior média observada foi do BRA 039799, a qual não diferiu estatisticamente do BRS Mandobi.

**Figura 7** - Médias da eficiência quântica potencial (A) e eficiência quântica efetiva do fotossistema II (PSII) (B) em genótipos de amendoim forrageiro submetidos a dois regimes hídricos, cultivados em casa telada, Rio Branco, AC



Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre regimes hídricos (dentro de cada genótipo) pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre genótipos dentro do regime hídrico irrigado (letras pretas) e dentro do regime hídrico não irrigado (letras brancas) pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A menor média foi do BRA 042242, a qual não diferiu do Belomonte para eficiência quântica potencial do fotossistema II. Segundo Bolhàr-Nordenkampf et al. (1989) e Maxwell e Johnson (2000), o aparelho fotossintético é considerado intacto

quando a relação da eficiência quântica potencial do PSII apresenta valores entre 0,75 e 0,85. Ainda, segundo os autores uma queda nesta característica reflete em dano fotoinibitório no centro de reação do PSII.

Os genótipos sob irrigação diária obtiveram valores para eficiência quântica potencial entre 0,80 e 0,82 (Figura 7A). No regime não irrigado, a menor eficiência quântica potencial foi de 0,70 no genótipo BRA 042242, seguido pelo Belomonte com 0,72, BRS Mandobi com 0,78 e BRA 039799 com 0,80. Neste estudo, foram observadas reduções de 13,41% e de 9,87% para o BRA 042242 e Belomonte, respectivamente, sendo os valores obtidos ligeiramente abaixo do mínimo adequado para que não ocorresse danos no PSII. Este fato indica início do processo fotoinibitório. A ocorrência de uma maior redução nesta variável nos genótipos avaliados sob estresse causaria inibição da fotossíntese devido ao excesso de luz, podendo ser dinâmica (temporária) ou permanente (crônica) (ARAÚJO; DEMINICIS, 2009; MURCHIE; NYIOGI, 2011).

Lichtenthaler e Miehé (1997) relataram que as plantas apresentam sinais característicos no aparato fotossintético, como o rápido decréscimo na relação  $F_v/F_m$  sempre que há deficiência hídrica no solo. Gonçalves et al. (2010) verificaram que, quando o estresse hídrico é prolongado, a diminuição da disponibilidade de água no solo reflete na eficiência quântica do fotossistema II (PSII). Heuer (1997) afirma que as alterações na relação  $F_v/F_m$  são percebidas quando o estresse é severo de médio ou longa duração.

Para a eficiência quântica efetiva, não foi observada redução entre regimes somente para o BRA 039799 (Figura 7B). As reduções observadas foram de 86,66%, 67,85% e 60,71% para os genótipos BRA 042242, Belomonte e BRS Mandobi, respectivamente. Ao comparar os genótipos, não houve diferença entre eles dentro do regime irrigado. Porém, no regime não irrigado, a eficiência quântica efetiva foi superior para o BRA 039799, BRS Mandobi e Belomonte. Este último, porém, também não diferiu do BRA 042242, que apresentou menor média. A eficiência quântica efetiva do PSII mede a proporção de luz absorvida pela clorofila associada ao PSII que é utilizada para atividade fotoquímica da fotossíntese (ARAÚJO; DEMINICIS, 2009; BONIFACIO et al., 2011), sendo, portanto, relacionada à quantidade de elétrons transportados para a realização da fotossíntese (LICHTENTHALER et al., 2005). Nesse sentido, à medida em que a umidade do solo reduziu, houve diferenças na eficiência quântica efetiva do fotossistema II no Belomonte, BRS Mandobi e BRA

042242, indicando possível efeito fotoinibitório, devido ao decréscimo significativo do rendimento quântico potencial nestes genótipos (Figura 7B).

Ao comparar os regimes hídricos, houve redução na taxa de transferência de elétrons para todos os genótipos (Figura 8A). As reduções variaram de 43,09% (BRA 039799) a 84,38% (BRA 042242). Ao comparar os genótipos, não houve diferença entre as médias dentro do regime irrigado. Porém, no regime não irrigado, o BRA 042242 apresentou menor taxa de transferência de elétrons, a qual não diferiu do Belomonte (Figura 8A). Este, por sua vez, também não diferiu do BRA 039799 e do BRS Mandobi, os quais apresentaram melhor atividade fotoquímica sob restrição hídrica (Figura 8A).

Houve aumento do excesso de energia para todos os genótipos ao comparar o regime irrigado e o não irrigado (Figura 8B). Os genótipos Belomonte, BRA 042242, BRA 039799 e BRS Mandobi apresentaram aumento de 295,30%, 259,97%, 250,24% e 168,87%, respectivamente, comparados aos seus controles. Esse aumento indica uma limitação bioquímica das plantas devido ao aumento da energia acumulada, desencadeado pela suspensão da irrigação por 15 dias consecutivos.

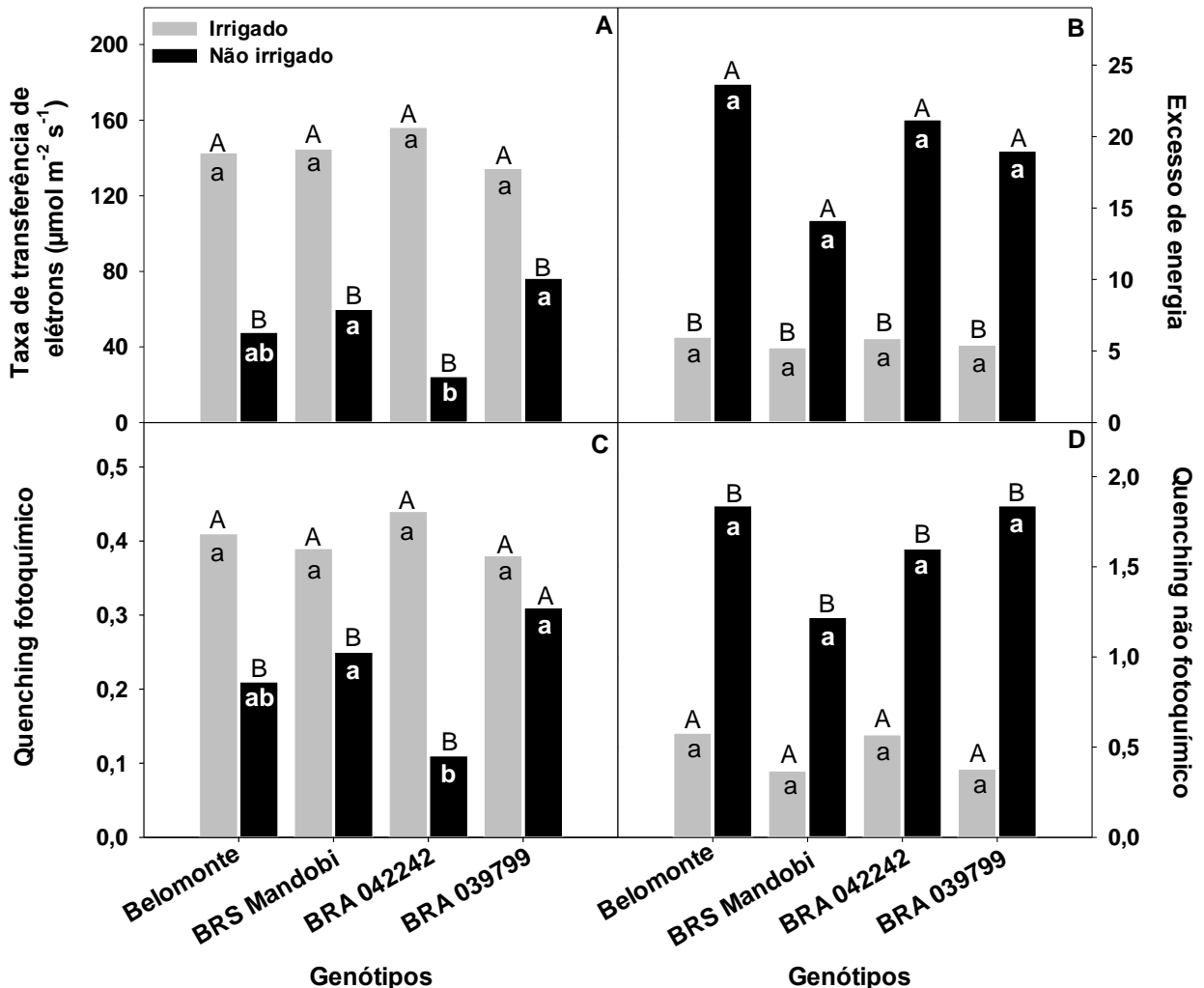
O excesso de energia pode ser associado ao fechamento dos centros de reação do PSII, em consequência da menor taxa de transferência de elétrons (SILVA, et al., 2015). Neste estudo, confirma-se que a redução na taxa de transporte elétrons aumentou o excesso de energia no PSII (Figura 8A). Portanto, pode-se inferir que a suspensão hídrica prejudicou o desenvolvimento dos genótipos Belomonte e BRA 042242, podendo ter ocasionado danos no aparato fotoquímico do PSII (SALES et al., 2013b). Ao comparar os genótipos dentro dos regimes hídricos separadamente, não foi verificada diferença significativa entre suas médias.

A redução do quenching fotoquímico entre os regimes irrigado e não irrigado somente não foi observada para o BRA 039799 (Figura 8C). As reduções foram de 75,31%, 47,19% e 38,52% para o BRA 042242, Belomonte e BRS Mandobi, respectivamente. Ao comparar os genótipos, não houve diferença dentro do regime irrigado. Porém, no regime não irrigado, o BRA 042242 apresentou menor quenching fotoquímico, o qual não diferiu do Belomonte (Figura 8C). Este, por sua vez, também não diferiu do BRA 039799 e do BRS Mandobi.

Para esta variável, houve redução significativa no Belomonte, BRS Mandobi e BRA 042242, sugerindo danos nos fotossistemas. Entretanto, tais danos podem ter sido maiores no Belomonte e BRA 042242 por serem acompanhados de decréscimos

na taxa de transferência de elétrons (Figura 8A e 8C), eficiência quântica potencial e eficiência quântica efetiva (Figura 7A e 8B).

**Figura 8** - Médias da taxa de transferência de elétrons (A), excesso de energia (B), quenching fotoquímico (C) e quenching não fotoquímico (D) em genótipos de amendoim forrageiro submetidos a dois regimes hídricos, cultivados em casa telada, Rio Branco, AC



Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre regimes hídricos (dentro de cada genótipo) pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre genótipos dentro do regime hídrico irrigado (letras pretas) e dentro do regime hídrico não irrigado (letras brancas) pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Normalmente, decréscimos no quenching fotoquímico refletem o estado reduzido do primeiro aceptor de elétrons estável do PSII, a plastoquinona, sendo esta uma molécula envolvida na cadeia de transporte de elétrons das reações relacionadas ao processo fotoquímico da fotossíntese. Portanto, esta variável fornece uma estimativa da capacidade do PSII em utilizar a energia luminosa para redução do

NADP<sup>+</sup>, sendo essencial para à assimilação do CO<sub>2</sub> (MAXWELL; JONHSON, 2000; ARAÚJO; DEMINICIS, 2009).

Foi observado aumento do quenching não fotoquímico para todos os genótipos ao comparar o regime irrigado e o não irrigado (Figura 8D). Os aumentos foram de 389,68%, 233,05%, 216,53% e 179,22% para o BRA 039799, BRS Mandobi, Belomonte e BRA 042242, respectivamente. Porém, não houve diferença entre as médias dos genótipos ao serem analisados em cada regime hídrico isoladamente. O quenching não fotoquímico representa o excesso de energia radiante que não está sendo aproveitada no processo fotoquímico da fotossíntese sendo, portanto, dissipada na forma de calor para o ambiente (LAWLOR; TEZARA, 2009; GOSS; LEPETIT, 2015).

No regime não irrigado, houve queda no quenching fotoquímico dos genótipos avaliados, exceto para BRA 039799 e aumentos no quenching não fotoquímico para todos os genótipos (Figura 8C e 8D). Nesse contexto, pode-se inferir que a plastoquinona estava em estado reduzido e, portanto, o centro de reação do PSII se encontrava em estado fechado (MAXWELL; JOHNSON, 2000), sugerindo dano no fotossistema, considerando que também houve tendência de redução na eficiência quântica potencial do Belomonte e BRA 042242, indicando uma possível ocorrência de fotoinibição nestes genótipos (MURCHIE; NYIOGI, 2011). Quanto ao quenching não fotoquímico, o aumento observado nos genótipos em relação ao controle está relacionado à dissipação de energia. Esta, quando em excesso, não é aproveitada na etapa fotoquímica da fotossíntese, sendo uma consequência comum em plantas submetidas ao déficit hídrico.

Neste estudo, a taxa de transferência de elétrons, a eficiência quântica potencial e efetiva foram reduzidas aos 15 dias de supressão hídrica, sendo de forma mais acentuada nos genótipos Belomonte e BRA 042242. Sales et al. (2013b) citam que a redução na taxa de transporte de elétrons reduz gradualmente à medida em que o estresse hídrico se acentua. Desta forma, as plantas apresentam menor aproveitamento de energia luminosa para a produção de ATP e NADPH, aumentando ainda mais o processo de fotoinibição (LAWLOR; CORNIC, 2002).

Os genótipos estudados expressaram variações na fluorescência da clorofila *a* em ambos os regimes hídricos avaliados. No regime não irrigado houve variação de todos os parâmetros da fluorescência da clorofila *a* dos genótipos de amendoim



forageiro, porém, o BRA 039799 e o BRS Mandobi apresentaram melhor desempenho do rendimento quântico potencial do PSII (Figura 8A).

A atividade fotoquímica dos genótipos sob déficit hídrico foi, de forma geral, acentuadamente reduzida durante o período experimental, acarretando aumento da dissipação de energia, justificando-se pela redução na taxa de transferência de elétrons e quenching fotoquímico em relação ao controle (Figura 8A e 8C). Porém, não foi verificada alteração no funcionamento do aparato fotossintético nos genótipos de amendoim forrageiro, embora o déficit hídrico tenha reduzido as trocas gasosas nas plantas.

Corroborando com os resultados do presente estudo, Graciano et al. (2016) avaliaram as trocas gasosas e a fluorescência da clorofila *a* em amendoim (*Arachis hypogaea* L.) por um período de 43 dias em casa de vegetação (vasos) com três tratamentos hídricos (capacidade de campo, disponibilidade hídrica a cada cinco dias e suspensão da irrigação). Os autores observaram que as diferentes disponibilidades hídricas no solo não afetaram a capacidade das plantas em manter a eficiência do aparato fotossintético. Quanto às trocas gasosas, verificaram que a suspensão hídrica afetou as plantas estimulando o fechamento dos estômatos, enquanto a disponibilidade hídrica a cada cinco dias favoreceu as plantas, estimulando mecanismos fisiológicos, como maior assimilação de CO<sub>2</sub> e eficiência no uso da água.

#### 4.1.4 CARACTERES VEGETATIVOS E ÍNDICE SPAD

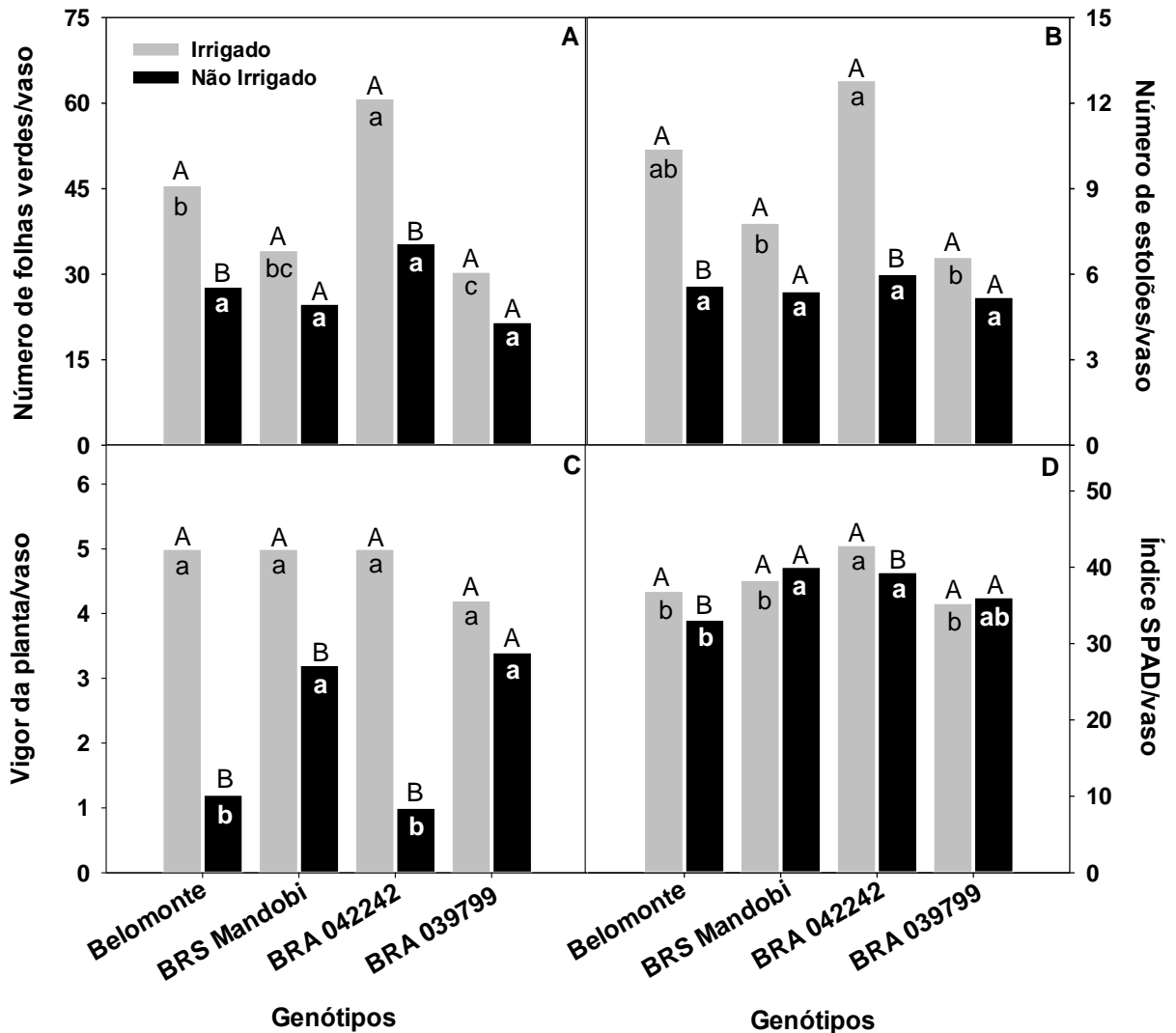
Houve interação entre os genótipos e os regimes hídricos para o vigor das plantas ( $p < 0,01$ ), número de estolões ( $p < 0,01$ ) e para o índice SPAD ( $p < 0,05$ ). Para número de folhas verdes, houve efeitos significativos isolados de genótipos ( $p < 0,01$ ) e de regimes hídricos ( $p < 0,01$ ) (ANEXO D).

Em relação ao número de folhas verdes e número de estolões (Figura 9A e 9B), verificou-se que o BRA 039799 e o BRS Mandobi não apresentaram diferença estatística entre os regimes hídricos. Por outro lado, o BRA 042242 e Belomonte apresentaram reduções de 41,78% e 39,04%, respectivamente, para número de folhas verdes e de 53,13% e 46,15% para número de estolões.

Ao comparar os genótipos, verifica-se que o BRA 042242 apresentou maior número de folhas verdes no regime irrigado, enquanto no regime não irrigado não houve diferença entre os genótipos. Para número de estolões, o BRA 042242

apresentou valores superiores ao BRS Mandobi e ao BRA 039799 no regime irrigado, sendo que também não houve diferença entre os genótipos no regime não irrigado.

**Figura 9** - Médias do número de folhas verdes (A), número de estolões (B), vigor da planta (C) e índice SPAD (D) em genótipos de amendoim forrageiro submetidos a dois regimes hídricos, cultivados em casa telada, Rio Branco, AC



Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre regimes hídricos (dentro de cada genótipo) pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre genótipos dentro do regime hídrico irrigado (letras pretas) e dentro do regime hídrico não irrigado (letras brancas) pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação ao vigor das plantas (Figura 9C), apenas o BRA 039799 não apresentou diferença entre os regimes hídricos. Nota-se que o BRA 042242, o Belomonte e o BRS Mandobi apresentaram redução de 80%, 76% e 36% do seu vigor entre os regimes, respectivamente. Ao comparar os genótipos, não houve diferença

significativa no regime irrigado, em que todos apresentaram vigor elevado (acima de 4,2). Por outro lado, o BRA 039799 e o BRS Mandobi apresentaram vigor superior aos demais genótipos no regime não irrigado, porém de valor moderado (3,3).

Estudo realizado por Assis et al. (2016) em genótipos de amendoim forrageiro avaliados em campo no período de seca cita a relação positiva do vigor com características como produção de forragem, comprimento de estolões e cobertura do solo, sendo estas variáveis associadas ao melhor desempenho e desenvolvimento do amendoim forrageiro na seca em condições de campo.

Para o índice SPAD, foram observadas diferenças significativas entre os regimes hídricos para o Belomonte e o BRA 042242, havendo redução de 10,15% e 8,26%, respectivamente, ao compará-los nos tratamentos com e sem estresse (Figura 9D). Ao comparar os genótipos dentro do regime irrigado, o BRA 042242 apresentou índice SPAD superior aos demais. Por outro lado, no regime não irrigado, o Belomonte apresentou valor inferior ao BRS Mandobi e ao BRA 042242. O índice SPAD do BRA 039799 não diferiu dos demais genótipos sob estresse hídrico.

O déficit hídrico é um dos estresses abióticos que mais influencia a perda de pigmentos nas folhas (HENDRY; PRICE, 1993). Segundo Salla et al. (2007) e Magalhães et al. (2010), estimar os teores de clorofila é importante porque a atividade fotossintética da planta depende parcialmente da capacidade da folha em absorver luz. Conforme a condição do nível de déficit hídrico, este pode influenciar a perda de clorofila e limitar a eficiência fotossintética e processos de divisão e expansão celular da planta (SILVA et al., 2014).

Esses genótipos também mantiveram os valores do índice SPAD sob déficit hídrico. Segundo Graciano et al. (2016), plantas com menor redução no teor de clorofila em condição hídrica limitada no solo pode apresentar maior capacidade de tolerar períodos de seca. A cv. BRS Mandobi também se destacou em relação ao índice SPAD em estudo realizado por Santos (2018) ao avaliar nove genótipos de amendoim forrageiro em casa telada sob estresse hídrico moderado (50% da capacidade de campo). No presente trabalho, essa cultivar apresentou um bom vigor sobre estresse, o que sugere melhor eficiência no uso da água, em função disso, não diferiu no teor de clorofila na folha aos 15 dias de estresse.

Neste estudo, a redução no teor de clorofila observada para o Belomonte e BRA 042242 em função da suspensão hídrica, pode ter sido ocasionado pela desidratação e moderada clorose nas plantas em decorrência da baixa disponibilidade hídrica do

solo, que limitou tanto a absorção de água como de nutrientes pelas plantas de forma mais acentuada nestes genótipos. Em estudos sob estresse hídrico são observadas variações nas respostas dos valores do índice SPAD em diferentes espécies, que já possuem padrões estabelecidos, como em cana de açúcar (SILVA et al., 2014) e café (TORRES NETO et al., 2005). No entanto, para o amendoim forrageiro ainda não está definido um padrão nos valores do índice SPAD para identificar danos ou não à eficiência fotossintética das plantas submetidas ao déficit hídrico.

Diferente dos resultados obtidos neste estudo, Sales et al. (2013a) avaliaram o teor de clorofila no Belomonte sob diferentes regimes hídricos (25%, 50%, 75% e 100% da capacidade de campo) e doses de nitrogênio (0, 40, 80 e 120 kg N/ha), e não observaram redução no teor de clorofila das folhas nas plantas submetidas a 25% da capacidade de campo no tratamento sem adubação nitrogenada, uma vez que, as folhas utilizadas na análise estavam verdes e não apresentavam clorose. Em comparação com o presente estudo, os autores realizaram avaliação desta variável pelo método de espectrofotometria.

O BRA 042242 e o Belomonte, de forma geral, se destacaram mais no regime irrigado, quando comparados com o BRS Mandobi e BRA 039799 e, ao serem avaliados sob restrição hídrica, apresentaram reduções mais drásticas de vigor, no índice SPAD e produção de folhas e estolões. A baixa redução do vigor do BRA 039799 e BRS Mandobi são aspectos vantajosos, visto que, plantas mais vigorosas sob déficit hídrico, apresentam mecanismos fisiológicos que permitem o seu desenvolvimento nessas condições, tendo em vista que, possivelmente, estariam apresentando maiores teores de água nos tecidos, o que iria permitir maior tolerância ao déficit hídrico, mesmo com baixo desempenho e produtividade.

Dependendo do tempo de exposição ao déficit hídrico podem ocorrer alterações no desenvolvimento da planta, devido à necessidade de reduzir a perda de água (FAROOQ et al., 2009). É importante salientar que, independente do ambiente, seja em campo ou casa de vegetação, períodos de seca prejudicam as funções vitais das plantas estimulando reações adaptativas para sobrevivência (GRACIANO, 2009). A diminuição no número de folhas verdes em condições de seca, é uma característica comumente observada entre os vegetais e é considerada um mecanismo de proteção e sobrevivência (TAIZ et al., 2017), reduzindo sua área exposta à radiação solar e sua superfície de transpiração, quando expostas à condição de seca do solo (CHAVES et al., 2009). A redução no número de folhas verdes do Belomonte e BRA

042242 está relacionada à inibição da emissão de novas folhas devido à redução da turgescência celular e do fechamento dos estômatos sob déficit hídrico, visto que este é um mecanismo que evita a perda de água por reduzir a transpiração. Entretanto, diminui a fotossíntese e a assimilação de CO<sub>2</sub> e, como consequência, causa a redução na produção de fotoassimilados, o que afeta o surgimento de folhas novas e diminui o desenvolvimento da planta (INMAN-BAMBER, 2004; TAIZ et al., 2017).

Outro fator associado ao menor número de folhas verdes em função da seca é atribuído à produção de hormônio, como o ácido abscísico, que diminui o crescimento das folhas, reduzindo a expansão celular, por ocasionar o fechamento estômatos e reduzir as trocas gasosas. Em contrapartida, estimula o alongamento do sistema radicular (TAIZ et al., 2017).

Sales et al. (2013a), estudando a cv. Belomonte em vaso com 25% de capacidade de campo, observaram diminuição em 25% na emissão de novas folhas, demonstrando também tendência do Belomonte em reduzir seu desempenho com baixa disponibilidade hídrica.

A definição de uma metodologia para avaliar a tolerância à seca de genótipos de amendoim forrageiro em casa telada não está bem definida. Experimentos conduzidos em diferentes condições devem ser cuidadosamente analisados. Santos (2018) avaliou a influência da disponibilidade hídrica no número de estolões em diferentes genótipos de amendoim forrageiro. A autora menciona que aos 16 dias após a suspensão da irrigação, foi verificado maior número de estolões no tratamento não irrigado. Porém, apesar do elevado número de dias sem irrigação, este experimento foi conduzido em tubos de acetato de 95 cm de comprimento, o que propiciou a secagem gradativa do solo, induzindo o crescimento das raízes na parte mais úmida e profunda do tubo. Dessa forma, foi criado um déficit hídrico moderado (50% da capacidade de campo), o que induziu o crescimento radicular em profundidade, garantindo a absorção de água e nutrientes, favorecendo a emissão dos estolões.

A diminuição do número de estolões sob estresse hídrico, principalmente do BRA 042242 e Belomonte, é devido ao menor potencial do turgor para a realização dos processos de expansão e divisão celular (LEVITT, 1980; TAIZ et al., 2017). Sob menor disponibilidade de água no solo, o crescimento da planta é inibido, devido à menor produção de fotoassimilados, visto que o decréscimo na fotossíntese e na transpiração limitam o desenvolvimento dos estolões. Em outro estudo, Sales et al. (2013a) avaliaram a cv. Belomonte em diferentes regimes hídricos, com 25%, 50%,

75% e 100% da capacidade de campo em vasos de 10 L por um período de 15 dias. Os autores salientam que ocorreu redução na produção de folhas e de estolões em regimes hídricos inferiores a 50% da capacidade de campo.

#### 4.1.5 CARACTERES AGRONÔMICOS DESTRUTIVOS

Houve interação significativa para massa fresca da parte aérea ( $p < 0,01$ ) e massa fresca de raiz ( $p < 0,05$ ) e efeitos isolados significativos ( $p < 0,01$ ) de genótipo e regime hídrico para a massa seca da parte aérea, massa seca de raiz, massa seca total e razão entre as massas secas da raiz e parte aérea (ANEXO E).

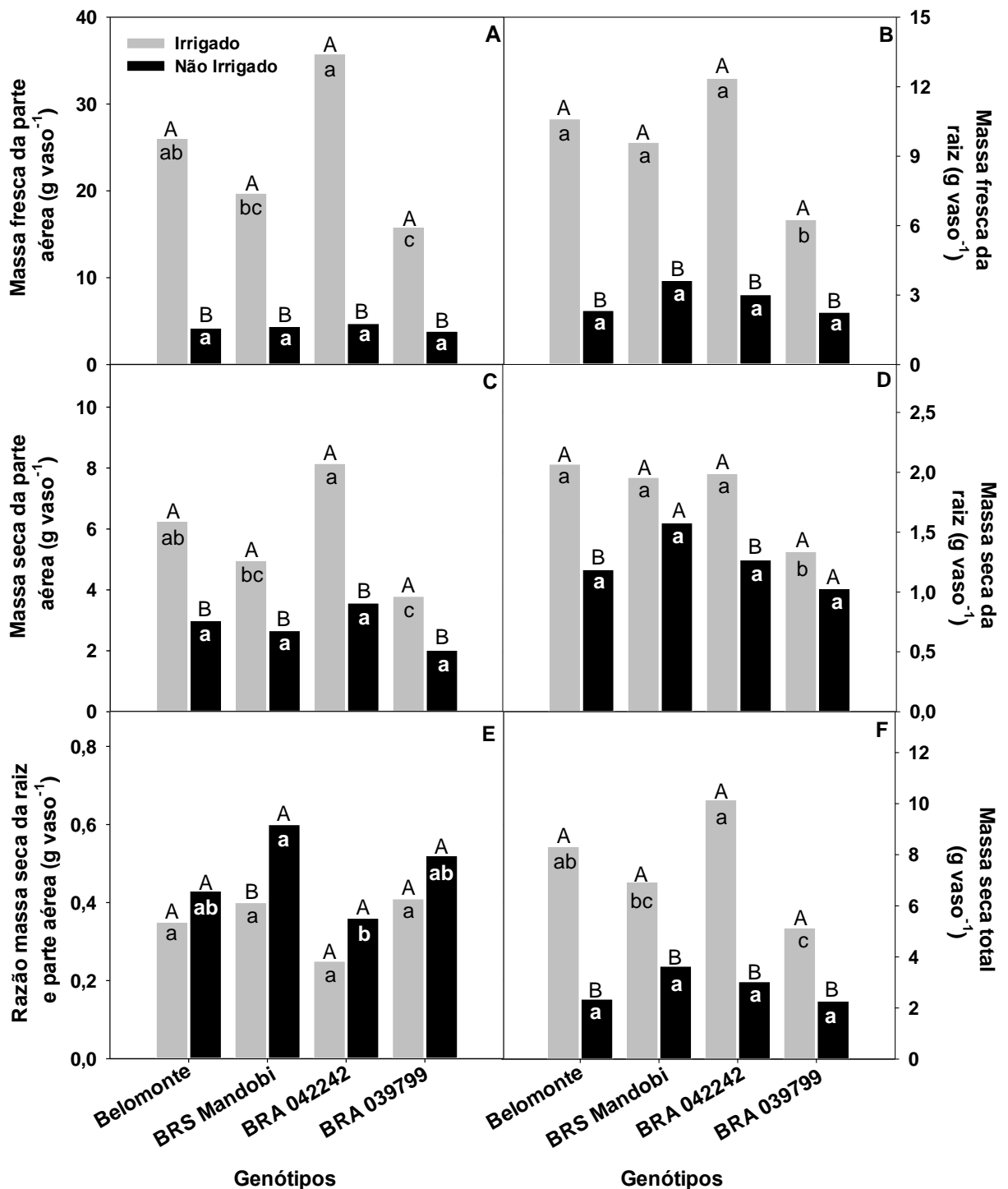
Houve redução significativa para os caracteres agronômicos ao comparar o mesmo genótipo entre os diferentes regimes hídricos para a maioria das situações estudadas (Figura 10), reforçando que o déficit hídrico reduz o crescimento das plantas. As exceções foram observadas para massa seca de raiz, em que não houve redução para o BRS Mandobi e para o BRA 039799 e para razão entre as massas secas da raiz e da parte aérea, em que ocorreu aumento da razão para o BRS Mandobi.

Para massa seca da parte aérea, as reduções entre os regimes hídricos foram de 56,14%, 52,01%, 47,07% e 46,22% para os genótipos BRA 042242, Belomonte, BRA 039799 e BRS Mandobi, respectivamente.

Um dos maiores efeitos do déficit hídrico, normalmente, ocorre na massa seca da parte aérea das plantas, a qual pode ser considerada indicadora de produtividade, pois sob déficit hídrico as plantas fecham os estômatos para reduzir a perda de água, o que diminui a assimilação de  $\text{CO}_2$ . Como consequência, reduzem a produção de fotoassimilados e, assim, o crescimento, o acúmulo de massa seca e a produtividade da planta são menores (OLIVEIRA et al., 2005).

Houve redução da massa seca de raiz de 42,30% para o Belomonte e de 36,37% para o BRA 042242 do regime irrigado para o não irrigado (Figura 10D). A ausência de diferença para o BRS Mandobi e para o BRA 039799 para esta característica também foi verificada para número de folhas verdes, número de estolões e índice SPAD (Figura 9D), para as quais também não foram observadas reduções ao comparar o regime irrigado com o não irrigado. Interessante observar que foram exatamente esses genótipos que, em geral, retiraram menos água do solo, conforme

**Figura 10** - Médias da massa fresca da parte aérea (A), massa fresca da raiz (B), massa seca da parte aérea (C), massa seca da raiz (MSR) (D), massa seca total (E) e razão entre as massas secas de raiz e parte aérea (F) em genótipos de amendoim forrageiro submetidos a dois regimes hídricos, cultivados em casa telada, Rio Branco, AC



Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa entre regimes hídricos (dentro de cada genótipo) pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre genótipos dentro do regime hídrico irrigado (letras pretas) e dentro do regime hídrico não irrigado (letras brancas) pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

a capacidade de campo mensurada entre o 8º e 11º dia após a suspensão da irrigação (Figura 6 e Tabela 1). Ao comparar os genótipos dentro do regime irrigado, o BRA 039799 apresentou menor produção de massa seca de raiz que os demais. Dentro do regime não irrigado a produção de massa seca de raízes não diferiu entre os genótipos (Figura 10D).

Estudos realizados em tubos de acetato de 95 cm de comprimento sob déficit hídrico moderado mostraram que não houve diferença entre a massa seca de raiz entre genótipos de amendoim forrageiro, entre os quais estavam presentes o BRA 042242, o BRS Mandobi e o Belomonte (SANTOS, 2018). No entanto, a produção de massa seca de raiz foi maior sob restrição hídrica, independentemente do genótipo avaliado. Por outro lado, ao avaliar o comprimento da raiz, Santos (2018) verificou diferença entre os genótipos, sendo que o BRS Mandobi apresentou maior comprimento de raiz (53,06 cm) que o Belomonte (37,18 cm) e o BRA 042242 (42,69 cm), independentemente do regime hídrico.

Kahle et al. (2012) avaliaram a resposta do sistema radicular ao estresse hídrico em três genótipos de três espécies de leguminosas forrageiras tropicais (*Stylosanthes guianensis*, *Canavalia brasiliensis* e *Arachis pintoi*), submetidas a 95% da capacidade de campo (controle) e suspensão hídrica (até as plantas atingirem 50% da capacidade de campo). Os autores observaram que o amendoim forrageiro apresentou rápida taxa crescimento do sistema radicular em resposta ao déficit hídrico, em relação as demais espécies no estudo. Esta resposta à deficiência hídrica do amendoim forrageiro foi tida como uma adaptação ao estresse hídrico. Em comparação com o presente estudo, os autores utilizaram longos tubos de PVC. A capacidade das plantas em responder adequadamente à disponibilidade de água no solo é essencial para sua adaptação, e as raízes são de fundamental importância para tolerância à seca (TAIZ et al., 2017).

Salienta-se, assim, que um dos componentes das plantas que tende a aumentar em condições de seca é o sistema radicular, que permite a planta sobreviver nos períodos de déficit hídrico, principalmente em condições de campo (ALSINA et al., 2011; SILVEIRA et al., 2015; TAIZ et al., 2017). No estudo realizado por Santos (2018), verificou-se que o sistema radicular do amendoim forrageiro sob menor disponibilidade hídrica apresenta maior crescimento e desenvolvimento, e que devido à secagem gradativa do solo, seu crescimento foi estimulado e direcionado para regiões mais úmidas e profundas do solo. No presente estudo, não se verificou



aumento da massa seca de raízes sob déficit hídrico, provavelmente pela baixa altura do vaso e baixo volume de solo, que podem ter limitado o desenvolvimento das raízes pela redução excessiva e rápida da umidade do solo (Figura 3). Pimentel e Perez (2000) sugerem que esta característica seja avaliada em condições de campo ou em recipientes que possam favorecer o sistema radicular, pois segundo os autores, pode ocorrer uma limitação do crescimento das raízes ao alcançar o fundo do recipiente.

Neste trabalho, à medida que o estresse hídrico se tornou severo e a exposição ao estresse foi prolongada, tanto a massa seca da parte aérea, quanto de raiz diminuíram. No entanto, a relação entre a massa seca da raiz e da parte aérea aumentou para o BRS Mandobi significativamente em 33,90% (Figura 10F). Esta é uma importante informação, considerando que a raiz é o principal componente da planta responsável pela adaptação à seca (FAROOQ et al., 2009; ALMEIDA et al., 2016).

A razão MSR/MSPA é uma relação de desenvolvimento, que tende a aumentar em plantas expostas ao déficit hídrico (GOSS, 1973; TAIZ et al., 2017). Nessas condições, ocorre um processo de adaptação, com tendência ao aprofundamento das raízes em detrimento da parte aérea, para que a planta absorva água em maior profundidade do solo (FAROOQ et al., 2009; KAHLE et al., 2012).

A redução da massa seca total observada para todos os genótipos foi de 52,25%, 49,60%, 40,86% e 38,49% para o BRA 042242, Belomonte, BRA 039799 e BRS Mandobi, respectivamente. O menor acúmulo de massa seca total sob estresse ocorre devido aos mecanismos desenvolvidos pela planta na tentativa de evitar a perda de água (VERSLUES et al., 2006), sendo iniciado pela diminuição da condutância estomática, seguido de menor assimilação de CO<sub>2</sub> e transpiração (TAIZ et al., 2017). Em função do déficit hídrico, o menor número de folhas implica na redução da massa seca produzida, influenciando diretamente na produtividade (SILVA et al., 2009). Na literatura, relata-se o menor crescimento do amendoim forrageiro no período seco (SANTOS, 2012).

Nota-se que, para a maioria dos caracteres agronômicos, o BRA 042242 e o Belomonte se destacaram no regime irrigado, enquanto o BRS Mandobi ficou numa posição intermediária (normalmente não diferindo nem do Belomonte nem do BRA 039799), enquanto o BRA 039799 apresentou os menores valores.

Experimentos realizados em condições de campo no Acre indicam que o Belomonte, o BRA 039799 e o BRA 042242 apresentam maior produção de matéria seca, vigor da planta ou cobertura solo sob menor disponibilidade de água, enquanto

o BRS Mandobi é menos produtivo e vigoroso, com maior perda de folhas e morte de estolões no período seco (SANTOS, 2012; MIQUELONI, 2018; SANTOS, 2018).

Estudos conduzidos em regiões do Cerrado, com períodos de seca mais longos, também apontaram o Belomonte e o BRA 039799 como mais produtivos que o BRS Mandobi (RESENDE et al., 2016; FERNANDES et al., 2017). No entanto, neste estudo realizado em vasos, a cv. BRS Mandobi e o acesso BRA 039799 foram os que apresentaram respostas relacionadas a uma maior tolerância ao estresse hídrico, seguidos da cv. Belomonte (Tabela 2). O acesso BRA 042242 foi o que apresentou praticamente todas as características desfavoráveis a uma maior tolerância à seca (Tabela 2). Porém, ao ser avaliado no campo por dois anos consecutivos (SANTOS, 2018), se destacou com uma das maiores produções de matéria seca de forragem no período seco, com valores genotípicos de 1248 e 1249 kg/ha nos anos de 2015 e 2016, respectivamente. Esses valores foram superiores aos observados para o Belomonte (702 e 1246 kg/ha) e, principalmente, para o BRS Mandobi (514 e 869 kg/ha).

Neste estudo, o BRA 042242 mostrou-se agronomicamente superior ao BRA 039799 e ao BRS Mandobi no regime irrigado, com maior produção de folhas verdes, estolões e teor de clorofila (Figura 7), refletindo na maior produção de massa seca da parte aérea e massa seca total (Figura 10C e 10F).

Por sua vez, o Belomonte apresentou respostas agronômicas similares e/ou superiores ao BRS Mandobi e ao BRA 039799 em condições favoráveis de cultivo. No regime não irrigado não houve diferenças entre os genótipos para nenhuma das características de maior importância agrônômica. Geralmente, plantas que apresentam melhor desempenho produtivo sob condições favoráveis, quando são expostas a menor disponibilidade hídrica, reduzem o crescimento e a biomassa para diminuir a desidratação ao custo da perda da produção (FAROOQ et al., 2009). Porém, pelos estudos realizados em campo, nota-se que existem genótipos com elevada produtividade de forragem durante o período chuvoso e que apresentam variabilidade genética para a produtividade de forragem no período seco, sendo uns com maior e outros com menor desempenho.

Essas questões devem ser consideradas no processo de seleção de genótipos de amendoim forrageiro, pois o interesse do melhorista é identificar genótipos que apresentem elevada produtividade de forragem, inclusive no período seco. Portanto, ensaios em vasos que indiquem respostas fisiológicas e/ou agrônômicas não

coerentes com as respostas agronômicas observadas no campo precisam ser ajustados antes de empregados nos programas de melhoramento.

**Tabela 2** - Síntese das respostas agronômicas e fisiológicas obtidas para 21 caracteres avaliados em quatro genótipos de amendoim forrageiro cultivados sob regime hídrico irrigado e não irrigado aos 15 dias de experimentação em casa telada na Embrapa Acre, 2019. Em vermelho: houve redução significativa; em verde: não houve diferença significativa; em azul: houve aumento significativo entre os regimes irrigado e não irrigado a 5% de probabilidade pelo teste Tukey para o genótipo em questão

Caracteres	Comparação entre o regime irrigado e não irrigado			
	Belomonte	BRS Mandobi	BRA 042242	BRA 039799
NFV	Red	Ver	Red	Ver
NE	Red	Ver	Red	Ver
VG	Red	Red	Red	Ver
SPAD	Red	Ver	Red	Ver
MSPA	Red	Red	Red	Red
MSR	Red	Ver	Red	Ver
MST	Red	Red	Red	Red
MSR/MSPA	Ver	Ver	Red	Red
P <sub>N</sub>	Red	Red	Red	Red
gs	Red	Red	Red	Red
E	Red	Red	Red	Red
Ci	Ver	Red	Ver	Red
EC	Red	Red	Red	Red
EUA	Ver	Ver	Red	Ver
EiUA	Ver	Az	Ver	Az
Fv/Fm	Red	Ver	Red	Ver
ΔF/Fm'	Red	Red	Red	Ver
ETR	Red	Red	Red	Red
EXC	Az	Az	Az	Az
qP	Red	Red	Red	Ver
NQP	Az	Az	Az	Az

Número de folhas verdes (NFV), número de estolões (NE), vigor (VIG), índice SPAD (SPAD), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST), razão entre as massas secas de raiz e parte aérea (MSR/MSPA), fotossíntese (P<sub>N</sub>), condutância estomática (gs), transpiração (E), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci) e eficiência de carboxilação (EC), eficiência do uso da água (EUA), eficiência intrínseca do uso da água (EiUA), eficiência quântica potencial do PSII (Fv/Fm), eficiência quântica atual do PSII (ΔF/Fm'), quenching fotoquímico (qP), quenching não fotoquímico (NPQ), excesso de energia (EXC), taxa de transferência de elétrons (ETR).

Neste estudo, ao comparar um genótipo com ele mesmo nos dois regimes hídricos, sendo este o critério para selecionar genótipos mais tolerantes à seca, os

superiores seriam o BRA 039799 e o BRS Mandobi. Porém, em diferentes experimentos de campo, reconhece-se a cv. Belomonte (SANTOS, 2012, MIQUELONI, 2018; SANTOS, 2018), BRA 042242 (SANTOS, 2018) e o BRA 039799 (RESENDE et al., 2016; FERNANDES et al., 2017; MIQUELONI, 2018), como mais vigorosos e produtivos no período seco do ano quando comparados ao BRS Mandobi.

Verificou-se que a suspensão da irrigação por 15 dias associada ao tipo de substrato utilizado e tamanho do vaso proporcionaram aos genótipos déficit hídrico severo, com média de 10,55% da capacidade de campo (Figura 3). Considerando a redução da capacidade de campo ao longo do tempo, o 9º e o 10º dia após a suspensão da irrigação seriam o limite máximo de avaliação dos genótipos. Para estudos futuros, é importante ajustar esta metodologia, sugerindo-se a imposição de diferentes capacidades de campo e maiores períodos de avaliação.

#### 4.1.6 CORRELAÇÃO DE PEARSON

As estimativas das correlações de Pearson entre as características avaliadas em genótipos amendoim forrageiro são apresentadas na Tabela 3 e na Tabela 4. No regime irrigado, os caracteres agrônômicos apresentaram entre si, de forma geral, correlações positivas de magnitudes medianas a altas. Porém, esse padrão não foi mantido no regime não irrigado, com destaque para a correlação entre vigor da planta e produção de massa seca total, que passou a ser negativa e de alta magnitude. Esse resultado indica que quanto maior a produção de massa seca total, menor foi o vigor da planta, diferindo das correlações usualmente obtidas em experimentos de campo (MIQUELONI, 2018; SANTOS, 2018). Verifica-se que o vigor da planta, no regime não irrigado, apresentou correlação alta e positiva com a maioria dos caracteres fisiológicos (Tabela 3), indicando que o aspecto das folhas e estolões em relação à turgescência e coloração influenciou a nota dessa característica. Interessante também verificar as correlações entre massa seca de raiz com massa seca da parte aérea e massa seca total. No regime irrigado, há tendência de aumento da massa seca das raízes conforme aumenta a matéria seca da parte aérea e total, porém, sob déficit hídrico, não há mais associação linear entre essas variáveis. Assim, em condições hídricas favoráveis, o desenvolvimento da raiz acompanhou o adequado crescimento da parte aérea das plantas.

**Tabela 3** - Coeficientes de correlação de Pearson entre caracteres agrônômicos e de trocas gasosas avaliados em genótipos de amendoim forrageiro sob dois regimes hídricos aos 15 dias de experimentação (continua)

Irrigado													
Caracteres	NE	VIGOR	SPAD	MSPA	MSR	MST	P <sub>N</sub>	gs	E	Ci	EUA	EiUA	EC
NFV	0,87**	0,56*	0,66**	0,91**	0,53*	0,89**	0,38	0,07	0,18	-0,58*	0,44	0,36	0,45
NE		0,39	0,50*	0,89**	0,48	0,86**	0,20	-0,05	0,05	-0,52*	0,29	0,38	0,27
VIGOR			0,47	0,55*	0,44	0,56*	0,41	0,29	0,33	-0,19	0,32	0,02	0,42
SPAD				0,64**	0,29	0,61*	0,47	0,11	0,06	-0,66**	0,76**	0,42	0,54*
MSPA					0,66**	0,99**	0,48	0,21	0,29	-0,51*	0,49	0,26	0,54*
MSR						0,76**	0,44	0,28	0,38	-0,27	0,30	0,04	0,47
MST							0,50*	0,24	0,32	-0,49	0,48	0,23	0,56*
P <sub>N</sub>								0,87**	0,82**	-0,07	0,69**	-0,36	0,99**
gs									0,95**	0,42	0,30	-0,77**	0,79**
E										0,39	0,15	-0,73**	0,75**
Ci											-0,62**	-0,90**	-0,21
EUA												0,31	0,76**
EiUA													-0,23

**Tabela 3** - Coeficientes de correlação de Pearson entre caracteres agrônômicos e de trocas gasosas avaliados em genótipos de amendoim forrageiro sob dois regimes hídricos aos 15 dias de experimentação (conclusão)

Não irrigado													
Caracteres	NE	VIGOR	SPAD	MSPA	MSR	MST	P <sub>N</sub>	gs	E	Ci	EUA	EiUA	EC
NFV	0,46	-0,69**	0,01	0,75**	0,18	0,73**	-0,75**	-0,74**	-0,80**	0,67**	-0,67**	-0,67**	-0,72**
NE		-0,11	0,08	0,35	0,31	0,41	-0,26	-0,18	-0,33	0,16	-0,15	-0,16	-0,23
VIGOR			0,32	-0,75**	-0,10	-0,71**	0,81**	0,64**	0,75**	-0,76**	0,76**	0,76**	0,78**
SPAD				-0,15	0,33	-0,03	0,49	0,12	0,21	-0,52*	0,51*	0,52*	0,48
MSPA					0,16	0,95**	-0,73**	-0,57*	-0,64**	0,72**	-0,71**	-0,72**	-0,72*
MSR						0,45	0,02	0,08	0,02	0,03	0,01	0,00	-0,01
MST							-0,66**	-0,49	-0,57*	0,65**	-0,64**	-0,64**	-0,65**
P <sub>N</sub>								0,78**	0,85**	-0,95**	0,95**	0,95**	0,99**
gs									0,95**	-0,61*	0,63**	0,61*	0,78**
E										-0,67**	0,68**	0,67**	0,84**
Ci											-0,99**	-0,99**	-0,94**
EUA												0,99**	0,94**
EiUA													0,94**

\* e \*\* - significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente. Número de folhas verdes (NFV), número de estolões (NE), vigor (VIG), índice SPAD (SPAD), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST), fotossíntese (P<sub>N</sub>), condutância estomática (gs), transpiração (E), concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci), eficiência do uso da água (EUA), eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) e eficiência de carboxilação (EC).

**Tabela 4** - Coeficientes de correlação de Pearson entre caracteres agrônômicos e fluorescência da clorofila a avaliados em genótipos de amendoim forrageiro sob dois regimes hídricos aos 15 dias de experimentação (continua)

Irrigado												
Caracteres	NE	VIGOR	SPAD	MSPA	MSR	MST	Fv/Fm	$\Delta F/Fm$	qP	NPQ	EXC	ETR
NFV	0,87**	0,56*	0,66**	0,91**	0,53*	0,89**	0,16	0,49	0,50*	0,24	-0,07	0,47
NE		0,39	0,50*	0,89**	0,48	0,86**	0,13	0,29	0,34	0,32	-0,01	0,27
VIGOR			0,47	0,55*	0,44	0,56*	0,18	0,40	0,23	0,10	-0,15	0,39
SPAD				0,64**	0,29	0,61*	0,23	0,73**	0,67**	0,04	0,06	0,72**
MSPA					0,66**	0,99**	0,30	0,50*	0,51*	0,23	-0,20	0,47
MSR						0,76**	0,25	0,32	0,36	0,10	-0,33	0,30
MST							0,30	0,49*	0,51*	0,22	-0,24	0,46
Fv/Fm								0,63**	0,42	0,11	-0,29	0,59*
$\Delta F/Fm$									0,92**	0,25	0,04	0,99**
qP										0,45	0,23	0,93**
NPQ											0,76**	0,24
EXC												0,06

**Tabela 4** - Coeficientes de correlação de Pearson entre caracteres agrônômicos e fluorescência da clorofila *a* avaliados em genótipos de amendoim forrageiro sob dois regimes hídricos aos 15 dias de experimentação (conclusão)

Não irrigado												
Caracteres	NE	VIGOR	SPAD	MSPA	MSR	MST	Fv/Fm	$\Delta F/F_m$	qP	NPQ	EXC	ETR
NFV	0,46	-0,69**	0,01	0,75**	0,18	0,73**	-0,62*	-0,80**	-0,77**	0,02	0,28	-0,82**
NE		-0,11	0,08	0,35	0,31	0,41	-0,32	-0,36	-0,39	-0,05	-0,02	-0,36
VIGOR			0,32	-0,75**	-0,10	-0,71**	0,68**	0,86**	0,80**	-0,05	-0,41	0,86**
SPAD				-0,15	0,33	-0,03	0,44	0,26	0,16	-0,11	-0,65**	0,25
MSPA					0,16	0,95**	-0,73**	-0,89**	-0,85**	-0,08	0,16	-0,89**
MSR						0,45	-0,02	-0,21	-0,26	-0,23	-0,17	-0,20
MST							-0,67**	-0,87**	-6,72	-0,14	0,09	-0,87**
Fv/Fm								0,74**	0,67**	0,09	-0,40	0,74**
$\Delta F/F_m$									0,97**	0,14	-0,37	0,99**
qP										0,28	-0,36	0,98**
NPQ											-0,26	0,14
EXC												-0,38

\* e \*\* - significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste t, respectivamente. Número de estolões (NE), vigor (VG), índice SPAD (SPAD), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz (MFR), massa seca total (MST), eficiência quântica potencial do PSII (Fv/Fm), eficiência quântica atual do PSII ( $\Delta F/F_m$ ), quenching fotoquímico (qP), quenching não fotoquímico (NPQ), excesso de energia (EXC), taxa de transferência de elétrons (ETR).



Segundo Hong et al. (2012), o desenvolvimento das raízes para a camada mais profunda do solo reflete em maior gasto de energia para a planta, em decorrência da maior distância para realizar o transporte de nutrientes.

Ao analisar as correlações entre os caracteres agrônômicos e de trocas gasosas no regime irrigado, nota-se que a produção de massa seca da parte aérea apresentou correlação positiva mediana com fotossíntese e eficiência de carboxilação, porém, a correlação foi negativa com concentração interna de CO<sub>2</sub>. Esse padrão foi também semelhante para o índice SPAD.

O elevado teor de clorofila permite às plantas atingirem maiores taxas fotossintéticas (SILVA et al., 2014) e isso reflete no aumento da produção de massa seca total, devido à maior eficiência do metabolismo e fluxo de fotoassimilados na planta (THIESEN et al., 2017). Em condições hídricas favoráveis, a maior concentração interna de CO<sub>2</sub> é resultado da maior assimilação de CO<sub>2</sub> na planta. Esses resultados podem ser explicados pelo fato de que a produtividade da planta é produto da interceptação de radiação solar e da fixação de CO<sub>2</sub> pela fotossíntese, deste modo, a disponibilidade de CO<sub>2</sub> no mesófilo foliar eleva a taxas fotossintéticas das plantas (TAIZ et al., 2017).

No regime não irrigado, as correlações entre número de folhas verdes, produção de matéria seca da parte aérea e produção de matéria seca total seguiram uma mesma tendência, apresentando estimativas negativas de mediana a alta magnitudes com fotossíntese, condutância estomática, transpiração e eficiência de carboxilação, e estimativas positivas de mediana magnitude com concentração interna de CO<sub>2</sub>. Portanto, os genótipos com maior número de folhas e produção de biomassa aérea foram aqueles com respostas fisiológicas menos favoráveis. Os efeitos do estresse hídrico nas plantas são diversos e dependem de fatores como intensidade e duração (TAIZ et al., 2017). Nesse sentido, o estresse progrediu rapidamente não permitindo que esses genótipos pudessem desenvolver um ajuste osmótico (PEREZ, 1999) ou alterar suas características fisiológicas (LARCHER, 2000) conforme o déficit hídrico foi se acentuando. Interessante notar que as correlações das características de trocas gasosas com vigor da planta foram no sentido oposto das demais. As plantas menos produtivas no regime seco foram as mais vigorosas e as que apresentaram as melhores respostas em relação às trocas gasosas (Tabela 3).

As correlações entre os caracteres de trocas gasosas foram positivas e de mediana a alta magnitude no regime irrigado e no não irrigado, exceto aquelas

relacionadas à concentração interna de CO<sub>2</sub> que foram, em geral, nulas (irrigado) ou negativas (não irrigado). A taxa fotossintética é influenciada pela abertura ou fechamento dos estômatos, ou ainda, pelo uso ou acúmulo de CO<sub>2</sub> no interior das células foliares, conforme a maior ou menor disponibilidade de água no solo (TAIZ et al., 2017). Do ponto de vista fisiológico, a redução parcial da condutância estomática proporciona a entrada de CO<sub>2</sub> para o interior da folha, reduzindo as limitações da fotossíntese em condições de baixa disponibilidade de água (ARAÚJO et al., 2010).

Ao analisar as correlações entre os caracteres agronômicos e as demais variáveis fisiológicas, nota-se que índice SPAD, produção de matéria seca da parte aérea e produção de matéria seca total apresentaram estimativas positivas de mediana magnitude com eficiência quântica atual do PSII e com quenching fotoquímico no regime irrigado, indicando que quanto maior o teor de clorofila, maior é a eficiência fotossintética das plantas e maior é a absorção e transferência de energia para os fotossistemas (FAROOQ et al., 2009). No regime não irrigado, houve maior número de caracteres correlacionados, porém, todas as correlações significativas foram negativas de mediana a alta magnitude.

Em relação ao índice SPAD, verificou-se apenas uma correlação mediana negativa com excesso de energia, indicando que, em condição de déficit hídrico, ocorre um acúmulo de energia, com a diminuição do teor de clorofila na folha.

Foram observadas correlações positivas de mediana a alta magnitudes entre as características fisiológicas (Tabela 4), tanto no regime irrigado quanto no não irrigado, com padrões bastante semelhantes, como as verificadas entre eficiência quântica atual do PSII e taxa de transporte de elétrons, entre quenching fotoquímico e taxa de transporte de elétrons e entre eficiência quântica atual do PSII e quenching fotoquímico. Este resultado permite inferir que essas associações se devem aos diferentes genes ligados à tolerância à seca, visto que, é uma característica quantitativa controlada por muitos genes (VERSLUES et al., 2006; FRITSCHÉ NETO; BORÉM, 2011), que por sua vez, são influenciados pelas condições do ambiente (CHAVES et al., 2009).

## 4.2 EXPERIMENTO 2

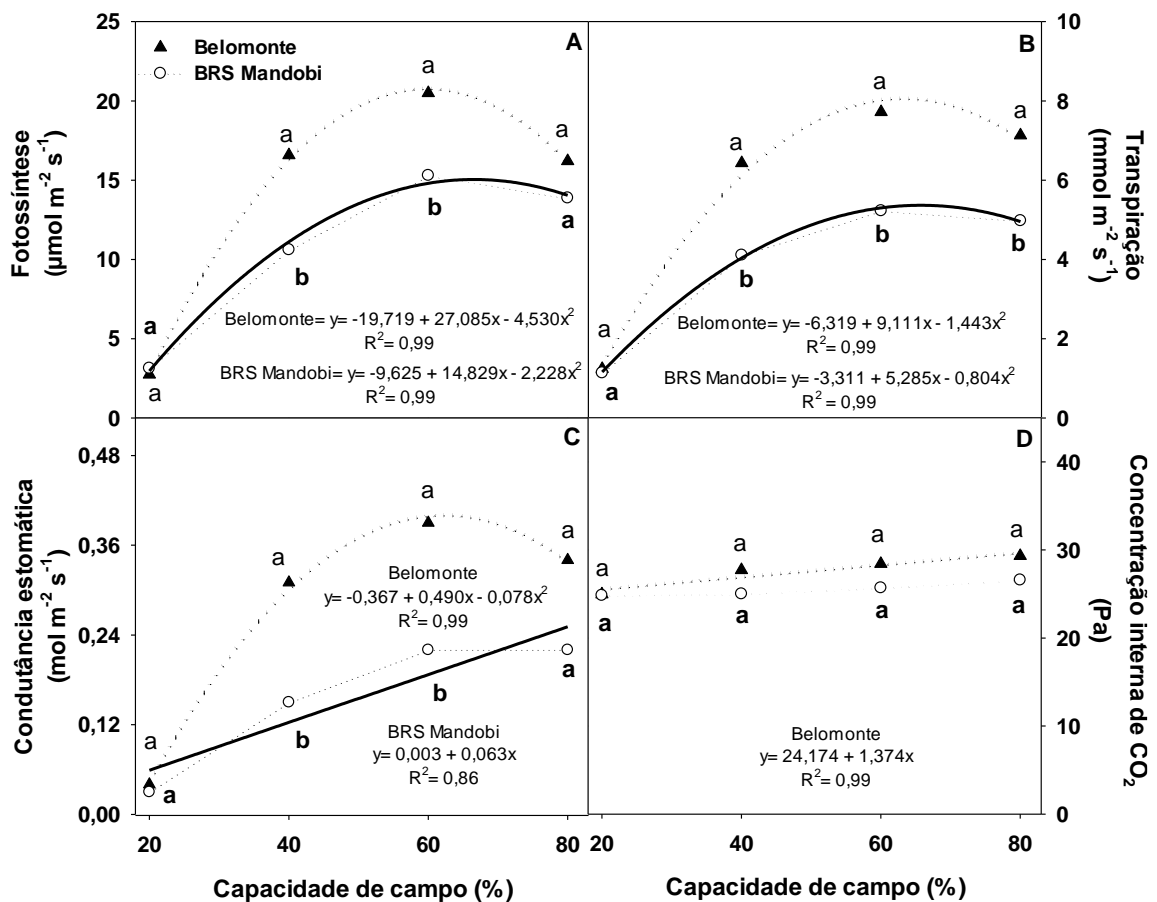
As cultivares Belomonte e BRS Mandobi apresentaram diferenças que variaram conforme as características avaliadas e as porcentagens das capacidades de campo.

#### 4.2.1 TROCAS GASOSAS

Para as trocas gasosas verificou-se efeitos significativos isolados para cultivares e regimes hídricos para a fotossíntese ( $p < 0,01$ ), condutância estomática ( $p < 0,01$ ) e transpiração, avaliadas aos 60 dias de experimentação (ANEXO F). Para concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $p < 0,05$ ) e eficiência intrínseca no uso da água ( $p < 0,05$ ), houve diferença entre os genótipos somente. Para eficiência de carboxilação, a diferença ( $p < 0,01$ ) foi observada somente entre regimes hídricos.

Para a fotossíntese, houve ajuste quadrático para ambas as cultivares, com ponto de máximo de  $20,87 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para o Belomonte a 59% da capacidade de campo e de  $14,87 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  a 66% da capacidade de campo para o BRS Mandobi (Figura 11A).

**Figura 11** - Fotossíntese (A), transpiração (B), condutância estomática (C) e concentração interna de  $\text{CO}_2$  (D) avaliadas aos 60 dias de experimentação em duas cultivares de amendoim forrageiro submetidas a diferentes regimes hídricos, Embrapa Acre, 2019



Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre cultivares dentro de cada regime hídrico, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

O Belomonte apresentou fotossíntese superior à do BRS Mandobi quando submetidos a 40% e 60% da capacidade de campo ( $p < 0,01$ ). As menores taxas fotossintéticas foram observadas a 20% da capacidade de campo (Figura 11A).

Essa redução na eficiência fotossintética ocorre quando há um desequilíbrio entre a energia capturada pelos fotossistemas e a energia bioquímica convertida em decorrência de possíveis limitações estomáticas induzidas pelo déficit hídrico no solo (KRAMER; EVANS, 2011; BERTOLLI et al., 2012). Portanto, para o Belomonte e BRS Mandobi submetidos a 20% da capacidade de campo, o menor número de folhas verdes ocorreu devido à diminuição na emissão de folhas novas, assim como, a redução da área foliar, em consequência da menor taxa fotossintética, o que refletiu no menor número de folhas verdes sob baixa disponibilidade hídrica no solo.

Foram estimadas curvas de regressão quadráticas para as cultivares Belomonte e BRS Mandobi para a variável transpiração (Figura 11B). A transpiração do Belomonte foi superior à do BRS Mandobi, exceto a 20% da capacidade de campo, em que não foi verificada diferença entre as cultivares. Para o Belomonte, o ponto de máxima transpiração ( $8,11 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) foi a 63% da capacidade de campo, enquanto para o BRS Mandobi ( $5,42 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) foi a 66% da capacidade de campo.

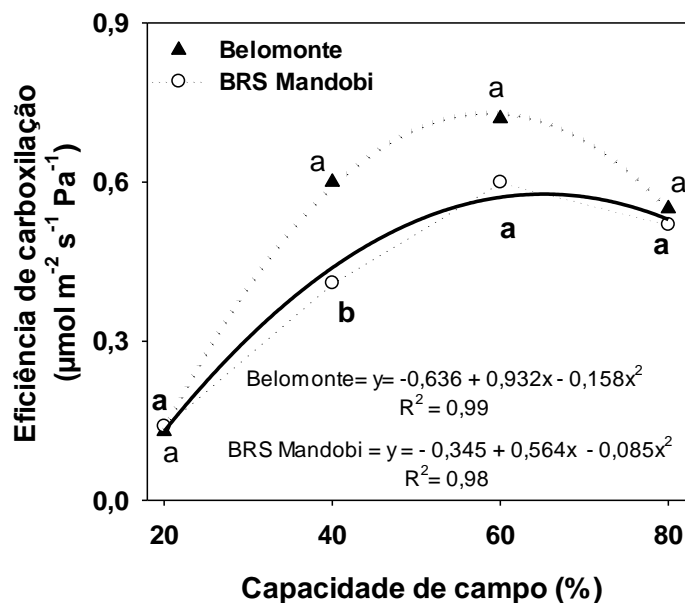
Em relação à condutância estomática, houve ajuste quadrático para o Belomonte com ponto de máximo a 62% da capacidade de campo. Para o BRS Mandobi, o ajuste foi linear (Figura 11C). A condutância estomática do Belomonte foi superior à do BRS Mandobi a 40% e 60% da capacidade de campo.

Com relação à variável concentração interna de  $\text{CO}_2$  houve suave aumento linear para o Belomonte conforme o aumento da capacidade de campo (Figura 11D). Já para o BRS Mandobi não houve ajustes dos modelos de regressão para essa característica (Figura 11D).

Para eficiência de carboxilação, houve ajuste quadrático para ambas as cultivares, com pontos de máximo a 58% e 71% da capacidade de campo para o Belomonte e BRS Mandobi, respectivamente (Figura 12). O Belomonte apresentou eficiência de carboxilação maior que a do BRS Mandobi quando cultivado em solo a 40% da capacidade de campo. A menor eficiência de carboxilação foi observada no tratamento a 20% da capacidade de campo em ambas as cultivares, indicando que a disponibilidade de  $\text{CO}_2$  para as plantas pode ter sido inibida por limitações estomáticas (Figura 11C), em função dos fechamentos dos estômatos, com intuito de diminuir a perda de água pela transpiração.

Interessante destacar que houve moderada redução na fotossíntese, transpiração, condutância estomática e eficiência da carboxilação de 60% para 80% da capacidade de campo (Figura 11A, 11B, 11C e 12). Essas reduções podem indicar que a máxima resposta de tais atributos fisiológicos ocorrem em capacidades de campo inferiores a 80%, conforme os pontos de máximo apresentados anteriormente para cada característica e cultivar.

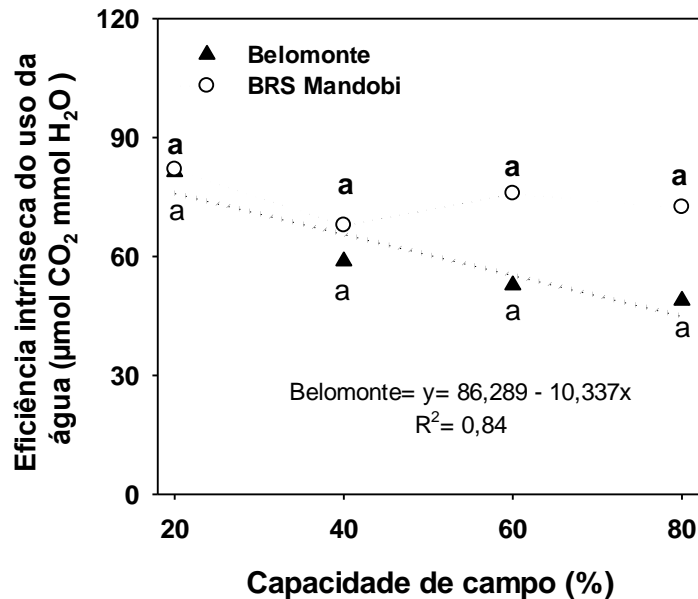
**Figura 12** - Eficiência de carboxilação avaliada aos 60 dias de experimentação em duas cultivares de amendoim forrageiro submetidas a diferentes regimes hídricos, Embrapa Acre, 2019



Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre cultivares dentro de cada regime hídrico, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação à eficiência intrínseca do uso da água, houve diferenças ( $p < 0,05$ ) entre as cultivares (ANEXO F), porém ao aplicar o teste de Tukey nenhuma diferença estatística foi verificada (Figura 13). Para o Belomonte houve ajuste linear decrescente, sendo que na capacidade de campo de 20% a eficiência intrínseca do uso da água foi maior. Conforme Taiz et al. (2017), o aumento na eficiência intrínseca do uso da água está associado a maior absorção de  $\text{CO}_2$  com perda mínima de água. Quanto ao BRS Mandobi, não houve ajuste dos modelos de regressão. De acordo com Chaves et al. (2004), o aumento na eficiência intrínseca do uso da água é resultado da relação entre a fotossíntese e condutância estomática, de forma que a redução na condutância estomática pode ter contribuído para o aumento da eficiência intrínseca do uso da água em condições de menores disponibilidades hídricas.

**Figura 13** - Eficiência intrínseca do uso da água avaliada aos 60 dias de experimentação em duas cultivares de amendoim forrageiro submetidas a diferentes regimes hídricos, Embrapa Acre, 2019



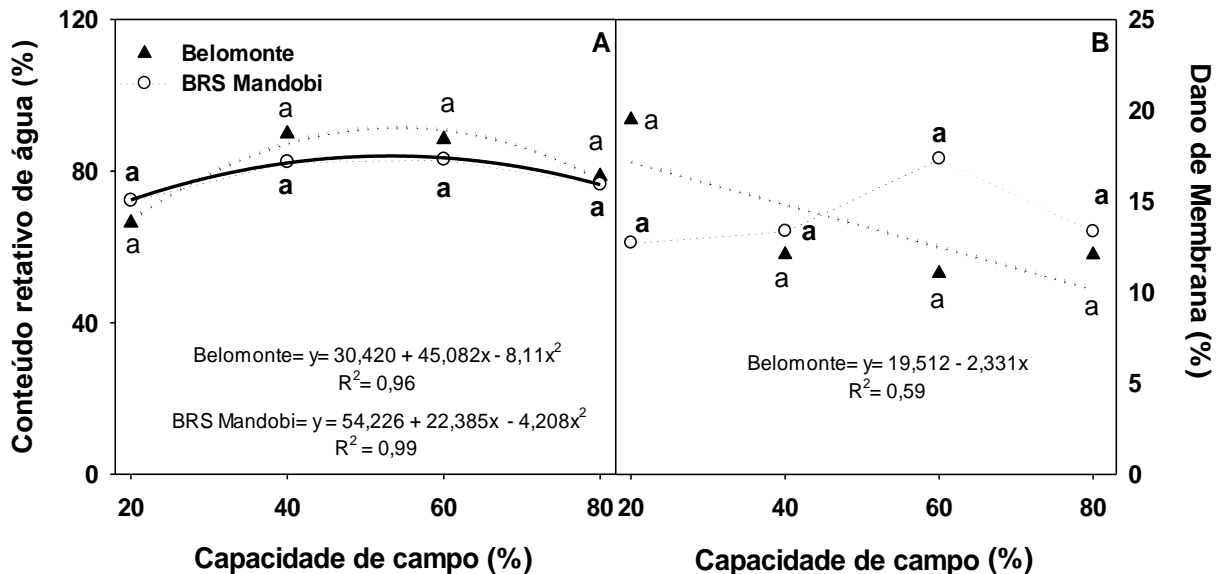
Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre cultivares dentro de cada regime hídrico, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

#### 4.2.1.1 Conteúdo relativo de água e dano de membrana

Em relação ao conteúdo relativo de água e ao dano de membrana, não houve interação significativa entre cultivares e regimes hídricos ( $p > 0,05$ ), nem efeito isolado de genótipos ( $p > 0,05$ ) (ANEXO G). Foi observada apenas diferença significativa ( $p < 0,01$ ) para efeito de regime hídrico para conteúdo relativo de água. Observaram-se ajustes de regressão quadrática para esta característica, com pontos de máximo conteúdo relativo de água para as capacidades de campo 54% e 53% para o Belomonte e BRS Mandobi, respectivamente (Figura 14A).

A variável dano de membrana pode ser utilizada como indicadora da integridade da membrana celular, sendo uma importante característica no estudo de plantas submetidas ao déficit hídrico (SILVA et al., 2018). O dano de membrana celular em folhas, pode ser avaliado a partir do vazamento de eletrólitos em plantas submetidas ao estresse hídrico. Nesta condição, pode ocorrer o vazamento de eletrólitos no tecido foliar, causando peroxidação de lipídeos e possibilidade de perda da integridade das membranas celulares (SHARMA et al., 2007). Conforme os resultados obtidos, pode-se verificar a tendência de aumento no dano da membrana conforme redução da capacidade de campo no Belomonte (Figura 14B).

**Figura 14** - Conteúdo relativo de água (A) e dano de membrana (B) avaliados aos 60 dias de experimentação em duas cultivares de amendoim forrageiro submetidas a diferentes regimes hídricos, Embrapa Acre, 2019



Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre cultivares dentro de cada regime hídrico, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

#### 4.2.1.2 Número de estômatos

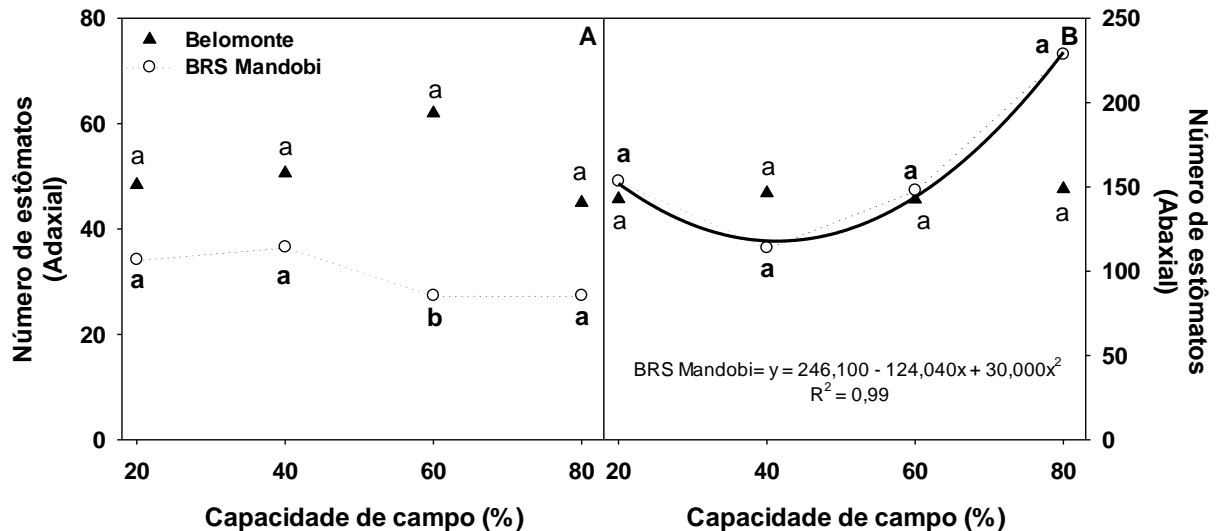
Houve efeito significativo isolado ( $p < 0,01$ ) entre cultivares para o número de estômatos na face adaxial da folha e interação significativa ( $p < 0,01$ ) entre as cultivares e regimes hídricos para o número de estômatos na face abaxial (ANEXO G).

Os genótipos de amendoim forrageiro apresentam folhas anfiestomáticas, devido à presença de estômatos nas duas faces foliares (adaxial e abaxial) (MEYER et al., 1973). Entretanto, a maior frequência de estômatos foi verificada na face abaxial (Figura 15). Essa diferença, possivelmente, ocorre porque as plantas recebem maior radiação solar na superfície adaxial do que na abaxial (SILVA et al., 2014). Assim, este mecanismo é um fator positivo, visto que a redução na quantidade de estômatos pode diminuir a perda de água pela transpiração, principalmente sob menor disponibilidade hídrica no solo (MEYER et al. 1973).

O Belomonte apresentou maior número de estômatos na face adaxial que o BRS Mandobi na capacidade de campo de 60% (Figura 15A). O número de estômatos na face abaxial da folha do Belomonte se mostrou constante nos diferentes regimes hídricos, com média de 145,15. Por outro lado, o BRS Mandobi apresentou ajuste quadrático, com ponto de mínimo a 41% da capacidade de campo, apresentando 117,88 estômatos (Figura 15B). Comparando o Belomonte e o BRS Mandobi,

verificou-se diferença significativa apenas a 80% da capacidade de campo, com o BRS Mandobi apresentando número de estômatos superior ao Belomonte (Figura 15B).

**Figura 15** - Número de estômatos na face adaxial (A) e número de estômatos na face abaxial (B) avaliados aos 60 dias de experimentação em duas cultivares de amendoim forrageiro submetidas a diferentes regimes hídricos, Embrapa Acre, 2019



Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre cultivares dentro de cada regime hídrico, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

O BRS Mandobi apresentou redução no número de estômatos na face abaxial entre os regimes de 20% e 40% da capacidade de campo. A partir desse ponto houve aumento no número de estômatos dessa cultivar. Portanto, pode-se inferir que a redução no número de estômatos é um mecanismo importante adotado por esta cultivar, pois está relacionado ao controle das trocas gasosas e que contribuiu para maior eficiência do uso da água. Devido à menor quantidade de estômatos, houve menor perda de água pela transpiração sob estresse hídrico, corroborando com Lacher (2004).

O maior número de estômatos está relacionado à maior capacidade fotossintética das folhas, sendo que, quanto maior o número de estômatos na área foliar, menor será a resistência à difusão de gases na folha (GOBBI et al., 2011). O número de estômatos no tecido foliar é inversamente proporcional à expansão celular, quanto maior a expansão foliar, menor é a quantidade de estômatos na folha (MURPHY et al., 2012). Castro et al. (2009) afirmam que sob condições de estresse hídrico podem ocorrer alterações no tamanho e no número dos estômatos em



resposta ao déficit hídrico. Segundo Larcher (2004), o maior número de estômatos auxilia na redução da transpiração, em decorrência de maior umidade próximo aos estômatos. Sendo assim, a quantidade de estômatos sob déficit hídrico pode promover tanto o aumento como a diminuição da transpiração, que por sua vez, irá depender da estratégia utilizada pela planta para evitar danos aos processos fotossintéticos. Nesse sentido, é importante salientar que o número de estômatos na folha também está associado tanto ao tamanho como o controle de abertura e fechamento estomático.

Portanto, para o número de estômatos na superfície adaxial e abaxial as duas cultivares apresentaram comportamentos distintos de acordo com a disponibilidade de água no solo, o qual pode estar relacionado às estratégias de aclimação adotadas pelas plantas (LARCHER, 2000).

#### 4.2.2 CARACTERES VEGETATIVOS E ÍNDICE SPAD

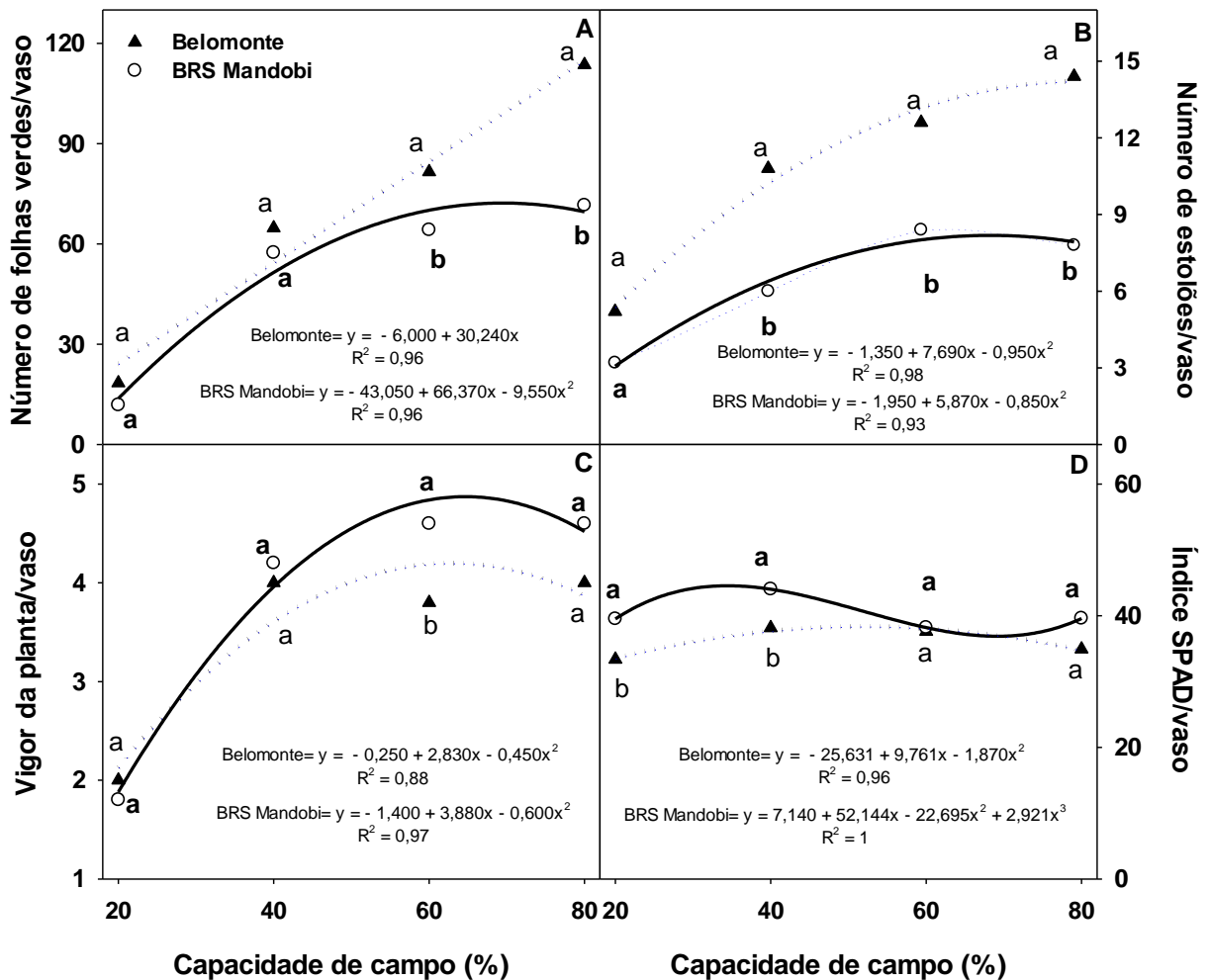
Houve interação significativa para o número de folhas verdes ( $p < 0,01$ ) e efeitos isolados significativos entre cultivares e regimes hídricos para o número de estolões ( $p < 0,01$ ), vigor das plantas ( $p < 0,01$ ) e índice SPAD ( $p < 0,05$ ), avaliados aos 60 dias de experimentação (ANEXO H). Para o Belomonte, houve aumento linear no número de folhas verdes conforme aumento da capacidade de campo (Figura 16A). No regime hídrico de 20%, a redução do número de folhas verdes foi de 55,51%, 71,39% e 78,91% em relação aos tratamentos hídricos de 40%, 60% e 80% da capacidade de campo, respectivamente (Figura 16A).

O BRS Mandobi apresentou comportamento quadrático com ponto de máximo a 69% da capacidade de campo com 72,14 folhas verdes. As médias estimadas para os regimes hídricos de 60% e 80% da capacidade de campo para esta cultivar praticamente não diferiram (69,6 e 70,1, respectivamente), indicando uma tendência de estabilização na produção de folhas. Ao comparar os genótipos dentro de cada regime hídrico, o Belomonte apresentou mais folhas verdes que o BRS Mandobi nos regimes de 60% e de 80% da capacidade de campo, aos 60 dias após o início do experimento (Figura 16A).

Os resultados obtidos confirmam que plantas submetidas ao déficit hídrico podem reduzir a emissão de novas folhas, visto que nestas condições, a menor disponibilidade hídrica diminui o processo de divisão e expansão celular, o que afeta

o crescimento e desenvolvimento da planta (ASLAM et al., 2015). Resultados similares ao deste estudo foram obtidos por Hoang et al. (2018), que avaliaram o amendoim forrageiro e constataram redução no número de folhas verdes sob menor disponibilidade hídrica (30% da capacidade de campo). No presente experimento, quanto menor a capacidade de campo, menor foi o número de folhas do Belomonte, enquanto para o BRS Mandobi, a redução iniciou a 69% da capacidade de campo.

**Figura 16** - Número de folhas verdes (A), número de estolões (B), vigor da planta (C) e índice SPAD (D) avaliados aos 60 dias de experimentação em duas cultivares de amendoim forrageiro, submetidas a diferentes regimes hídricos, Embrapa Acre, 2019



Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre cultivares dentro de cada regime hídrico, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Quanto ao número de estolões, observou-se ajuste quadrático tanto para o Belomonte quanto para o BRS Mandobi (Figura 16B), conforme o aumento da disponibilidade hídrica (Figura 16B). No Belomonte, porém, nota-se ainda um aumento no número de estolões entre os regimes de 60% e 80% (de 13,17 para 14,21),

enquanto no BRS Mandobi houve leve redução (de 8,01 para 7,93). Menor número de estolões foi verificado nas disponibilidades de 20% e 40% da capacidade de campo, havendo uma redução de 62% e 28% para o Belomonte e de 61% e 19% para o BRS Mandobi, em relação ao regime com 80% da capacidade de campo. O menor número de estolões nos regimes hídricos de 20% e 40% no Belomonte e BRS Mandobi está estreitamente relacionado aos processos fotossintéticos realizados pela planta, sendo, portanto, produto direto da redução da fotossíntese (Figura 11A). Ao comparar os genótipos em cada regime hídrico, verificou-se que não houve diferença do número de estolões apenas no regime de 20% da capacidade de campo. Nos demais, o Belomonte produziu mais estolões que o BRS Mandobi.

O vigor da planta foi influenciado pelos regimes hídricos ( $p < 0,01$ ), com ajuste quadrático para ambos os genótipos. Os pontos de máximo do vigor ocorreram nas capacidades de campo de 63% e 65%, para o Belomonte (3,14) e BRS Mandobi (4,80), respectivamente (Figura 16C). Entre cultivares, houve diferenças no vigor da planta no tratamento hídrico de 60% da capacidade de campo, sendo mais vigoroso o BRS Mandobi.

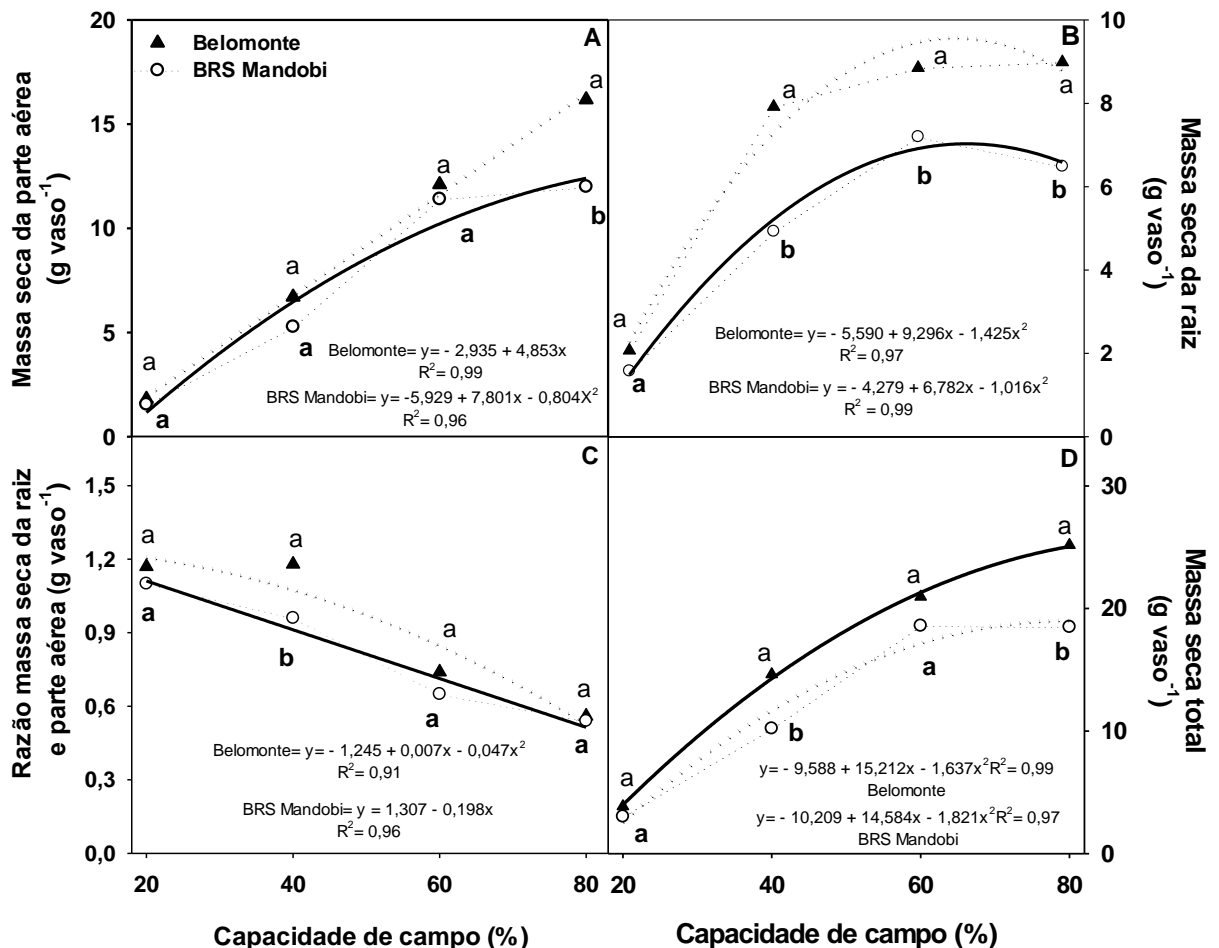
Os valores do índice SPAD estão relacionados aos teores de clorofilas nas plantas. As clorofilas refletem os pigmentos fotossintéticos, os quais desempenham uma importante função, sendo responsáveis pela absorção de energia luminosa a qual é utilizada na fotossíntese (TAIZ et al., 2017). Para o índice SPAD, houve ajustes quadrático e cúbico para o Belomonte e BRS Mandobi, respectivamente (Figura 16D). Os maiores valores deste índice para o BRS Mandobi estão um pouco abaixo da capacidade de campo de 40%. Para o Belomonte, as maiores respostas ocorreram entre os regimes hídricos de 40% e 60% da capacidade de campo. Ao comparar os genótipos, foram verificados índices SPAD superiores para o BRS Mandobi nos regimes de 20% e 40% da capacidade de campo.

No Experimento 1 também foi observado maior índice SPAD do BRS Mandobi em relação ao Belomonte no regime não irrigado (Figura 9D). Adicionalmente, o BRS Mandobi não apresentou redução do índice SPAD entre os dois regimes hídricos no Experimento 1 (Figura 9D e Tabela 2). Arunyanark et al. (2008) salientaram que a estabilidade no teor de clorofilas em situações de estresse hídrico sugere maior tolerância à seca em plantas. Embora, como verificado neste estudo, essa maior tolerância não reflita no aumento das características de crescimento vegetativo e de produção.

#### 4.2.3 CARACTERES AGRONÔMICOS DESTRUTIVOS

Considerando os caracteres agronômicos destrutivos, houve interação entre as cultivares e os regimes hídricos para massa seca da parte aérea e massa seca total ( $p < 0,01$ ). Foram significativos os efeitos isolados de cultivares ( $p < 0,05$ ) e regimes hídricos ( $p < 0,01$ ) para a massa seca de raiz e razão entre massa seca da raiz e da parte aérea (ANEXO I).

**Figura 17** - Massa seca da parte aérea (A), massa seca de raiz (B), razão massa seca da raiz e parte aérea (C) e massa seca total (D) avaliadas aos 60 dias de experimentação em duas cultivares de amendoim forrageiro submetidas a diferentes regimes hídricos, Embrapa, Acre, 2019



Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre cultivares dentro de cada regime hídrico, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Para o Belomonte, houve ajuste linear da massa seca da parte aérea conforme aumento da capacidade de campo (Figura 17A). O comportamento do BRS Mandobi foi diferente, o qual apresentou ajuste quadrático. Verificou-se que a produção de massa seca da parte aérea do Belomonte foi superior apenas a 80% da capacidade

de campo. Pode-se observar que o aumento da massa seca da parte aérea está associado à elevação das disponibilidades hídricas, considerando que o suprimento hídrico de forma adequada promove maior produção de fotoassimilados, resultando no acúmulo de biomassa das plantas.

Em contrapartida, nas menores disponibilidades hídricas houve menor produção de massa seca da parte aérea nas duas cultivares, devido à menor absorção de nutrientes pelas plantas, em decorrência da diminuição de mobilidade de íons no solo, bem como, da redução da absorção de água pelas raízes, o que por sua vez, limitou a eficiência fotossintética (Figura 11A) e reduziu a massa seca da parte aérea das plantas. Adicionalmente, os resultados sugerem que à medida que o estresse hídrico é mais intenso e prolongado, como foi observado neste estudo, os efeitos do estresse tornam-se mais evidentes (GRIFFITHS; PARRY, 2002).

Em relação à massa seca de raízes, observou-se regressão quadrática para ambas as cultivares (Figura 17B), com pontos de máximo a 64% e 67% da capacidade de campo, para o Belomonte (9,43 g) e BRS Mandobi (7,19 g), respectivamente. O Belomonte foi estatisticamente superior ao BRS Mandobi nas capacidades de campo de 40%, 60% e 80% (Figura 17B). Santos (2018) não encontrou diferenças entre genótipos de amendoim forrageiro (incluindo o Belomonte e BRS Mandobi) para massa seca de raízes quando avaliou o efeito do déficit hídrico em tubos de acetato, com cerca de 50% da capacidade de campo. No entanto, para comprimento do sistema radicular verificou que o BRS Mandobi apresentou raízes mais profundas e longas que a cv. Belomonte, independentemente do regime hídrico. A autora ressalta que o estresse hídrico moderado estimulou o crescimento das raízes, que apresentaram maior comprimento no regime não irrigado (60,58 cm x 33,72 cm), independentemente do genótipo.

A razão entre massa seca da raiz e da parte aérea apresentou ajuste quadrático para o Belomonte e linear para o BRS Mandobi, ambos com tendência decrescente (Figura 17C). Houve diferença significativa entre as cultivares no regime hídrico de 40% da capacidade de campo, com valor superior para o Belomonte.

O crescimento das raízes em plantas sob condições de deficiência hídrica é estimulado (HONG et al., 2012), porque este é um mecanismo relacionado à adaptação da planta, em que a manutenção da turgescência celular favorece o alongamento e desenvolvimento do sistema radicular, permitindo a planta absorver água e nutrientes nas camadas mais úmidas e profundas do solo (HONG et al., 2012;

KAHLE et al., 2012). Os resultados indicam que, para ambas as cultivares, as plantas, proporcionalmente, investiram mais na produção de raízes em relação à parte aérea, conforme redução da umidade do solo (Figura 17C). Araújo et al. (2010) salientaram que as plantas adotam estratégias para se adaptar em condições de baixa disponibilidade hídrica solo, sendo, aumento proporcional na massa seca da raiz pela diminuição da biomassa aérea. Neste estudo, tal comportamento foi observado, com maior reposta para o Belomonte a 40% da capacidade de campo.

Ambas as cultivares apresentaram ajuste quadrático para produção total de massa seca em função das diferentes capacidades de campo impostas, com pontos de máximo estimados a 79% e 71% da capacidade de campo para Belomonte e BRS Mandobi, respectivamente (Figura 17D).

Ao comparar as duas cultivares em cada regime hídrico, verificou-se maior produção de massa seca total do Belomonte a 40% e 80% da capacidade de campo (Figura 17D). O BRS Mandobi apresentou leve aumento na massa seca total entre 60% e 80% da capacidade de campo (10,70%), enquanto no Belomonte o aumento foi proporcionalmente maior (17,58%). No entanto, apesar de observada pequena produção de frutos na cv. BRS Mandobi, a massa dos mesmos não foi quantificada, dificultando a exata comparação da produção total de biomassa entre as duas cultivares.

Os diferentes níveis de umidade do solo afetaram as respostas agrônômicas e fisiológicas das cultivares Belomonte e BRS Mandobi. Não somente o déficit hídrico influenciou negativamente tais respostas, mas níveis mais elevados da capacidade de campo (80%) também levaram a decréscimos em caracteres de interesse, como fotossíntese, transpiração, eficiência de carboxilação, número de estolões, vigor da planta, massa seca de raiz e massa seca total. Essa redução a 80% da capacidade de campo foi ainda observada apenas para a cv. BRS Mandobi para número de folhas verdes e massa seca da parte aérea.

Para estas duas variáveis, o Belomonte respondeu linearmente aos níveis crescentes de umidade do solo.

Assim como ocorreu no Experimento 1, em que o déficit hídrico severo (10,55% da capacidade de campo) não permitiu diferenciar os genótipos sob restrição hídrica para a maioria dos caracteres, no Experimento 2, o cultivo das plantas a 20% da capacidade de campo apresentou respostas semelhantes, nas quais não foi possível diferenciar as cultivares avaliadas (Tabela 5), exceto para índice SPAD, cuja média

do BRS Mandobi foi superior ao Belomonte. Por outro lado, no regime hídrico de 40% da capacidade de campo, diversos caracteres fisiológicos e agrônômicos indicaram o Belomonte como um genótipo superior ao BRS Mandobi para cultivo sob restrição hídrica (Tabela 5), como: fotossíntese, condutância estomática, transpiração, eficiência de carboxilação, número de estolões, massa seca de raiz, massa seca total e razão entre a massa seca de raiz e massa seca da parte aérea.

**Tabela 5** - Síntese das respostas agrônômicas e fisiológicas obtidas para 18 caracteres avaliados, comparando o Belomonte em relação ao BRS Mandobi submetidos a quatro regimes hídricos aos 60 dias de experimentação em casa telada na Embrapa Acre, 2019. Em vermelho: houve redução significativa; em amarelo: não houve diferença significativa; em azul: houve aumento significativo a 5% de probabilidade pelo teste Tukey

Características	Belomonte em relação ao BRS Mandobi			
	Capacidade de campo			
	-----%-----			
	20	40	60	80
<b>P<sub>N</sub></b>	Amarelo	Azul	Azul	Amarelo
<b>gs</b>	Amarelo	Azul	Azul	Amarelo
<b>E</b>	Amarelo	Azul	Azul	Azul
<b>C<sub>i</sub></b>	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Amarelo
<b>EC</b>	Amarelo	Azul	Amarelo	Amarelo
<b>EiUA</b>	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Amarelo
<b>CRA</b>	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Amarelo
<b>DM</b>	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Amarelo
<b>NEad</b>	Amarelo	Amarelo	Azul	Amarelo
<b>NEab</b>	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Vermelho
<b>NFV</b>	Amarelo	Amarelo	Azul	Azul
<b>NE</b>	Amarelo	Azul	Azul	Azul
<b>VIG</b>	Amarelo	Amarelo	Vermelho	Amarelo
<b>SPAD</b>	Vermelho	Vermelho	Amarelo	Amarelo
<b>MSPA</b>	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Azul
<b>MSR</b>	Amarelo	Azul	Azul	Azul
<b>MST</b>	Amarelo	Azul	Amarelo	Azul
<b>MSR/MSPA</b>	Amarelo	Azul	Amarelo	Amarelo

Fotossíntese (P<sub>N</sub>), condutância estomática (gs), transpiração (E), concentração interna de CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>) e eficiência de carboxilação (EC), eficiência intrínseca do uso da água (EiUA), conteúdo relativo de água (CRA), dano de membrana (DM), número de estômatos na face adaxial (NEad), número de estômatos na face abaxial (NEab) número de folhas verdes (NFV), número de estolões (NE), vigor (VIG), índice SPAD (SPAD), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST), razão entre as massas secas da raiz e parte aérea (MSR/MSPA).

Interessante notar que para diversos caracteres, a cv. BRS Mandobi atingiu ponto de máximo em umidades do solo inferiores às do Belomonte, que reforçou sua superioridade nas capacidades de campo de 60% e 80% para transpiração, número de folhas verdes, número de estolões e massa seca de raiz. Considerando apenas a capacidade de campo de 60%, o Belomonte apresentou melhores respostas que o BRS Mandobi para fotossíntese, condutância estomática e número de estômatos na face adaxial da folha (Tabela 2).

Esses resultados estão de acordo com os descritos na literatura onde se relata que o Belomonte apresenta melhor desempenho produtivo em relação ao BRS Mandobi no período seco do ano. Santos (2012) observou que no período seco nas condições edafoclimáticas do Acre, o Belomonte apresentou cobertura do solo superior a 90%, enquanto o BRS Mandobi obteve cobertura do solo de apenas 76%. As diferenças na produção de matéria seca também foram expressivas, apresentando o Belomonte produtividade 138% superior à do BRS Mandobi (2034 kg/ha x 854 kg/ha).

Outros estudos também destacam o melhor desempenho do Belomonte em diferentes regiões do país com menor disponibilidade hídrica (SALES, et al., 2013a; FERNANDES et al., 2017; SIMEÃO et al., 2017; MIQUELONI, 2018; SANTOS, 2018).

Por outro lado, o BRS Mandobi apresentou superioridade em relação ao Belomonte para as características como o vigor da planta (60% da capacidade de campo), teor de clorofila (20% e 40% da capacidade de campo) e número de estômatos na face abaxial da folha (80% da capacidade de campo). Interessante salientar que no Experimento 1, o BRS Mandobi também mostrou superioridade para vigor e teor de clorofila avaliado pelo índice SPAD (Figura 9C e 9D). Nesse sentido, possivelmente, a cultivar BRS Mandobi por apresentar maior teor de clorofila, possui maior capacidade de captação de luminosidade para a fotossíntese (TAIZ et al., 2017). Embora esta cultivar não tenha um desempenho agrônomico igual ou superior ao Belomonte na seca, estes atributos lhe conferem maior tolerância à seca em condições de estresse hídrico severo, porém, com menor capacidade de acúmulo de biomassa total.

Experimentos que suprimem a irrigação em vasos relativamente pequenos (como realizado no Experimento 1) devem ser conduzidos por poucos dias (8 a 10 dias de experimentação), tempo este que pode ser insuficiente para que determinados genótipos sejam capazes de sofrer alterações morfofisiológicas que garantam melhor



resposta ao estresse. A manutenção de capacidades de campo fixas durante um período maior de experimentação (como feito no Experimento 2) se mostrou interessante para comparar o desempenho produtivo e as respostas morfofisiológicas em amendoim forrageiro. Apesar de não conclusivo, o Experimento 2 apresentou interessantes resultados que podem ser analisados para definição de futuros ensaios. O emprego de maior número de genótipos seria interessante opção associada ao uso de diferentes capacidades de campo.

## 5 CONCLUSÕES

Não foi possível diferenciar genótipos de amendoim forrageiro para melhor desempenho agrônômico sob déficit hídrico em ensaio conduzido com supressão da irrigação por 15 dias em vasos de 5 litros.

Genótipos identificados como mais tolerantes à seca ao terem suas próprias respostas comparadas nos regimes hídricos irrigado e não irrigado não necessariamente são os mais produtivos no período seco em avaliações de campo.

As correlações entre os caracteres agrônômicos e fisiológicos não mantêm o mesmo padrão nos regimes irrigado e não irrigado.

O regime hídrico de 20% da capacidade de campo reduz substancialmente o desempenho produtivo e fisiológico do Belomonte e do BRS Mandobi, não sendo possível a distinção entre as cultivares.

A seleção de genótipos para maior desempenho agrônômico sob déficit hídrico é adequada quando realizada a 40% da capacidade de campo. Porém, a validação desse método deve ser realizada com maior número de genótipos.

Características agrônômicas como número de estolões, massa seca de raiz e massa seca total mostram-se promissoras para uso na seleção de genótipos de amendoim forrageiro sob déficit hídrico. O vigor da planta deve ser utilizado com cautela, pois correlaciona-se negativamente com caracteres produtivos sob restrição hídrica.

## REFERÊNCIAS

- ABIEC - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE. Abiec: Perfil da pecuária no Brasil. Disponível em: <http://www.abiec.com.br/texto>. acesso em 23 de jan. de 2019.
- ALMEIDA, J.; TEZARA, W.; HERRERA, A. Physiological responses to drought and experimental water deficit and waterlogging of four clones of cacao (*Theobroma cacao* L.) selected for cultivation in Venezuela. **Water Manage**, v. 171, p.80-88. Jun. 2016.
- AMATO, A. L. P.; MAIA, F. C.; MAIA, M. DE S.; CAETANO, L. S.; SIMIONI, S. B.; CONTO, L. DE; BONINI FILHO, R. DE M. **Estabelecimento de condições de luz e temperatura para germinação de sementes de amendoim forrageiro**. Revista Brasileira de Sementes, Pelotas, v. 29, n. 3, p. 54-59, 2007.
- ARAÚJO, S. A. do C.; DEMINICIS, B. B. Fotoinibição da fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 7, n. 4, p. 463-472, out./dez. 2009.
- 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.
- ARUNYANARK, A.; JOGLOY, S.; AKKASAENG, C.; VORASOOT, K.; KESMALA, T.; NAGESWARA RAO, R. C.; WRIGHT, G. C.; PATANOTHAI, A. Chlorophyll stability is na indicador of drought tolerance in peanut. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 194, p. 113-125, 2008.
- ARRUDA, I. M.; CIRINO-MODA, A.; BURATTO, J. S.; FERREIRA, J. M. Crescimento e produtividade de cultivares e linhagens de amendoim submetidas a déficit hídrico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 2, p. 146-154, 2015.
- ALONZO, L. A. G.; FERREIRA, O. G. L.; VAZ, R. Z.; COSTA, O. A. D.; MOTTA, J. F.; BRONDANI, W. C. Amendoim forrageiro manejado com baixos resíduos de pastejo por ovinos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 69, n. 1, p. 173-180, jan./fev. 2017.
- ALSINA, M. M.; SMART, D. R.; BAUERLE, T.; HERRALDE, F.; BIEL, C.; STOCKERT, C. NEGRON, C.; SAVE, R. Seasonal changes of whole root system conductance by a drought-tolerant grape root system. **Journal of Experimental Botany**, V. 62, N. 1, p. 99-109, 2011.
- ANDRADE, C. M. S. de; VALENTIM, J. F.; CARNEIRO, J. da C.; VAZ, F. A. Crescimento de gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais sob sobreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 3, p. 263-270, mar. 2004.
- ANDRADE, C. M. S.; ASSIS, G. M. L.; FERREIRA, A. S. Eficiência de longo prazo da consorciação entre gramíneas e leguminosas em pastagens tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 25., 2015, Fortaleza. Dimensões tecnológicas e sociais da zootecnia: **Anais...** Fortaleza: ABZ, 2015.

ARGEL, P. J.; PIZARRO, E. A. Germoplasm case study: *Arachis pintoi*. In: **Pastures for the tropical lowlands - CIAT's Contribution**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 1992. p. 57-76.

ARGENTA, G. SILVA, P. R. F.; BARTOLINI, C. G. Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais. **Ciência Rural**, v. 31, n. 4, p. 715-722, July/Aug. 2001.

ASSIS, G. M. L. de; VALENTIM, J. F.; CARNEIRO JÚNIOR, J. M.; AZEVEDO, J. M. A.; FERREIRA, A. S. Seleção de genótipos de amendoim forrageiro para cobertura do solo e produção de biomassa aérea no período de estabelecimento utilizando-se metodologia de modelos mistos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 37, n. 11, p. 1905-1911, nov. 2008.

ASSIS, G. M. L. de. Melhoramento genético de forrageiras tropicais: importância e complexidade. In: GONÇALVES, R. C.; OLIVEIRA, L. C. de. (Ed.). **Embrapa Acre: ciência e tecnologia para o desenvolvimento sustentável do Sudoeste da Amazônia**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2009. p. 209-220.

ASSIS, G. M. L. de; VALENTIM J. F. Programa de melhoramento genético do amendoim forrageiro: avaliação agrônômica de acessos no Acre. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, Belém, v. 4, n. 8, p. 207-215, jan./jun. 2009a.

ASSIS, G. M. L. de; VALENTIM, J. F.; CUSTODIO, D. P. Variabilidade e correlações genotípicas entre características agrônômicas durante o estabelecimento de genótipos de *Stylosanthes guianensis* no Acre. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 46, 2009, Maringá, **Anais...** Maringá: SBZ, 2009b.

ASSIS, G. M. L.; CAMPOS, T.; BIANCHINI, P. C.; MATOS, L. R. A. Banco de Germoplasma de Amendoim Forrageiro: Conservação e utilização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE RECURSOS GENÉTICOS. 2., 2012. Belém. PA. **Anais...** Brasília. DF: Sociedade Brasileira de Recursos Genéticos. 2012. 1 CD-ROM.

ASSIS, G. M. L. de; VALENTIM J. F.; ANDRADE, C. M. S. de. BRS Mandobi: a new forage peanut cultivar propagated by seed for the tropics. **Tropical Grasslands**, Cali, v. 1, n. 1, p. 39-41, Sep. 2013.

ASSIS, G. M. L. de; VALENTIM, J. F. Forage peanut breeding program in Brazil. In: JANK, L.; CHIARI, L.; VALLE, C. B. do; RESENDE, R. M. S. (Ed.). **Forage breeding and biotechnology**. Brasília, DF: Embrapa; Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2013. p. 77-105.

ASSIS, G. M. L. de; MIQUELONI, D. P.; CLEMÊNCIO, R. M.; AZEVEDO, H. N. Seleção massal em amendoim forrageiro com foco no vigor de plantas, tamanho e produtividade de sementes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 53, 2016, Santa Maria. **Anais...** Lavras: SBZ, 2016.

ASSIS, G. M. L. de; SANTOS, C. F. Root system of forage peanut genotypes under two levels of water availability. In: INTERNATIONAL FORAGE E TURFING BREEDING

CONFERENCE, Lake Buena Vista, FLA global vision for innvation: abstract book. Lake Buena Vista: The Scotts Miracle-Gro Company: University of Florida, Mar, 2019, p. 21.

AZEVEDO NETO, A. D.; PEREIRA, A. P. P.; COSTA, P. D.; SANTOS, C. A. C. Fluorescência da clorofila como uma ferramenta possível para seleção de tolerância á salinidade em girassol. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 4, p. 893-897, 2011.

BARCELLOS, A. de O.; RAMOS, A. K. B.; VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G. B. Sustentabilidade da produção animal baseada em pastagens consorciadas e no emprego de leguminosas exclusivas, na forma de banco de proteína, nos trópicos brasileiros. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 37, n. spe, p. 51-67, jul. 2008.

BRASIL. 2011. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Registro Nacional de Cultivares. Brasília. Disponível em: <[http://extranet.agricultura.gov.br/php/snpc/cultivarweb/cultivares\\_registradas.php](http://extranet.agricultura.gov.br/php/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php)>. Acesso em: 14 out. 2018.

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. 2, p. 497-514, 1989.

BONIFACIO, A.; MARTINS, M. O.; RIBEIRO, C. W.; FONTENELE, A. V.; CARVALHO, F. E.; MARGIS-PINHEIRO, M. Á. R. C. I. A.; SILVEIRA, J. A. Role of peroxidases in the compensation of cytosolic ascorbate peroxidase knockdown in rice plants under abiotic stress. **Plant, cell & environment**, v. 34, n. 10, p. 1705-1722, 2011.

BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. Photosynthesis: in **Biochemistry & molecular biology of plants**. Rockville, Md.: American Society of Plant Physiologists, 2000.

CAIRO, P. A. R. *Curso básico de relações hídricas de plantas*. Vitória da Conquista. UESB, 32p, 1995.

CARVALHO, F.I.F.; LORENCETTI, C.; BENIN, G. **Estimativas e implicações da correlação no melhoramento vegetal**. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária - UFPel, 2004. 141p.

CARREGA, W. C.; SANTOS, J. I. dos.; CESARIN, A. E.; GALLARDO, G. J. T.; BACHA, A. L.; GODOY, I. J. de.; ALVES, P. L. DA C. A. Respostas fisiológicas de genótipos de amendoim à deficiência hídrica. **Revista Brasileira De Ciências Ambientais**. v. 54, p. 119-133, dez. 2019.

CÂMARA, T. M. M.; BENTO, D.A.V.; ALVES, G.F.; SANTOS, M.F.; MOREIRA, J.U.V.; SOUZA JÚNIOR, C.L. Parâmetros genéticos de caracteres relacionados à tolerância à deficiência hídrica em milho tropical. *Bragantia*, Campinas. v. 66, n. 4, p. 595-603, 2007.

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.

CHAVES, J. H.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; NEVES, J. C. L.; PEZZOPANE, J. E. M.; POLLI, H. Q. Seleção precoce de clones de eucalipto para ambientes com disponibilidade diferenciada de água no solo: relações hídricas de plantas em tubetes. **Revista Árvore**, v.28, n.3, p. 333-341, 2004.

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

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.

CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia Vegetal: Estrutura e Função de Órgãos Vegetativos**. Lavras: UFLA, 2009. 234 p.

CASAROLI, D.; FAGAN, E. BINOTTO, SIMON, J. MEDEIROS, S. P.; MANFRON, P. A.; DOURADO NETO, D.; LIER, Q. J. V.; MULLER, L.; MARTIN, T. N. Radiação solar e aspectos fisiológicos na cultura de soja: Uma revisão. **Revista da FZVA**, Uruguiana, v. 14, n. 2, p. 102-120, 2007.

COOK, B. G.; WILLIAMS, R. J.; WILSON, G. P. M. Register of australian plant cultivars. B. Legumes. 21. *Arachis* (a) *Arachis pinto* Krap. & Greg. nom. nud. (Pinto peanut) cv. Amarillo. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v. 30, p. 445-446, 1990.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4 ed. Viçosa. MG: UFV, 2012.

CRUZ, C. D. GENES: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento Genético**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2014. 668 p.

DURÃES, F. O. M.; GOMES E GAMA, E. E. G.; SANTOS, F. G.; GUIMARÃES, C. M.; RIBEIRO JR., W. Q.; TRINDADE, M. G.; GOMIDE, R. L.; ALBUQUERQUE, P. E. P. **Fenotipagem para tolerância a seca: protocolos e características específicas visando melhoramento genético de cereais**. Embrapa Milho e Sorgo, 2004. 16 p. (Circular Técnica, 54).

DUTRA, F.; MELO, A. S.; FILGUEIRAS, L. M. B.; SILVA, A. R. F.; OLIVEIRA, I. M.; BRITO, M. E. B. Parâmetros fisiológicos e componentes de produção de feijão-caupi cultivado sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 2, p. 189-197, 2015.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Balanco Social 2017**, 2017. Disponível em < <http://bs.sede.embrapa.br/2016/>>. Acesso em 16 jan. 2019.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Balanco Social 2016**, 2016. Disponível em < <http://bs.sede.embrapa.br/2016/>>. Acesso em 30 ago. 2018.

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.

ERMGASSEN, ERASMUS K.H.J. ZU; ALCÂNTARA, M. P. DE; BALMFORD, A.; BARIONI, L.; BEDUSCHI NETO, F.; BETTARELLO, M. M. F.; BRITO, G. DE; CARRERO, G. C.; FLORENCE, E. DE A.S.; GARCIA, E.; GONÇALVES, E. T.; LUZ, C. T. DA; MALLMAN, G. M.; STRASSBURG, B. B.N.; VALENTIM, J. F.; LATAWIEC, A. Results from On-The-Ground Efforts to Promote Sustainable Cattle Ranching in the Brazilian Amazon. **Sustainability**, v. 10, n. 4, p. 1-26, Apr. 2018.

FERRÃO, R. G; MOREIRA, S. O.; FERRÃO, M. A. G.; RIVA, E. L; ARANTES, L. de O; COSTA, A. de F. S. da; CARVALHO, P. L. T. de; GALVÊAS, P. A. O. Genética e melhoramento: desenvolvimento e recomendação de cultivares com tolerância à seca para o Espírito Santo. **Incaper em Revista**, Vitória, ES, v. 6-7, n. 4, p. 51-71, dez. 2016.

FAROOQ, M; WAHID, A; KOBAYASHI, N; FUJITA, D; BASRA S. M. A. Plant drought Stress: Effects, mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable and Development**, v. 29, p. 185-212, Jan. 2009.

FERNANDES, F. D.; RAMOS, A. K. B.; CARVALHO, M. A.; MACIEL, G. A.; ASSIS, G.M. L.; BRAGA, G. J. Forage yield and nutritive value of *Arachis* spp. genotypes in the Brazilian savanna. **Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales**, v.5, n.1, p.19-28, 2017.

FERRÃO, R. G; MOREIRA, S. O.; FERRÃO, M. A. G.; RIVA, E. M. Genética e melhoramento: desenvolvimento e recomendação de cultivares com tolerância à seca para o Espírito Santo. **Incaper em Revista**, v. 6 e 7, n. 4, p. 51-71, 2016.

FERREIRA, A. S. **Desempenho agrônomo, características morfofisiológicas e valor nutritivo da forragem de quatro genótipos de amendoim forrageiro sob corte**. 2014. 76 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, A. L.; MAURÍCIO, R. M.; PEREIRA, L. G. R.; AZEVÊDO, J. A. G.; OLIVEIRA, L. S.; PEREIRA, J. M. Nutritional divergence in genotypes of forage peanut. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 41, n. 4, p. 856-863, abr. 2012.

FOYER, C. H.; BLOOM, A.; QUEVAL, G.; NOCTOR, G. Photorespiratory metabolism: genes, mutants, energetics, and redox signaling, **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 60, n. 1, p. 455-484, Jan./Dec. 2009.

FLEXAS, J.; DIAZ-ESPEJO, A.; GALMÉS, J.; KALDENHOFF, R.; MEDRANO, H.; RIBAS-CARBO, M.; Rapid variations of mesophyll conductance in response to changes in CO<sub>2</sub> concentration around leaves. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 30, n. 10, p. 1284-1298, Oct. 2007.

FLEXAS, J.; BARBOUR, M. M.; BRENDEL, O.; CABRERA, H. M.; CARRIQUÍ, M.; DÍAZ-ESPEJO, A.; DOUTHE, C.; DREYER, E.; FERRIO, J. P.; GAGO, J. Mesophyll diffusion conductance to CO<sub>2</sub>: An unappreciated central player in photosynthesis. **Plant Science**, Amsterdam, v. 193-194, n. 1, p. 70-84, Sep. 2012.

FLEXAS, J.; DÍAZ-ESPEJO, A.; CONESA, M. A.; COOPMAN, R. E.; DOUTHE, C.; GAGO, J.; TOMÀS, M. Mesophyll conductance to CO<sub>2</sub> and Rubisco as targets for improving intrinsic water use efficiency in C<sub>3</sub> plants. **Plant, Cell & Environment**, v. 39, n. 5, p. 965-982, 2016.

FRITSCH NETO, R.; BORÉM, A. **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011, p. 29-38, out. 2011.

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

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.

GRACIANO, E. S. A. **Estudos fisiológicos e bioquímicos de cultivares de amendoim (Arachis hypogaea L.) submetidos à deficiência hídrica. 2009.** 66 f. Dissertação (Mestrado em Botânica/ Biotecnologia e Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

GRACIANO, E. S. A.; SANTOS, H. R.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Trocas gasosas, eficiência fotoquímica e pigmentos fotossintéticos de cultivares de amendoim sob deficiência hídrica no solo. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, Guarapuava-PR, v.9, n.1, p.27-36, 2016.

GRIFFITHS, H.; PARRY, M. A. J. Plant responses to water stress. **Annals of Botany**, v.89, p.801-802, 2002.

GOBBI, K. F.; GARCIA, R.; VENTRELLA, M. C.; NETO, A. G.; ROCHA, G. C. Área foliar específica e anatomia foliar quantitativa do Capim-Braquiária e do Amendoim Forrageiro submetidos a sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 7, p. 1436-1444, ago. 2011.

GONÇALVES, E. R.; FERREIRA, V. M.; SILVA, J. V. ENDRES, L.; BARBOSA, T. P.; DUARTE, W. G. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana



de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 14, n. 4, p. 378-386, abr. 2010.

GOSS, R.; LEPETIT, B. Biodiversity of NPQ. **Journal of plant physiology**, v. 172, n. 1, p. 13-32, 2015.

GOSS, J. A. **Physiology of plants and their cells**, New York: **Pergamon**. 1973. 457p.

GOWIK, U.; WESTHOFF, P. The path from C3 to C4 photosynthesis. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 155, n. 1, p. 56–63, Jan. 2011.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; OLIVEIRA, J. P.; RANGEL, P. H. N.; RODRIGUES, C. A. P. Sistema radicular do arroz de terras altas sob deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 1, p. 126-134, 2011.

HOANG, V. D.; LOAN, N. T.; TAM, B. T.; THIEM, T. T. Effects of fertilization Ratios on the growth of pinto peanut (*Arachis pintoï*) under drought stress conditions. **Vietnam Journal of Agricultural Sciences**, v. 1, n. 4, p. 249-260, Mar. 2018.

HONG, Y.; ZHOU, G.; LI, S.; LIU, H.; CHEN, X.; WEN, S.; LIANG, X. The relationship between root traits and aboveground traits in peanut (*Arachis hypogaea* L.). **African Journal of Agricultural Research**, Lagos, v. 7, n. 46, p. 6186-6190, 2012.

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

HENDRY, G.A.F.; PRICE, A.H. Stress indicators: chlorophylls and carotenoids. In: **Methods in comparative plant ecology**. London: Chapman & Hall, 1993. p.148-152.

HUTTON, P. G; KENYON, P. R; BEDI, M. K.; KEMP, P. D; STAFFORD, K. J; WEST, D. M; MORRIS, S. T. A herb and legume sward mix increased ewe milk production and ewe and lamb live weight gain to weaning compared to a ryegrass dominant sward. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 164, n. 1-2, p. 1-7, Feb. 2011.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. Censo Agropecuário. Disponível em: <https://WWW.sidra.ibge.gov.br/tabela/6783>>. Acesso em: 15 Jul. 2019.

INMAN-BAMBER, N.G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**, v.89, np.107-122, Sep. 2004.

INMAN-BAMBER, N.G.; SMITH, D.M. Water relations in sugarcane and response to water deficits, **Field Crops Research**, v.92, p.185-202, 2005.

JABEEN, F.; SHAHBAZ, M.; ASHRAF, M. Discriminating some prospective cultivars of maize (*Zea mays* L.) for drought tolerance using gas exchange characteristics and proline contents as physiological markers. **Pakistan Journal of Botany**, v. 40, n. 6, p. 2329-2343, 2008.

JIANG, C. D.; GAO, H. Y.; ZOU, Q.; JIANG, G. M.; LI, L. H. Leaf orientation, photorespiration and xanthophyll cycle protect young soybean leaves against high irradiance in field. **Environmental and Experimental Botany**, v. 55, p. 87-96, 2006.

JAIMEZ, R. E.; RADA, F.; GARCÍA-NUÑEZ, C.; AZOCÁR, A. Seasonal variations in leaf gas exchange of plantain cv. 'Hartón' (Musa AAB) under different soil water conditions in a humid tropical region. **Scientia Horticulturae**, v.104, p.79-89, 2005.

KAHLE; ROBERT; CADISCHI, G. RAO, I. M. Responses of different tropical forage legumes under stress factors of acid and drought. In: CONFERENCE ON INTERNATIONAL RESEARCH ON FOOD SECURITY, Gottingen. **Proceedings...** Gottingen: George-August-Universität Gottingen, 2012.

KLUGE, R. A.; ULIANNA, T.; SILVA, J. V. Aspectos Fisiológicos e Ambientais da Fotossíntese, **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 1, p. 56-73, nov. 2015.

KRAPOVICKAS, A.; GREGORY, W.C. Taxonomy of the genus *Arachis* (Leguminosae). **Bonplandia**, Corrientes, v. 16, n. 1, p. 1-205, [Dec.] 2007. (Supl).

KRAMER, D. M.; EVANS, J. R. The importance of energy balance in improving photosynthetic productivity. **Plant Physiology**, Rockville, v. 155, n. 1, p. 70-78, Jan. 2011.

LAPIG. Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento. Disponível em: <<https://pastagem.org/index.php/pt-br/>>. Acesso em: 15 nov. 2020.

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

LADEIRA, M. M.; RODRIGUEZ, N. M.; BORGES, I.; GONÇALVES, L. C.; SALIBA, E. D. E O. S.; BRITO, S. C.; SÁ, L. A. P. de. Avaliação de feno de *Arachis pinto* utilizando ensaios de digestibilidade *in vivo*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 2350-2356, 2002.

LASCANO, C. E. Nutritive value and animal production of forage *Arachis*. In: KERRIDGE, P. C.; HARDY, B. (Eds.). **Biology and Agronomy of forages Arachis**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 1994. p. 109-121.

LAWLOR, D.W.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant, Cell & Environment**, v.25, n.2, p. 275-294, 2002.

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.

LEONARDO, F. A. P.; PEREIRA, W. E.; SILVA, S. M.; COSTA, J. P. Teor de clorofila e índice SPAD no abacaxizeiro cv. vitória em função da adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 2, p. 377-383, 2013.

LEVITT, J. **Response of plants to environmental stress. II: Water radiation, salt and other stress.** New York: Academic Press, 1980. 606p.

LICHTENTHALER, H. K.; BUSCHMANN, C.; KNAPP, M. How to correctly determine the different chlorophyll fluorescence parameters and the chlorophyll fluorescence decrease ratio R<sub>Fd</sub> of leaves with the PAM fluorometer. **Photosynthetica**, v. 43, n. 3, p. 379-393, 2005.

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.

LIMA, J. A; PINTO, J. C.; EVANGELISTA, A. R.; SANTANA, R. A. V. **Amendoim forrageiro** (*Arachis pintoii* Krapov. & Greg). Lavras: UFLA/CNPq. 2003. 18 p.

LISAR, S. Y. S.; MOTAFAKKERAZAD, R.; HOSSAIN, M. M.; RAHMAN, I. M. M. **Water stress in plants: causes, effects and responses.** In: RAHMAN, I. M. M, Water Stress, Rijeka: INTECH, 2012, p. 1-14.

LLOYD, J.; FARQUHAR, G. D. Effects of rising temperatures and [CO<sub>2</sub>] on the physiology of tropical forest trees. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, Londres, v. 363, n. 1498, p. 1811-1817, May 2008.

LUCCARELLI, R. S.; SANTOS, G. Análise da viabilidade econômica da pecuária de corte na fase de cria em Itapira, SP. **Revista Ipecege**, v.2, n.4, p.73-82, 2016.

MACHADO, E. C. et al. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, n. 12, p. 1161-1170, 2005.

MAGALHÃES, P. C.; PEREIRA, F. J.; SCHAFFERT, R. E.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; MAGALHÃES, J. V. Características morfofisiológicas e de produção de seis genótipos de sorgo submetidos ao estresse hídrico. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 22, 16 p. 2010.

MAGALHÃES, M. de A; MARTUSCELLO, J. A; FONSECA, D. M. da; OLIVEIRA, I. M. de; FREITAS, F. P. de; FARIA, D. J. G; OLIVEIRA, R. A. de; RIBEIRO JÚNIOR, J. I. Influência da irrigação, da densidade de plantio e da adubação nitrogenada nas características morfogênicas, estruturais e de produção do capim-tanzânia. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 40, n. 11, p. 2308-2317, dez. 2011.

MAIA, C. F.; SILVA, B. R. S.; LOBATO, S. A. K. Brassinosteroids Positively Modulate Growth: Physiological, Biochemical and Anatomical Evidence Using Two Tomato Genotypes Contrasting to Dwarfism. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 37, n. 4, p. 1099-1112, 2018.

MAPA - Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. CULTIVARWEB-Gerenciamento de Informação. **Registro Nacional de Cultivares**. Disponível em <[http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares\\_registradas.php](http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php)>. Acesso em 10 set. 2019.

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

MATOS, S. F.; BORGES, P. L.; AMARO, L.C.; OLOVEIRA, B. de D.; CARMO, S. do M. TORRES JÚNIOR, D. H. **Folha seca: Introdução à fisiologia vegetal**. 1. ed. Curitiba: Appris. 2019. 189 p.

MARTINS, M. O. **Regulação da fotossíntese por deficiência hídrica, nitrogênio e CO<sub>2</sub> elevado em cana-de-açúcar**. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Bioquímica, Universidade Federal do Ceará. 97p. 2012.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence: a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 51, n. 345, p. 659-668. Apr. 2000.

MENEZES, A. P. M.; ASSIS, G. M. L.; MATAVELI, M.; SILVA, H. S. F.; AZEVEDO, J. M. A.; MENDONÇA, M. S. Genetic divergence between genotypes of forage peanut in relation to agronomic and chemical traits. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.41, n. 7, p. 1608-1617, 2012.

MEYER, B.; ANDERSON, D.; BÖHNING, R.; FRATIANNE, D. **Introdução à fisiologia vegetal**. 2.ed. Lisboa: Fundação Colouste Gulbeukian, 1973. 710p.

MITRA J. 2001. Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. **Current Science**, India, v. 80, p. 758-762, 2001.

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

MINOLTA, C. **Manual for chlorophyll meter SPAD-502**. Osaka: Minolta Radiometric Instruments Divisions, 1989. 22p.

MIQUELONI, D. P.; BEBER, P. M.; ASSIS, G. M. L. de. Correlação entre produção de matéria fresca e seca em amendoim forrageiro. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFAC, 2017, Rio Branco. Anais...Rio Branco: Ufac, 2018, p 489.

MIQUELONI, D. P. **Variabilidade genética em amendoim forrageiro via modelos mistos e análise multivariada**. 2018. 161 p. Tese (Doutorado em Agronomia). Departamento de Engenharia Agrônômica, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, AC, 2018.

MIRANDA, C. H. B.; VIEIRA, A.; CADISCH, G. Determinação da fixação biológica de nitrogênio no amendoim forrageiro (*Arachis spp.*) por intermédio da abundância natural de <sup>15</sup>N. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 32, n. 6, p. 1859-1865, nov./dez. 2003.

MONTEIRO, J. G.; CRUZ, F. J. R.; NARDIN, M. B.; SANTOS, D. M. M. Crescimento e conteúdo de prolina em plântulas de guandu submetidas a estresse osmótico e à putrescina exógena. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, n.1, p.18-25, 2014.

MOTA, B. B.; RIBEIRO, T. O.; AZEVEDO, H. N.; MIQUELONI, D. P.; ASSIS, G. M. L. Correlações fenotípicas entre caracteres morfológicos em progênies F2 de amendoim forrageiro. In: CONGRESSO REGIONAL DE PESQUISA DO ESTADO DO ACRE, 1, 2015, Rio Branco. **Anais...** Rio Branco: UFAC, 2015.

MURCHIE, E. H.; NIYOGI, K. K. Manipulation of photoprotection to improve plant photosynthesis. **Plant Physiology**, Rockville, v. 155, n. 1, p. 86–92, Jan. 2011.

MURPHY, M. R. C.; JORDAN, G. J.; BRODRIBB, T. J. Differential leaf expansion can enable hydraulic acclimation to sun and shade. **Plant, Cell & Environment**, **Chichester**, v. 35, n. 8, p. 1407-1418, Aug. 2012.

NASCIMENTO, I. S. O cultivo do amendoim forrageiro. **Revista Brasileira Agrociência**, v. 12, n. 4, p. 387-393, 2006.

NOGUEIRA, A. P.; SEDIYAMA, Y.; SOUZA, L. B.; HAMAWAKI, O. T.; CRUZ, C. D.; FERREIRA, D. G. Análise de trilha e correlações entre caracteres em soja cultivada em duas épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 6, p. 877-888, 2012.

OLIVEIRA, A. D. de; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. de J. D. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em feijão. **Engenharia Agrícola**, **Jaboticabal**, v. 25, n. 1, p. 86-95, 2005.

OLIVEIRA, P. P. A.; ASSIS, G. M. L. de.; CAMPANA, M. Yield and forage quality of cultivars and accessions of perennial peanuts. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FORAGE BREEDING, 3., 2011, Bonito. **Proceedings...** Bonito, 2011.

PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; BERNINI, C. S.; GUIMARÃES, P. de S.; RODRIGUES, C. S. Estratégias de melhoramento para tolerância à seca em germoplasma de milho tropical. v. 1, n. 1, **Singular Meio Ambiente e Agrárias**, ago. 2019.

PARIS, W.; CECATO, U.; BRANCO, A. F.; BARBERO, L. M.; GALBIERO, S. Produção de novilhas de corte em pastagem de Coastcross-1 consorciada com *Arachis pintoi* com e sem adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, n. 1, p. 122-129, jan. 2009.

PAGANELLA, M. B.; VALLS, J. F. M. Caracterização morfológica de cultivares e acessos selecionados de *Arachis pintoi* Krapov. & Gregory. **Pasturas Tropicais**, Cali, v.24, n.2, p.23-30, 2002.

PARRY, M. A. J.; ANDRALO, J. C. P. J.; KHAN, S.; LEA, P. J.; KEYS, A. J. Rubisco activity: Effects of drought stress. **Annals of Botany**, Oxford, v. 89, n. 7, p. 833-839, Jun. 2002.

PEREIRA, J. M. **Amendoim forrageiro cultivar Belomonte**: nova opção de leguminosa forrageira para o sul da Bahia. Ilhéus: Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC), 1999. 6 p.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. *Agrometeorologia fundamentos e aplicações*. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PEREIRA, J. M. **Utilização de leguminosas forrageiras na alimentação de bovinos**. Comissão executiva do plano de lavoura cacaueteira. Artigos Técnicos. Disponível em: <http://www.ceplac.gov.br/radar/Artigos/artigo29.htm>. Acesso em 19 jun. 2018.

PEREIRA, J. W. L.; SILVA, E. C. A.; LUZ, L. N.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; MELO FILHO, P. A.; LIMA, L. N.; SANTOS, R. C. Cluster analysis to select peanut drought tolerance lines. **Australian Journal of Crop Science**, Australia, v. 9, n. 11, p. 1095-1105, mar. 2015.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia fundamentos e aplicações**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PEREZ, N. B.; NABINGER, C.; MARASCHIN, G. E. Desenvolvimento, lançamento e adoção de uma cultivar de amendoim forrageiro - *Arachis pintoi*, Krapovickas & Gregory - para o sul do Brasil. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS GENÉTICOS PARA A AMÉRICA LATINA E CARIBE, 3, 2001, Londrina, PR. **Anais...** Londrina: IAPAR, 2001. p. 90-93.

PEREZ, N. B. **Amendoim forrageiro**: leguminosa perene de verão: Cultivar Alqueire-1 (BRA 037036). Porto Alegre: Fazenda Alqueire, 2004. 29 p. (Boletim técnico).

PEIXOTO, C.P.; PEIXOTO, M.F.S.P. Dinâmica do crescimento vegetal (Princípios básicos). **Universidade Federal da Bahia**. Cruz das Almas, 2004. p.1-20

PIMENTEL, C.; PEREZ, A. J. de L. C. Estabelecimento de parâmetros para avaliação de tolerância à seca, em genótipos de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.31-39, jan. 2000.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil, Edur, 2004.

PINHEIRO, C; CHAVES, M. M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, n. 3, p. 869-882, 2011.

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.

PIZARRO, E. A.; RINCÓN, A. Regional experience with forage *Arachis* in South America. In: KERRIDGE, P. C.; HARDY, B. (Ed.). **Biology and agronomy of forage Arachis**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 1994. p. 144-157.  
PRISCO, J. T. **Fotossíntese e Fotorrespiração**. Fortaleza, CE, 1989, 20p.

PÔRTO, M. L; PUIATTI, M.; FONTES, P. C. R; CECON, P. R.; ALVES, J. C.; ARRUDA, J. A. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio na cultura da abobrinha. **Horticultura Brasileira**, v.29, p. 311-315, 2011.

QUEIROZ, R. J. B.; SANTOS, D. M. M.; CARLIN, S. D.; MARIN, A.; BANZATTO, D. A.; CAZETTA, J. O. Osmoprotetores em cana-de-açúcar sob efeito da disponibilidade hídrica no solo. **Científica**, v.36, n.2, p.107-115, 2008.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; ZIMMERMAN, M. J. O. **Genética quantitativa em plantas autógamas**: aplicações ao melhoramento do feijoeiro. Goiânia: Editora UFG, 1993. 271 p.

RAMOS, A. K. B.; BARCELLOS, A. de O.; FERNANDES, F. D. Gênero *Arachis*. In: FONSECA, D. M. da; MARTUSCELLO, J. A. (Ed.). **Plantas forrageiras**. Viçosa, MG: UFV, 2010. p. 249-293.

RAMOS JUNIOR, E. U.; MACHADO, R. A. F.; OLIBONE, D.; CASTOLDI, G.; RAMOS, B. M. Crescimento de plantas de cobertura sob déficit hídrico. **Semina, Ciências Agrárias**, v. 34, n. 1, p. 47-56, 2013.

RAVEN, P. H. *Biologia vegetal*. Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan, 2007. 830p.

RESENDE, M. D. V. de. **Genética quantitativa e de populações**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2015. 452p.

SAGE, R F.; STATA, M. Photosynthetic diversity meets biodiversity: the C4 plant example. **Journal of plant physiology**, v. 172, n. 1, p. 104-119, 2015.

SALES, R. M. P. **Efeito da deficiência hídrica associada à adubação nitrogenada sobre crescimento e estabelecimento de *Arachis pinto* cv. Belomonte**. 2011. 65 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2011.

SALES, R. M. P.; FRIES, D. D.; BONOMO, P.; PIRES, A. J. V.; CAMPOS, C. N.; BRITO, P. H. R.; PEREIRA, I. S.; SANTOS, J. da S. Effect of water stress on the growth of *Arachis pinto* plants under different nitrogen levels. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 42, n. 3, p. 149-154, mar. 2013a.

SALES, M. F. L.; ANDRADE, C. M. S.; FARINATTI, L. H. E.; PORTO, M. O.; MESQUITA, A. Q.; CLEMÊNCIO, R. M. Desempenho produtivo de bovinos de corte em pastos consorciados com amendoim forrageiro cultivar Mandobi, no Acre. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 25., 2015, Fortaleza. Dimensões tecnológicas e sociais da Zootecnia: **Anais...** Fortaleza: SBZ, 2015. 3 p.

SALES, C. R. G.; RIBEIRO, R. V.; SILVEIRA, J. A. G.; MACHADO, E. C.; MARTINS, M. O.; LAGÔA, A. M. M. Superoxide dismutase and ascorbate peroxidase improve the recovery of photosynthesis in sugarcane plants submitted to water deficit and low substrate temperature. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 73, p. 326-336, Oct, 2013b.

SALLA, L.; RODRIGUES, J. C.; MARENOS, R. A. Teores de clorofila em árvores tropicais determinados com SPAD-502. **Revista Brasileira de Biociências**, v.5, p.59-161, 2007.

SANTOS, E. C. **Características agronômicas e bromatológicas de amendoim forrageiro em diferentes intervalos de corte**. 2012. 96 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal do Acre, 2012.

SANTOS, C. F. dos; MIQUELONI, D. P.; ASSIS, G. M. L. de. Restrição hídrica no aparecimento de estolões de amendoim forrageiro. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFAC, 26., 2017, Rio Branco, AC. **Anais...** Rio Branco, AC: UFAC, 2017.

SANTOS, C. F. dos. **Avaliação genética em amendoim forrageiro para caracteres agronômicos e bromatológicos em função da disponibilidade hídrica**. 2018. 201 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Acre, Acre, 2018.

SHARMA, T. D.; BERMACCHI, C. J.; FARQUHAR, G. D.; SINGSAAS, E. L. Fitting photosynthetic carbon dioxide response curves for C3 leaves. **Plant, Cell and Environment**, v. 30, p. 1035-1040, 2007.

SCHREIBER, U.; BILGER, W.; NEUBAUER, C. Chlorophyll fluorescence as a nonintrusive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis. In: Schulze, E.D.; Caldwell, M.M., eds. **Ecophysiology of photosynthesis**. Berlim: Springer, p. 49-70, 1994.

SHARWOOD, R. E.; GHANNOUM, O.; WHITNEY, S. M. Prospects for improving CO<sub>2</sub> fixation in C<sub>3</sub>-crops through understanding C<sub>4</sub>-Rubisco biogenesis and catalytic diversity. **Current opinion in plant biology**, v. 31, p. 135-142, 2016.

SEKI, M.; UMEZAWA, T.; URANO, K.; SHINOZAKI, K. Regulatory metabolic networks in drought stress responses. **Current Opinion in Plant Biology**, Oxford, v. 10, n. 3, p. 296–302, Jun. 2007.

SHELTON, H. M.; FRANZEL, S.; PETERS, M. Adoption of tropical legume technology around the world: analysis of success. **Tropical Grasslands**, Cali, v. 39, n. 4, p. 198-209, Dec. 2005.

SILVA, M. A.; JIFON, J. L.; SILVA, J. A. G. da; SHARMA, V. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. **Brazilian Journal Physiology**, V. 19, n. 3, p. 193-201, 2007.

SILVA, A. L.; SANTOS, M. V. F.; FERREIRA, R. L. C.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; LIRA, M. A.; CUNHA, M. V.; PEREIRA, A. V.; ARAÚJO, G. G. L. Variabilidade e herdabilidade de caracteres qualitativos relacionados à qualidade de forragem de clones de capim-elefante na Zona da Mata de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40. n.1, p.39-46, 2011.

SILVA, M. de A.; JIFON, J.L.; SILVA, J.A.G. da; SANTOS, C.M. dos; SHARMA, V. Relationships between physiological traits and productivity of sugarcane in response to water deficit. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, 2013.



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

SILVA, F. G.; DUTRA, W. F.; DUTRA, A. F.; OLIVEIRA, I. M.; FILGUEIRAS, L. M. B.; MELO, A. S. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.10, p. 946-952, 2015.

SILVA, R. R. RAMOS, J. P. C.; LUZ, L. N.; CAVALCANTI, J. J. V.; LIMA, L. M; FREIRE, R. M. M.; SILVA, C. R. C.; SANTOS, R. C. Assessment of genetic divergence in runner peanut genotypes grown in the Brazilian Northeast environments. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 16, p. 1456-1462, Apr. 2016.

SILVA, R. S. da; COSTA, V. L. da; ASSIS, G. M. L. de. Correlações entre caracteres agrônômicos avaliados em progênies de amendoim forrageiro em Rio Branco, Acre. In: CONGRESSO REGIONAL DE PESQUISA DO ESTADO DO ACRE, 2, 2016, Rio Branco. **Anais...** Rio Branco: UFAC, 2016.

SILVA, J. de S.; PINTO, L. A.; M. FREITAS, FEITOSA, G. de; A. J. S.; SILVA, C. L. da; ALVAREZ-PIZARRO, J. C. Parâmetros morfológicos e fisiológicos de *Brachiaria brizantha* submetida ao déficit hídrico. **Acta Iguazu**, Cascavel, v.7, n.5 (Suplemento), p. 71-81, 2018.

SILVEIRA, R. D. D.; PANTALIÃO, G. F., BRONDANI, C. Estudos genômicos de tolerância à seca em arroz: uma breve revisão. **Multi-Science Journal**, Urutaí, GO, v. 1, n.1, p.62-69, 2015.

SMIT, M. A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 98, n. 2-3, p. 91-97, Aug./Sep. 2006.

SIMEÃO, R. M.; ASSIS, G. M. L.; MONTAGNER, D. B.; FERREIRA, R. C. U. Forage peanut (*Arachis* spp.) genetic evaluation and selection. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 72, n. 2, p. 322-332, June 2016.

SOUZA, F. H. D. de; ASSIS, G. M. L. de; VALENTIM, J. F.; CAVARIANI, C. Longevity of *Arachis pintoi* cv. BRS Mandobi seeds stored under different conditions. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 39, n. 3, p. 288-296, July/Sep. 2017.

SUN, X.; XU, Y.; ZHANG, Q.; LI, X.; YAN, Z. Combined effect of water inundation and heavy metals on the photosynthesis and physiology of *Spartina alterniflora*. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 153, n. 6, p. 248-258, 2018.

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**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed. 2017. 888 p.

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

TEIXEIRA, P.C; DONAGEMMA, G. K; FONTANA, A. I; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. Embrapa Solos, 3 ed. Rio de Janeiro, RJ, 2017. 573 p.

THIESEN, L. A.; PINHEIRO, M. V. M.; HOLZ, E.; FONTANA, D. C.; SANTOS, J. dos. Correlação de Pearson entre pigmentos fotossintetizantes e fitomassa de plantas de *Aloysia triphylla*. **Journal of Environmental Analysis and Progress**. v. 2, n. 3, p. 249-257, 2017.

TORRES NETTO, A.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J.G.; BRESSAN-SMITH, R.E. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 104, n. 2, p. 199-209, 2005.

TUKEY, J. W. Comparing individual means in the analysis of variance. **International Biometric Society**, Washington, v. 5, n. 2, p. 99-114, 1949.

URBANSKI, A. S. **Consórcio de pastagens como ferramenta para aumento de produtividade animal na Amazônia Ocidental**. 2016. 45 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Pós-Graduação em Ciência Animal, Universidade Federal do Acre, Rio Branco - AC, 2016.

UNÊDA-TREVISOLI, S. H. **Estabilidade fenotípica e potencialidade de progênes obtidas por cruzamentos óctuplos em soja**. 2000. 228f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

VALLS, J. F. M. Origem do germoplasma de *Arachis pinto* disponível no Brasil. In: PIZZARO, E. A. (Ed.). REUNIÓN DE LA RED INTERNACIONAL DE EVALUACIÓN DE PASTOS TROPICALES - (RIEPT), 1, 1992, Brasília, DF. **Anais...** Cali: CIAT, 1992. p. 81-96.

VALLS, J. F. M.; MAASS, B. L.; LOPES, C. R. Genetic Resources of wild *Arachis* and genetic diversity. In: KERRIDGE, P. C.; HARDY, B. (Ed.). **Biology and agronomy of forage Arachis**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 1994. p. 28-42.

VALENTIM, J. F.; CARNEIRO, J. da C.; SALES, M. F. L. **Amendoim forrageiro cv. Belomonte**: leguminosa para a diversificação das pastagens e conservação do solo no Acre. Rio Branco: Embrapa Acre, 2001. 18 p. (Embrapa Acre. Circular técnica, 43).

VALENTIM, J. F.; ANDRADE, C. M. S. de; MENDONÇA, H. A. de; SALES, M. F. L. Velocidade de Estabelecimento de Acessos de Amendoim Forrageiro na Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 32, n. 6, p. 1569-1577, nov./dez. 2003. (Supl., 1).

VALENTIM, J. F.; ASSIS, G. M. L.; SÁ, C. P. Produção de sementes em amendoim forrageiro (*Arachis pinto*) no Acre. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, Belém, PA, v. 4, n. 8, p.189-205, jan./jun. 2009.

VALENTIM, J. F.; ANDRADE, C. M. S. Métodos de plantio direto de *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés em pastagem dominada por *Arachis pintoii* cv. Belomonte na Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 25., 2015, Fortaleza. **Dimensões tecnológicas e sociais da Zootecnia: anais**. Fortaleza: ABZ, 2015. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa>>Acesso em: 17 junho de 2019.

VALENTIM, J. F.; ANDRADE, C. M. S. de; ASSIS, G. M. L. de; SÁ, C. P. de; COSTA, F. de S.; SALES, M. F. L.; FERREIRA, A. S.; MESQUITA, A. Q. de; COSTA C. R. da. **Semeadura de amendoim forrageiro BRS Mandobi em pastagens estabelecidas**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2017. 16 p. (Circular técnica, 73).

VASCONCELOS, J. M.; SALES, M. F. L.; ANDRADE, C.M.S.; FERINATTI, L. H. E. Performance of nelore steers grazing pure and mixed pastures in Acre. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 50, **Anais...** Piracicaba: ESALQ-USP, 2013.

VERSLUES, P. E; ARGAWAL, M; KATIYAR-ARGAWAL, S; ZHU, J; ZHU, J, K. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. **The Plant Journal**, v. 45, p. 523-539, 2006.

WU, Y. T.; LI, C.; WU, C.; HUANG, G. Chlorophyll fluorescence and yield responses of winter wheat to waterlogging at different growth stages. **Plant Production Science**, v. 18 n. 3, p. 284-294, 2015.

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.

XU, W.; ROSENOW D.T.; NGUYEN, H.T. Stay green trait in grain sorghum: Relationship between visual rating and leaf chlorophyll concentration. **Plant Breeding**, Berlin, v. 119, n. 4, p. 365-367, 2000.

YAMORI, W.; HISOSAKA, K.; WAY, D. A. Temperature response of photosynthesis in C3, C4 and CAM plants: temperature acclimation and temperature adaptation. **Photosynthesis Research**, Dordrecht, v. 119, n. 1, p. 101-117, Feb. 2014.

YOUSFI, M. D.; SERRET, J. L.; ARAUSSHOOT.  $\Delta^{15}\text{N}$  gives a better indication than ion concentration or  $\Delta^{13}\text{C}$  of genotypic differences in the response of durum wheat to salinity. **Functional Plant Biology**, v. 36, n. 2, p. 144-155, 2009.

ZIMMERMANN, F. J. P. Experimentos em parcelas divididas e suas variações. In: **Estatística aplicada a pesquisa agrícola**. 2 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2014. cap.9. p. 235-268.

ZIMMERMANN, F. J. P. Ensaios Fatoriais. In: **Estatística aplicada a pesquisa agrícola**. 2 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2014. cap.8. p. 195-233.

**ANEXOS**

ANEXO A - Resumo da análise de variância em relação ao monitoramento da umidade do solo no tratamento não irrigado, em quatro genótipos (GEN) de amendoim forrageiro avaliados ao longo do tempo, Embrapa Acre, 2019

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio
		Regime não irrigado
GEN	3	305,713*
Erro a	16	98,251
TEMPO	14	17976,235 **
GEN x TEMPO	42	15,173**
Erro b	224	7,269
CV 1 (%)	-	22,32
CV 2 (%)	-	6,07

\* e \*\*: significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

ANEXO B - Resumo da análise de variância em quatro genótipos (GEN) de amendoim forrageiro submetidos a dois regimes hídricos (RH) aos 15 dias de cultivo, tendo como variáveis: fotossíntese ( $P_N$ ), condutância estomática (gs), transpiração (E), concentração interna de  $CO_2$  ( $C_i$ ), eficiência do uso da água (EUA), eficiência intrínseca no uso da água (EiUA) e eficiência carboxilação (EC), Embrapa Acre, 2019

Fontes de variação	GL	Quadrados Médios						
		$P_N$	gs	E	$C_i$	EUA	EiUA	EC
GEN	3	9,05 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,76 <sup>ns</sup>	16,43 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>ns</sup>	630,85 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
RH	1	41221,19**	4,72**	693,60**	57,99**	1,77*	4938,19**	3,93**
GEN x RH	3	7,62 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	25,41*	1,04*	963,40*	0,01 <sup>ns</sup>
Erro	24	7,33	0,01	0,63	7,78	0,33	300,73	0,01
Total	31	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	18,68	25,35	12,79	9,29	26,65	39,10	20,63

<sup>ns</sup>, \* e \*\*: não significativo, significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

ANEXO C - Resumo da análise de variância em características fisiológicas avaliadas em quatro genótipos (GEN) de amendoim forrageiro submetidos a dois regimes hídricos (RH), aos 15 dias de cultivo, tendo como variáveis: eficiência quântica máxima (Fv/Fm) e efetiva ( $\Delta F/Fm'$ ) do fotossistema II, taxa transporte de elétrons no fotossistema II (ETR), excesso de elétrons (EXC), quenching fotoquímico (qP) e quenching não fotoquímico (NPQ), Embrapa Acre, 2019

Fontes de variação	GL	Quadrados Médios					
		Fv/Fm	$\Delta F/Fm'$	EXC	ETR	qP	NPQ
GEN	2	0,005**	0,001 <sup>ns</sup>	38,338 <sup>ns</sup>	372,611 <sup>ns</sup>	0,006 <sup>ns</sup>	0,257 <sup>ns</sup>
RH	1	0,028**	0,263**	1539,982**	68410,473**	0,283**	10,614**
GEN x RH	3	0,004 <sup>ns</sup>	0,007**	27,700 <sup>ns</sup>	1876,912**	0,026**	0,142 <sup>ns</sup>
Erro	24	0,002	0,001	28,133	281,280	0,004	0,123
Total	31	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	5,10	17,04	42,15	17,03	19,90	31,40

<sup>ns</sup>, \* e \*\*: não significativo, significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

ANEXO D - Resumo da análise de variância em quatro genótipos (GEN) de amendoim forrageiro submetidos a dois regimes hídricos (RH) aos 15 dias de cultivo, tendo como variáveis: número de folhas verdes (NFV), número de estolões (NE), vigor (VIG) e índice SPAD (SPAD), Embrapa Acre, 2019

Fontes de variação	GL	Quadrados Médios			
		NFV	NE	VIG	SPAD
GEN	3	952,425**	24,091**	2,866**	84,349**
RH	1	2356,225**	148,225**	67,600**	14,504 <sup>ns</sup>
GEN x RH	3	154,425 <sup>ns</sup>	14,758 <sup>ns</sup>	6,066**	20,252*
Erro	32	68,062	5,162	0,425	6,847
Total	39	-	-	-	-
CV (%)	-	23,52	30,40	18,63	6,93

<sup>ns</sup>, \* e \*\*: não significativo, significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

ANEXO E - Resumo da análise de variância em quatro genótipos (GEN) de amendoim forrageiro sob influência de dois regimes hídricos (RH) aos 15 dias de cultivo, tendo como variáveis: massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR), razão entre as massas secas da raiz e parte aérea (MSR/MSPA) e massa seca total (MST), Embrapa Acre, 2019

Fontes de variação	GL	Quadrados Médios					
		MFPA	MFR	MSPA	MSR	MSR/MSPA	MST
GEN	3	203,69**	20,75**	15,78**	0,66**	0,16**	20,18**
RH	1	4021,63**	475,69**	88,86**	3,25**	0,08**	126,09**
GEN x RH	3	176,18**	14,32*	3,77 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	5,25 <sup>ns</sup>
Erro	32	34,41	3,33	1,82	0,12	0,01	2,52
Total	39	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	40,94	29,09	31,34	22,16	26,45	27,06

<sup>ns</sup>, \* e \*\*: não significativo, significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

ANEXO F - Resumo da análise de variância em dois genótipos (GEN) de amendoim forrageiro submetidos a quatro regimes hídricos (RH) aos 60 dias, para fotossíntese ( $P_N$ ), condutância estomática (gs), transpiração (E), concentração interna de  $CO_2$  (Ci), eficiência do uso da água (EUA), eficiência intrínseca no uso da água (EiUA) e eficiência carboxilação (EC), Embrapa, Acre, 2019

Fontes de variação	GL	Quadrados Médios						
		$P_N$	gs	E	Ci	EUA	EiUA	EC
GEN	1	107,23**	0,12**	31,14**	42,89 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	1997,79**	0,07*
RH	3	427,17**	0,15**	58,74**	13,37*	0,13 <sup>ns</sup>	914,69 <sup>ns</sup>	0,51**
GEN x RH	3	21,01 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	3,12 <sup>ns</sup>	7,43 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	313,69 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>
Erro	32	9,17	0,01	2,31	9,45	0,31	378,46	0,02
Total	39	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	23,85	46,42	31,96	11,57	21,00	28,42	28,38

<sup>ns</sup>, \* e \*\*: não significativo, significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

ANEXO G - Resumo da análise de variância em dois genótipos (GEN) de amendoim forrageiro submetidos a quatro regimes hídricos (RH) aos 60 dias de experimentação, tendo como variáveis: dano de membrana (DM), conteúdo relativo de água (CRA), número de estômatos na face adaxial (NE<sub>Ad</sub>) e número de estômatos na face abaxial (NE<sub>Ab</sub>), Embrapa Acre, 2019

Fontes de variação	GL	Quadrados Médios			
		DM	CRA	NE <sub>Ad</sub>	NE <sub>Ab</sub>
GEN	1	2,96 <sup>ns</sup>	46,92 <sup>ns</sup>	4040,10 <sup>**</sup>	2512,23 <sup>ns</sup>
RH	3	25,90 <sup>ns</sup>	636,52 <sup>**</sup>	142,57 <sup>ns</sup>	6258,69 <sup>**</sup>
GEN x RH	3	73,16 <sup>ns</sup>	84,63 <sup>ns</sup>	240,43 <sup>ns</sup>	5462,03 <sup>**</sup>
Erro	32	27,49	90,99	245,09	1319,26
Total	39	-	-	-	-
CV (%)	-	37,57	11,97	37,77	23,73

<sup>ns</sup>, \* e \*\*: não significativo, significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

ANEXO H - Resumo da análise de variância em dois genótipos (GEN) de amendoim forrageiro submetidos a quatro regimes hídricos (RH) aos 60 dias de experimentação, tendo como variáveis: número de folhas verdes (NFV), número de estolões (NE), vigor das plantas (VIG), índice SPAD (SPAD), Embrapa Acre, 2019

Fontes de variação	GL	Quadrados Médios			
		NFV	NE	VIG	SPAD
GEN	3	3367,22 <sup>**</sup>	193,60 <sup>**</sup>	1,22 <sup>ns</sup>	187,22 <sup>**</sup>
RH	1	10818,89 <sup>**</sup>	97,50 <sup>**</sup>	13,29 <sup>**</sup>	41,46 <sup>*</sup>
GEN x RH	3	681,82 <sup>**</sup>	9,00 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>	16,41 <sup>ns</sup>
Erro	32	129,76	3,71	0,33	13,24
Total	39	-	-	-	-
CV (%)	-	18,85	22,54	16,03	9,53

<sup>ns</sup>, \* e \*\*: não significativo, significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.



ANEXO I - Resumo da análise de variância em dois genótipos (GEN) de amendoim forrageiro submetidos a quatro regimes hídricos (RH) aos 60 dias de cultivo, tendo como variáveis: massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR), razão entre as massas seca da raiz e parte aérea (MSR/MSPA) e massa seca total (MST), Embrapa Acre, 2019

Fontes de variação	GL	Quadrados Médios					
		MFPA	MFR	MSPA	MSR	MSR/MSPA	MST
GEN	1	248,13**	68,77**	27,51**	36,40**	0,10*	127,21**
RH	3	2874,73**	200,78**	317,85**	82,47**	0,81**	693,41**
GEN x RH	3	93,94**	6,73 <sup>ns</sup>	7,50**	2,98 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	16,09**
Erro	32	13,20	3,89	2,04	1,16	0,02	4,90
Total	39	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	16,36	21,67	17,07	17,97	17,45	15,41

<sup>ns</sup>, \* e \*\*: não significativo, significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.