



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

ABEL JAMIR RIBEIRO BASTOS

**SELEÇÃO DE PROGÊNIES DE CUPUAÇUZEIRO (*Theobroma grandiflorum* Schum.)
TOLERANTES À SECA**

BELÉM
2017

ABEL JAMIR RIBEIRO BASTOS

SELEÇÃO DE PROGÊNIES DE CUPUAÇUZEIRO (*Theobroma grandiflorum*
Schum.) TOLERANTES À SECA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal Rural da Amazônia como requisito para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Área de Concentração: Melhoramento Genético Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Lázaro Moraes da Cunha.

Co-orientador: Dr. Rafael Moysés Alves.

BELÉM

2017

Bastos, Abel Jamir Ribeiro

Seleção de progênies de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* Schum.) tolerantes à seca / Abel Jamir Ribeiro Bastos.
– Belém, 2017.

63 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia)
– Universidade Federal Rural da Amazônia, 2017.

Orientador: Raimundo Lázaro Moraes da Cunha.

1. Cupuaçu - análise morfológica 2. Fruticultura amazônica
3. Déficit hídrico - tolerância 3. Desenvolvimento vegetativo 4.
Trocas gasosas I. Cunha, Raimundo Lázaro Moraes da, (orient.) II.
Título.

CDD – 634.6

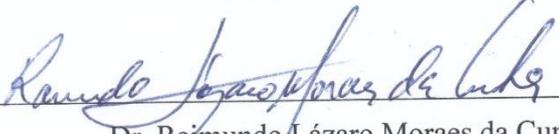
ABEL JAMIR RIBEIRO BASTOS

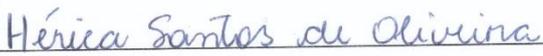
SELEÇÃO DE PROGÊNIES DE CUPUAÇUZEIRO (*Theobroma grandiflorum* Schum.)
TOLERANTES À SECA

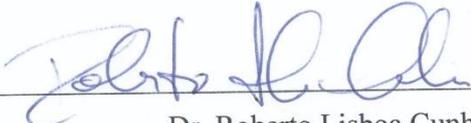
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal Rural da Amazônia como requisito para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Agrônômica.
Área de Concentração: Melhoramento Genético Vegetal.

Data da Aprovação: 21 / 03 / 2017

Banca Examinadora:


Orientador
Dr. Raimundo Lázaro Moraes da Cunha
Universidade Federal Rural da Amazônia


Membro 1
Dra. Hérica Santos de Oliveira
Universidade Federal Rural da Amazônia


Membro 2
Dr. Roberto Lisboa Cunha
Embrapa Amazônia Oriental

Aos meus pais, Noeme de Assis Ribeiro e Jair Souza Meireles, pelo apoio que sempre deram às minhas decisões, principalmente nos momentos de dúvida, com seus conselhos e experiência, e que sempre fizeram tudo o que podiam para proporcionar as melhores condições possíveis aos meus estudos.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus pela vida e ajuda nos momentos mais difíceis no decorrer do curso;

Aos meus pais pelo carinho, paciência, confiança e incentivo;

Aos meus familiares e parentes que sempre me incentivaram e encorajaram a seguir meus caminhos e que também participaram na construção do meu caráter e pessoa;

Aos meus amigos e colegas da turma A (2011/2012), pelo apoio que serviu de motivação a todos os passos desta caminhada e pelos trabalhos, relatórios, provas e seminários feitos com muito aprendizado e boas risadas. Devo méritos a muitos por tudo que aprendi, pelo desempenho e conhecimentos adquiridos durante o curso;

À Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) pela oportunidade concedida, pelos estágios proporcionados e pelo curso de graduação durante todos esses anos;

Ao meu querido orientador de estágio na Embrapa, Dr. Rafael Moysés Alves, pela orientação, pelas oportunidades concedidas, pelos conhecimentos compartilhados, pelo excelente convívio e simpatia proporcionados, pela cumplicidade e simplicidade de ser;

Ao meu orientador do trabalho de conclusão de curso, Prof. Dr. Raimundo Lázaro Moraes da Cunha, pela orientação, pelo apoio, pela tranquilidade e incentivo na realização deste;

A Embrapa Amazônia Oriental pela oportunidade de desenvolver as atividades em seu campus e uso de suas instalações, assim como pela ajuda dos funcionários que também muito fizeram por este estudo, em especial Antônio Fontel e Oliveira;

Aos grandes parceiros de Embrapa/UFRA: Rafael Marlon Alves de Assis, Tassio Koiti Igawa e, em especial, à Ayane Fernanda Ferreira Quadros pelos ótimos momentos de convívio, pela companhia e por toda ajuda e amizade proporcionadas durante os momentos finais do curso;

Aos amigos de estágio: Jack Loureiro Pedroza Neto, Thalita Gomes dos Santos, Danyllo Amaral de Oliveira e, principalmente, ao José Raimundo Quadros Fernandes, Jardel Diego Barbosa Rodrigues e Amanda Lobato Teixeira, que muito fizeram por mim neste trabalho. Sou grato pela ajuda, amizade e conhecimentos repassados por todos;

A todos os demais, que participaram direta ou indiretamente na realização desse trabalho, sou imensamente agradecido.

“Em um determinado dia, em uma dada circunstância, você acha que você tem um limite. E então você busca esse limite e encosta nele, e então você pensa: ‘Certo, esse é o limite’. Logo que você atinge esse limite, alguma coisa acontece e de repente você pode ir um pouco mais longe.”

(Ayrton Senna)

RESUMO

O déficit hídrico do solo é relatado com um dos principais fatores relacionado ao decréscimo de rendimento das culturas, pois suas consequências não se restringem a localidades e/ou regiões. A região amazônica, que mesmo apresentando altíssimas taxas de precipitação pluviométrica, apresenta curtos e longos períodos de estiagem que comprometem à produção local. O presente estudo objetivou avaliar os efeitos da restrição hídrica no crescimento, desenvolvimento, potencial hídrico, trocas gasosas e sobrevivência de plantas jovens de sete progênies de cupuaçuzeiro, com o intuito de dar continuidade ao processo de seleção de materiais com possíveis mecanismos de tolerância ao déficit hídrico. O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Embrapa Amazônia Oriental, Belém-PA, utilizando delineamento experimental inteiramente casualizado, arranjos em esquema fatorial de 7 x 2, com dez repetições, a exceção do potencial hídrico e trocas gasosas nos quais foram utilizadas cinco repetições, e uma planta por unidade amostral. Os tratamentos foram 7 progênies de cupuaçuzeiro (32, 42, 46, 47, 57, 215 e 1074) e dois regimes hídricos (controle e déficit). Foram analisadas variáveis de desenvolvimento vegetativo, produção de biomassa, índices fisiológicos de crescimento e respostas fisiológicas durante 16 dias. A aplicação dos tratamentos ocorreu após 180 dias de aclimação das plantas na casa de vegetação. Sob restrição hídrica as progênies de cupuaçuzeiro apresentaram comportamento similar entre si, haja vista que apresentaram reduções no seu desenvolvimento vegetativo após análise de grande parte das variáveis de incremento relacionadas ao crescimento vegetal. Nesse aspecto, as progênies 32, 42 e 1074 conseguiram apresentar as maiores médias para as plantas sob déficit. O acúmulo de biomassa também foi afetado pelo estresse a nível do conteúdo de matéria fresca, entretanto a produção de massa seca não foi afetada da mesma forma mostrando vários materiais sem diferenças significativas entre os regimes hídricos. Desse modo, incrementos não significativos foram observados para várias progênies quanto aos índices fisiológicos de crescimento (AMS, TCA, TCR, RAF e AFE), sendo os dois últimos os mais relevantes na diferenciação dos tratamentos, destacando os materiais 32, 42, 46 e 57. Também foram observadas reduções elevadas nas variáveis de trocas gasosas e potencial hídrico foliar para todos os materiais após 15 dias do estresse, entretanto boa parte já apresentava reduções significativas a partir do oitavo dia, como as progênies 215 e 1074. De modo geral, a restrição hídrica foi fator limitante para o desenvolvimento das progênies, apesar do curto período de déficit. Contudo, algumas progênies mostraram melhores resultados do que outras; dentre estas, a 32, 42, 46 e 57 apresentaram menor susceptibilidade aos efeitos negativos do estresse.

Palavras-chave: Fruticultura amazônica; Cupuaçu - análise morfológica; Déficit hídrico - tolerância; Desenvolvimento vegetativo; Trocas gasosas.

ABSTRACT

Soil water deficit is reported as one of the main factors related to the decrease in crop yield, because its consequences are not restricted to localities and / or regions. The Amazon region, even with very high rainfall rates, features short and long periods of drought that undermine local production. The present study aimed to evaluate the effects of water restriction on growth, development, water potential, gas exchange and survival of young plants of seven progenies of cupuaçu trees, in order to continue the selection of materials with possible mechanisms of tolerance to the water deficit. The experiment was conducted in a greenhouse at Embrapa Amazônia Oriental, Belém-PA, using a completely randomized experimental design, in a factorial arrangement of 7 x 2, with ten replications, except for the water potential and gas exchange in which were used five replications, and one plant per sample unit. The treatments were 7 progenies of cupuaçu trees (32, 42, 46, 47, 57, 215 and 1074) and two water regimes (control and deficit). Variables of vegetative development, biomass production, physiological growth indexes and physiological responses were analyzed for 16 days. The treatments were applied after 180 days of acclimatization of the plants in the greenhouse. Under water restriction, the progenies of cupuaçuzeiro presented similar behavior among themselves, since they presented reductions in their vegetative development after analyzing a large part of the increment variables related to plant growth. In this aspect, progenies 32, 42 and 1074 were able to present the highest averages for plants under deficit. The accumulation of biomass was also affected by stress in the fresh matter content, however the dry mass production was not affected in the same way, showing several materials without significant differences between the water regimes. Thus, non-significant increases were observed for several progenies regarding the physiological growth indexes (AMS, TCA, TCR, RAF and AFE), the latter two being the most relevant in the differentiation of treatments, with emphasis on materials 32, 42, 46 and 57. Large reductions in gas exchange and leaf water potential were also observed for all materials after 15 days of stress. However, there were already significant reductions for some plants since the eighth day, such as progenies 215 and 1074. In general, water restriction was a limiting factor for progeny development, despite the short period of deficit. However, some progenies have been able to cope better with drought treatment and have had more satisfactory results than others. Among the ones evaluated, progenies 32, 42, 46 and 57 were less susceptible to the negative effects of stress.

Keywords: Amazonian fruit growing; Cupuassu - morphological analysis; Water deficit - tolerance; Vegetative development; Gas exchange.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1** – Localização da área experimental.20
- Figura 2** – Distribuição das médias de temperatura (°C) e Umidade Relativa do Ar (%) no interior da casa de vegetação durante o período experimental.21
- Figura 3** – Visão geral da sementeira onde foi promovida a germinação de sementes das 7 progênes de cupuaçuzeiro. Belém, PA, 2016.22
- Figura 4** – Visão geral do experimento dentro da casa de vegetação mostrando as mudas de cupuaçuzeiro antes do início dos tratamentos. Belém, PA, 2016.24
- Figura 5** – Acúmulo de matéria seca total (AMS) de sete progênes de cupuaçuzeiro submetidas a dois regimes hídricos (controle e déficit) por 16 dias. Belém, PA, 2016. Valores médios de dez repetições. (⌊) Erro-padrão da média. Teste – t ** (P<0,01), * (P<0,05), ns (não-significativo).37
- Figura 6** – Taxa de crescimento absoluto (TCA) de sete progênes de cupuaçuzeiro submetidas a dois regimes hídricos (controle e déficit) por 16 dias. Belém, PA, 2016. Valores médios de dez repetições. (⌊) Erro-padrão da média. Teste – t ** (P<0,01), * (P<0,05), ns (não-significativo).38
- Figura 7** – Taxa de crescimento relativo (TCR) de sete progênes de cupuaçuzeiro submetidas a dois regimes hídricos (controle e déficit) por 16 dias. Belém, PA, 2016. Valores médios de dez repetições. (⌊) Erro-padrão da média. Teste – t ** (P<0,01), * (P<0,05), ns (não-significativo).39
- Figura 8** – Razão de área foliar (RAF) de sete progênes de cupuaçuzeiro submetidas a dois regimes hídricos (controle e déficit) por 16 dias. Belém, PA, 2016. Valores médios de dez repetições. (⌊) Erro-padrão da média. Teste – t ** (P<0,01), * (P<0,05), ns (não-significativo).40
- Figura 9** – Área foliar específica (AFE) de sete progênes de cupuaçuzeiro submetidas a dois regimes hídricos (controle e déficit) por 16 dias. Belém, PA, 2016. Valores médios de dez repetições. (⌊) Erro-padrão da média. Teste – t ** (P<0,01), * (P<0,05), ns (não-significativo).41
- Figura 10** – Potencial hídrico (Ψ_w) foliar de sete progênes de cupuaçuzeiro submetidas a dois regimes hídricos (controle e déficit) com 2 (A), 8 (B) e 15 (C) dias de restrição hídrica. Belém, PA, 2016. Valores médios de cinco repetições. (⌊) Erro-padrão da média. Letras maiúsculas comparam plantas irrigadas, letras minúsculas comparam plantas sob déficit hídrico e asteriscos comparam progênes nas duas condições hídricas. Letras diferentes e asterisco denotam diferenças significativas entre médias (teste de Tukey, P<0,05).42
- Figura 11** – Taxa de assimilação líquida de CO₂ (A) de sete progênes de cupuaçuzeiro submetidas a dois regimes hídricos (controle e déficit) com 2 (A), 8 (B) e 15 (C) dias de restrição hídrica. Belém, PA, 2016. Valores médios de cinco repetições. (⌊) Erro-padrão da média. Letras maiúsculas comparam plantas irrigadas, letras minúsculas comparam plantas sob déficit hídrico e asteriscos comparam progênes nas duas condições hídricas. Letras diferentes e asterisco denotam diferenças significativas entre médias (teste de Tukey, P<0,05).44
- Figura 12** – Condutância estomática ao vapor d'água (g_s) de sete progênes de cupuaçuzeiro submetidas a dois regimes hídricos (controle e déficit) com 2 (A), 8 (B) e 15 (C) dias de restrição hídrica. Belém, PA, 2016. Valores médios de cinco repetições. (⌊) Erro-padrão da média. Letras maiúsculas comparam plantas irrigadas, letras minúsculas comparam plantas sob déficit

hídrico e asteriscos comparam progênies nas duas condições hídricas. Letras diferentes e asterisco denotam diferenças significativas entre médias (teste de Tukey, $P < 0,05$).46

Figura 13 – Transpiração (E) de sete progênies de cupuaçuzeiro submetidas a dois regimes hídricos (controle e déficit) com 2 (A), 8 (B) e 15 (C) dias de restrição hídrica. Belém, PA, 2016. Valores médios de cinco repetições. (τ) Erro-padrão da média. Letras maiúsculas comparam plantas irrigadas, letras minúsculas comparam plantas sob déficit hídrico e asteriscos comparam progênies nas duas condições hídricas. Letras diferentes e asterisco denotam diferenças significativas entre médias (teste de Tukey, $P < 0,05$).48

Figura 14 – Concentração intercelular de CO_2 (C_i) de sete progênies de cupuaçuzeiro submetidas a dois regimes hídricos (controle e déficit) com 2 (A), 8 (B) e 15 (C) dias de restrição hídrica. Belém, PA, 2016. Valores médios de cinco repetições. (τ) Erro-padrão da média. Letras maiúsculas comparam plantas irrigadas, letras minúsculas comparam plantas sob déficit hídrico e asteriscos comparam progênies nas duas condições hídricas. Letras diferentes e asterisco denotam diferenças significativas entre médias (teste de Tukey, $P < 0,05$).50

Figura 15 – Eficiência do uso da água (EUA) de sete progênies de cupuaçuzeiro submetidas a dois regimes hídricos (controle e déficit) com 2 (A), 8 (B) e 15 (C) dias de restrição hídrica. Belém, PA, 2016. Valores médios de cinco repetições. (τ) Erro-padrão da média. Letras maiúsculas comparam plantas irrigadas, letras minúsculas comparam plantas sob déficit hídrico e asteriscos comparam progênies nas duas condições hídricas. Letras diferentes e asterisco denotam diferenças significativas entre médias (teste de Tukey, $P < 0,05$).52

Figura 16 – Estado visual geral das sete progênies de cupuaçuzeiro após 16 dias de déficit hídrico. Belém, PA, 2016. Primeira planta a esquerda representa plantas controle e as três restantes, em cada imagem, representa plantas sob déficit.54

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Clones que deram origens às progênes avaliadas e, suas respectivas ancestralidades e procedências. Belém, PA, 2016.**21**
- Tabela 2** – Caracterização química e granulométrica do substrato antes da instalação do experimento.**23**
- Tabela 3** – Plântulas normais germinadas (PNG), plântulas anormais (PA) e sementes mortas (SM), em experimento com 7 progênes de cupuaçuzeiro. Belém, PA, 2016.**28**
- Tabela 4** – Crescimento em altura (Alt), diâmetro (Dia), número de folhas (NF) e área foliar total (AFT) de sete progênes de cupuaçuzeiro no início do experimento (t=0). Belém, PA, 2016.**29**
- Tabela 5** – Crescimento em altura (Alt), diâmetro (Dia), número de folhas (NF) e área foliar total (AFT) de sete progênes de cupuaçuzeiro submetidas a dois regimes hídricos (controle e déficit) ao final do experimento (t=16 dias). Belém, PA, 2016.**30**
- Tabela 6** – Incremento em altura (Alt), diâmetro (Dia), número de folhas (NF) e área foliar total (AFT) de sete progênes de cupuaçuzeiro submetidas a dois regimes hídricos (controle e déficit) após 16 dias. Belém, PA, 2016.**32**
- Tabela 7** – Biomassa de matéria fresca (MF) e biomassa de matéria seca (MS) de sete progênes de cupuaçuzeiro no início do tratamento (t=0). Belém, PA, 2016.**33**
- Tabela 8** – Biomassa de matéria fresca (MF) e biomassa de matéria seca (MS) de sete progênes de cupuaçuzeiro submetidas a dois regimes hídricos (controle e déficit) com 16 dias de tratamento. Belém, PA, 2016.**35**
- Tabela 9** – Taxa de sobrevivência de sete progênes de cupuaçuzeiro submetidas ao déficit hídrico após 16 dias. Belém, PA, 2016.**53**

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 Aspectos gerais da cultura	12
2.1.1 Origem e distribuição geográfica	12
2.1.2 Características taxonômicas e descrição botânica	12
2.1.2.1 Folha	12
2.1.2.2 Flor	13
2.1.2.3 Fruto	13
2.1.3 Propagação e reprodução	13
2.1.3.1 Propagação por sementes	14
2.1.3.2 Enxertia	14
2.1.4 Manejo da cultura	14
2.1.4.1 Clima	14
2.1.4.2 Consórcio	15
2.1.4.3 Poda	15
2.1.5 Materiais genéticos e cultivares	15
2.1.5.1 Cultivares lançadas em 2002	16
2.1.5.2 BRS Carimbó	16
2.1.5.3 Clones lançados no Amazonas	16
2.1.6 Importância socioeconômica e utilização	17
2.1.6.1 Amêndoas	17
2.1.6.2 Polpa	17
2.2 Estresse Hídrico	18
2.2.1 Efeitos do déficit hídrico nas plantas	18
2.2.2 Mecanismos de resistência nas plantas	19
3 MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 Localização da área experimental	20
3.2 Climatologia local	20
3.3 Material vegetal e condições de cultivo	21
3.4 Caracterização do substrato	23
3.5 Delineamento experimental e tratamentos	23
3.6 Mensurações e condução do experimento	24

3.6.1 Desenvolvimento vegetativo	24
3.6.2 Acúmulo de biomassa.....	25
3.6.3 Parâmetros fisiológicos	26
3.6.3.1 Potencial hídrico	26
3.6.3.2 Trocas gasosas	27
3.6.4 Taxa de sobrevivência	27
3.7 Análises estatísticas	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1 Taxa de germinação	28
4.2 Desenvolvimento vegetativo.....	28
4.3 Acúmulo de biomassa.....	32
4.4 Respostas fisiológicas.....	41
4.4.1 Potencial hídrico foliar	41
4.4.2 Trocas gasosas	43
4.5 Sobrevivência	53
5 CONCLUSÕES.....	55
REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

O cupuaçuzeiro, *Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Schum., pertencente à família Malvaceae, é uma fruteira de ampla ocorrência na região Norte e parte do Nordeste brasileiro, e com excelente potencial para a exploração da polpa, uma mucilagem que envolve as sementes, a qual corresponde a aproximadamente 40% do peso total do fruto (CALZAVARA et al., 1984). É uma fruteira de grande importância para a região Amazônica, encontrada espontaneamente nas áreas de mata do Sul e Noroeste da Amazônia oriental brasileira, Nordeste do Maranhão e na região Amazônica de países vizinhos (COSTA et al., 2003).

A produção atual de cupuaçu na Amazônia brasileira provém, basicamente, de plantios comerciais, estimados em mais de 30 mil hectares, distribuídos principalmente no Pará, Amazonas, Rondônia e Acre. No Estado do Pará existem mais de 14 mil hectares plantados, dos quais 5 mil estão em produção, tendo apresentado um crescimento de 65% nos últimos 4 anos (HOMMA, 2014). O Pará também é o estado que tem a maior área plantada de cupuaçuzeiro no país, sendo que o município de Tomé Açu é o maior produtor, seguido por Moju, Acará e Bujaru, responsáveis por aproximadamente 71% da produção paraense. Tomé Açu é destaque também por ser responsável por quase 60% da produção paraense com 43.500 toneladas do fruto (SAGRI/PA, 2015).

O cultivo ainda é reduzido em muitas áreas devido a poucas informações agrônomicas e falta de material genético selecionado, além dos danos causados pela vassoura-de-bruxa (*Moniliophthora perniciosa*), os quais são responsáveis pela perda de 50 a 60% e, em alguns casos, até 100% da produção (SILVA JUNIOR et al., 2011). De acordo com Souza et al. (2007), a redução da produtividade observada nos cultivos na região amazônica tem como principal causa este patógeno, o que causa redução de 70% da produção de cupuaçu no Estado do Pará (ALVES, 2012).

Esse impasse impulsionou a criação de programas de melhoramento genético da espécie pela Embrapa Amazônia Oriental (CPATU) e Embrapa Amazônia Ocidental (CPAA), com o intuito de promover a seleção preliminar de materiais promissores e resistentes a patógenos (ALVES et al., 2013). A Embrapa Amazônia Oriental tem promovido o melhoramento genético dessa espécie e obtido variedades com características que garantem ótima capacidade de desenvolvimento, produção de frutos e boa resistência à vassoura-de-bruxa. O lançamento da cultivar BRS Carimbó em 2012 pela Embrapa alia produtividade e resistência ao patógeno (ALVES, 2012).

Entretanto, ao longo dos anos não foram apenas desenvolvidas estratégias de melhoramento relacionadas aos fatores bióticos, como pragas e doenças, pois, entre outros fatores limitantes ao crescimento vegetal, há o melhoramento de plantas para condições de estresse abiótico. Nesse sentido, e tendo em vista a variação sazonal de distribuição de chuvas na Amazônia, é de suma importância a procura por materiais genéticos promissores e tolerantes também ao déficit hídrico. Diante disso, diversos programas de melhoramento surgiram e outros redirecionaram suas linhas de pesquisa para condições de estresse ambiental, destacando-se a tolerância à baixa disponibilidade hídrica no solo (FRITSCHÉ-NETO; BORÉM, 2011).

A água torna-se então um dos fatores ambientais determinantes da diversidade produtiva dos vegetais, podendo comprometer as funções vitais ou estimular reações adaptativas que capacitem as plantas a sobreviverem por períodos longos de estresse hídrico (DINIZ, 1999). Sendo assim, o déficit hídrico tem grande impacto nos sistemas ecológicos e agrícolas, visto que as reações das plantas a esse estresse diferem em vários níveis de organização, dependendo da intensidade e da duração do estresse, bem como da espécie ou estágio de desenvolvimento (SHAO et al., 2008).

Dessa forma, a disponibilidade hídrica do solo influencia os processos fisiológicos e metabólicos das plantas, afetando fortemente o crescimento e a produtividade das espécies, diminuindo o seu desenvolvimento por controlar a abertura dos estômatos e comprometendo o acúmulo de fotoassimilados, o que implica redução da produtividade (MORAIS, 2003).

Por outro lado, as plantas também respondem a esse estresse por meio de mecanismos adaptativos, permitindo que os sistemas fotoquímicos e bioquímicos, relacionados à fotossíntese, suportem situações adversas (OUKARROUM et al., 2007). Entre as respostas mais proeminentes das plantas ao déficit hídrico estão o decréscimo da área foliar, o fechamento dos estômatos, a aceleração da senescência e da abscisão das folhas (McCREE; FERNÁNDEZ, 1989; TAIZ; ZEIGER, 2009).

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos do déficit hídrico do solo, em ambiente controlado, na sobrevivência, crescimento, produção de biomassa e respostas fisiológicas de plantas jovens de sete progênes de meios-irmãos de cupuaçuzeiro visando, posteriormente, incorporá-las ao programa de melhoramento genético da espécie.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos gerais da cultura

O cupuaçuzeiro, *Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Schum, é uma fruteira perene, que apresenta como principais características o aroma intenso e agradável do fruto, o sabor exótico da polpa e amêndoas ricas em óleo, que credenciam essa espécie como uma das fruteiras nativas mais promissoras do Norte brasileiro (CALZAVARA et al., 1984).

O cultivo do cupuaçuzeiro teve início na década de 70 com a realização de plantios pioneiros onde os produtores utilizaram sementes sem nenhum critério de seleção. Após alguns anos de cultivo a doença conhecida como vassoura-de-bruxa, cujo agente etiológico é o fungo *Moniliophthora perniciosa*, passou a atacar os plantios, inicialmente de maneira endêmica e, posteriormente, na forma de epidemia (ALVES et al., 1998).

2.1.1 Origem e distribuição geográfica

De acordo com Ducke (1953), o cupuaçuzeiro é encontrado, espontaneamente, na parte Sul, Leste e Sudoeste do Pará, no Estado do Amazonas e na pré-Amazônia maranhense. Apresenta-se de forma silvestre nas florestas tropicais úmidas de terra firme e seu centro de origem situa-se na floresta Amazônica de terra firme e em alguns locais na várzea alta (CUATRECASAS, 1964).

O cupuaçuzeiro tem como habitat natural a floresta tropical úmida de terras altas, não inundáveis, cujas árvores de maior tamanho suportam sombreamento parcial. No Brasil é cultivado ao longo de grande parte do território nacional, desde São Paulo até Roraima. Em outros países apresenta cultivo experimental como no Equador, Guiana, Martinica, Costa Rica, São Tomé, Trinidad Tobago, Gana, Venezuela, Peru e Colômbia (MULLER et. al., 1995).

2.1.2 Características taxonômicas e descrição botânica

A espécie *T. grandiflorum* é diplóide e apresenta $2n = 20$ cromossomos (CARLETTO, 1946). É semi-umbrófila e destaca-se pela boa adaptação em consórcios com outras espécies perenes, semi-perenes e provisórias (ALVES et al., 2007).

2.1.2.1 Folha

O cupuaçuzeiro apresenta folhas inteiras, simples, alternas, pecioladas e subcoriáceas, e quando jovem tem coloração rósea, passando a verde claro e, quando madura adquire tonalidade verde-escura. São glabras na face superior e ferrugíneo-tomentosas na face inferior. Atinge em seu estágio maduro de 25 a 30 cm de comprimento por 10 a 15 cm de largura (SOUZA et al., 2007).

2.1.2.2 Flor

A floração do cupuaçuzeiro ocorre na época mais seca do ano, normalmente de julho a setembro. Já a safra coincide com o período chuvoso, novembro a junho, com pico em março (SOUZA et al., 2007). Suas flores crescem nos ramos, sendo pediculares de 3 a 5 cm, de coloração vermelho-escuro, hermafroditas e apresentam barreiras físicas que isolam o estigma das anteras, além de um complexo sistema de autoincompatibilidade, que torna a espécie obrigatoriamente alógama (VENTURIERI, 1994).

2.1.2.3 Fruto

O fruto é uma baga, elipsoidea ou oblonga, tendo as extremidades obtusas ou arredondadas, com dimensões variando entre 12 e 25 centímetros em comprimento e de 10 a 12 centímetros em diâmetro, pesando de 500 a 2500g, com média de 1200g. Seu epicarpo é rígido, lenhoso, porém, facilmente quebrável, recoberto de pelos ferruginosos. O mesocarpo é branco-amarelado, de 4 a 5 milímetros de espessura. O endocarpo ou polpa, é de coloração amarela ou brancacenta, apresentando alcaloides conhecidos pelas suas propriedades estimulantes como gosto bastante ácido e aroma intenso (HAMMERSTONE JR et al., 1994; SOUZA; PIMENTEL, 1999). A polpa tem grande importância como matéria-prima, sendo produzida nas épocas de safra, armazenada e processada nos períodos mais propícios ou, segundo a demanda do mercado consumidor (BUENO et al., 2002).

2.1.3 Propagação e reprodução

O cupuaçuzeiro pode ter propagação via sementes e propagação vegetativa. A primeira é a forma sexuada chamada de reprodução, já a forma vegetativa é conhecida como assexuada ou

de multiplicação onde são usados garfos, gemas e até estacas, destacando-se o processo de enxertia.

2.1.3.1 Propagação por sementes

Souza et al. (2007) recomendam que as sementes devem ser retiradas de plantas selecionadas, vigorosas, sadias, produtivas, com frutos grandes, maduros e bem formados, com escolhas pelas sementes médias e grandes, rejeitando as pequenas, danificadas ou chochas. Em média, o número de sementes varia bastante estando entre 15 e 50 sementes.

A cultivar BRS Carimbó é propagada por sementes. Assim, o produtor conta hoje com um material de plantação melhorado e sementes selecionadas.

2.1.3.2 Enxertia

A muda enxertada tem como vantagem a conservação de 100% das características da planta matriz. Essa técnica combina as partes de duas plantas, uma fornecendo o sistema radicular (cavalo) e a outra formando a copa (cavaleiro). Entre os principais métodos de enxertia empregados destacam-se a borbulhia de janela aberta e garfagem de topo em fenda cheia (SOUZA et al., 2007).

Com o desenvolvimento de cultivares clonais para a cultura há necessidade de seleção de genótipos para produção de porta-enxertos (SOUZA et al., 2012). Para possibilitar ao viveirista o melhor planejamento da prática da enxertia, deve-se optar por porta-enxertos que se desenvolvam de forma mais uniforme, porém de material genético diversificado, evitando prejuízos causados principalmente pelo desenvolvimento desigual das mudas ou incompatibilidade entre enxerto e porta-enxerto, e reduzir o risco de suscetibilidade à doenças e pragas (SOUZA et al., 2016).

2.1.4 Manejo da cultura

2.1.4.1 Clima

As informações de Souza et al. (2007) indicam que o cupuaçuzeiro se desenvolve em temperaturas relativamente elevadas, com médias anuais de 21,6°C a 27,5°C, umidade relativa média anual de 77% a 88% e precipitações médias anuais na faixa de 1.900mm a 3.100mm.

2.1.4.2 Consórcio

O consórcio do cupuaçuzeiro com outras espécies é indicada como a alternativa mais apropriada para o uso da terra a fim de diminuir os danos ecológicos, além de contribuir na qualidade de vida do pequeno agricultor da Amazônia. Outro fator importante é a escolha da espécie a consorciar e a época da safra das culturas, optando por aquelas com períodos de safra diferenciados para manter o equilíbrio econômico e o adequado aproveitamento da mão-de-obra disponível que geralmente é familiar (SAID, 2011).

Na fase inicial do pomar, é recomendado utilizar espécies provisórias, como mamoeiro, bananeira, maracujazeiro, pimenteira-do-reino, entre outras; já na fase adulta do pomar, deve-se optar por cultivos perenes, como fruteiras perenes ou essências florestais (ALVES, 2012).

2.1.4.3 Poda

Autores como Souza et al. (2007) e Alves et al. (2010) recomendam quatro tipos de podas: poda de formação, poda de manutenção, poda de limpeza e poda fitossanitária. Sendo que a poda de formação está relacionada intimamente com o processo de propagação da planta, entretanto a poda de manutenção é aquela que impede que a planta alcance uma altura muito elevada. As podas fitossanitárias impedem a propagação de doenças como a vassoura-de-bruxa que é especialmente importante entre julho e setembro.

2.1.5 Materiais genéticos e cultivares

O início dos programas de melhoramento genético da espécie ocorreu ao passo que com a expansão dos plantios da cultura, a enfermidade tornava-se cada vez mais presente e significativa, elevando as taxas de incidência e severidade nos plantios. Segundo Lima e Costa (1991), a primeira tentativa para obter materiais resistentes ao patógeno iniciou-se na década de 80, com a coleta de acessos aparentemente resistentes à doença, em diferentes localidades da Amazônia e, posteriormente, constituíram o Banco Ativo de Germoplasma (BAG) de cupuaçuzeiro de Belém.

Posteriormente vários outros programas foram surgindo nos estados da região Norte e na Embrapa, com o objetivo de desenvolver materiais genéticos superiores para a produção de

frutos e resistência a agentes bióticos e abióticos adversos, que proporcionem custos competitivos e rentabilidade aceitável para os empreendedores (ALVES, 2003).

2.1.5.1 Cultivares lançadas em 2002

Em 2002, como marco inicial, a Embrapa Amazônia Oriental lançou as primeiras cultivares de cupuaçuzeiro, que tinham como principal característica a tolerância à vassoura-de-bruxa, além de boa produção de frutos. Trata-se de uma cultivar policlonal, composta pelos clones Coari, Codajás, Manacapuru e Belém (ALVES; CRUZ, 2003).

2.1.5.2 BRS Carimbó

A cultivar de cupuaçuzeiro BRS Carimbó, lançada pela Embrapa Amazônia Oriental em 2012, resulta da seleção e cruzamento de 16 clones de cupuaçuzeiro. Ela apresenta características agrônômicas semelhantes ou superiores às cultivares que lhe originaram apresentando vantagens muito expressivas, quando comparada com a produtividade média paraense. Outra característica é a dupla aptidão do fruto, servindo tanto para produção de polpa quanto para produção de sementes (ALVES, 2012).

Também apresenta frutos médio-grandes, com peso médio de 1662 g, sendo obtidos 632 g de polpa/fruto e rendimento de polpa de 38%. Além disso, estima-se que, quando as plantas atingirem a estabilidade, a partir do oitavo ano de cultivo, produzirão em média 18 frutos por safra, valor 28% superior aos dos materiais já lançados no mercado (ALVES; FERNANDES, 2012).

A BRS Carimbó possui boa resistência à vassoura-de-bruxa, promovida pelos seus parentais que são detentores de resistência a essa doença. Essa composição confere mais segurança ao produtor de cupuaçu, pois minimizará, em médio prazo, o risco de uma epidemia da doença no pomar (ALVES; FERNANDES, 2012).

2.1.5.3 Clones lançados no Amazonas

Em 2014 foram lançadas cinco cultivares clonais de cupuaçuzeiro para o estado do Amazonas, que aliam produtividade e resistência à vassoura-de-bruxa. Os materiais são os clones BRS 297, BRS 298, BRS 299, BRS 311 e BRS 312. Esses clones foram obtidos pelo

método de melhoramento de seleção clonal pela Embrapa Amazônia Ocidental e são produzidos por enxertia através da borbúlia ou enxertia no topo. A produtividade de frutos desses materiais varia de 7 a 10,1 t/ha e com resistência acima de 85% à vassoura-de-bruxa, ajudando muito na redução do custo do manejo da doença (SOUZA et al., 2014).

2.1.6 Importância socioeconômica e utilização

Há anos essa fruta começou a despertar interesse dos grandes produtores, pois o seu comércio veio sendo expandido para outros estados do Brasil e até do exterior (VENTURIERI, 1993). O cupuaçu é considerado fruta importante com amplas perspectivas de mercado consumidor. Além das características intrínsecas do fruto, o consumo de produtos exóticos é outro fator que vem propiciando o interesse de outros países (SAID, 2011; MARTIM, 2013).

2.1.6.1 Amêndoas

As amêndoas de cupuaçu, por sua vez, apresentam elevadas possibilidades para as indústrias de fármacos, cosméticos e produção de chocolate de cupuaçu (cupulate), sendo indicado às pessoas que são alérgicas à cafeína e à teobromina que estão presentes no cacau (HOMMA, 2014).

Dessas sementes também é produzida a manteiga que é empregada na elaboração do cupulate em tabletes e que segundo Cohen e Jackix (2005), pode ser utilizada em substituição parcial da manteiga de cacau na elaboração de chocolates, além de ser largamente empregada na indústria de cosméticos.

2.1.6.2 Polpa

A partir de sua polpa podem ser elaborados sorvetes, sucos, compotas, geleias, iogurtes e diversos outros doces (CALZAVARA et al., 1984). Dependendo da criatividade, pode-se utilizar tanto a polpa quanto o aroma dela extraído, como insumo para elaboração de diversos produtos, como bebidas alcoólicas e não alcoólicas, entre outros, o que vem despertando interesse científico ao longo dos últimos anos devido a seus compostos bioativos (KUSKOSKI et al., 2006; SANTOS et al., 2010).

Néctares obtidos a partir da polpa do cupuaçuzeiro demonstraram ótimos resultados tecnológicos e as geleias, excelente textura, odor e sabor (NAZARÉ, 2003). Segundo Martins

(2008), a polpa também é uma excelente matéria-prima para elaboração de sucos tropicais de baixo valor calórico.

2.2 Estresse Hídrico

Entre os chamados fatores de estresse abióticos, a água é o mais limitante para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (PAIVA et al., 2005), pois afeta as relações hídricas, alterando a fisiologia e o metabolismo das plantas, causando grandes perdas na produtividade (NOGUEIRA et al., 2001), sendo até considerada a principal causa de perdas na produtividade agrônômica e florestal (FLEXAS et al., 2002).

Além disso, embora a água seja o componente mais abundante na natureza, é o fator limitante mais comum para o desenvolvimento das plantas (DIAS, 2008). O estresse hídrico indica um período sem precipitação adequada, durante o qual o conteúdo de água do solo é reduzido causando mudanças e respostas nas plantas. Inicialmente estas respostas são reversíveis, tornando-se permanentes com o passar do tempo (SANTOS; CARLESSO, 1998).

2.2.1 Efeitos do déficit hídrico nas plantas

De acordo com Nogueira et al. (2005), o efeito da deficiência hídrica sobre as plantas é complexo e não há um mecanismo universal de resistência à seca, pois as plantas respondem através de vários processos adaptativos à escassez de água como adaptações morfológicas, anatômicas e fisiológicas.

As primeiras respostas à restrição hídrica ocorrem nas células vegetais afetando a relação das células com a água e conseqüentemente seus processos fisiológicos básicos. Por conseguinte, há restrição ao acúmulo de massa prejudicando tanto no crescimento inicial das plantas como nos estádios mais tardios, limitando a dimensão das folhas individuais, o número de folhas, de ramos e o crescimento do caule (OSÓRIO et al., 1998; SILVA, 1998). Entretanto, praticamente todos os aspectos do crescimento vegetal são afetados pela falta d'água, sobretudo o acúmulo de matéria seca, a diminuição do crescimento, da área foliar, altura e diâmetro de planta (PIMENTEL, 2004). O estresse hídrico não só limita o tamanho de folhas individuais, mas também o número de folhas porque diminui o número e a taxa de crescimento dos ramos (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Segundo Leão (2006), a resposta mais proeminente das plantas ao déficit hídrico consiste no decréscimo da área foliar, do fechamento dos estômatos, da aceleração da senescência e da

abscisão das folhas, corroborando com os demais autores supracitados. Dessa forma, caracterizar o efeito do déficit de água nas plantas torna-se cada vez mais necessário para identificar genótipos mais tolerantes e com potencial produtivo para as regiões afetadas por esse estresse abiótico.

2.2.2 Mecanismos de resistência nas plantas

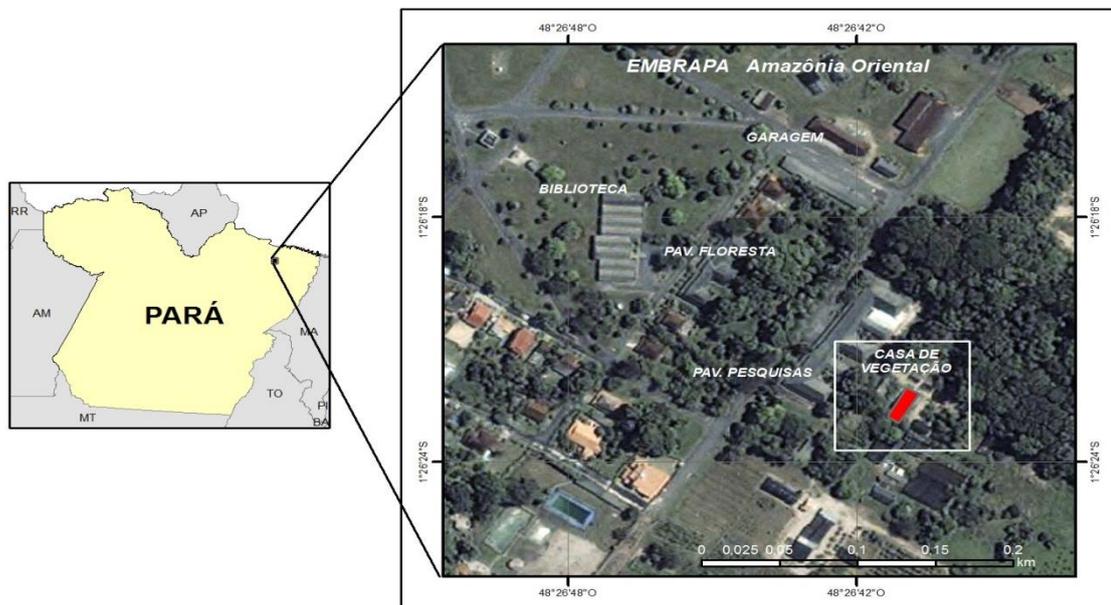
Existem diversos tipos de mecanismos de resistência ao déficit hídrico como o retardo da desidratação, a tolerância à desidratação (capacidade de manter em funcionamento todos os processos vitais enquanto desidratada) e ainda o escape da seca que engloba as plantas que completam seu ciclo durante a estação úmida, antecipando o início da seca (TAIZ; ZEIGER, 2009). A produtividade das plantas, limitada pela água depende da quantidade disponível deste recurso e da eficiência do seu uso pelo vegetal. Algumas plantas possuem adaptações, como os tipos fotossintéticos C4 e CAM que lhes permitem explorar ambientes mais áridos. Além disso, as plantas exibem mecanismos de aclimação que são ativados em resposta ao déficit hídrico (TAIZ; ZEIGER, 2009).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área experimental

O experimento foi conduzido no período de março a dezembro de 2016, em casa de vegetação (Figura 1) da Embrapa Amazônia Oriental, Belém-PA (01° 27' 21" S; 48° 30' 16" W). Sua estrutura é composta por telhado de vidro, abaixo do qual foi colocada uma cobertura com sombrite. Foram aferidos valores de irradiância no interior e exterior da casa de vegetação, o que permitiu observar que, aproximadamente, 80% da mesma era interceptada pela estrutura e cobertura da casa.

Figura 1 – Localização da área experimental.



Fonte: Embrapa Amazônia Oriental, 2015.

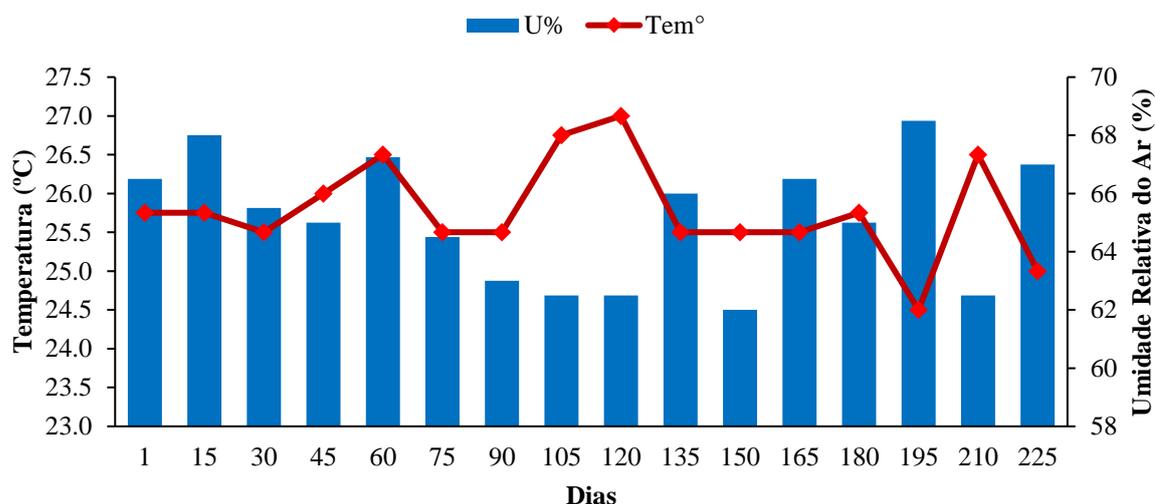
3.2 Climatologia local

O clima na região é influenciado, entre outros fatores, pelas condições pluviométricas, ocorrendo uma estação chuvosa, de dezembro a maio, e uma menos chuvosa, de junho a novembro. Segundo a classificação de Köppen, o clima predominante é o Afí com temperatura média anual de 26 °C e alta pluviosidade, sendo a média em torno de 2.754,4 mm anuais (NECHET, 1993).

Os dados diários referentes às máximas e mínimas de temperatura e umidade relativa do ar durante a condução do experimento foram coletados por meio de um Termohigrógrafo (Kipp

& Zonen, modelo 836) instalado dentro da casa de vegetação. Posteriormente, foi calculada a média dessas variáveis durante o experimento (Figura 2).

Figura 2 - Distribuição das médias de temperatura (°C) e Umidade Relativa do Ar (%) no interior da casa de vegetação durante o período experimental.



Fonte: Embrapa Amazônia Oriental, 2016.

3.3 Material vegetal e condições de cultivo

Foram utilizadas 7 progênes de cupuaçuzeiro neste trabalho (Tabela 1). As progênes utilizadas são originadas de sementes de 7 dos 16 clones parentais da cultivar BRS Carimbó. Os materiais apresentam como característica importante a excelente produção de frutos e resistência a vassoura-de-bruxa, apesar de serem escassos os trabalhos sobre a tolerância destes materiais às condições de estresses abióticos, objeto de estudo desta pesquisa.

Tabela 1 – Clones que deram origem às progênes avaliadas, suas respectivas ancestralidades e procedências. Belém, PA, 2016.

Progênes	Ancestralidade	Local origem mãe	Local origem pai
32	174 x 186	174: Coari – AM	186: Codajás – AM
42	186 x 434	186: Codajás – AM	434: Muaná – PA
46	186 x 215	186: Codajás – AM	215: Manacapuru – AM
47	186 x 1074	186: Codajás – AM	1074: Itacoatiara – AM
57	186 x 513	186: Codajás – AM	513: Oiapoque – AP
215	Primária	215: Manacapuru – AM	-
1074	Primária	1074: Parintins – AM	-

Fonte: Embrapa Amazônia Oriental, 2016.

As mudas foram preparadas a partir de sementes de polinização aberta e extraídas de frutos maduros provenientes da quadra de produção do campo experimental da Embrapa Amazônia Oriental em Tomé-Açu. Após coleta dos frutos, as sementes foram despulpadas manualmente até a completa remoção da polpa mucilaginosa e misturadas para compor uma média de 50 sementes/genótipo. A sementeira foi realizada em sementeira, pertencente a Embrapa, Belém-PA, contendo como substrato apenas serragem curtida (Figura 3).

Após o semeio, foi analisada a porcentagem de germinação, aos 21 dias após a sementeira, onde foram considerados três tipos de plântulas: plântulas normais - computadas e expressas em porcentagem de plântulas que obtiveram crescimento germinativo normal, em que o hipocótilo se encontrava acima da superfície do substrato conforme as recomendações de Regras para Análises de Sementes; plântulas anormais - computadas as plântulas com raiz primária atrofiada, defeituosa ou ausente e, hipocótilo retorcido ao longo do seu comprimento; e sementes mortas - sementes que se encontravam amolecidas (chochas) e/ou atacadas por microrganismos (BRASIL, 2009). Para o cálculo da porcentagem de germinação (%G), utilizou-se o modelo proposto por Laboriau e Valadares (1976):

$$%G = \frac{(N_i \times 100)}{N_s} \quad (1)$$

Onde:

N_i = número de plântulas normais

N_s = número de sementes semeadas

Figura 3 – Visão geral da sementeira onde foi promovida a germinação de sementes das 7 progênies de cupuaçuzeiro. Belém, PA, 2016.



Foto: Abel Bastos, 2016.

3.4 Caracterização do substrato

O solo utilizado no experimento foi oriundo de uma área de capoeira localizada na Embrapa Amazônia Oriental, Belém-PA. Esse solo, coletado na profundidade de 0 a 20 cm, é classificado como Latossolo Amarelo distrófico, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 2006). O substrato foi preparado com a mistura do solo, juntamente com esterco (cama de aviário) na proporção de 3:1, respectivamente, e submetido a análise química de acordo com metodologia proposta por Raij et al. (2001). Os resultados dessas análises químicas e granulométricas estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Caracterização química e granulométrica do substrato antes da instalação do experimento.

Prof.	MO	N	pH	P	K	Na	Ca	Ca+Mg	Al	H+Al	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila total
(cm)	g kg ⁻¹	%	H ₂ O	mg dm ⁻³	-----cmolc dm ⁻³ -----				-----g kg ⁻¹ -----					
0-20	25,81	0,88	6,2	374	504	212	2,6	4,5	0,1	1,49	445	328	110	100

Fonte: Embrapa Amazônia Oriental, 2016.

3.5 Delineamento experimental e tratamentos

O ensaio foi organizado em delineamento experimental inteiramente casualizado, arranjado em esquema fatorial 7 x 2, totalizando 14 tratamentos. Foram empregados os seguintes fatores: sete progênies de cupuaçuzeiro e dois regimes hídricos (controle e déficit) (Figura 4). Os tratamentos foram distribuídos em dez repetições, a exceção dos parâmetros fisiológicos em que se utilizou cinco repetições; e cada unidade amostral foi composta por uma planta. Os tratos culturais aplicados às mudas foram os normalmente utilizados em viveiros da espécie. Com 180 dias de idade das mudas, a diferenciação dos tratamentos foi implantada.

Figura 4 – Visão geral do experimento dentro da casa de vegetação mostrando as mudas de cupuaçuzeiro antes do início dos tratamentos. Belém, PA, 2016.



Foto: Abel Bastos, 2016.

3.6 Mensurações e condução do experimento

Após a germinação, quando as plântulas atingiram o estágio de ponto de palito, foram repicadas da sementeira para os sacos plásticos, os quais possuíam as dimensões de 45 x 20 cm. Estes foram preenchidos com quantidade padronizada de 8 kg/saco de substrato. Posteriormente as plântulas foram arrumadas em bancadas no interior da casa de vegetação, permanecendo no primeiro mês em processo de crescimento e aclimatação. Em seguida, as mudas foram numeradas e distribuídas de maneira aleatória nos tratamentos. A irrigação foi feita manualmente, colocando, diariamente, 300 mL de água por muda, para manter a umidade do solo próximo a capacidade de campo.

3.6.1 Desenvolvimento vegetativo

Após o primeiro mês da repicagem da sementeira para os sacos plásticos iniciaram-se as mensurações mensalmente. Foram mensuradas as variáveis biométricas: altura da parte aérea (Alt) - do coleto até a gema apical da planta, com uso de fita métrica; diâmetro do coleto (Dia) - a 5 cm do solo, mensurado com paquímetro digital; contagem do número de folhas (NF) e mensuração do comprimento e largura de duas folhas/planta maduras e totalmente expandidas, em centímetros.

Para a determinação da área foliar total (AFT), foi utilizada a área foliar média/planta multiplicada pelo número de folhas, a qual foi ajustada por um fator de correção. Este fator

serve como modelo base do cálculo e proposto por Conceição et al. (1997), em que relacionou o produto do comprimento pela maior largura do limbo foliar de acordo com a equação:

$$y = [1,5959 + (0,6687C \times L)]N_f \quad (2)$$

Onde:

C = Comprimento do limbo foliar

L = Largura do limbo

N_f = Número de folhas da planta

Após seis meses do transplantio (180 dias), as plantas foram submetidas aos dois regimes hídricos: controle e déficit hídrico. No tratamento controle, as mudas continuaram sendo irrigadas diariamente para manter a umidade do solo próximo à capacidade de campo, como já citado anteriormente. Na condição de restrição hídrica, a irrigação foi suspensa por 16 dias.

A partir dos dados de desenvolvimento vegetativo como altura, diâmetro, número de folhas e área foliar total/planta, coletados no início da aplicação dos tratamentos (180 dias) e ao final (196 dias), determinou-se o incremento (IC) obtido pelas 7 progênies em cada regime hídrico:

$$I_c = X_f - X_i \quad (3)$$

Onde:

I_c = Incremento

X_i = Variável após 180 dias de plantio (t₀ = início do déficit hídrico)

X_f = Variável após 196 dias de plantio (t₁ = 16 dias de déficit hídrico)

3.6.2 Acúmulo de biomassa

Para a mensuração das variáveis de acúmulo de biomassa, um lote de plantas controles foi utilizado no início do experimento (tempo zero), bem como ao final do experimento nos tratamentos controle e déficit. A biomassa foi determinada separando em raiz, caule e folha. Dez repetições das progênies de cada tratamento foram pesadas em balança semianalítica e colocadas para secar em estufa a 70°C por 72 horas, até atingir peso constante.

A partir dos dados obtidos de massa seca total da planta (raiz + caule + folha) e área foliar total, foram calculados: Acúmulo de matéria seca (AMS), taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento relativo (TCR), razão de área foliar (RAF) e área foliar específica (AFE) de cada progênie através das seguintes fórmulas (HUNT, 1990; MAGALHÃES, 1985):

$$AMS \text{ (g planta}^{-1}\text{)} = (W_1 - W_0) \quad (4)$$

$$TCA \text{ (g d}^{-1}\text{)} = \frac{(W_1 - W_0)}{(t_1 - t_0)} \quad (5)$$

$$TCR \text{ (g g}^{-1} \text{d}^{-1}\text{)} = \frac{\ln W_1 - \ln W_0}{t_1 - t_0} \quad (6)$$

$$RAF \text{ (dm}^2 \text{g}^{-1}\text{)} = \frac{(AF_{total})}{(MS_{total})} \quad (7)$$

$$AFE \text{ (dm}^2 \text{g}^{-1}\text{)} = \frac{(AF_{total})}{(MS_{folhas})} \quad (8)$$

Onde:

W_0 = biomassa total no tempo 180 dias após o plantio (t_0)

W_1 = biomassa total após 196 dias de plantio (t_1)

ln = Logaritmo Neperiano

AF_{total} = área foliar total

MS_{total} = massa seca total

MS_{folha} = massa seca das folhas

3.6.3 Parâmetros fisiológicos

3.6.3.1 Potencial hídrico

O potencial hídrico foliar na antemanhã (Ψ_w) foi determinado através de uma bomba de pressão do tipo Scholander (m670, Pms Instrument Co., Corvalles, EUA) com medições realizadas entre 3:00 e 5:00 h. A coleta dos dados foi feita em três oportunidades durante o tempo de déficit hídrico, sendo realizada após 2, 8 e 15 dias após o início dos tratamentos.

3.6.3.2 Trocas gasosas

As taxas de assimilação líquida do carbono (A), condutância dos estômatos ao vapor d'água (g_s), transpiração (E), concentração intercelular de CO_2 (C_i) e eficiência do uso da água (A/E) foram avaliadas à 2, 8 e 15 dias da aplicação dos regimes hídricos por meio de um analisador de gases a infravermelho (LI 6400, LI-COR, USA) sob radiação fotossinteticamente ativa de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

3.6.4 Taxa de sobrevivência

Foram verificadas as taxas de sobrevivência das plantas após a aplicação do déficit hídrico através do percentual de plantas vivas. Os dados de percentagem de sobrevivência foram convertidos para arco seno raiz de $X/100$.

3.7 Análises estatísticas

Os resultados experimentais foram submetidos à análise de variância (ANOVA) seguida do teste de Tukey para comparação das médias ao nível de 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas com o programa estatístico GENES, versão 2014.4.6.1 (CRUZ, 2013).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Taxa de germinação

A taxa de germinação das plântulas variou de 81,53 (1074) a 97,35% (42), com média de 90,16%. Abaixo da média geral, encontraram-se as progênies 46, 47 e 1074. Esses resultados ocorreram devido às taxas de mortalidade registradas nas sementes desses materiais com 10,29; 8,00 e 15,29% (Tabela 3).

Tabela 3 - Plântulas normais germinadas (PNG), plântulas anormais (PA) e sementes mortas (SM), em experimento com sete progênies de cupuaçuzeiro. Belém, PA, 2016.

Progênie	Procedência	PNG (%)	PA (%)	SM (%)
32	174 x 186	93,75	3,13	3,13
42	186 x 434	97,35	2,65	0,00
46	186 x 215	89,71	0,00	10,29
47	186 x 1074	86,67	5,33	8,00
57	186 x 513	91,18	7,35	1,47
215	Primária	90,91	0,00	9,09
1074	Primária	81,53	3,18	15,29
Média Geral		90,16	3,09	6,75

Fonte: Embrapa Amazônia Oriental, 2016.

4.2 Desenvolvimento vegetativo

Os resultados referentes às variáveis biométricas no início do experimento, após 180 dias de semeadura, e antes da aplicação dos tratamentos são mostrados a seguir (Tabela 4).

A variável altura das plantas apresentou média de 59,93 cm. Nesse aspecto os destaques foram as progênies 46, 47, 57 e 215 com 63,55; 66,05; 61,65 e 67,35 cm, respectivamente. Para o diâmetro do coleto a média antes do início da restrição hídrica era de 0,92 cm. As progênies 42 (0,87 cm) e 1074 (0,86 cm) mostraram os menores valores. As demais não apresentaram diferenças significativas entre si (32, 46, 47, 57 e 215).

Os resultados para número de folhas e área foliar total foram, em média, de 20,19 folhas e 3270,70 cm². O número de folhas variou de 16,8 para a progênie 42 à 25,4 folhas para a progênie 47. Entretanto esta progênie não apresentou diferença significativa com as outras cinco progênies, a exceção da progênie 42. Os destaques em área foliar total foram as progênies

47, 57 e 215 (4437,70; 3308,12 e 3672,87 cm², respectivamente). De modo geral, observa-se que os materiais de maior desenvolvimento vegetativo para essas variáveis, antes da aplicação dos regimes hídricos distintos, foram as progênies 46, 47, 57 e 215.

Tabela 4 - Crescimento em altura (Alt), diâmetro (Dia), número de folhas (NF) e área foliar total (AFT) de sete progênies de cupuaçuzeiro no início do experimento (t=0). Belém, PA, 2016.

Progênies	Alt (cm)		Dia (cm)		NF		AFT (cm ²)	
32	54,70	bc	0,92	ab	19,70	ab	2945,94	b
42	53,55	bc	0,87	b	16,80	b	2494,34	b
46	63,55	a	0,91	ab	20,10	ab	3105,98	b
47	66,05	a	1,00	a	25,40	a	4437,70	a
57	61,65	ab	0,91	ab	19,10	ab	3308,12	ab
215	67,35	a	0,95	ab	21,20	ab	3672,87	ab
1074	52,65	c	0,86	b	19,00	ab	2929,92	b
Média	59,93		0,92		20,19		3270,70	
C.V. (%)	10,02		8,62		27,3		27,72	

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, a nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: Embrapa Amazônia Oriental, 2016.

Após 16 dias de restrição hídrica foram coletados novamente os dados de desenvolvimento vegetativo (Tabela 5). Para as plantas controle as médias foram de 64,04 cm em altura, 0,94 cm de diâmetro, 23,45 em número de folhas e 3984,64 cm² em área foliar total, valores superiores aos do tempo inicial. Na variável altura não houve diferença estatística entre as progênies. O diâmetro, por outro lado, distinguiu seis das progênies como destaques e não diferindo estatisticamente entre si (32, 46, 47, 57, 215 e 1074), restando apenas a progênie 42 com a menor média verificada (0,88 cm). O número de folhas variou de 19,1 a 27,6, para o qual dessa vez apenas o material 57 apresentou resultado inferior aos demais. A área foliar total também não demonstrou resultados significativos entre as plantas do ambiente controle após 16 dias de experimento.

Para as plantas sob déficit hídrico as médias foram de 61,11 cm (altura), 0,87 cm (diâmetro), 22,30 folhas (número de folhas) e 3469,21 cm² (área foliar). Em altura a maior média foi da progênie 47 com 69,8 cm. O diâmetro, por sua vez, não discriminou os materiais. Quanto a quantidade de folhas, observou-se maior número das mesmas nas progênies 32 (27,12 folhas) e 1074 (23,32 folhas). Essas mesmas progênies também apresentaram valores elevados de área foliar, juntas ao material 215.

Lessa (2007) afirmou que os mecanismos de crescimento e desenvolvimento de plantas são essenciais, pois controlam o desempenho das diferentes cultivares, além de serem condicionados pelas características genéticas intrínsecas e pelos fatores ambientais.

Tabela 5 - Crescimento em altura (Alt), diâmetro (Dia), número de folhas (NF) e área foliar total (AFT) de sete progênies de cupuaçuzeiro submetidas a dois regimes hídricos (controle e déficit) ao final do experimento (t=16 dias). Belém, PA, 2016.

Progênies	Tratamentos							
	Controle				Déficit			
	Alt (cm)	Dia (cm)	NF	AFT (cm ²)	Alt (cm)	Dia (cm)	NF	AFT (cm ²)
32	64,00	a 0,95	ab 27,60	a 4625,50	a 56,10	e 0,87	a 27,12	a 4147,05
42	54,94	a 0,88	b 21,80	ab 3334,38	a 51,50	f 0,81	a 22,32	b 2920,83
46	68,05	a 0,91	ab 23,70	ab 3938,56	a 62,40	c 0,87	a 21,71	bc 3260,06
47	67,70	a 1,02	a 25,75	a 4508,28	a 69,80	a 0,90	a 21,58	bc 3271,27
57	61,75	a 0,90	ab 19,10	b 3354,27	a 61,60	c 0,88	a 17,61	c 3245,35
215	67,95	a 0,96	ab 22,20	ab 3748,01	a 67,30	b 0,86	a 22,46	b 3859,66
1074	63,90	a 0,96	ab 24,00	ab 4383,46	a 59,05	d 0,89	a 23,32	ab 3580,28
Média	64,04	0,94	23,45	3984,64	61,11	0,87	22,30	3469,21
C.V. (%)	16,08	10,00	20,25	25,89	2,72	8,48	14,02	18,20

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, a nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: Embrapa Amazônia Oriental, 2016.

A partir das duas avaliações, ao início e ao final do ensaio, foi realizada a análise de incremento para as quatro variáveis de desenvolvimento vegetativo de modo a possibilitar melhor observação sobre os efeitos positivos ou negativos da suspensão hídrica durante os 16 dias (Tabela 6).

O incremento médio em altura das plantas no ambiente irrigado, como era esperado, foi superior ao das plantas sob déficit. No primeiro ambiente, as plantas aumentaram em média 4,11 cm contra 1,15 cm. Entretanto, a progênie 47 no ambiente controle apresentou menor ganho em altura (1,65 cm) que sob déficit hídrico (3,75 cm). As plantas sob déficit, de modo geral, apresentaram ainda reduções na altura com valores negativos para as progênies 42 (-2,25 cm), 46 (-1,15 cm), 57 (-0,05 cm) e 215 (-0,05 cm).

Para o diâmetro, os resultados foram semelhantes, porém em menor magnitude. Em geral, as plantas irrigadas apresentaram incremento médio de 0,02 cm e as plantas estressadas de -0,05 cm. Todas as progênies do tratamento controle apresentaram resultados superiores às do tratamento déficit para essa variável. Os menores resultados das plantas estressadas foram

observados para as progênies 47 e 215, ambas com reduções de 0,1 cm. Novamente a progênie 1074 foi destaque com incremento de 0,03 cm.

A média do incremento em número de folhas foi de 3,26 para o tratamento controle e 2,12 para as plantas sob déficit. Nesta variável, observou-se incrementos de até 7,9 folhas para a progênie 32, bem como a ausência de acréscimo, a exemplo da progênie 57 no ambiente controle. Para o ambiente de déficit os maiores incrementos foram de 7,42 e 5,52, destacando novamente os materiais 32 e 42, respectivamente. De modo geral, foram observadas reduções significativas no número de folhas das progênies 47 e 57.

A área foliar total, por sua vez, apresentou respostas já imediatas e reduções elevadas entre as quatro variáveis observadas. Reduções na área foliar total e número de folhas, por exemplo, promovem, dentre outros fatores, um decréscimo na fotossíntese e contribuem significativamente para a inibição do crescimento vegetal (JOLLY et al., 2005).

As plantas irrigadas apresentaram incremento de 713,94 cm², em média, ao passo que o aumento nas plantas sob déficit foi de apenas 198,52 cm². Todas as progênies, a exceção da 215, apresentaram valores médios superiores ao do tratamento déficit. Na análise individual, por ambiente, o destaque foi para o material 32 tanto no ambiente controle quanto no déficit com 1679,56 e 1201,1 cm² de incremento nos dois ambientes, respectivamente. Ainda sobre o déficit, as progênies 42 e 1074 também apresentaram elevados incrementos em relação às demais. No entanto, a redução das plantas sob déficit em relação ao incremento das plantas controle para a progênie 1074 foi da ordem 55%, ao passo que para a progênie 42 foi de 49%. Por outro lado, a progênie 47 apresentou drástica redução com incremento de -1116,43 cm², em média, no ambiente sem irrigação.

Em acessos de aceroleira, o prolongamento do déficit de água reduziu significativamente as variáveis diâmetro do caule e altura da planta, gerando reduções média entre os acessos da ordem de 29 e 22%, respectivamente. Em contrapartida, a razão de área foliar não apresentou diferenças significativas (MEDEIROS et al., 2009).

Tabela 6 – Incremento em altura (Alt), diâmetro (Dia), número de folhas (NF) e área foliar total (AFT) de sete progênies de cupuaçuzeiro submetidas a dois regimes hídricos (controle e déficit) após 16 dias. Belém, PA, 2016.

Progênies	Tratamentos															
	Controle								Déficit							
	Alt (cm)		Dia (cm)		NF		AFT (cm ²)		Alt (cm)		Dia (cm)		NF		AFT (cm ²)	
32	9,30	bA	0,03	bA	7,90	aA	1679,56	aA	1,40	cB	-0,05	bcB	7,42	aA	1201,10	aB
42	1,39	eA	0,01	bcdA	5,00	bA	840,05	cA	-2,25	fB	-0,06	cB	5,52	abA	426,49	cB
46	4,50	cA	0,00	cdA	3,60	bcA	832,58	cA	-1,15	eB	-0,04	bcB	1,61	cdB	154,08	dB
47	1,65	dB	0,02	bcA	0,35	dA	70,58	dA	3,75	bA	-0,10	dB	-3,82	fB	-1166,43	fB
57	0,10	gA	-0,01	dA	0,00	dA	46,15	dA	-0,05	dB	-0,03	bB	-1,49	efA	-62,77	eB
215	0,60	fA	0,01	bcdA	1,00	cdA	75,14	dB	-0,05	dB	-0,10	dB	1,26	deA	186,79	dA
1074	11,25	aA	0,10	aA	5,00	bA	1453,54	bA	6,40	aB	0,03	aB	4,32	bcA	650,36	bB
Média	4,11		0,02		3,26		713,94		1,15		-0,05		2,12		198,52	
C.V. (%)	12,25		18,02		24,58		15,54		15,80		20,55		29,01		34,50	

Médias seguidas de letras minúsculas indicam comparação entre progênies e maiúsculas entre os regimes hídricos. Comparação entre médias feita pelo teste de Tukey (P<0,05).

Fonte: Embrapa Amazônia Oriental, 2016.

4.3 Acúmulo de biomassa

A coleta de dados de biomassa no tempo inicial (t=0) permitiu observar diferentes valores em função da variabilidade dos materiais genéticos do estudo (Tabela 7). As progênies de maior massa fresca total no tempo inicial foram a 215 e 47 com 72,98 e 71,15 g, respectivamente. Esse domínio ocorreu também nas maiores quantidades em matéria seca. As menores médias em massa fresca total foram das progênies 42 e 1074. As médias gerais foram de 54,73 e 24,29 g para a parte fresca e seca, sequencialmente.

Para todas as partições da planta, bem como para a matéria fresca e seca total, foram observadas reduções na massa seca em relação à fresca entre 50 e 60%, evidenciando a ainda grande quantidade de água presente nos tecidos vivos das plantas sob condições adequadas de irrigação (Tabela 7).

Tabela 7 - Biomassa de matéria fresca (MF) e biomassa de matéria seca (MS) de sete progênes de cupuaçuzeiro no início do tratamento (t=0). Belém, PA, 2016.

Progênie	Folha		Caule		Raiz		MF Total (g)	MS Total (g)
	MF (g)	MS (g)	MF (g)	MS (g)	MF (g)	MS (g)		
32	26,26 b	13,23 abc	14,99 b	6,13 ab	10,42 bc	4,47 a	51,67 bc	23,83 bc
42	18,34 c	9,80 c	12,74 b	5,98 ab	8,31 cd	4,04 ab	39,39 c	19,82 cd
46	27,06 ab	13,92 ab	16,05 b	7,26 ab	8,64 cd	4,15 ab	51,74 bc	25,33 ab
47	34,35 a	15,96 a	24,14 a	8,38 a	12,65 ab	4,63 a	71,15 a	28,97 a
57	24,72 bc	12,04 bc	17,50 b	6,82 ab	13,75 ab	5,12 a	55,97 b	23,98 bc
215	34,63 a	16,10 a	23,57 a	8,17 a	14,79 a	5,22 a	72,98 a	29,49 a
1074	20,65 bc	10,29 c	13,24 b	5,38 b	6,34 d	2,96 b	40,23 c	18,63 d
Média	26,57	13,05	17,46	6,87	10,70	4,37	54,73	24,29
C.V. (%)	14,20	13,16	16,34	17,74	16,16	16,39	11,27	9,37

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, em nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: Embrapa Amazônia Oriental, 2016.

A biomassa final (t=16 dias) denota diferenças nas médias de massa fresca e seca entre os dois tratamentos (Tabela 8). Os dados de massa fresca da folha, caule, raiz e total das plantas controle ao final do experimento foram superiores às plantas sob déficit para algumas progênes. Isso demonstra os efeitos do estresse hídrico na perda de turgidez da planta em consequência da ausência de água. A média de massa fresca para folha do ambiente irrigado foi de 30,56 g contra 25,21 g do tratamento déficit; para o caule 30,03 g contra 19,58 g; para as raízes 15,12 g contra 12,68 g e para a massa total de 75,72 g contra 57,47 g para o ambiente sem irrigação. As progênes, do tratamento controle, apresentaram superioridade de massa fresca das folhas somente nos materiais 32 e 215; na massa fresca do caule todas as médias foram, a exceção da progênie 215. Para a massa fresca das raízes as progênes superiores no tratamento irrigado foram a 42 e 215. A massa fresca total discriminou favoravelmente as progênes do ambiente controle à exceção da 46, 57 e 1074.

Por outro lado, a análise de matéria seca mostra médias gerais bem próximas entre os tratamentos, e até superiores para o ambiente de déficit hídrico como observado na massa seca das folhas. A massa do caule foi superior apenas para as plantas controle das progênes 42 e 47, enquanto que para as raízes e massa seca total praticamente não houve variação entre as médias, apenas para as progênes 215 e 1074.

A massa seca das folhas destacou superior, no ambiente de déficit, as progênes 42, 47 e 1074, ao passo que para as demais não houve diferença significativa. A massa seca do caule não apresentou diferenças estatísticas significativas nas progênes 32, 46, 57, 215 e 1074, apesar

das médias superiores do ambiente controle. Por outro lado, as progênies 42 e 47 apresentaram resultados favoráveis ao tratamento controle com médias de 12,59 g e 16,27 g, em comparação as médias de déficit de 7,59 g e 10,28 g, respectivamente. A massa das raízes não diferiu estatisticamente para as cinco primeiras progênies, sendo superior o tratamento controle no material 215 e o tratamento déficit no material 1074. Também foi observado a ausência de diferença estatística na massa seca total em todos os materiais avaliados, reiterando a média similar entre os dois tratamentos de 33,35 g (controle) e 33,02 g (déficit).

Esses resultados podem ser explicados pelo tempo de duração da restrição hídrica a que as plantas foram submetidas. A variação da massa fresca para massa seca nas plantas do tratamento controle permitem observar reduções de 50 até 66% na massa fresca das progênies segundo as médias gerais. Desse modo, observa-se que para as folhas a redução foi de 47,3%, para o caule de 61% e para as raízes foi de 63,2% do peso fresco. Isso evidencia o alto teor de água ainda presente nas plantas em contrapartida ao ganho ainda não expressivo em matéria seca no decorrer dos 16 dias de estresse. Por outro lado, as progênies sob seca apresentaram reduções na massa seca em escala menor como de 26,4% para folhas, 54,2% para o caule e 56,3% para as raízes.

Desse modo, o elevado teor de massa fresca das plantas irrigadas não foi traduzido em altos teores de massa seca, principalmente a nível das folhas, ao passo que nas raízes e caule os resultados gerados ou foram favoráveis ao ambiente irrigado ou não mostraram diferenças significativas entre os tratamentos para a maioria das progênies.

Sendo assim, o aumento no tempo de duração da restrição hídrica possibilitaria maior vantagem as plantas sob irrigação plena devido a estas poderem, a um maior prazo, produzirem teores de biomassa fresca ainda mais elevados que as plantas sob déficit, gerando diferenças de matérias seca também mais elevados entre os dois tratamentos. O curto tempo e a pequena vantagem na diferença entre as massas frescas após 16 dias pelas plantas controle não possibilitou diferenças significativas entre os tratamentos na massa seca das plantas, gerando resultados finais iguais entre os tratamentos ou até superiores pelo déficit hídrico, devido a reduzida queda na massa fresca, haja vista que as plantas sem aporte hídrico já encontram-se severamente secas nesse nível de estresse, perdendo pouca água após a secagem e restando ainda bastante matéria seca.

Tabela 8 - Biomassa de matéria fresca (MF) e biomassa de matéria seca (MS) de sete progênie de cupuaçuzeiro submetidas a dois regimes hídricos (controle e déficit) com 16 dias de tratamento. Belém, PA, 2016.

Progênie	Tratamento	Folha		Caule		Raiz		MF Total (g)	MS Total (g)
		MF (g)	MS (g)	MF (g)	MS (g)	MF (g)	MS (g)		
32	Controle	35,77 A	18,49 A	26,15 A	10,10 A	18,29 A	6,67 A	80,21 A	35,26 A
	Déficit	28,34 B	19,26 A	19,11 B	9,34 A	14,29 A	5,82 A	61,74 B	34,42 A
42	Controle	25,96 A	12,82 B	34,59 A	12,59 A	15,92 A	5,66 A	76,47 A	31,06 A
	Déficit	22,72 A	18,19 A	16,55 B	7,59 B	9,81 B	4,74 A	49,09 B	30,52 A
46	Controle	29,19 A	16,23 A	27,04 A	11,11 A	10,59 A	4,04 A	66,82 A	31,38 A
	Déficit	23,76 A	18,36 A	18,11 B	8,74 A	13,06 A	5,63 A	54,93 A	32,73 A
47	Controle	29,53 A	16,98 B	38,74 A	16,27 A	12,74 A	5,30 A	81,01 A	38,55 A
	Déficit	27,06 A	20,21 A	21,81 B	10,28 B	12,88 A	5,53 A	61,75 B	36,03 A
57	Controle	30,14 A	14,88 A	27,01 A	10,84 A	15,35 A	5,59 A	72,50 A	31,31 A
	Déficit	27,19 A	17,12 A	19,04 B	8,63 A	15,23 A	6,19 A	61,47 A	31,93 A
215	Controle	35,18 A	18,17 A	26,03 A	10,20 A	22,56 A	8,22 A	83,77 A	36,59 A
	Déficit	23,65 B	17,59 A	20,54 A	8,42 A	12,38 B	5,43 B	56,57 B	31,44 A
1074	Controle	28,16 A	15,13 B	30,67 A	10,82 A	10,41 A	3,36 B	69,24 A	29,31 A
	Déficit	23,75 A	19,03 A	21,90 B	9,69 A	11,12 A	5,36 A	56,77 A	34,08 A
Média Controle		30,56	16,10	30,03	11,70	15,12	5,55	75,72	33,35
Média Déficit		25,21	18,54	19,58	8,96	12,68	5,53	57,47	33,02
C.V. (%) Controle		23,79	17,63	21,50	20,98	37,34	32,46	21,05	15,95
C.V. (%) Déficit		13,62	9,72	16,52	13,81	17,52	18,48	9,54	6,69

Médias seguidas de mesma letra, entre os tratamentos, não diferem estatisticamente entre si, em nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: Embrapa Amazônia Oriental, 2016.

Fernandes (2016) observou, após 45 dias de déficit hídrico em progênie de cupuaçuzeiro, elevadas diferenças entre as produções de massa fresca entre plantas controle e déficit. Na massa fresca das folhas e do caule, por exemplo, observou-se médias de até três vezes mais massa fresca nas plantas controle em relação às plantas estressadas. Essa maior vantagem permitiu resultados mais significativos de massa seca entre plantas controle e o déficit.

Outros autores também relataram reduções no acúmulo da fitomassa seca da parte aérea e total das plantas, bem como nas variáveis de crescimento como altura, diâmetro e número de folhas. Melo et al. (2014), ao avaliar o crescimento e produção de fitomassa de mudas de tamarindeiro sob estresse hídrico de 29 dias, observaram que o aumento do nível de estresse hídrico proporcionou uma redução expressiva no crescimento vegetativo das mudas em altura e diâmetro. Daniel (2008) observou reduções significativas para as variáveis diâmetro, número

de folhas, área foliar e massa seca em plantas de cajueiro. Peixoto et al. (2006), avaliando a tolerância de genótipos de *Citrus* cultivados sob déficit hídrico durante 12 dias, também observaram decréscimos no conteúdo de massa seca total. Resultados similares foram encontrados por Paim (2002) em aroeira-do-sertão.

Em outros estudos, os efeitos do déficit hídrico entre os tratamentos são visíveis por apenas parte das variáveis ou dos materiais genéticos estudados. Freire et al. (2009), analisando os efeitos da supressão hídrica em plantas jovens de araçazeiro observaram reduções significativas nas variáveis altura, diâmetro e número de folhas, entretanto nas variáveis de acúmulo de massa seca de folha, caule, raiz e total, não foram observadas variações substanciais após 34 dias da diferenciação dos tratamentos hídricos.

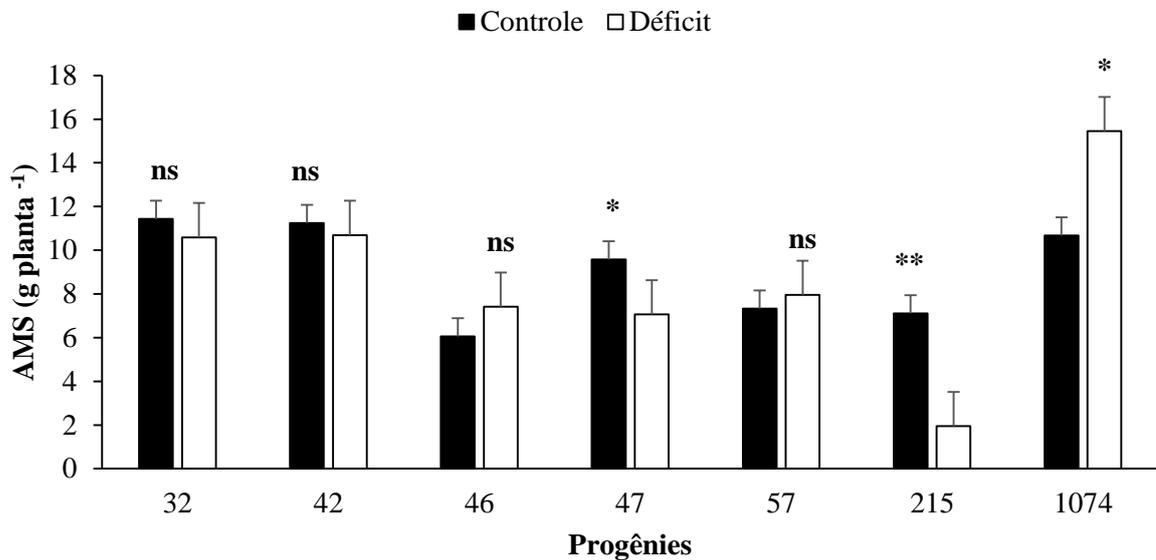
Para Santos et al. (2014), o déficit hídrico do solo influenciou negativamente a produção de biomassa seca das plantas, além da área foliar, diâmetro e número de folhas para a maioria dos genótipos de cacau avaliados. Apesar disso, alguns materiais não apresentaram diferenças significativas entre os dois tratamentos hídricos mesmo após 60 dias.

Os resultados de biomassa e biometria das plantas foram transformados em outras relações para possibilitar observar o Acúmulo de Matéria Seca (AMS) (Figura 5), as taxas de crescimento absoluto (TCA) (Figura 6) e relativo (TCR) (Figura 7), bem como as variáveis razão de área foliar (RAF) (Figura 8) e área foliar específica (AFE) (Figura 9). Através destas pode-se ter maior entendimento sobre os efeitos do déficit hídrico nas plantas, bem como apresentar justificativas para explicar tais efeitos. As três primeiras, são relações que envolvem unicamente a massa seca total, enquanto que as duas últimas agregam a área foliar total.

As progênies 32, 42, 46 e 57 não apresentaram resultados significativos entre as médias de acúmulo de matéria seca (Figura 5), demonstrando que o déficit hídrico não interferiu na produção de matéria seca dessas progênies. Por outro lado, as progênies 47 e 215 acumularam menos matéria seca com o estresse hídrico. Destaque foi a progênie 1074 que apresentou elevado acúmulo em massa seca mesmo em ambiente desfavorável. Isso se deve ao elevado desenvolvimento vegetativo deste material, em vista que sua média no ambiente controle também estava entre as maiores.

Fernandes (2016), avaliando os efeitos do déficit hídrico na biomassa de progênies de cupuaçuzeiro, observou maiores acúmulos em matéria seca em plantas controle para a maioria das progênies estudadas. Entretanto, os materiais 46 e 57, também utilizados pelo autor, apresentaram elevadas médias de acúmulo em massa seca nas plantas sob déficit, o que também ocorreu neste trabalho, apesar de neste presente estudo não ter ocorrido discriminação entre os tratamentos hídricos para essas duas progênies.

Figura 5 - Acúmulo de matéria seca total (AMS) de sete progênies de cupuaçuzeiro submetidas a dois regimes hídricos (controle e déficit) por 16 dias. Belém, PA, 2016. Valores médios de dez repetições. (T) Erro-padrão da média. Teste - t ** (P<0,01), * (P<0,05), ns (não-significativo).



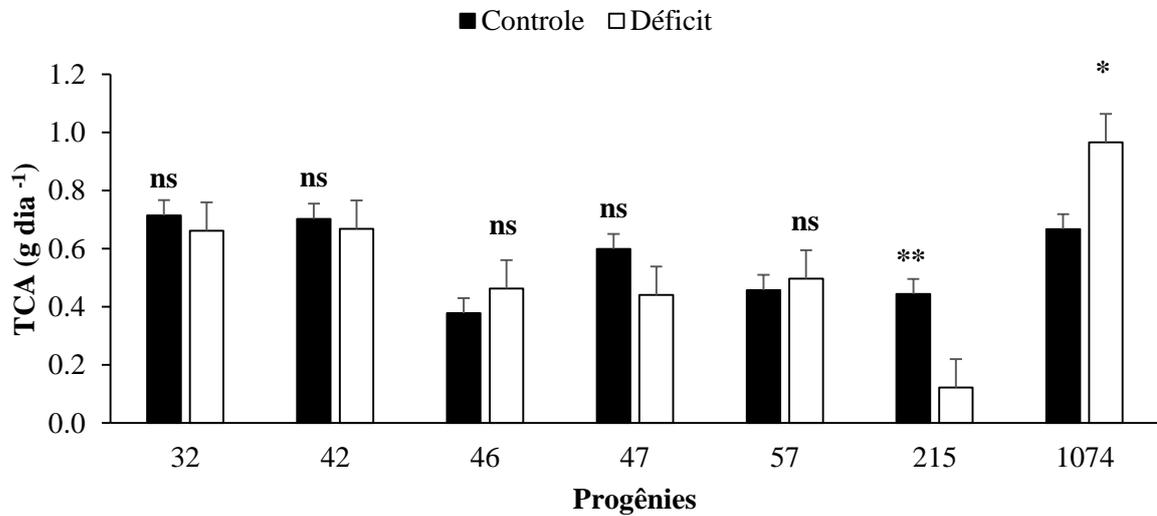
Fonte: Embrapa Amazônia Oriental, 2016.

Os resultados anteriormente citados (Figura 5) possibilitam efeitos similares para as taxas de crescimento absoluto e relativo, pois estas utilizam o acúmulo de biomassa em função do tempo de estresse hídrico aplicado.

Os resultados da taxa de crescimento absoluto (Figura 6) indicam que para a maioria das progênies (32, 42, 46, 47 e 57) não houve diferença significativa no ganho de massa seca ao longo dos dias de estresse. Somente a progênie 215 não teve esse comportamento, pois o ambiente desfavorável prejudicou sua taxa de crescimento. Ao passo que com a progênie 1074 o resultado foi contrário, pois mesmo no ambiente desfavorável teve desempenho melhor que o controle (Figura 6).

A taxa de crescimento absoluto (TCA) é usada para expressar a velocidade média de crescimento de uma planta, ao longo de determinado período de observação (BARCELOS et al., 2007; PEIXOTO, 1998). Os resultados da TCA citados por Fernandes (2016) também foram favoráveis ao ambiente controle, a exemplo das progênies 215 e 32, porém para esta última o autor também não observou diferenças significativas entre controle e déficit.

Figura 6 - Taxa de crescimento absoluto (TCA) de sete progênies de cupuaçuzeiro submetidas a dois regimes hídricos (controle e déficit) por 16 dias. Belém, PA, 2016. Valores médios de dez repetições. (T) Erro-padrão da média. Teste - t ** (P<0,01), * (P<0,05), ns (não-significativo).

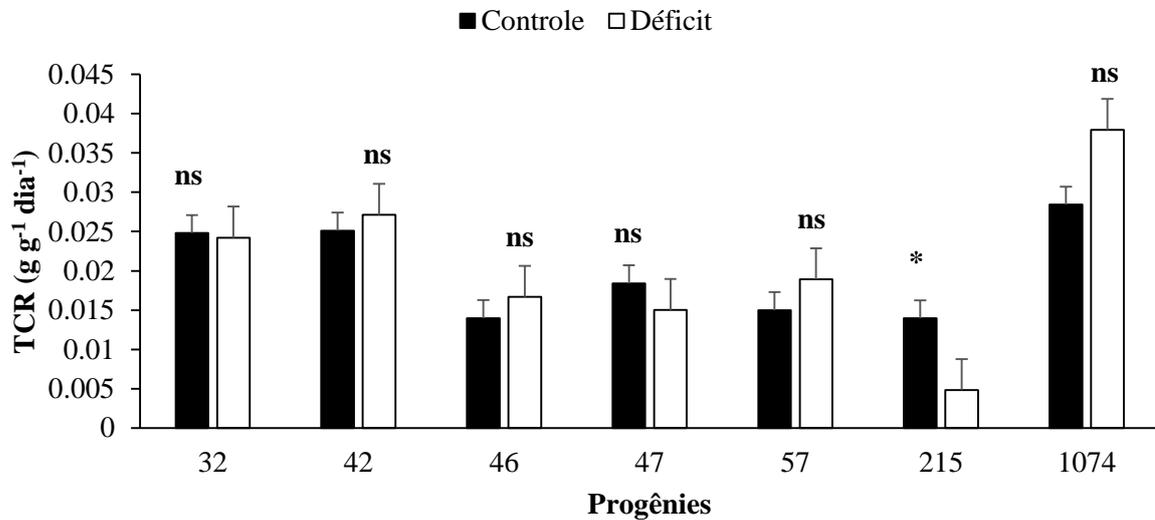


Fonte: Embrapa Amazônia Oriental, 2016.

A taxa de crescimento relativo (Figura 7) também acompanhou parte dos resultados anteriormente citados, porém desta vez apenas houve diferença significativa (P<0,05) para a progênie 215, a qual novamente apresentou resultados significativos e negativos para o ambiente sob restrição hídrica, indicando provável baixa tolerância ao ambiente seco. As demais progênies apresentaram comportamento similar nos dois ambientes, indicando algum nível de tolerância à seca.

Essa taxa representa a eficiência da massa da matéria vegetal em produzir matéria seca, por unidade de peso inicial, em um intervalo de tempo (g g⁻¹ dia⁻¹), ao passo que em alguns casos as taxas de crescimento, como a TCR, apresentam resultados negativos (PEIXOTO et al., 2006).

Figura 7 - Taxa de crescimento relativo (TCR) de sete progênies de cupuaçuzeiro submetidas a dois regimes hídricos (controle e déficit) por 16 dias. Belém, PA, 2016. Valores médios de dez repetições. (T) Erro-padrão da média. Teste - t ** (P<0,01), * (P<0,05), ns (não-significativo).



Fonte: Embrapa Amazônia Oriental, 2016.

A razão de área foliar também foi importante ao avaliar as consequências da aplicação da restrição hídrica, principalmente a curto prazo, pois a redução da área foliar é considerada a primeira resposta externa da planta a esse estresse abiótico (TAIZ; ZEIGER, 2009). A redução já ocorre nos primeiros dias de déficit através da perda de turgidez das células vegetais e consequente murcha da planta. Valores baixos de área foliar, em relação a massa seca total, implicam em resultados também baixos desta relação (Figura 8), que também expressa a área foliar útil para a fotossíntese, sendo um componente morfofisiológico da análise de crescimento (BENINCASA, 2003).

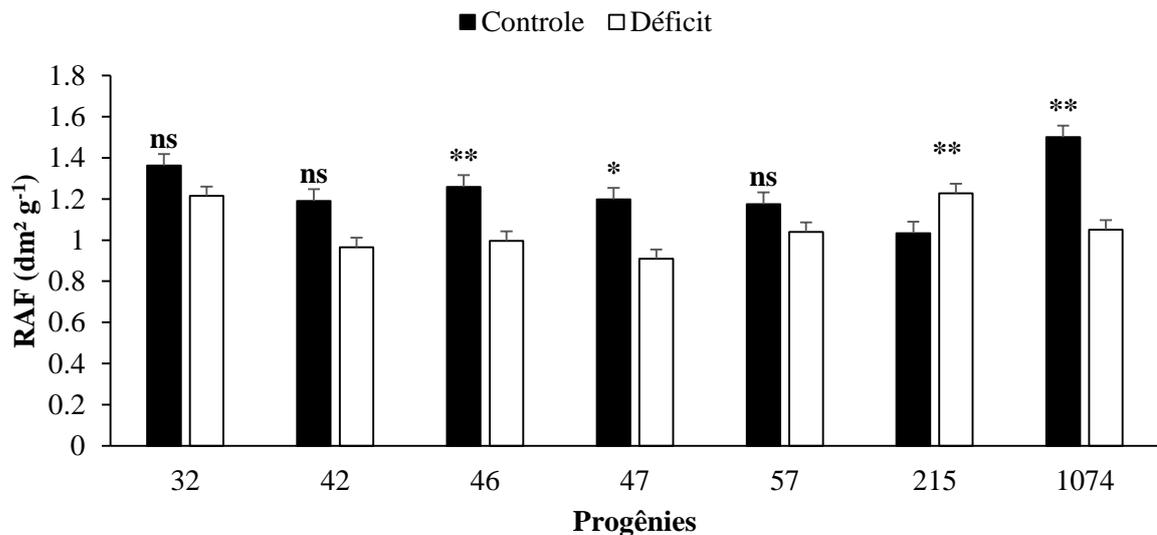
No geral, as progênies do controle apresentaram resultados superiores às plantas sob déficit, sendo os mesmos significativos (P<0,01 e P<0,05) para as progênies 46, 47 e 1074. Nesses materiais relação da área foliar em função da produção de massa seca não foi muito favorável para o ambiente sem irrigação. A progênie 215, contudo, apresentou acréscimo maior no tratamento de restrição hídrica, o que pode ser justificado pelo alto incremento em área foliar total registrado no ambiente de déficit (186,79 cm²) em relação ao ambiente controle (75,14 cm²) (Tabela 6).

Os materiais 32, 42 e 57 apresentaram comportamento semelhante, ou seja, suas progênies no ambiente sem água conseguiram não reduzir acentuadamente sua área foliar após a restrição hídrica. Isso é justificado pelos dados da Tabela 6, na qual percebe-se que os dois

primeiros materiais (32 e 42) não apenas apresentaram incrementos positivos em área foliar como também estavam entre os mais elevados comparando as médias das progêneses sob déficit.

Peixoto et al. (2006) também observaram reduções neste índice fisiológico após 12 dias de suspensão hídrica em porta-enxertos de *Citrus*.

Figura 8 - Razão de área foliar (RAF) de sete progêneses de cupuaçuzeiro submetidas a dois regimes hídricos (controle e déficit) por 16 dias. Belém, PA, 2016. Valores médios de dez repetições. (⊥) Erro-padrão da média. Teste - t ** (P<0,01), * (P<0,05), ns (não-significativo).

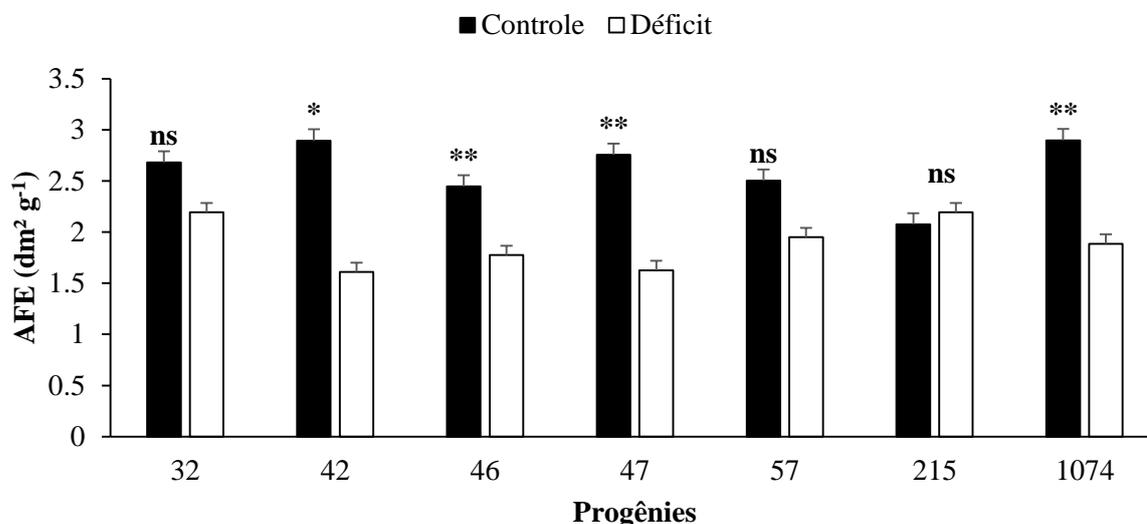


Fonte: Embrapa Amazônia Oriental, 2016.

A área foliar específica apresentou comportamento favorável às plantas controle em detrimento das médias do outro regime hídrico (Figura 9). Diferenças significativas foram observadas para os materiais 42, 46, 47 e 1074, que apresentaram acréscimos mais elevados no ambiente irrigado. Novamente, as progêneses 32 e 57, além da 215, não diferiram na comparação entre os dois ambientes. Essa variável relaciona a superfície ou área foliar com a massa seca da própria folha, podendo ser, portanto, um indicativo da espessura foliar, a qual é determinada pelo número e tamanho de células do mesófilo (MARAFON, 2012).

Em cacau, por exemplo, reduções nas taxas de crescimento de área foliar e variáveis relacionadas à área foliar total podem ser consideradas uma das primeiras respostas das plantas ao estresse como resultado da redução do turgor celular e da taxa fotossintética líquida (JOLY; HAHN, 1989; RUCKER et al., 1995).

Figura 9 - Área foliar específica (AFE) de sete progênes de cupuaçuzeiro submetidas a dois regimes hídricos (controle e déficit) por 16 dias. Belém, PA, 2016. Valores médios de dez repetições. (⊥) Erro-padrão da média. Teste - t ** (P<0,01), * (P<0,05), ns (não-significativo).



Fonte: Embrapa Amazônia Oriental, 2016.

4.4 Respostas fisiológicas

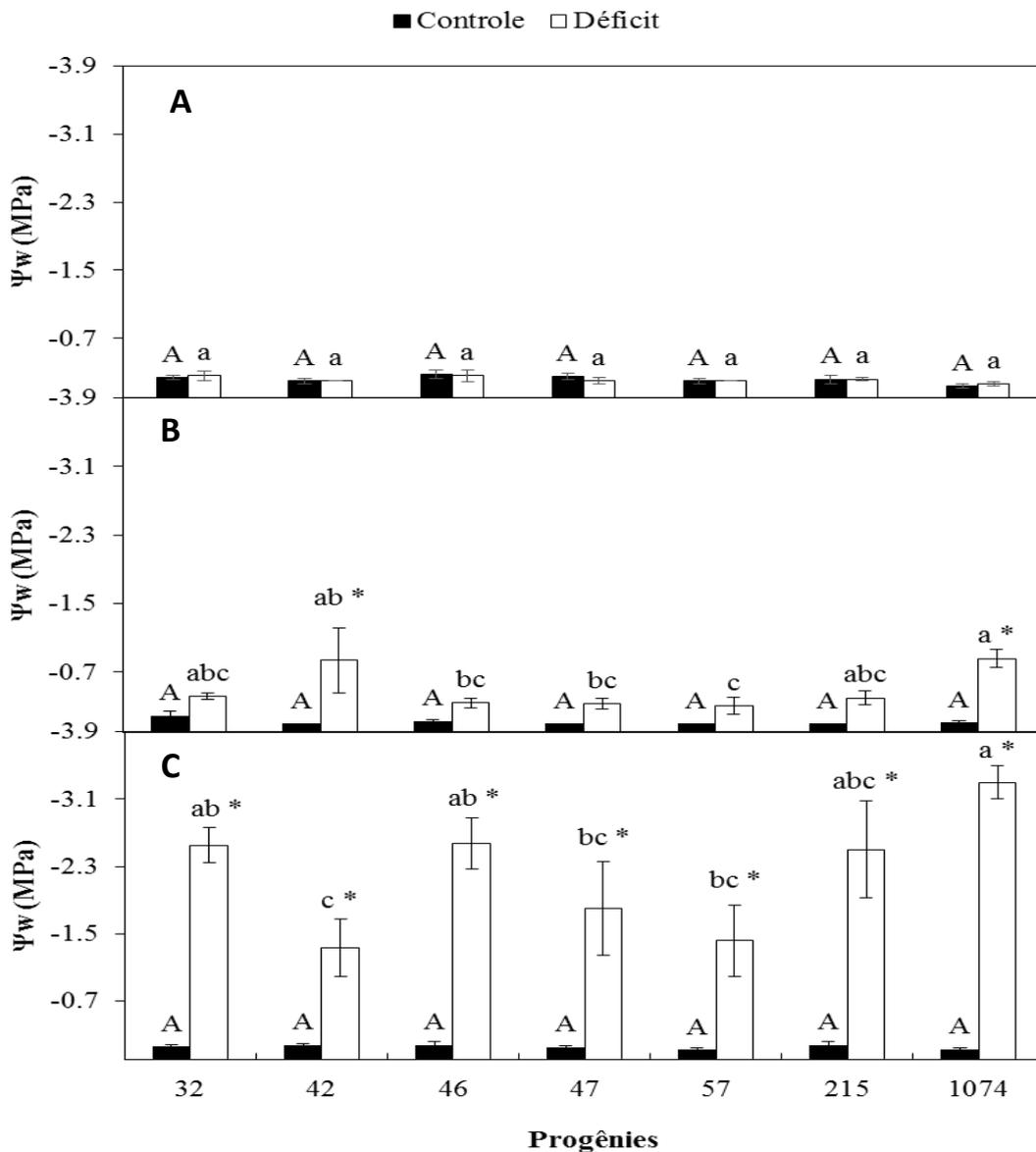
4.4.1 Potencial hídrico foliar

O potencial hídrico foliar de antemã (Figura 10) coletado após 2, 8 e 15 dias de estresse hídrico não apresentou diferenças significativas entre as progênes e tampouco entre os ambientes avaliados após 2 dias da restrição hídrica (Figura 10A). Entretanto, aos 8 dias observa-se diferenças significativas entre os dois regimes hídricos nas progênes 42 e 1074 (Figura 10B). Nesses materiais, o potencial hídrico diminuiu, no ambiente sob restrição hídrica, de -0,1 à -0,84 MPa na progênie 42, e de -0,11 à -0,86 MPa na progênie 1074. Esses dois materiais foram os primeiros a apresentarem sintomas iniciais da falta de água no meio. Também apresentaram as maiores médias, dentre as progênes sobre déficit, junto aos materiais 32 e 215. Após 15 dias (Figura 10C), já se observou a redução acentuada dos valores de potencial hídrico em todas as progênes sob déficit, porém as progênes 42, 47 e 57 ainda assim conseguiram manter esses resultados mais elevados que as demais sendo -1,33; -1,80 e -1,42 MPa, respectivamente. Contrariando essas, a progênie 1074 obteve maior perda com o potencial atingido -3,30 MPa, em contraste com a média irrigada de -0,15 MPa.

Em cacauzeiro, o potencial hídrico apresentou-se menor nas plantas sob déficit hídrico (ALMEIDA et al., 2002; BAE et al., 2008; SANTOS et al., 2014). Bae et al. (2008) observaram

severas reduções nas taxas fotossintéticas, condutância estomática e potencial hídrico foliar após 13 dias de estresse. O potencial hídrico apresentou maior redução atingido -4,5 MPa. Esse resultado foi superior ao mais elevado encontrado neste trabalho (-3,30 MPa) para a progênie 1074, após 15 dias de estresse.

Figura 10 – Potencial hídrico (Ψ_w) foliar de sete progênies de cupuaçuzeiro submetidas a dois regimes hídricos (controle e déficit) com 2 (A), 8 (B) e 15 (C) dias de restrição hídrica. Belém, PA, 2016. Valores médios de cinco repetições. (\pm) Erro-padrão da média. Letras maiúsculas comparam plantas irrigadas, letras minúsculas comparam plantas sob déficit hídrico e os asteriscos comparam progênies nas duas condições hídricas. Letras diferentes e asterisco denotam diferenças significativas entre médias (teste de Tukey, $P < 0,05$).



Fonte: Embrapa Amazônia Oriental, 2016.

4.4.2 Trocas gasosas

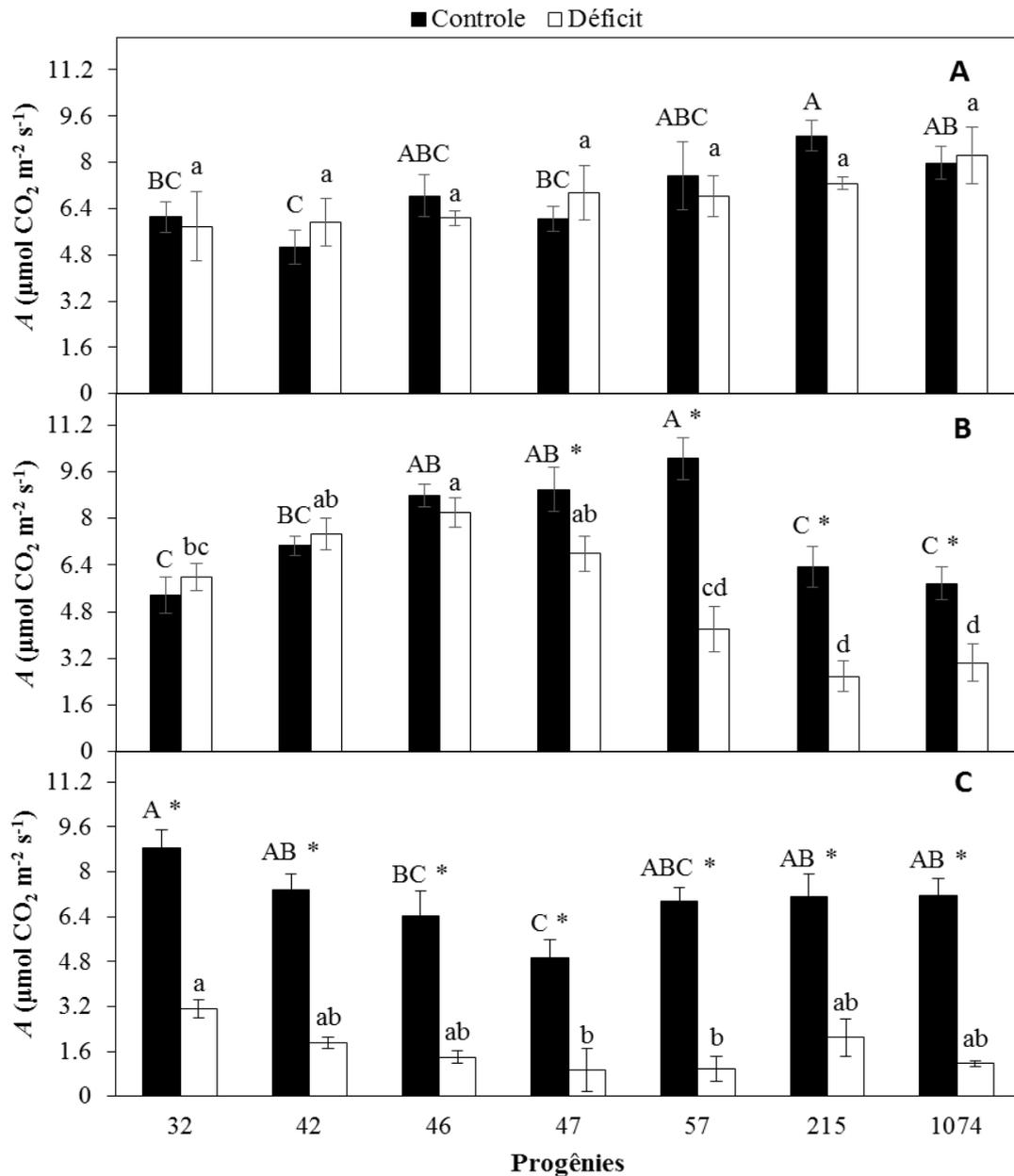
As variações nas taxas da fotossíntese são mostradas abaixo na Figura 11. Inicialmente (t=2 dias), não houve variação significativa entre os tratamentos controle e déficit (Figura 11A), com médias fotossintéticas de 6,93 e 6,72 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ entre os dois ambientes. Os materiais sob restrição hídrica não diferiram, inicialmente, entre si, porém observou-se que para o ambiente controle as progênies 32, 42 e 47 apresentavam taxas fotossintéticas menores que as demais do mesmo tratamento.

Após 8 dias de estresse hídrico (Figura 11B), percebe-se o início do efeito negativo do déficit hídrico nas progênies 47, 57, 215 e 1074. Esses materiais já apresentavam reduções elevadas de 24, 58, 59 e 47% na assimilação líquida de carbono quando comparados às suas respectivas médias do ambiente controle.

Com 15 dias de restrição hídrica (Figura 11C), todas as progênies apresentaram severas quedas no rendimento do aparato fotossintético com média do ambiente irrigado em 6,96 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ contra 1,95 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ do ambiente em déficit. A menor redução foi da progênie 32 (64%), representando ainda assim valor elevado. Entretanto os materiais 47, 57 e 1074 obtiveram as maiores reduções com 81, 85 e 83% a menos de fotossíntese que seus respectivos controles, cujos valores registrados foram, aproximadamente, 5, 7 e 6 vezes maiores do que a média sem irrigação, respectivamente.

A diminuição da fotossíntese provoca baixa na produção de fotoassimilados, o que acarretará negativamente a produção e o desenvolvimento da planta (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Figura 11 - Taxa de assimilação líquida de CO₂ (A) de sete progênies de cupuaçuzeiro submetidas a dois regimes hídricos (controle e déficit) com 2 (A), 8 (B) e 15 (C) dias de restrição hídrica. Belém, PA, 2016. Valores médios de cinco repetições. (⊥) Erro-padrão da média. Letras maiúsculas comparam plantas irrigadas, letras minúsculas comparam plantas sob déficit hídrico e asteriscos comparam progênies nas duas condições hídricas. Letras diferentes e asterisco denotam diferenças significativas entre médias (teste de Tukey, P<0,05).



Fonte: Embrapa Amazônia Oriental, 2016.

A condutância estomática entre plantas irrigadas e sob déficit (Figura 12) não apresentou diferença significativa nos dois primeiros dias de déficit hídrico (Figura 12A). Ambos os tratamentos registraram médias de 0,12 mmol m⁻² s⁻¹. Além disso, não houve diferença entre as progênies no ambiente déficit, ao passo que para as plantas controle apenas a progênie 47 (0,08

mmol m⁻² s⁻¹) obteve resultados inferiores às demais de mesmo tratamento, em decorrência da variação genética existente.

No entanto, aos 8 dias de restrição hídrica (Figura 12B), as progênies 42, 47, 57, 215 e 1074 foram as primeiras afetadas negativamente pelo déficit hídrico. Mesmo após apenas 8 dias as plantas controle dessas progênies foram superiores em 63%, 100%, 275%, 266% e 350%, respectivamente. As médias do controle para o déficit decresceram de 0,14 para 0,08 mmol m⁻² s⁻¹. Em contrapartida, as progênies 32 e 46 ainda não haviam apresentado reduções significativas (P<0,05).

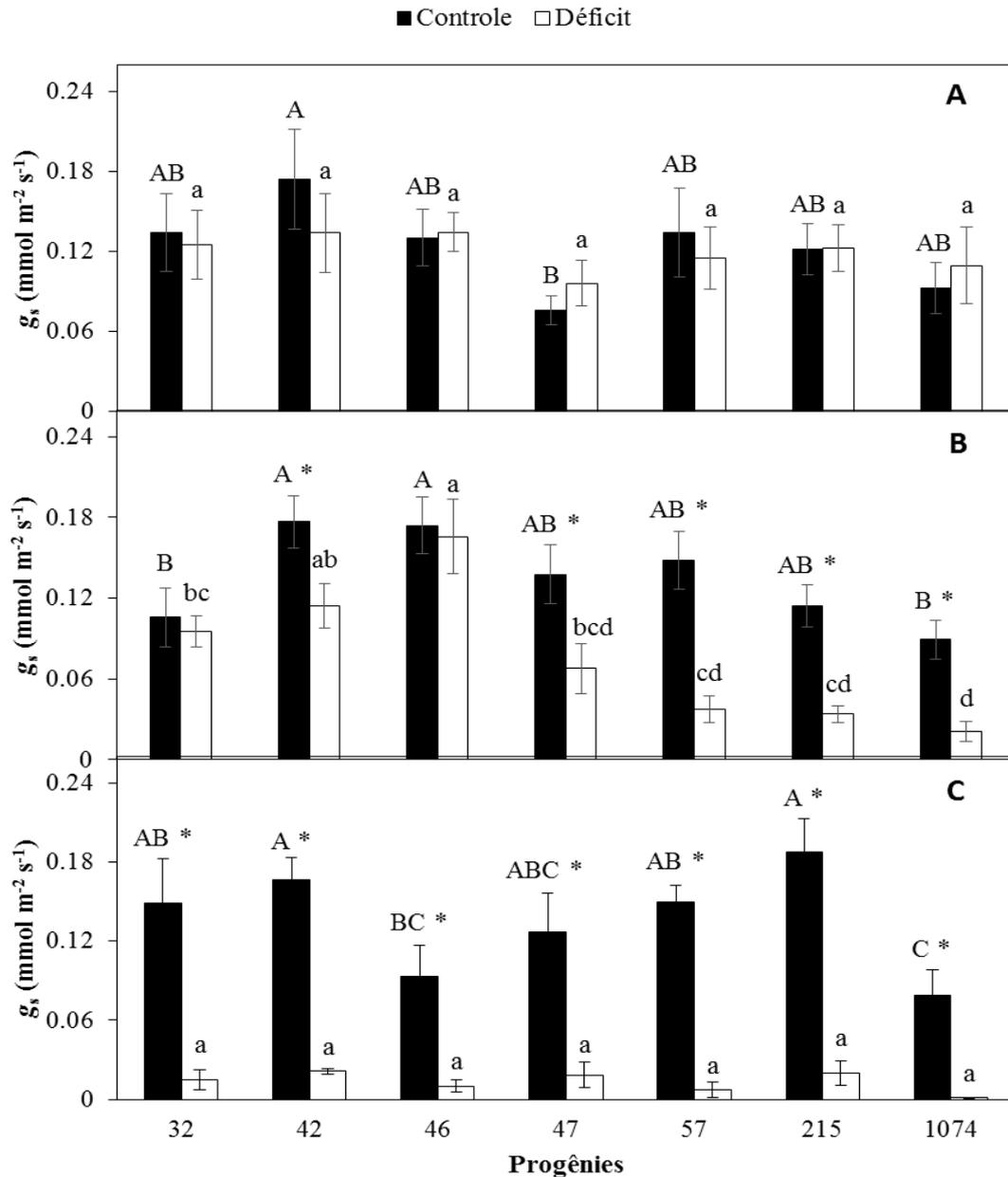
Aos 8 dias, também, observou-se distinção entre os tratamentos para cinco das progênies (42, 47, 57, 215 e 1074), enquanto isso a fotossíntese apresentava quatro progênies com deficiência fotossintética significativa (47, 57, 215 e 1074). Além disso, aos 8 dias, as reduções observadas nas condutâncias foram mais severas para as mesmas. Alguns estudos têm mostrando que o estresse hídrico afeta, a princípio e inicialmente, mais a condutância estomática do que a própria fotossíntese (KERBAUY, 2004).

Após 15 dias, todos os materiais avaliados tiveram suas condutâncias reduzidas significativamente (Figura 12C). A média do ambiente controle foi de 0,13 mmol m⁻² s⁻¹ contra apenas 0,01 mmol m⁻² s⁻¹ das plantas sob déficit, representando valor 1200% maior para as plantas irrigadas. As médias da progênie 1074 foram as menores registradas para ambos os ambientes, porém ainda sendo igual estatisticamente a todas as outras progênies entre as plantas não irrigadas.

Oliveira-Neto et al. (2005), ao realizarem estudo com plantas de cupuaçuzeiro aos 24 meses de idade, observaram reduções drásticas na fotossíntese e condutância estomática das plantas após 9 dias de deficiência hídrica em relação ao ambiente controle. Nesse período foram observadas reduções de 50% na condutância e queda na taxa fotossintética de 8 μmol m⁻² s⁻¹ (controle) para 1 μmol m⁻² s⁻¹ (déficit).

O fechamento estomático tem por função manter o teor de água nas folhas, reduzindo, porém, a atividade fotossintética e transpiração (TEZARA et al., 2002). No entanto, Chaves et al. (2009) indicam a possibilidade de que sob estresse leve, um pequeno declínio na condutância estomática tenha efeito protetor, permitindo à planta economizar água, através da melhoria da eficiência no uso da mesma.

Figura 12 - Condutância estomática ao vapor d'água (g_s) de sete progênies de cupuaçuzeiro submetidas a dois regimes hídricos (controle e déficit) com 2 (A), 8 (B) e 15 (C) dias de restrição hídrica. Belém, PA, 2016. Valores médios de cinco repetições. (⊥) Erro-padrão da média. Letras maiúsculas comparam plantas irrigadas, letras minúsculas comparam plantas sob déficit hídrico e asteriscos comparam progênies nas duas condições hídricas. Letras diferentes e asterisco denotam diferenças significativas entre médias (teste de Tukey, $P < 0,05$).



Fonte: Embrapa Amazônia Oriental, 2016.

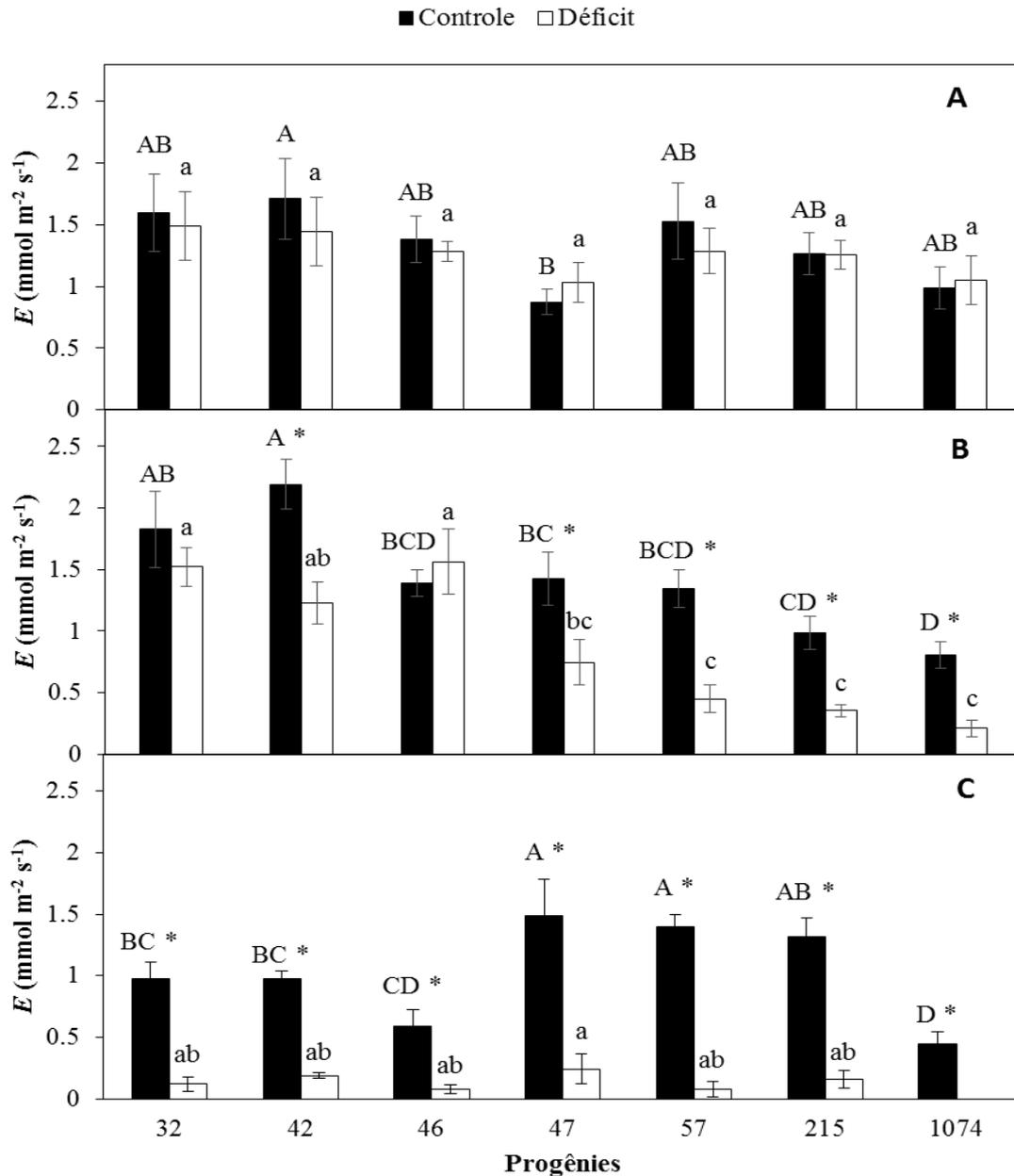
O comportamento da variável transpiração é mostrado na Figura 13. Inicialmente não se observa variações entre as médias das progênies nos dois ambientes. As médias dos dois ambientes são de $1,33 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (controle) e $1,26 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (déficit). Além disso, entre as plantas estressadas não foram observadas diferenças entre as progênies, ao passo que no ambiente irrigado apenas a progênie 47 apresentou valor médio de transpiração reduzido em

relação as demais (Figura 13A), resultado também observado pela variável de condutância estomática (Figura 12A).

Com 8 dias da aplicação dos tratamentos, novamente os materiais 42, 47, 57, 215 e 1074 apresentaram as primeiras reações negativas ao déficit hídrico, seguindo o padrão previamente observado na condutância estomática (Figura 13B). As maiores médias das plantas estressadas foram das progênies 32 e 46 com 1,52 e 1,55 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, mas que ainda assim não diferiram da progênie 42 (1,23 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). As progênies 57, 215 e 1074 obtiveram as menores médias, como já ocorrera previamente para as variáveis fotossíntese (Figura 11B) e condutância (Figura 12B) em função do mesmo tempo de avaliação.

Aos 15 dias, a distinção entre os tratamentos ficou ainda mais evidente (Figura 13C). Apesar da redução na média geral do ambiente controle (1,03 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), este ainda foi muito superior ao obtido pelas plantas estressadas (0,10 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). A diferença representa valor 10 vezes menor para o ambiente com restrição hídrica. As progênies 47, 57 e 215 mantiveram as maiores taxas transpiratórias entre as médias de plantas irrigadas, porém entre as não irrigadas a progênie 1074, novamente, figurou entre a mais afetada, pois teve sua transpiração totalmente comprometida.

Figura 13 - Transpiração (E) de sete progênies de cupuaçuzeiro submetidas a dois regimes hídricos (controle e déficit) com 2 (A), 8 (B) e 15 (C) dias de restrição hídrica. Belém, PA, 2016. Valores médios de cinco repetições. (\top) Erro-padrão da média. Letras maiúsculas comparam plantas irrigadas, letras minúsculas comparam plantas sob déficit hídrico e asteriscos comparam progênies nas duas condições hídricas. Letras diferentes e asterisco denotam diferenças significativas entre médias (teste de Tukey, $P < 0,05$).



Fonte: Embrapa Amazônia Oriental, 2016.

A Figura 14 apresenta os resultados obtidos para a concentração intercelular de carbono (C_i). Nos primeiros dois dias de avaliação ainda não era possível observar diferenças estatísticas entre tratamentos aplicados (Figura 14A). As plantas sob irrigação apresentaram média de $274,11 \text{ mol mol}^{-1}$, enquanto que as plantas sem irrigação registravam média de $282,09 \text{ mol mol}^{-1}$.

¹. Apesar disso, em ambas as condições hídricas, a progênie 1074 apresentava baixos valores de concentração de carbono com 222,72 mol mol⁻¹ (controle) e 241,17 mol mol⁻¹ (déficit).

No oitavo dia de restrição (Figura 14B), as progênies 42, 47, 57 e 1074 apresentaram acréscimos na concentração de CO₂ maiores que os das plantas estressadas (P<0,05). Apesar disso, não houve diferença entre as progênies irrigadas, enquanto que para as não irrigadas as progênies 47, 57 e 1074 apresentavam as menores médias.

Aos 15 dias apenas os materiais 42 e 1074 apresentavam distinções significativas entre os tratamentos (Figura 14C). A progênie 42 foi superior para o tratamento controle (305,85 mol mol⁻¹), enquanto a progênie 1074 teve aumento de 121% na concentração intercelular de carbono (203,63 mol mol⁻¹ em plantas controle contra 450,42 mol mol⁻¹ em plantas estressadas).

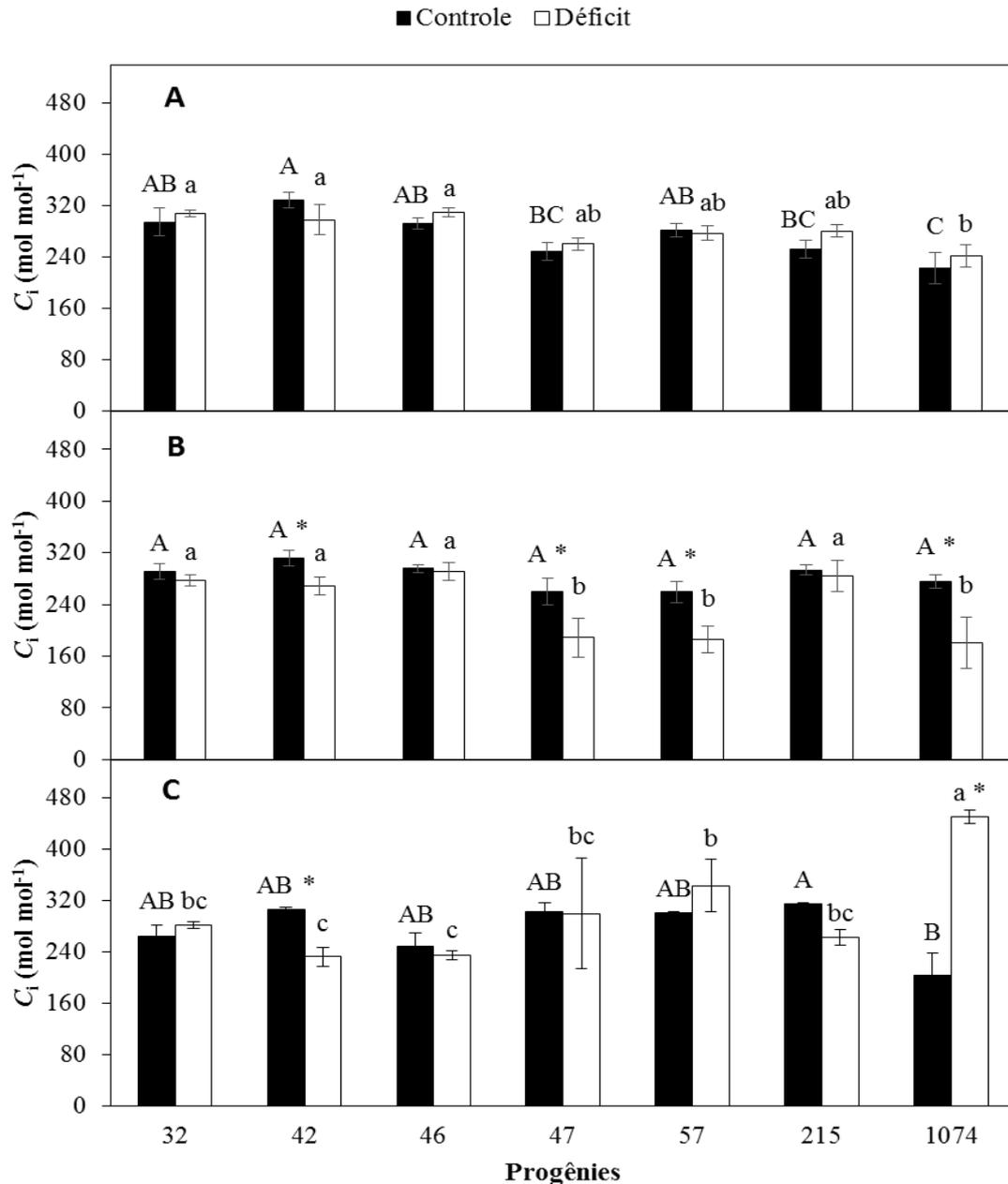
A análise das trocas gasosas em mudas de cacaueteiro mostrou que plantas não irrigadas apresentaram elevação da concentração de carbono interno, sugerindo que as plantas estavam fotorrespirando (ZANETTI, 2013). Outros afirmam ainda que a redução da abertura estomática contribui para a elevação da concentração interna de carbono, possivelmente gerado pela atividade fotorrespiratória das plantas na condição de estresse hídrico (SINGH; RAJA REDDY, 2011) ou pelo comprometimento de reações enzimáticas dependentes da água associadas ao ciclo de Calvin-Benson (ZANETTI et al., 2016). Um aumento similar na concentração de carbono interno com baixa condutância estomática também foi observado em outros trabalhos (ROUHI et al., 2007; SINGH; RAJA REDDY, 2011).

Entretanto autores como Chaves et al. (2009) descrevem que a C_i de CO₂ é um parâmetro que indica a disponibilidade de dióxido de carbono para o processo fotossintético, sendo, portanto, sua redução um indicativo de ocorrência das limitações dos estômatos, de forma que a resistência estomática e do mesófilo reduzem a concentração de CO₂ que pode atingir os cloroplastos. Para Lopes et al. (1988), o déficit hídrico reduz o índice de troca de CO₂ e a sua condução para a folha, além de reduzir a concentração desse elemento nos espaços intercelulares.

O estresse moderado, porém, afeta geralmente a fotossíntese foliar e a condutância estomática e com o fechamento estomático durante os estádios iniciais do estresse hídrico, a eficiência do uso da água pode aumentar, ou seja, mais CO₂ pode ser absorvido por unidade de água transpirada, porque o fechamento estomático inibe a transpiração mais do que diminui as concentrações intercelulares de CO₂ (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Com base nisso, percebe-se que para algumas progênies (47, 57 e 1074) os dois comportamentos foram observados, ou seja, tanto reduções como acréscimos. Nesses materiais inicialmente observou-se redução leve, seguida de incremento aos 15 dias.

Figura 14 - Concentração intercelular de CO_2 (C_i) de sete progênies de cupuaçuzeiro submetidas a dois regimes hídricos (controle e déficit) com 2 (A), 8 (B) e 15 (C) dias de restrição hídrica. Belém, PA, 2016. Valores médios de cinco repetições. (⊥) Erro-padrão da média. Letras maiúsculas comparam plantas irrigadas, letras minúsculas comparam plantas sob déficit hídrico e asteriscos comparam progênies nas duas condições hídricas. Letras diferentes e asterisco denotam diferenças significativas entre médias (teste de Tukey, $P < 0,05$).



Fonte: Embrapa Amazônia Oriental, 2016.

A Figura 15 apresenta os resultados referentes à eficiência do uso da água (EUA). Após 2 dias de aplicação do déficit hídrico (Figura 15A), não foram observadas diferenças significativas entre os dois tratamentos.

Entretanto, após 8 dias de suspensão da irrigação observou-se diferenças ($P < 0,05$) para as progênies 42, 47, 57 e 1074, em que as plantas do ambiente déficit apresentaram aumentos significativos em relação aos seus ambientes controle (Figura 15B). A maior variação entre os ambientes foi observada para a progênie 1074. O aumento nesta relação pode indicar que a assimilação foi menos inibida do que a transpiração, explicando que a limitação das trocas gasosas foi devido ao fechamento estomático.

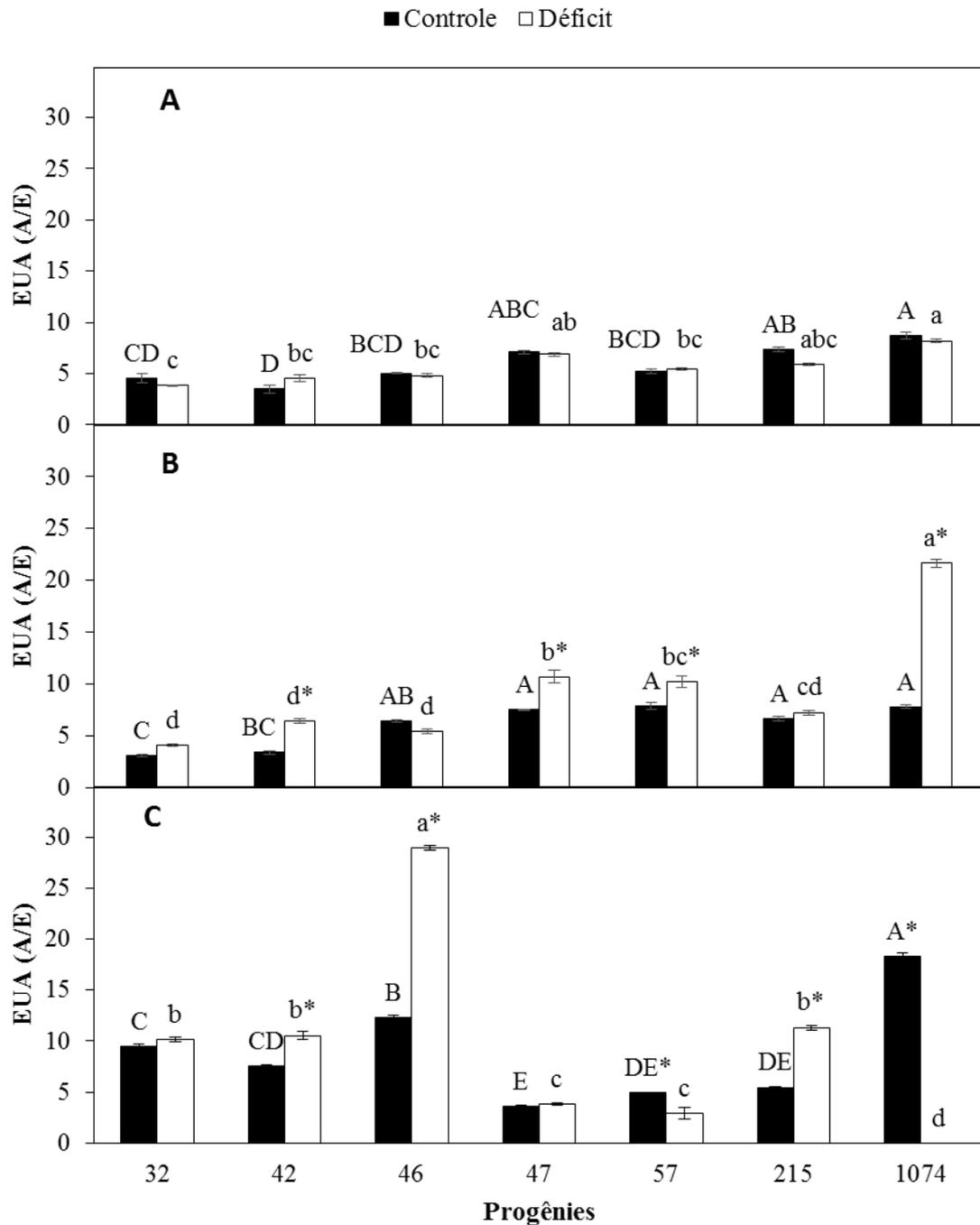
Aos 15 dias de restrição hídrica, observa-se novo comportamento quanto aos materiais estudados (Figura 15C). As progênies 47, 57 e 1074 apresentaram reduções mais elevadas na eficiência do uso da água nas plantas sob déficit, comportamento contrário ao observado no oitavo dia de suspensão hídrica e indicando que as plantas destes materiais não conseguiram suportar por maior tempo os efeitos do déficit hídrico.

Para a progênie 47 a diferença ($P < 0,05$) entre os ambientes foi ausente, ao passo que para a 57 e 1074, a eficiência do uso atingiu foi nula e proporcionando diferença significativa entre os ambientes com médias maiores para o controle. Apenas a progênie 42, entre as que inicialmente já respondiam ao déficit hídrico com 8 dias, conseguiu manter elevada esta relação no ambiente seco em comparação ao irrigado, demonstrando, que apesar de mais rapidamente sentir os efeitos da seca, ainda assim consegue manter boa taxa de assimilação de carbono no intuito de amenizar os efeitos negativos da restrição de água.

Ainda na avaliação após 15 dias, observou-se que apenas nesse período que os materiais 46 e 215 apresentaram resposta ao déficit hídrico diferenciando os ambientes entre si, ou seja, demonstrando uma tolerância e vantagem de pelo menos uma semana em relação aos demais supracitados. A progênie 32, entretanto, foi a única a não sentir os efeitos da seca através dessa variável mesmo após os 15 dias (Figura 15C), demonstrando possivelmente boa tolerância ao estresse.

Rada et al. (2005), avaliando cacauzeiros submetidos a até 25 dias de estresse hídrico, observaram aumentos na eficiência do uso da água à medida que a disponibilidade hídrica diminuiu. A eficiência do uso desse recurso é vista como uma forma de resposta das plantas aos efeitos do déficit hídrico moderado verificado através de aumentos nessa relação, ou seja, mais carbono pode ser absorvido e fixado por unidade de água transpirada, porém a medida que o estresse torna-se rigoroso, a desidratação das células do mesófilo inibe a fotossíntese prejudicando o metabolismo do mesmo e decrescendo, geralmente, a eficiência do uso da água (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Figura 15 - Eficiência do uso da água (EUA) de sete progênies de cupuaçuzeiro submetidas a dois regimes hídricos (controle e déficit) com 2 (A), 8 (B) e 15 (C) dias de restrição hídrica. Belém, PA, 2016. Valores médios de cinco repetições. (⊥) Erro-padrão da média. Letras maiúsculas comparam plantas irrigadas, letras minúsculas comparam plantas sob déficit hídrico e asteriscos comparam progênies nas duas condições hídricas. Letras diferentes e asterisco denotam diferenças significativas entre médias (teste de Tukey, $P < 0,05$).



Fonte: Embrapa Amazônia Oriental, 2016.

Zanetti (2013) avaliou os efeitos da restrição hídrica após 20 dias em cacaueiros e observou reduções no potencial hídrico foliar, fotossíntese e condutância estomática.

Entretanto, a concentração de carbono interno foi maior nas plantas não irrigadas, como observado em algumas das progênies deste estudo. Rada et al. (2005), por sua vez, relataram reduções de 25% na taxa fotossintética em plantas severamente estressadas, enquanto as taxas de transpiração diminuíram 39%, indicando que o fechamento estomático afeta a perda de água em maior grau. Além disso, também observaram reduções significativas na condutância estomática a medida que aumentou o estresse hídrico após 12 e 25 dias.

Em outras fruteiras, submetidas a curtos intervalos de aplicação de déficit hídrico, também foram observadas reduções elevadas nas trocas gasosas das plantas e no potencial hídrico foliar, como em ameixeira (MARTINAZZO et al., 2012), bananeira (MATTOS-MOREIRA et al., 2012) e maracujazeiro (GOMES, 2011). Igualmente já fora relatado em espécies florestais, como em clones de eucalipto (VELLINI et al., 2008).

4.5 Sobrevivência

Ao final do período experimental, as progênies apresentaram taxas de sobrevivência distintas (Tabela 9). Destaque aos materiais 32 e 42 com 90% das plantas vivas. Porém, as progênies 215 e 1074 mostraram ser as mais susceptíveis segundo o presente estudo, com apenas 63,3 e 56,6% de sobrevivência. Esses resultados foram similares aos obtidos por Fernandes (2016), com relação à sobrevivência dos materiais 42 e 1074, porém foram bem superiores aos encontrados pelo autor para as demais progênies (46, 47 e 57).

Tabela 9 - Taxa de sobrevivência de sete progênies de cupuaçuzeiro submetidas ao déficit hídrico durante 16 dias. Belém, PA, 2016.

Progênie	Procedência	% Sobrevivência	
32	174 x 186	90,00	a
42	186 x 434	90,00	a
46	186 x 215	73,30	d
47	186 x 1074	76,60	c
57	186 x 513	83,30	b
215	Primária	63,30	e
1074	Primária	56,60	f
Média Geral		76,16	

*Dados de percentagem de sobrevivência foram convertidos para arco seno raiz de X/100.

Fonte: Embrapa Amazônia Oriental, 2016.

Além disso, os valores das taxas de sobrevivência, ou seja, do estado final das progênies após o déficit, também são claramente observáveis e refletem a situação das plantas de modo geral, como pode ser observado na Figura 16. As progênies 32 e 42 (Figura 16A e 16B,

respectivamente), que apresentaram as maiores taxas de sobrevivência, visualmente não pareciam muito afetadas pelo estresse hídrico, ao passo que as progênes mais susceptíveis (215 e 1074), estavam visivelmente mais secas, como também observado na Figura 16F e 16G).

Figura 16 – Estado visual geral das sete progênes de cupuaçuzeiro após 16 dias de déficit hídrico. Belém, PA, 2016. Primeira planta a esquerda representa plantas controle e as três restantes, em cada imagem, representa plantas sob déficit.



Legenda: A: 32; B: 42; C: 46; D: 47; E: 57; F: 215; G: 1074.
Fotos: Abel Bastos, 2016.

5 CONCLUSÕES

Foi observado que de maneira geral a restrição hídrica foi fator limitante para o desenvolvimento das progênies mesmo sendo apenas por curto período de supressão de água. Contudo algumas progênies conseguiram lidar melhor com o tratamento de seca e apresentar resultados mais satisfatórios do que outras.

Dentre as progênies avaliadas a 32, 42, 46 e 57 apresentaram menor susceptibilidade aos efeitos negativos do estresse para a maioria dos parâmetros morfofisiológicos estudados.

As progênies 32 e 42 destacaram-se especialmente quanto às variáveis biométricas, acúmulos de biomassa, índices fisiológicos de crescimento, trocas gasosas e taxas de sobrevivência. As progênies 46 e 57 destacaram-se, essencialmente, quanto aos resultados de biomassa e índices de crescimento, apresentando também bom desempenho quanto às trocas gasosas (progênie 46) e à sobrevivência (progênie 57).

Os materiais 215 e 1074, apesar de seu elevado crescimento vegetativo, mostraram menor desempenho geral para as taxas de crescimento, RAF e AFE, mas principalmente severas reduções no tocante às respostas fisiológicas e taxa de sobrevivência.

A progênie 47, em comparação às demais progênies, apresentou comportamento intermediário quanto ao estresse, porém próximo ao das plantas selecionadas. Isso a credencia a ser empregada em novos estudos especialmente aos realizados diretamente no campo.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. A. F.; BRITO, R. C. T.; AGUILAR, M. A. G.; VALLE, R. R. Water relations aspects of *Theobroma cacao* L. clones. **Agrotrópica**, v.14, p. 35-44, 2002.
- ALVES, R. M.; STEIN R. L. B.; ARAÚJO, D. G.; PIMENTEL, L. Avaliação de clones de cupuaçuzeiro quanto à resistência a vassoura-de-bruxa. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, SP, v. 20, n. 3, p. 297-306, 1998.
- ALVES, R. M. **Caracterização genética de populações de cupuaçuzeiro *Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Schum., por marcadores microssatélites e descritores botânico-agronômicos**. 2003. 146 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- ALVES, R. M.; CRUZ, E. D. **Cultivares de cupuaçuzeiro tolerantes à vassoura-de-bruxa**. Belém, PA. Embrapa Amazônia Oriental. (Recomendações Técnicas). 4p. 2003
- ALVES, R. M.; ARTERO, A. S.; SEBBENN, A. M.; CLEMENT, C.; FIGUEIRA, A. High levels of genetic divergence and inbreeding in populations of cupuassu, *Theobroma grandiflorum*. **Tree Genetics & Genomes**, St. Louis – Missouri, USA, v.3, p. 289-298, 2007.
- ALVES, R. M.; RESENDE, M. D. V.; BANDEIRA, B. S.; PINEHIRO, T. M.; FARIAS, D. C R. Avaliação e seleção de progênies de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*), em Belém, Pará. **Revista Brasileira de Fruticultura**, SP, v. 32, n. 1, p. 204-212. 2010.
- ALVES, R. M.; FERNANDES, J. R. Q. A cultivar de cupuaçuzeiro BRS Carimbó. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 22, 2012, Bento Gonçalves, RS. **Anais...** Bento Gonçalves, RS, 2012. p. 4308-4311.
- ALVES, R. M. **Implantação de um pomar de cupuaçuzeiro com a cultivar BRS Carimbó**. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 40 p. il. Color. 2012.
- ALVES, R. M.; SILVA, C. R. S.; SILVA, M. S. C.; SILVA, D. C. S; SEBBENN, A. M. Diversidade genética em coleções amazônicas de germoplasma de cupuaçuzeiro [*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Schum.]. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 35, n. 3, p. 818-828, 2013.
- BAE, H.; KIM, S-H.; KIM, M. S.; SICHER, R. C.; LARY, D.; STREM, M. D.; NATARAJAN, S.; BAILEY, B. A. The drought response of *Theobroma cacao* (cacao) and the regulation of genes involved in polyamine biosynthesis by drought and other stresses. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.46, n.2, p. 174-188, 2008.
- BARCELOS, M. D.; GARCIA, A.; MARCIEL JUNIOR, V. A. Análise de crescimento da cultura da batata submetida ao parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura, em um Latossolo vermelho-amarelo. **Ciência & Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 1, p. 21-27, jan./fev., 2007.
- BENINCASA, M. P. **Análise de crescimento de plantas (noções básicas)**. Jaboticabal: Funep, 2003. 41 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009.

BUENO, S. M.; GRACIANO, R. A. S.; FERNANDES, E. C. B.; GARCIA-CRUZ, C. H. Avaliação da qualidade de Polpas de Frutas Congeladas. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 62, n. 2, p. 121-126, 2002.

CALZAVARA, B. B. G.; MULLER, C. H.; KAHWAGE, O. N. C. **Fruticultura tropical: o cupuaçuzeiro - cultivo, beneficiamento e utilização do fruto**. Belém: EMBRAPA CPATU, 1984. 101p. (Documentos, 32).

CARLETTO, G. M. **O número de cromossomos em cacauzeiros**. Ilhéus: Instituto de Cacau da Bahia, 1946. p.35-39. (Boletim Técnico, 6).

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

COHEN, K. O.; JACKIX, M. N. H. Estudo do liquor de cupuaçu. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 1, p. 182-190, 2005.

CONCEIÇÃO, H. E. O. da; SILVA, E. S. A.; ROCHA NETO, O. G. da; STEIN, R. L. B.; SANTIAGO, E. J. A. de; SOUSA, D. B. de; GEMAQUE, R. C. R.; SOUZA, M. M. M. de. Método para estimar a área foliar do cupuaçuzeiro. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PIMENTA-DO-REINO E CUPUAÇU, 1., 1996, Belém, PA. **Anais...** Belém: Embrapa Amazônia Oriental/JICA, 1997. p. 440. (Embrapa Amazônia Oriental. Documento, 89).

COSTA, M. C.; MAIA, G. A.; SOUZA, M. S. M. F.; FIGUEIREDO, R. W.; NASSU, R. T.; MONTEIRO, J. C. S. Conservação de polpa de cupuaçu [*Theobroma grandiflorum* (Willd. Ex Spreng.) Schum] por métodos combinados. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 213-215, 2003.

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

CUATRECASAS, J. Cacao and its allied: a taxonomic of the genus *Theobroma*. **Contributions U. S. of the Natural Herbarium**, v.35, n.6, p.379-614, 1964.

DANIEL, R. **Estresse hídrico em diferentes fases fenológicas do cajueiro anão precoce no segundo ano de produção**. 2008. 94f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande, PB, 2008.

DIAS, L. B. **Água nas plantas**. Universidade Federal de Lavras. Apostila, 53p. 2008.

DINIZ, M. C. M. M. **Desenvolvimento e rebrota da cunhã (*Clitoria ternatea* L.) sob estresse hídrico, em associação com fungos micorrízicos- *Bradyrhizobium***. Recife: UFRPE, 1999. 78f. Dissertação (Mestrado em Solos) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, 1999.

DUCKE, A. **As espécies brasileiras do gênero *Theobroma* L.** Belém: Instituto Agronômico do Norte, 1953. 89p. (Boletim Técnico, 28).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Rio de Janeiro: Embrapa – CNPS, 2006. 306 p.

FERNANDES, J. R. Q. **Efeito da restrição hídrica no comportamento de progênies de cupuaçuzeiro [*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex. Spreng.) Schum].** 2016. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA, 2016.

FLEXAS, J.; BOTA, J.; ESCALONA, J. M.; SAMPOL, B.; MEDRANO, H. Effects of drought on photosynthesis in grapevines under field conditions. **Functional Plant Biology**, v.29, p.461-471, 2002.

FREIRE, C. S.; MOURA, A. R.; SILVA, M. A.V.; SILVA, M. A.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Avaliação do crescimento inicial, teor de clorofilas a, b e carotenoides em plantas jovens de araçazeiro submetidas à deficiência hídrica. In: Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Federal Rural de Pernambuco, 9, 2009, Recife, PE. **Anais...** Recife, PE, 2009.

FRITSCHÉ-NETO, R.; BORÉM, A. **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos.** Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011. 250p.

GOMES, M. T. G. **Respostas ecofisiológicas e bioquímicas do maracujazeiro (*Passiflora edulis* SIMS) ao déficit hídrico.** 2011. 70f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Humanas e Naturais, Vitória, ES, 2011.

HAMMERSTONE Jr., J.F.; ROMANCZYK Jr, L. J.; AITKEN, W. M. Purine alkaloid distribution within *Herrania* and *Theobroma*. **Phytochemistry**, v.35, n.5, p. 1237-1240, 1994.

HOMMA, A. K. O. **Extrativismo vegetal na Amazônia: história, ecologia, economia e domesticação.** Brasília, DF: Embrapa, 2014. 468p.

HUNT, R. **Growth analysis: plant growth analysis for beginners.** London: Unwin hyman, 1990. p. 112.

JOLLY, W. M.; DOBERTTIN, M.; ZIMMERMANN, N. E.; REICHSTEIN, M. Divergent vegetation growth responses to the 2003 heat wave in the Swiss Alps. **Geophysical Research Letters**, v.32, n.18, 2005.

JOLY, R. J.; HAHN, D. T. An empirical model for leaf expansion in cacao in relation to plant water deficit. **Annals of Botany**, v.64, n.1, p.1–8, 1989.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal.** Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004, 452p.

KUSKOSKI, E. M.; ASUERO, A. G.; MORALES, M. T.; FETT, R. Frutos tropicais silvestres e polpas de frutas congeladas: atividade antioxidante, polifenóis e antocianinas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.4, p.1283-1287, jul-ago, 2006.

LABOURIAU, L. G.; VALADARES, M. E. B. On the germination of seeds *Calotropis procera* (Ait.) Ait.f. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, RJ, v. 48, n. 2, p. 263-284, 1976.

LEÃO, D. A. S. **Estresse hídrico e adubação fosfatada no desenvolvimento inicial e na qualidade da forragem da gliricídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud.) e do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench).** 2006. 72f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia - Sistemas Agrosilvopastoris no Semi-árido.) Universidade Federal de Campina Grande, Patos, PB, 2006.

LESSA, L. S. **Avaliação agronômica, seleção simultânea de caracteres múltiplos em híbridos diplóides (AA) e desempenho fisiológico de cultivares de bananeira.** 2007. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Centro de Ciências Agrárias, Biológicas e Ambientais, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas- BA, 2007.

LIMA, R. R.; COSTA, J. P. C. da. **Registro de introduções de plantas de cultura pré-colombiana coletadas na Amazônia Brasileira.** Belém: EMBRAPA, CPATU, 1991. 191p. (Série Documentos, 58).

LOPES, B. F.; SETER, T. L.; McDAVID, C. R. Photosynthesis and water vapor exchange of pigeonpea leaves in response to water deficit and recovery. **Crop Science**, Madison, v.28, p.141-145, 1988.

MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M. G. (Ed.). **Fisiologia vegetal.** São Paulo: Universidade de São Paulo, v.1, p.332- 349. 1985.

MARAFON, A. C. **Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar:** uma introdução ao procedimento prático. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2012. 29p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Documentos, 168).

MARTIM, L. G. P. **Estudo da secagem da polpa de cupuaçu por atomização,** Campinas 2013, 85p.

MARTINAZZO, E. G.; PERBONI, A. T.; OLIVEIRA, P. V.; BIANCHI, V. J.; BACARIN, M. A. Atividade fotossintética em plantas de ameixeira submetidas ao déficit hídrico e ao alagamento. **Ciência Rural**, v. 43, p. 35-41, 2012.

MARTINS, V. B. **Perfil sensorial de suco tropical de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum) com valor calórico reduzido.** 2008. 142 f. Tese (Doutorado em Alimentos e Nutrição) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2008.

MATTOS-MOREIRA, L. A.; AMORIM, E. P.; FERREIRA, C. F.; LEDO, C. A. S.; MEIRA, C. F. Resposta ao déficit hídrico em dois genótipos de bananeira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 22, 2012, Bento Gonçalves, RS. **Anais...** Bento Gonçalves, RS, 2012. p. 4184-4187.

McCREE, K. J.; FERNÁNDEZ, C. J. Simulation model for studying physiological water stress responses of whole plants. **Crop Science**, Madison, v.29, p.353-360, 1989.

MEDEIROS, D. B.; SANTOS, J. L.; SILVA, E. C.; MUSSER, R. S.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Caracterização fisiológica de dois acessos de aceroleira submetidos ao déficit hídrico. In: Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Federal Rural de Pernambuco, 9, 2009, Recife, PE. **Anais...** Recife, PE, 2009.

MELO, P. R. M.; BEZERRA, J. D.; ANDRADE, F. V.; MELO, D. R. M.; MELO, A. S. Crescimento e produção de fitomassa de mudas de tamarindeiro sob estresse hídrico. **ACSA – Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 10, n. 1, p. 80-84, jan - mar, 2014.

MORAIS, R. R. **Ecofisiologia de espécies arbóreas crescidas sob condições de plantios na Amazônia Central**. Manaus: INPA, 2003. 158f. Tese (Doutorado em Botânica) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM, 2003.

MULLER, C. H; FIGUERÊDO, F. J. C; NASCIMENTO, W. M. O. do; GALVÃO, E. U. P.; STEIN, R. L. B.; SILVA, A. B.; RODRIGUES, J. E. L. F.; CARVALHO, E. U. de; NUNES, A. M. L. Empresa de Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Oriental. **A Cultura do Cupuaçu**. Coleção Plantar, p.9-18, EMBRAPA-SPI, Brasília, 1995.

NAZARÉ, R. F. B. **Preparo de produtos derivados de cupuaçu**. Recomendações Técnicas. Embrapa Amazônia Oriental, 2003.

NECHET, D. Análise da precipitação em Belém-PA, de 1986 a 1991. **Boletim de Geografia teor.** n. 23, p.150-156, 1993.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; MORAES, J. A. P. V.; BURITY, H. A.; BEZERRA NETO, E. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas ao déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.13, p.75-87, 2001.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; ALBUQUERQUE, M. B. de; SILVA, E. C. da. Aspectos ecofisiológicos da tolerância à seca em plantas da caatinga. In: NOGUEIRA, R. J. M. C.; ARAÚJO, E. L.; WILLADINO, L. G.; CAVALCANTE, U. M. T.; (Ed.). **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 2005. p.22-31.

OLIVEIRA-NETO, C. F.; FREITAS, J. M. N.; BARIANI, A.; CARVALHO, C. J. R.; COSTA, R. C. L. Estudos ecofisiológicos e bioquímicos do Cupuaçuzeiro [*Theobroma grandiflorum* (Wild. Ex. Spreng.) Schum] submetido ao estresse hídrico e a reidratação. In: Seminário de Iniciação Científica da UFRA, 2, e Seminário de Iniciação Científica da Embrapa Amazônia Oriental, 8, 2005, Belém, PA. **Anais...**, Belém, PA, 2005.

OSÓRIO, J.; OSÓRIO, M. L.; CHAVES, M. M.; PEREIRA, J. S. Water deficits are more important in delaying growth than in changing patterns of carbon allocation in *Eucalyptus globulus*. **Tree Physiology**, v.18, p.363-373, 1998.

OUKARROUM, A.; MADIDI, S. E.; SCHANSKER, G.; STRASSER, R. J. Probing the responses of barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) by chlorophyll a fluorescence OLKJIP under drought stress and re-watering. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v.60, p.438-446, 2007.

PAIM, A. C. B. **Avaliação do efeito do estresse hídrico na estrutura, ecofisiologia e na bioquímica de plântulas de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. (ANACARDIACEAE).** 2002. 80f. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2002.

PAIVA, A. S.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D.; TURCO, J. E. P. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Engenharia Agrícola**, v.25, p.161-169, 2005.

PEIXOTO, C. P. **Análise de crescimento de três cultivares de soja em três épocas de semeadura de três densidades de plantas.** 1998. 151p. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

PEIXOTO, C. P.; CERQUEIRA, E. C.; SOARES FILHO, W. S.; CASTRO NETO, M. T.; LEDO, C. A. S.; MATOS, F. S.; OLIVEIRA, J. G. Análise de crescimento de diferentes genótipos de citros cultivados sob déficit hídrico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal – SP, v.28, n.3, p.439-443, 2006.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água.** Seropédica: EDUR, 2004. 191 p.

RADA, F.; JAIMEZ, R. E.; GARCÍA-NÚÑEZ, C.; AZÓCAR, A.; RAMÍREZ, M. E. Relaciones hídricas e intercambio de gases en *Theobroma cacao* var. Guasare bajo periodos de déficit hídrico. **Revista de la Facultad de Agronomía**, Universidad del Zulia, v.22, n.2, p.112-120, 2005.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

ROUHI, V.; SAMSON, R.; LEMEUR, R.; DAMME, P. V. Photosynthetic gas exchange characteristics in three different almond species during drought stress and subsequent recovery. **Environmental and Experimental Botany**, v.59, n.2, p.117-29, 2007.

RUCKER, K. S.; KVIEN, C. K.; HOLBROOK, C. C.; WOOD, J. E. Identification of peanut genotypes with improved drought avoidance traits. **Peanut Science**, v.22, n.1, p.14–18, 1995.

SAGRI PARÁ. Secretaria do Estado de Agricultura. **Estatística.** Disponível em: <<http://www.sedap.pa.gov.br/pagina/agricultura>>. Acesso em: 20 nov. 2015.

SAID, M. M. **Aspectos culturais e potenciais de uso do cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* (Willd. Ex Spreng. Schum.) no estado do Amazonas.** 2011. 136 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia) –PPG/CASA, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM, 2011.

SANTOS, G. M.; MAIA, G.; SOUSA, P. H. M.; FIGUEIREDO, R. W.; COSTA, J. M. C.; FONSECA, A. V. V. Atividade antioxidante e correlações com componentes bioativos de produtos comerciais de cupuaçu. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 7, p. 1636- 1642, 2010.

SANTOS, I. C.; ALMEIDA, A-A. F.; ANHERT, D.; CONCEIÇÃO, A. S.; PIROVANI, C. P.; PIRES, J. L.; VALE, R. R.; BALIGAR, V. C. Molecular, physiological and biochemical

responses of *Theobroma cacao* L. genotypes to soil water deficit. **PLoS ONE**, v.9, n.12, p. 1-31, 2014.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.3, p.287-294, 1998.

SHAO, H. B.; CHU, L. Y.; JALEEL, C. A.; ZHAO, C. X. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, v.331, p.215-225, 2008.

SILVA JUNIOR, J. F.; SOBRINHO, R. J. A.; FRANÇA, S. K. S.; REIS, I. M. S.; PEREIRA, G. T. Alterações fisiológicas em cupuaçuzeiros sadios e infectados por vassoura de bruxa. **Nucleus**, v.8, n.1, p. 351-358, 2011.

SILVA, M. R. **Caracterização morfológica, fisiológica e nutricional de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden submetidas a diferentes níveis de estresse hídrico durante a fase de rustificação**. 1998. 105f. Dissertação (Mestrado em Silvicultura) - Universidade do Federal do Paraná, Curitiba, PR, 1998.

SINGH, S. K.; RAJA REDDY, K. Regulation of photosynthesis, fluorescence, stomatal conductance and water-use efficiency of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] walp.) under drought. **Journal of Photochemistry and Photobiology B : Biology**, v.105, n.1, p. 40-50, 2011.

SOUZA, A. das G. C. de; BERNI, R. F.; SOUZA, M. G.; SOUSA, N. R.; SILVA, S. E. L.; TAVARES, A. M.; ANDRADE, J. S.; BRITO, M. A. M.; SOARES, M. S. C. **Boas práticas agrícolas da cultura do cupuaçuzeiro**. Manaus, Embrapa Amazônia Ocidental, 2007, 56p.

SOUZA, A. das G. C. de; SOUSA, N. R.; LOPES, R.; ATROCH, A. L.; BARCELOS, E.; CORDEIRO, E.; OLIVEIRA, M. DO S. P. DE; ALVES, R. M.; FARIAS NETO, J. T. DE; NODA, H.; SILVA FILHO, D. F.; YUYAMA, K.; ALMEIDA, C. M. V. C. DE; LOPES, M. T. G.; OHASHI, S. T. Contribution of the institutions in the Northern region of Brazil to the development of plant cultivars and their impact on agriculture. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v.12, n.2, p. 47-56, dez. 2012.

SOUZA, A. das G. C. de; SOUZA, M. G. de; SOUSA, N. R.; PAMPLONA, A. M. S. R.; QUISEN, R. C.; BERNI, R. F.; GUIMARAES, R. dos R. **Cultivares de cupuaçuzeiro: clones para o Estado do Amazonas: produtividade: resistência à vassoura-de-bruxa**. Manaus, AM: Embrapa Amazônia Ocidental, 2014. 2 p. il. Color. 2014.

SOUZA, A. das G. C. de; BERNI, R. F.; SOUZA, M. G. Avaliação inicial de genótipos de cupuaçuzeiro para porta-enxertos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 24, 2016, São Luís, MA. **Anais...** São Luís, MA, 2016.

SOUZA, J. M. L.; PIMENTEL, F. A. **Geleia da polpa de cupuaçu congelada**. Acre: Embrapa, 1999. p. 1-3. Disponível em: <<http://www.cpafac.embrapa.br/pdf/it23.pdf>>. Acesso em: 25 Jul. 2016. Instruções técnicas.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848p.

TEZARA, W.; MITCHELL, V.; DRISCOLL, S. P.; LAWLOR, D. W. Effects of water deficit and its interaction with CO₂ supply on the biochemistry and physiology of photosynthesis in sunflower. **Journal of Experimental Botany**, Elmsford, v.53, p.1781-1791, 2002.

VELLINI, A. L. T. T.; PAULA, N. F.; ALVES, P. L. C. A.; PAVANI, L. C.; BONINE, C. A. V.; SCARPINATI, E. A.; PAULA, R. C. Respostas fisiológicas de diferentes clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação. **Revista Árvore**, v.32, n.4, p.651-663, 2008.

VENTURIERI, G. A. **Cupuçu: a espécie, sua cultura, usos e processamentos**. 1993. 108 p.

VENTURIERI, G. A. **Floral biology of cupuassu (*Theobroma grandiflorum* (Willdenow ex Sprengel) Schumann)**. Reading, 1994. 206p. Thesis (Ph.D.) - University of Reading.

ZANETTI, L. V. **Efeitos da pulverização foliar com silício na tolerância de *Theobroma cacao* L. (Malvaceae) ao déficit hídrico**. 2013. 60f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2013.

ZANETTI, L. V.; MILANEZ, C. R. D.; GAMA, V. N.; AGUILAR, M. A. G.; SOUZA, C. A. S.; CAMPOSTRINI, E.; FERRAZ, T. M.; FIGUEIREDO, F. A. M. M. A. Leaf application of silicon in young cacao plants subjected to water deficit. **Pesquisa Agropecuária Brasileira (Online)**, Brasília, v. 51, n.3, p. 215-223, 2016.