

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA
FILHO” FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA E NUTRICIONAL EM
DIFERENTES ESTÁDIOS FENOLÓGICOS DA MANDIOCA DE
MESA IAC 576-70 SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA**

SAMARA ZANETTI

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp- Campus
de Botucatu, para obtenção do título de
Mestre em Agronomia (Agricultura)

BOTUCATU - SP

Julho – 2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA
FILHO” FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA E NUTRICIONAL EM
DIFERENTES ESTÁDIOS FENOLÓGICOS DA MANDIOCA DE
MESA IAC 576-70 SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA**

SAMARA ZANETTI

Orientador: Prof. Dr. Marcelo de Almeida Silva

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp- Campus
de Botucatu, para obtenção do título de
Mestre em Agronomia (Agricultura)

BOTUCATU - SP

Julho - 2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Z28c	Zanetti, Samara, 1987- Caracterização morfológica e nutricional em diferentes estádios fenológicos da mandioca de mesa IAC 576-70 sob deficiência hídrica / Samara Zanetti. - Botucatu : [s.n.], 2016 ix, 72 f. : fots. color., grafs. color., tabs. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2016 Orientador: Marcelo de Almeida Silva Inclui bibliografia 1. Manihot - Anatomia. 2. Nutrientes. 3. Secas. 4. Mandioca - Crescimento. 5. Produtividade agrícola. 6. Fenologia vegetal. I. Silva, Marcelo de Almeida Silva. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.
------	--



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA E NUTRICIONAL EM DIFERENTES ESTÁDIOS FENOLÓGICOS DA MANDIOCA DE MESA IAC576-70 SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA"

AUTORA: SAMARA ZANETTI

ORIENTADOR: MARCELO DE ALMEIDA SILVA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. MARCELO DE ALMEIDA SILVA
Dep de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu


Prof. Dr. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES
Depto de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu


DR. JOSE CARLOS FELTRAN
Seção de Raízes e Tubérculos / INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS

Botucatu, 27 de julho de 2016.

A Deus, pela vida e saúde, e por estar sempre presente.

Aos meus queridos pais Laurindo Zanetti e Rita Maria Modanez Zanetti, que acreditaram em minha capacidade de superar obstáculos e garantiram os meios para mais uma conquista importante em minha vida.

Às minhas irmãs Karina Zanetti e Luciane Zanetti.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde, força, determinação e por ter me concedido a oportunidade de cumprir mais uma etapa da minha vida.

À Faculdade de Ciências Agronômicas, Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, pela oportunidade de realização do Curso de Mestrado e pela infraestrutura disponibilizada.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo de Almeida Silva, pela orientação, ensinamentos, amizade, paciência e a confiança depositada em mim.

Em especial, a minha querida amiga e companheira de experimento Laís Fernanda Melo Pereira, por tudo que vivemos juntas, pelo companheirismo nos momentos de alegria e de dificuldade, pelo carinho e pelos seus grandes ensinamentos. Com certeza será uma amizade pra vida toda.

Aos amigos e companheiros de trabalho Marcela Cristina Brunelli, Fernanda Bortolheiro, Isabela Willmersdorf, Mirela Nagaoka, Breno Bezerra, Lucas Almeida de Holanda, José Gerardo Espinosa Véliz pela ajuda na condução do experimento, companheirismo e momentos de descontração.

Aos amigos da pós-graduação Jéssyca Dellinhaires, Michely Alves, Edilson Ramos Gomes, Miriam Buchler, pela amizade, apoio, incentivo e ótimas conversas.

À Prof. Dra. Tatiane Maria Rodrigues e ao Luiz Ricardo Tozin pela oportunidade, amizade e auxílio na condução das avaliações anatômicas.

Aos funcionários do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, Eliane Gonçalves da Silva, Casimiro Edson Alves, Ciro Venâncio, Antônio Oliveira Camargo e Milton Mateus Vieira pelo apoio na condução do experimento, pela convivência e amizade.

Ao responsável pelo Laboratório de Relação Solo-Planta, Dorival Pires de Arruda, e a Ana Carolina Felício e Júlia Cassemiro Briquezi pela amizade e ensinamentos transmitidos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela concessão de bolsa de estudos que possibilitou a execução deste trabalho de pesquisa.

Ao meu namorado Diego Manzoni por todo apoio, amor, carinho, paciência, amizade e ajuda, tornando a caminhada mais suave e agradável.

À minha mãe Rita Maria Modanez Zanetti, ao meu pai Laurindo Zanetti, às minhas irmãs Karina Zanetti e Luciane Zanetti, aos meus cunhados Thiago Rodrigues Mattos e Carlos

Eduardo Leardini, à minha avó Ana Moretti, que sempre estiveram do meu lado me apoiando e dando suporte para as minhas realizações. Obrigada pelo amor e carinho.

À minha família.

E a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização deste trabalho.
A todos meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	IX
1 RESUMO.....	1
2 SUMMARY.....	2
3 INTRODUÇÃO	4
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	7
4.1 A cultura da mandioca	7
4.2 Déficit hídrico	8
4.3 Déficit hídrico na cultura da mandioca.....	9
4.4 Crescimento das plantas.....	11
4.5 Anatomia foliar	12
4.6 Nutrição na mandioca	13
5 MATERIAL E MÉTODOS	15
5.1 Caracterização da área experimental e do material vegetal	15
5.2 Delineamento experimental e instalação do experimento	18
5.3 Imposição das tensões de água no solo e manejo da cultura	19
5.4 Condições ambientais durante o experimento	20
5.5 Avaliações morfológicas e anatômicas.....	22
5.5.1 Variáveis morfológicas	22
5.5.2 Variáveis anatômicas da folha - Microscopia de luz.....	23
5.6 Avaliação nutricional.....	24
5.7 Avaliação na colheita.....	24
5.8 Análise estatística	26
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
6.1 Variáveis morfológicas	27
6.2 Variáveis anatômicas	43
6.3 Nutrição da planta	47
6.4 Componentes da produção e produtividade.....	51
7 CONCLUSÕES.....	61
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Análise química do solo amostrado na camada de 0-0,20 m.....	17
Tabela 2. Análise física do solo amostrado na camada de 0-0,20 m.	18
Tabela 3. Análise de variância da altura e diâmetro do caule de plantas de mandioca de mesa IAC 576-70 referente à época de avaliação e as tensões de água no solo durante as fases de crescimento da cultura. Botucatu, SP, 2015.	28
Tabela 4. Altura de plantas de mandioca de mesa IAC 576-70 aos 0, 20, 40, 60 e 80 dias após o déficit hídrico (DAD) durante as três fases de crescimento da cultura, sob diferentes tensões de água no solo. Botucatu, SP, 2015.....	29
Tabela 5. Diâmetro do caule de plantas de mandioca de mesa IAC 576-70 aos 0, 20, 40, 60 e 80 dias após o déficit hídrico (DAD) durante as fases de crescimento da cultura, sob diferentes tensões de água no solo. Botucatu, SP, 2015.....	32
Tabela 6. Análise de variância da altura e diâmetro do caule de plantas de mandioca de mesa IAC 576-70 sob três tensões de água no solo durante três fases de crescimento da cultura, avaliadas aos 360 dias (colheita). Botucatu, SP, 2015.	35
Tabela 7. Altura e diâmetro do caule de plantas de mandioca de mesa IAC 576-70 sob diferentes tensões de água no solo durante as fases de crescimento da cultura, avaliados aos 360 dias após o plantio (DAP) (colheita). Botucatu, SP, 2015.	36
Tabela 8. Análise de variância do número de folhas e área foliar total de plantas de mandioca de mesa IAC 576-70 referente a cinco épocas de avaliação e três tensões de água no solo durante as fases de crescimento da cultura. Botucatu, SP, 2015.	37
Tabela 9. Número de folhas e área foliar de plantas de mandioca de mesa IAC 576-70 aos 0, 20, 40, 60 e 80 dias após o déficit hídrico (DAD) durante as fases de crescimento da cultura, sob diferentes tensões de água no solo (TS). Botucatu, SP, 2015.....	39
Tabela 10. Características morfométricas de folhas de mandioca de mesa IAC 576-70 sob as tensões de água no solo de -10, -40 e -70 kPa, aos 150 dias após o plantio. Botucatu, SP, 2015.	46
Tabela 11. Teores médios de macronutrientes em folhas de plantas de mandioca de mesa IAC 576-70 durante as fases de crescimento da cultura, sob diferentes tensões de água no solo (TS). Botucatu, SP, 2015.	49

Tabela 12. Teores médios de micronutrientes e silício em folhas de plantas de mandioca de mesa IAC 576-70 durante as fases de crescimento da cultura, sob diferentes tensões de água no solo (TS). Botucatu, SP, 2015.....	51
Tabela 13. Análise de variância da massa da matéria seca da parte aérea, raiz tuberosa, raiz fibrosa e cepa de plantas de mandioca de mesa IAC 576-70 sob diferentes tensões de água no solo nas fases de crescimento da cultura na colheita aos 360 dias após o plantio. Botucatu, SP, 2015.	52
Tabela 14. Massa da matéria seca da parte aérea, raiz tuberosa e cepa de plantas de mandioca de mesa IAC 576-70 sob diferentes tensões de água no solo (TS) durante as fases de crescimento da cultura, avaliadas aos 360 dias. Botucatu, SP, 2015.....	54
Tabela 15. Análise de variância do diâmetro da raiz (DR), comprimento da raiz comercial (RC), diâmetro da casca + entrecasca (DCE) e diâmetro da polpa (DP) de plantas de mandioca de mesa IAC 576-70 sob diferentes tensões de água no solo durante as fases de crescimento da cultura, avaliados aos 360 dias Botucatu, SP, 2015.	55
Tabela 16. Diâmetro da raiz (DR), comprimento da raiz comercial (CR), diâmetro da casca + entrecasca (DCE) e diâmetro da polpa (DP) de plantas de mandioca de mesa IAC 576-70 sob diferentes tensões de água no solo durante as fases de crescimento da cultura, avaliados aos 360 dias (colheita). Botucatu, SP, 2015.	56
Tabela 17. Análise de variância do número de raízes comerciais (NRC), número de raízes não-comerciais (NRNC), índice de colheita (IC), razão da área foliar (RAF) e produtividade de plantas de mandioca de mesa IAC 576-70 sob diferentes tensões de água no solo durante as fases de crescimento da cultura, avaliadas aos 360 dias (colheita). Botucatu, SP, 2015.	57
Tabela 18. Número de raízes comerciais por planta, índice de colheita, razão da área foliar e produtividade de raízes tuberosas da mandioca de mesa IAC 576-70 sob diferentes tensões de água no solo durante as fases de crescimento da cultura, avaliados aos 360 dias (colheita). Botucatu, SP, 2015.	58

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Vista do ambiente protegido do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal em Botucatu, SP, 2015.	16
Figura 2. Curva de retenção de água do solo utilizado no experimento.....	17
Figura 3. Temperatura do ar mínima, média e máxima e umidade relativa do ar mínima, média e máxima, a cada 20 dias, dentro do cultivo protegido durante o período de novembro de 2014 a novembro de 2015. Botucatu, SP.....	20
Figura 4. Tensões de água no solo -10, -40 e -70 kPa, durante as fases de crescimento da cultura de 90-180 (F3); 180-270 (F4) e 270-360 (F5) dias após o plantio da mandioca de mesa IAC 576-70. Botucatu, SP, 2015.....	21
Figura 5. Altura de plantas de mandioca de mesa cultivar IAC 576-70, sob as tensões de água no solo de -10 kPa, -40 kPa e -70kPa, em cinco datas de avaliação após o déficit hídrico, dentro das fases de crescimento da cultura de 90-180 (F3, A); 180-270 (F4, B) e 270-360 (F5, C) dias após o plantio. Botucatu, SP, 2015.	31
Figura 6. Diâmetro do caule de plantas de mandioca de mesa cultivar IAC 576-70, sob diferentes tensões de água no solo dentro das fases de crescimento da cultura de 90-180 (F3, A); 180-270 (F4, B) e 270-360 (F5, C) dias após o plantio. Botucatu, SP, 2015.....	34
Figura 7. Índice de área foliar (IAF) de plantas de mandioca de mesa cultivar IAC 576-70, sob diferentes tensões de água no solo durante as fases de crescimento da cultura de 90-180 (F3); 180-270 (F4) e 270-360 (F5) dias após o plantio. Botucatu, SP, 2015.	42
Figura 8. Evolução do desenvolvimento e do índice foliar da mandioca (IAF) da mandioca por dois ciclos vegetativos. Fonte: LORENZI (2012).....	43

1 RESUMO

O trabalho teve como objetivo avaliar as respostas morfológicas, anatômicas e nutricionais da mandioca de mesa em diferentes fases de crescimento da cultura sob condições de déficit hídrico. O experimento foi conduzido por um ano sob cultivo protegido na Faculdade de Ciências Agronômicas, Campus de Botucatu, em delineamento experimental inteiramente casualizado, com esquema fatorial 3 x 3, constituído de três fases de crescimento (90 a 180 DAP; 180 a 270 DAP e 270 a 360 DAP) da cultivar de mandioca de mesa IAC 576-70 e três tensões de água no solo (-10, -40 e -70 kPa). As manivas-sementes com 5 a 7 gemas foram plantadas em caixas com capacidade de 500 L, sendo irrigadas diariamente, mantendo o solo na capacidade de campo até o início das fases. Aos 0, 20, 40, 60 e 80 dias após o início do déficit foram avaliados a altura de planta, o diâmetro do caule, o número de folhas por planta, a área foliar total e o índice de área foliar. As folhas da mandioca foram analisadas quanto a sua estrutura anatômica aos 150 dias após o plantio. Foram realizadas avaliações nutricionais aos 180, 270 e 360 dias após o plantio. No momento da colheita avaliou-se a massa da matéria seca da parte aérea (folhas + haste), da cepa, das raízes tuberosas e fibrosas; o comprimento e diâmetro das raízes tuberosas; o número de raízes; o índice de colheita; a razão de área foliar e a produtividade. As fases de crescimento 90 a 180 DAP e 270 a 360 dias após o plantio (DAP) foram influenciadas pelas tensões de água no solo, proporcionando reduções em todas as variáveis morfológicas e nos componentes de produção. A anatomia das folhas apresentou modificações como diminuição das espessuras do mesofilo, do parênquima lacunoso, da epiderme abaxial, e do número de elemento de vasos, e aumento da espessura e diâmetro dos elementos de vaso. Houve diminuição no teor de K nas fases de 90 a 180 e 270 a 360 DAP e aumento de P e Mg nas três fases, e Fe e Zn aos 90 a 180 DAP. A produtividade final das raízes tuberosas foi afetada pelas tensões de água no solo (-40 e -70 kPa) nas fases de 90 a 180 e 270 a 360 após o plantio.

MORPHOLOGICAL AND NUTRITION CHARACTERIZATION AT DIFFERENT PHENOLOGICAL STAGES OF SWEET CASSAVA IAC 576-70 UNDER WATER STRESS

Botucatu, 2016. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia /Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: SAMARA ZANETTI

Adviser: Prof. Dr. MARCELO DE ALMEIDA SILVA

2 SUMMARY

This research aimed to evaluate the morphological, anatomical and nutritional responses of sweet cassava in different growth stages of the crop under water deficit. The experiment was carried out for a year in a greenhouse at the Faculty of Agricultural Sciences, Botucatu, in a completely randomized design in factorial scheme 3 x 3, consisting of three growth stages (90-180 DAP, 180-270 DAP and 270-360 DAP) of cultivating sweet cassava IAC 576-70 and three water tension in the soil (-10, -40 and -70 kPa). The stem cuttings with 5-7 nodes of the cultivar IAC 576-70 were planted in boxes with 500 liters capacity, keeping soil moisture at field capacity until the beginning of the phases. At 0, 20, 40, 60 and 80 days after the beginning of the deficit were measured the plant height, stem diameter, number of leaves per plant, total leaf area and leaf area index. Cassava leaves were analyzed for their anatomical structure at 150 days after planting. It were nutritional evaluations performed at 180, 270 and 360 days after planting, and at harvest evaluated the dry matter of the shoot (leaves + stem), the strain of tuberous and fibrous roots; the length and diameter of the tuberous roots; the number of roots; harvest index; the leaf area ratio and productivity. The growth phases 90 to 180 and 270 to 360 days after planting (DAP) were influenced by the water tension in the soil, providing reductions in all morphological variables and production components. The anatomy of the leaves showed changes as the decrease of the thickness of mesophyll, of the spongy parenchyma, epidermal abaxial, and of the vessels element number and increasing the thickness and diameter of vessel elements. There was a decrease in K content in phases 90-180 and 270-360 DAP and increase of P and Mg in three phases, and Fe and Zn to 90-180 DAP. The final yield of tuberous roots were affected by the tensions in water (-40 to -70 kPa) in the phases 90-180 and 270-360 after planting.

Keywords: *Manihot esculenta* Crantz, anatomy, nutrients, drought, growth phases, production

3 INTRODUÇÃO

A cultura da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma espécie de planta tuberosa da família das Euforbiáceas. Caracteriza-se por apresentar raiz tuberosa e, assim, tem grande importância na economia mundial, destacando-se como a principal fonte de alimentos energéticos, sobretudo nos países em desenvolvimento (SOUZA, 2000).

No Brasil, a mandioca é cultivada em todo o país, e sua produção atual é cerca de 23,7 milhões de toneladas de raízes, com produtividade média de 15,3 toneladas por hectare. Dentro do cenário nacional, o estado do São Paulo destaca-se como sendo responsável por aproximadamente 45,1% da produção da região Sudeste. A produtividade média no estado é de 26,2 toneladas por hectare, bem acima da média nacional (IBGE, 2016).

As raízes tuberosas, ricas em amido, representam a parte mais importante da planta, que podem ser utilizadas na alimentação humana e animal ou como matéria-prima para fabricação de produtos alimentício, farmacêutico e em indústria de papel e têxtil (PERESSIN, 1997).

A cultura da mandioca se caracteriza pela rusticidade e adaptabilidade as mais diferentes condições de clima e solo, sendo comumente produzida em áreas consideradas marginais para a maioria dos outros cultivos (OLIVEIRA et al., 2009). Connor et al. (1981) e Oliveira et al. (1992) ressaltam que, apesar de ser uma

cultura considerada tolerante às condições de baixa disponibilidade de água, a produtividade da mandioca pode ser reduzida em até 60% sob condições de déficit hídrico, acarretando prejuízos para muitos produtores que não dispõem de sistemas de irrigação (FIUZA et al., 2009).

O déficit hídrico constitui um dos fatores mais importantes à limitação da produção agrícola mundial por comprometer o desenvolvimento da planta, induzindo mudanças na anatomia, morfologia, fisiologia e bioquímica cuja reversibilidade depende do genótipo, da duração, da severidade e do estágio de desenvolvimento da planta (BEZERRA et al., 2003; SANTOS; CARLESSO, 1998; GOMES JUNIOR et al., 2010). De acordo com Larcher (2004), essa capacidade das plantas de superar o déficit hídrico é determinante para a produtividade dos cultivos.

O primeiro efeito biofísico da carência hídrica na planta é a redução do seu volume celular, portanto, todas as atividades relacionadas à turgidez são afetadas devido à diminuição do potencial da água (SALAMONI, 2008). Segundo Sivakumar e Shaw (1978), em condições de restrição hídrica no solo, ocorre à redução da expansão das folhas, acelera a senescência, diminui o índice de área foliar e aumenta a abscisão das folhas.

A deficiência hídrica não restringe apenas a dimensão das folhas individuais, mas também o número de folhas da planta, visto que, diminui o número e o crescimento dos ramos. O processo do crescimento dos caules é menos estudado, mas possivelmente é afetado pelas mesmas forças que limitam o crescimento foliar durante o estresse (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Além disso, a disponibilidade de água é de suma importância por ser o veículo que conduz os elementos minerais até a interface solo-raiz e no xilema, e por interferir na fisiologia da planta, na dinâmica de absorção e utilização dos nutrientes (FERREIRA et al., 2008). Assim, a deficiência hídrica do solo pode resultar em deficiência nutricional nas plantas.

De acordo com Nogueira et al. (2005), o efeito da deficiência hídrica sobre as plantas é complexo, e as mesmas respondem por meio de vários processos, não existindo um mecanismo universal de resistência à seca, mas sim adaptações dentro de cada grupo ecofisiológico que as possibilitam resistirem à insuficiência de água.

Apesar da cultura da mandioca ser conhecida pela presença de genótipos bem adaptados à seca, pouco se tem explicado sobre as características que

envolvem essas adaptações, que fazem da mandioca uma das culturas mais tolerantes as diferentes condições ambientais. A hipótese é que existem características morfológicas, anatômicas e nutricionais em plantas de mandioca que podem ser bem efetivas para indicar tolerância ou sensibilidade à escassez de água, com reflexos na produtividade, e que a fase fenológica é determinante na expressão dessas características.

Nesse sentido, objetivou-se avaliar as respostas morfológicas, anatômicas e nutricionais em diferentes fases de desenvolvimento da mandioca de mesa sob condições de déficit hídrico.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 A cultura da mandioca

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma planta heliófita, perene, arbustiva e de raiz tuberosa (LORENZI et al., 2002), pertencente à família Euphorbiaceae, constitui a única espécie de interesse econômico do gênero *Manihot* (CEBALLOS; CRUZ, 2002). Seu local de origem é o continente americano, provavelmente do Brasil Central (LORENZI, 2012), contudo é cultivada mundialmente em cerca de 24 milhões de hectares. Depois do arroz e do milho, a mandioca é a terceira fonte de calorias nas regiões tropicais do mundo (FAO, 2014).

As cultivares de mandiocas são geralmente classificadas em doces ou de “mesa” e amargas ou bravas. As mandiocas de “mesa”, com menores teores de HCN, são utilizadas para consumo humano e animal já a mandioca brava, geralmente empregada na indústria para a produção de farinha e fécula, tendo elevados teores de HCN em suas raízes frescas, o que inviabiliza o consumo in natura (SOUZA; FIALHO, 2003).

O desenvolvimento da planta de mandioca pode ser dividido em cinco fases principais de desenvolvimento, sendo as quatro primeiras delas de intensa atividade metabólica, enquanto que a fase final, de baixa atividade, é denominada de fase de repouso: *Emergência* (5 a 15 dias após o plantio (DAP)); *Início do desenvolvimento*

foliar e formação do sistema radicular (15 a 90 DAP); Desenvolvimento dos ramos e folhas, estabelecimento da copa (90 a 180 DAP); Translocação expressiva de carboidratos para as raízes (180 a 300 DAP) e Paralisação do crescimento vegetativo (300 a 360 DAP), em que a duração e existência dependem de vários fatores relacionados às diferenças varietais, condições ambientais e práticas culturais (ALVES, 2006).

A cultura da mandioca, embora, seja relativamente tolerante à seca, é recomendado realizar o seu plantio no início da época das chuvas. Em regiões tropicais, o plantio pode ser realizado o ano inteiro, desde que haja umidade para seu desenvolvimento. Já em regiões subtropicais, o plantio é restrito à época mais quente do ano (setembro/outubro a março/abril), permanecendo a cultura em dormência durante o período frio e ou seco do ano (FILHO; SILVEIRA, 2012).

A cultura possui ampla adaptação às mais variadas condições edafoclimáticas, entre 30°N e 30°S de latitude e altitudes que variam desde o nível do mar até cerca de 2.300 metros, sendo cultivada por todo o território nacional, principalmente em áreas consideradas marginais para outras culturas, estando sujeita a ampla variação de temperatura, fotoperíodo, radiação solar e disponibilidade hídrica (MATTOS; BEZERRA, 2003).

A faixa ideal de temperatura para a cultura da mandioca situa-se entre os limites de 20 a 27°C (média anual), podendo a planta crescer bem entre 16 e 38 °C (SOUZA; SOUZA, 2000). A precipitação anual adequada no desenvolvimento da mandioca é em torno de 1.000 mm e 1.500 mm, desde que bem distribuídas num período de seis a oito meses durante o ano (CONCEIÇÃO, 1981). No entanto, a mandioca é comumente cultivada em áreas que recebem menos de 800 milímetros de chuva por ano, com uma estação seca de 4-6 meses (ALVES, 2006).

4.2 Déficit hídrico

As plantas cultivadas estão sujeitas a diversos tipos de estresses ambientais. Em relação à disponibilidade hídrica, a planta pode ser prejudicada tanto pelo excesso, como por falta de água. O estresse por deficiência hídrica é mais comum na natureza e esse termo tem sido abreviado para estresse hídrico ou déficit hídrico (ANGELOCCI, 2002).

O déficit hídrico corresponde a um período de precipitação insuficiente que resulta em deficiência hídrica para as plantas. Frequentemente, mas não invariavelmente, o estado dessecação do solo é acompanhado de forte evaporação causada pela demanda evaporativa do ar e de altos níveis de radiação (LARCHER, 2004).

Segundo Kramer e Boyer (1995) e Santos e Carlesso (1998), a restrição hídrica compromete todos os aspectos do crescimento da planta, incluindo a anatomia, a fisiologia e a bioquímica e pode causar alterações no comportamento vegetal cuja irreversibilidade irá depender do genótipo, da duração, da severidade e do estágio de desenvolvimento da planta.

Basicamente, há três mecanismos pelos quais as plantas podem crescer e desenvolver-se em ambientes com restrição hídrica: escapar do estresse, por meio de um rápido desenvolvimento fenológico; evitar o estresse, pela redução da transpiração ou do aumento da absorção de água, e tolerância ao estresse, mantendo o crescimento sob estresse por meio de mecanismos de sobrevivência (TARDIEU, 2005).

A tolerância a um tipo de estresse pode se manifestar de duas formas, por aclimação e adaptação. A aclimação é consequência de exposições anteriores ao estresse, não sendo uma resposta permanente, enquanto que a adaptação é decorrente de alterações genéticas na população e é adquirida por seleção natural (TAIZ; ZEIGER, 2013). Conforme esses mesmos autores, a capacidade de adaptação e aclimação ao estresse ambiental é resultado de eventos integrados que ocorrem em todos os níveis de organização, desde o anatômico e morfológico até o celular, bioquímico e molecular.

Diante disso, há a necessidade de entender como são ativados e como ocorrem essas respostas adaptativas nas plantas, que é o ponto crucial para o desenvolvimento de novas cultivares comerciais que sejam tolerantes à seca (ASSAD et al., 2002).

4.3 Déficit hídrico na cultura da mandioca

Diversos fatores ambientais podem afetar o desempenho dos vegetais, tais como temperaturas fora da faixa ideal, salinidade do solo, radiação solar e o déficit hídrico. Dentre os estresses abióticos que comprometem o cultivo da mandioca,

destaca-se a deficiência hídrica como a principal causa da baixa produtividade (FUKUDA; IGLESIAS, 1995).

O período de maior suscetibilidade da cultura ao déficit hídrico situa-se entre 30 e 150 dias após o plantio, durante a ocorrência da fase de enraizamento a tuberização (OLIVEIRA et al., 1992). A restrição hídrica nessa fase pode causar prejuízos irrecuperáveis no desenvolvimento e, conseqüentemente, na produção (EMBRAPA, 2003). Um déficit de, pelo menos, dois meses nesse período pode reduzir a produtividade das raízes de 32% a 60% (CONNOR et al., 1981; OLIVEIRA et al., 1992; PORTO et al., 1989).

A limitação de água no solo faz com que a planta de mandioca feche os estômatos em respostas a pequenos decréscimos do potencial hídrico (EL-SHARKAWY; COCK, 1984). Esse fechamento rápido dos estômatos evita uma grande redução do potencial hídrico da folha e do solo, protegendo assim os tecidos foliares da dessecação (IKE, 1982; EL-SHARKAWY; COCK, 1984; COCK et al., 1985).

Assim, na cultura da mandioca a redução da disponibilidade hídrica pode comprometer a formação da parte aérea, prejudicando o crescimento de folhas, hastes e, conseqüentemente, sua área foliar. Essa diminuição na área foliar auxilia na conservação da água e após o estresse, a mandioca tende a aumentar a formação de novas folhas com maiores taxas fotossintéticas (EL-SHARKAWY, 1993; CAYÓN et al., 1997) e menos matéria seca alocada às hastes (EL-SHARKAWY; COCK, 1987; EL-SHARKAWY et al., 1992).

Alves e Setter (1999) observaram que as plantas de mandioca sob déficit hídrico acumulam rapidamente grande quantidade de ácido abscísico (ABA) nas folhas. Esse acúmulo de ABA ocorre simultaneamente com o fechamento dos estômatos, com a diminuição da taxa de transpiração e do crescimento foliar (EL-SHARKAWY et al., 1992; DUQUE, 2006).

Por outro lado, em condições de déficit hídrico foi observado que alguns genótipos de mandioca aumentaram o índice de colheita, os quais se tornaram até mais produtivos que em condições sem déficit hídrico (CONNOR et al., 1981; EL-SHARKAWY; CADAVID, 2002).

Diante disso, é importante o estudo em plantas em diferentes condições hídricas a fim de definir o limite crítico de água no solo, a partir do qual

crescimento e desenvolvimento da planta e a produção da cultura são afetados significativamente.

4.4 Crescimento das plantas

O crescimento e desenvolvimento das plantas são processos independentes, que podem ocorrer simultaneamente ou não. O crescimento do vegetal é referente ao aumento irreversível de uma grandeza física como massa, área, altura, diâmetro e volume, já o desenvolvimento é relacionado à diferenciação celular, iniciação e aparecimento de órgãos e se estende até a senescência da cultura (HODGES, 1991; WILHELM; MCMASTER, 1995).

O decréscimo de água no solo interfere nos processos vitais das plantas comprometendo o seu crescimento, visto que a primeira resposta ao déficit hídrico é a redução do turgor e, por conseguinte, diminuição do crescimento (LARCHER, 2004; TAIZ; ZEIGER, 2013).

O crescimento celular é caracterizado como parâmetro morfológico mais sensível à deficiência hídrica e, na maioria das vezes, sua redução ocorre antes mesmo da redução da atividade fotossintética ou da condutância estomática. A carência hídrica afeta o consumo de assimilados das folhas em expansão e na fotossíntese, que em geral, é proporcional a área foliar. Em seguida, há restrição ao acúmulo de massa, interferindo tanto no crescimento inicial das plantas como nos estádios mais tardios, refletindo em limitações na área foliar e no número de folhas, acelerando senescência, a abscisão das folhas e reduzindo o número e as taxas de crescimento dos ramos e caule (TAIZ; ZEIGER, 2013).

No entanto, períodos de baixa disponibilidade de água no solo podem aumentar o desenvolvimento das raízes proporcionando maior acúmulo de fotoassimilados e a absorção de água das camadas mais profundas do solo (CALVACHE et al., 1997). Esse aumento na exploração do sistema radicular decorrente da deficiência hídrica irá possibilitar além da exploração da água, a de nutrientes do solo, dependendo das características morfológicas e genótípicas da espécie (PIMENTEL, 2004; NOGUEIRA et al., 2005).

4.5 Anatomia foliar

A anatomia vegetal pode indicar características que conferem tolerância a diferentes condições ambientais para as plantas cultivadas, por exemplo, o de tolerância à seca (BATISTA et al., 2010; GRISI et al., 2008) e a capacidade de alterar a estrutura das folhas sob esse estresse é uma resposta das plantas que apresentam potencial de aclimação (CASTRO-DÍEZ et al., 1997; BUSSOTTI et al., 2000).

Comumente, plantas desenvolvidas em ambientes secos possuem folhas mais espessas, maiores massas específicas, maior densidade estomática, menores dimensões das células do mesofilo, com poucos espaços intercelulares e cutícula espessa, quando comparados com as desenvolvidas em ambientes úmidos (MEDIÁVILLA et al., 2001).

De acordo com Bosabalidis e Kofidis (2002), a redução do tamanho das células da epiderme é uma estratégia adaptativa que contribui para a resistência contra o colapso celular devido à diminuição do conteúdo de água e para o controle da transpiração cuticular.

Queiroz-Voltan et al. (2014), analisando a anatomia de folhas desenvolvidas nos períodos chuvoso e seco, em cafeeiros de *Coffea arabica* L., observaram que algumas cultivares apresentaram características anatômicas favoráveis para tolerar condições de seca, tais como, maiores espessuras do parênquima paliçádico, do limbo total e do raio dos feixes vasculares do pecíolo e na nervura principal. Já, Chartzoulakis et al. (1999) verificaram que plantas de oliveira sob déficit hídrico apresentaram modificações no mesofilo e no parênquima clorofiliano.

Em estudo da anatomia de raiz de dois híbridos de milho sob baixa disponibilidade hídrica foi observado a ocorrência de maiores quantidade de metaxilema, contudo, resultaram em menor diâmetro (SOUZA, 2012).

Com relação à cultura da mandioca, Ribeiro et al. (2012) identificaram em alguns genótipos potencial para condições de baixa disponibilidade hídrica devido a maior espessura da epiderme adaxial, parênquima paliçádico e esponjoso, menor vulnerabilidade do xilema entre outros parâmetros, o que permitiria redução na transpiração. Cerqueira (1992), estudando cultivares de mandioca, observou que as mesmas apresentaram plasticidade para a anatomia foliar, exibindo alterações nas características estomáticas que podem conferir habilidade para a resistência à seca.

4.6 Nutrição na mandioca

A mandioca é uma planta que extrai grandes quantidades de nutrientes do solo e praticamente exporta tudo o que foi absorvido, acarretando em pouco retorno ao solo sob a forma de resíduos culturais. Essa pequena reciclagem é devido às raízes tuberosas serem destinadas à produção de farinha, fécula e outros produtos, bem como para a alimentação humana e animal e a parte aérea (manivas e folhas) utilizados para formação de novos plantios e alimentação animal (GOMES; LEAL, 2003).

Em média, para uma produção de 25 toneladas de raízes + parte aérea de mandioca por hectare são extraídos 123 kg de N, 27 kg de P, 146 kg de K, 46 kg de Ca e 20 kg de Mg. A faixa favorável de pH é de 5,5 a 7, sendo 6,5 o ideal, embora a mandioca seja menos afetada pela acidez do solo do que outras culturas (MATTOS; BEZERRA, 2003).

O nitrogênio é o segundo nutriente mais extraído pela planta de mandioca. Esse nutriente tem papel importante por influenciar na produção de parte aérea e raízes de forma antagônica. Em doses adequadas, o nitrogênio favorece o bom desenvolvimento da planta. No entanto, em excesso provoca diminuição na porcentagem de amido das raízes e aumento na quantidade de proteína das folhas. A falta deste nutriente provoca um amarelecimento das folhas, iniciando nas inferiores, além de reduzir o tamanho e a produtividade das raízes (CONCEIÇÃO, 1981; TERNES, 2002).

Quanto ao potássio, é fundamental no processo de translocação dos carboidratos que são produzidos nas folhas e acumulados nas raízes, portanto, tem relação direta no rendimento de matéria seca total, representando o nutriente mais extraído pela mandioca. Quando está em deficiência ocorre ramificação excessiva, porém sem aumento da produção de parte aérea, pois gera a formação de entrenós e pecíolos curtos. As folhas ficam pequenas, apresentando clorose e necrose nas extremidades, além de diminuir a produção de raízes (ALVES; SILVA, 2003).

O fósforo na mandioca auxilia no aumento da produção de raízes, pelo fato de participar do processo de fosforilação, ou seja, fundamental à síntese do amido. A ausência deste elemento na planta reduz a produção de parte aérea, com ramas finas e folhas estreitas (GOMES, 1987).

Com relação aos micronutrientes, são poucos os trabalhos realizados com o objetivo de avaliar a resposta da cultura, no entanto, sabe-se que são extraídos em menores quantidades, mas têm grande importância no nível de produção

As variações das condições ambientais, como a disponibilidade de água no solo podem afetar o conteúdo de nutrientes minerais nas folhas. A instabilidade hídrica influencia tanto a disponibilidade dos nutrientes como a absorção destes pelas raízes e, conseqüentemente, o crescimento da parte aérea. Por outro lado, sabe-se que o acúmulo e a distribuição dos nutrientes minerais na planta também variam com o estágio de desenvolvimento da cultura (MARSCHNER, 1995; GOTO et al. 2001).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Caracterização da área experimental e do material vegetal

O experimento foi implantado e conduzido em ambiente protegido (Figura 1), localizado no Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal da Faculdade de Ciências Agronômicas - FCA/UNESP, em Botucatu-SP (22°51'01" latitude Sul e 48°25'55" longitude Oeste e altitude 800 m), no período compreendido entre os meses de novembro de 2014 a novembro de 2015, totalizando 360 dias. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, clima temperado quente (mesotérmico), com chuvas de verão e seca no inverno, sendo a temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C.

Foi utilizada a cultivar IAC 576-70, principal cultivar de mandioca de mesa plantada no Estado de São Paulo, ocupando em torno de 90% da área, com altas produtividades e excelentes qualidades culinárias. Possui arquitetura favorável aos tratos culturais, além de apresentar medianamente resistência à bacteriose e ao superalongamento (OTSUBO; LORENZI, 2004). A cultivar apresenta raízes com película suberosa de cor marrom, lisa e de forma predominantemente cilíndrica, feloderma e polpa de coloração creme, quando cozida a polpa é de coloração amarela. Possui broto verde-arroxeadado, hastes

jovens verdes, pecíolos verde-arroxeados, folhas largas com de cinco a sete lóbulos de formato obovado e liso, ramificação di e tricotômica, com ângulo ao redor de 45° , e hastes maduras cinzaesverdeadas (LORENZI et al., 1996; LORENZI, 2012).



Figura 1. Vista do ambiente protegido do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal em Botucatu, SP, 2015.

O solo utilizado no experimento foi retirado de ambiente de produção agrícola e classificado como neossolo de textura média (EMBRAPA, 2006). As caracterizações química (Tabela 1) e física (Tabela 2) do solo foram obtidas em amostras na camada de 0-0,20 m e elaborado a curva de retenção de água no solo (Figura 2), conforme Van Genuchten (1980).

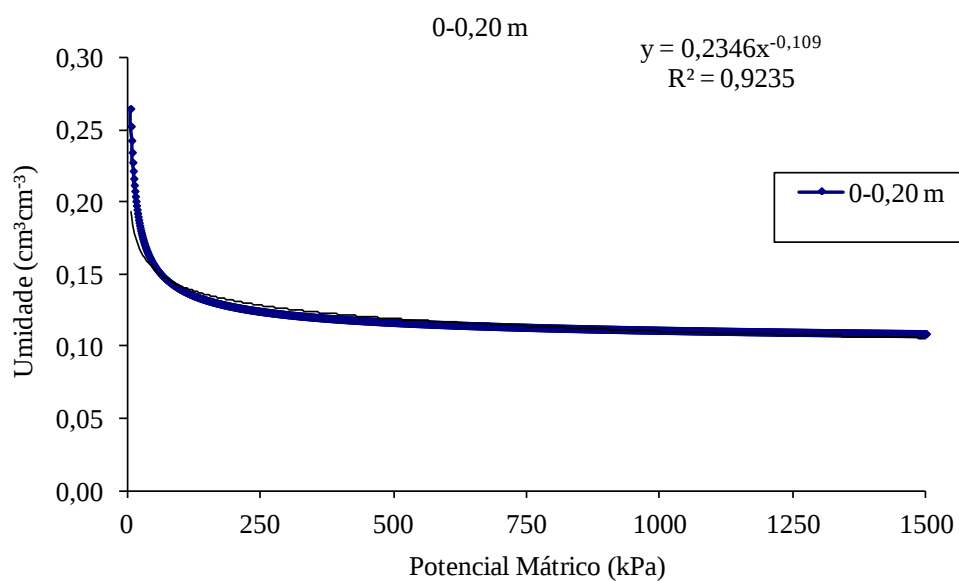


Figura 2. Curva de retenção de água do solo utilizado no experimento.

Tabela 1. Análise química do solo amostrado na camada de 0-0,20 m.

Atributos	Profundidade (m)
	0-0,20
pH (CaCl ₂)	4,5
M.O. (g dm ⁻³)	17
P _{resina} (mg dm ⁻³)	70
Al ⁺³ (mmolc dm ⁻³)	-
H + Al (mmolc dm ⁻³)	68
K (mmolc dm ⁻³)	4,7
Ca (mmolc dm ⁻³)	97
Mg (mmolc dm ⁻³)	24
SB (mmolc dm ⁻³)	126
CTC (mmolc dm ⁻³)	194
V%	65
S (mg dm ⁻³)	-
B (mg dm ⁻³)	0,44
Cu (mg dm ⁻³)	10,3
Fe (mg dm ⁻³)	363
Mn (mg dm ⁻³)	35,2
Zn (mg dm ⁻³)	4,8

Tabela 2. Análise física do solo amostrado na camada de 0-0,20 m.

Atributos	Profundidade (m)
	0-0,20
Areia (g kg^{-1})	773
Argila (g kg^{-1})	150
Silte (g kg^{-1})	77
Umidade	-
Textura	Média
Densidade (g cm^{-3})	1,51

5.2 Delineamento experimental e instalação do experimento

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente ao acaso, em esquema fatorial 3 x 3, sendo três fases de crescimento da cultura da mandioca (de 90 a 180; de 180 a 270 e de 270 a 360 dias após o plantio (DAP)), três tensões de água no solo (-10, -40 e -70 kPa) e cinco repetições. As variáveis morfológicas foram analisadas em parcelas subdivididas no tempo e consideradas as épocas, os dias após a aplicação do déficit hídrico.

O plantio foi realizado manualmente no dia 13 de novembro de 2014, correspondente ao período climático quente e chuvoso da região. As ramas foram retiradas do terço médio de plantas sadias com idade aproximada de 12 meses e foram seccionadas em ângulo reto, com auxílio de um facão, produzindo manivas-sementes de 0,20 m de comprimento, contendo pelo menos 5 a 7 gemas. Foi plantada uma maniva-semente em sulcos a 0,05m em cada uma das 45 caixas de 0,57 m de altura, 1,0 m de comprimento e 0,8 m de largura, com drenagem e capacidade de 500 L, contendo aproximadamente 300 L de solo.

O controle de umidade do solo foi realizado com o auxílio de tensiômetros, instalados em todas as caixas a 20 cm de profundidade e a tensão foi medida com um tensímetro digital (Sondaterra, Piracicaba, SP, Brasil). A reposição da água foi feita diariamente baseada na leitura das tensões e definida de acordo com a curva de retenção de água do solo (Figura 2), mantendo-se a umidade do solo próximo à capacidade de campo até o início da imposição da primeira fase de crescimento (90 DAP).

De acordo com a análise química do solo (Tabela 1), não houve a necessidade de adubação no plantio, realizando-se apenas a adubação de cobertura aos 40 dias do plantio com ureia (45% N) na dose de 40 kg de nitrogênio por hectare, seguindo as instruções do Boletim 100 para a cultura da mandioca (LORENZI et al., 1997). Aos 45 DAP foi feito o desbaste das hastes, deixando-se duas hastes por caixa.

5.3 Imposição das tensões de água no solo e manejo da cultura

A fase de crescimento da cultura da mandioca, F3 (90 a 180 DAP), F4 (180 a 270 DAP) e F5 (270 a 360 DAP), foram submetidas às diferentes tensões de água no solo. As tensões foram escolhidas considerando que a tensão de -10 kPa mantivesse as plantas em condições de capacidade de campo, a tensão de -40 kPa sob plantas em deficiência hídrica moderada e a tensão -70 kPa sob plantas em deficiência hídrica severa.

O manejo da irrigação foi com base na capacidade de água disponível (CAD), visando manter a tensão de água no solo de acordo com cada fase. O cálculo de estimativa da lâmina de água foi realizado através da metodologia de Gomes (2013).

$$CAD = (CC - PMP) * Z$$

Onde:

CAD - capacidade de água disponível (mm);

CC - teor de água volumétrico na capacidade de campo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

PMP - teor de água volumétrico no ponto de murcha permanente ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

Z - profundidade efetiva do sistema radicular (mm) (considerado 50 cm, correspondente à altura das caixas).

No término de cada fase de crescimento as plantas foram reidratadas, mantendo-se o solo na tensão em torno de -10 kPa até o final do primeiro ciclo da mandioca (360 DAP).

Os tratos culturais realizados foram à aplicação do herbicida Clamazone (2 L ha^{-1}) no dia 13 de dezembro de 2014 (30 DAP) e aplicação do inseticida

Tiametoxan (2 L ha^{-1}) para o controle do percevejo da renda, nas datas 30 de janeiro de 2015 (78 DAP), 13 de fevereiro de 2015 e 25 de setembro de 2015 (326 DAP).

5.4 Condições ambientais durante o experimento

As condições ambientais no interior da casa de vegetação foram monitoradas por todo o período experimental através de um *usb data logger* HT- 500 (mod. HT-500, Instrutherm, São Paulo, SP, Brasil) obtendo-se a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e a umidade relativa do ar (%). Houve variação da temperatura e umidade relativa do ar por todo o ciclo da cultura. A temperatura máxima média do ar foi de $38,7^{\circ}\text{C}$, a temperatura mínima média do ar de $17,9^{\circ}\text{C}$, a umidade relativa máxima média do ar foi de 83,7% e a umidade relativa mínima média do ar foi de 39,9% (Figura 3).

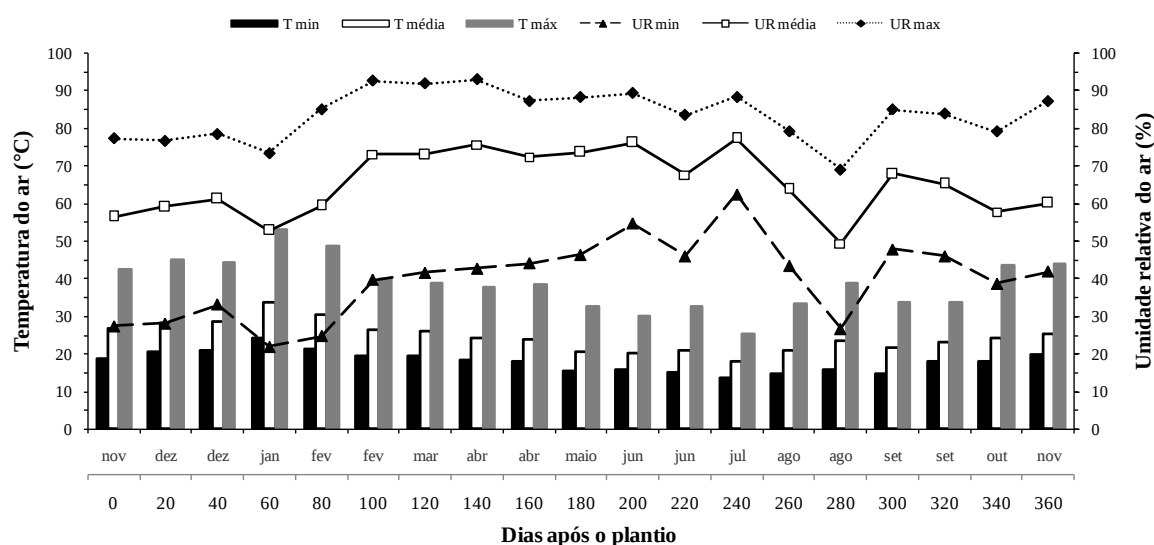


Figura 3. Temperatura do ar mínima, média e máxima e umidade relativa do ar mínima, média e máxima, a cada 20 dias, dentro do cultivo protegido durante o período de novembro de 2014 a novembro de 2015. Botucatu, SP.

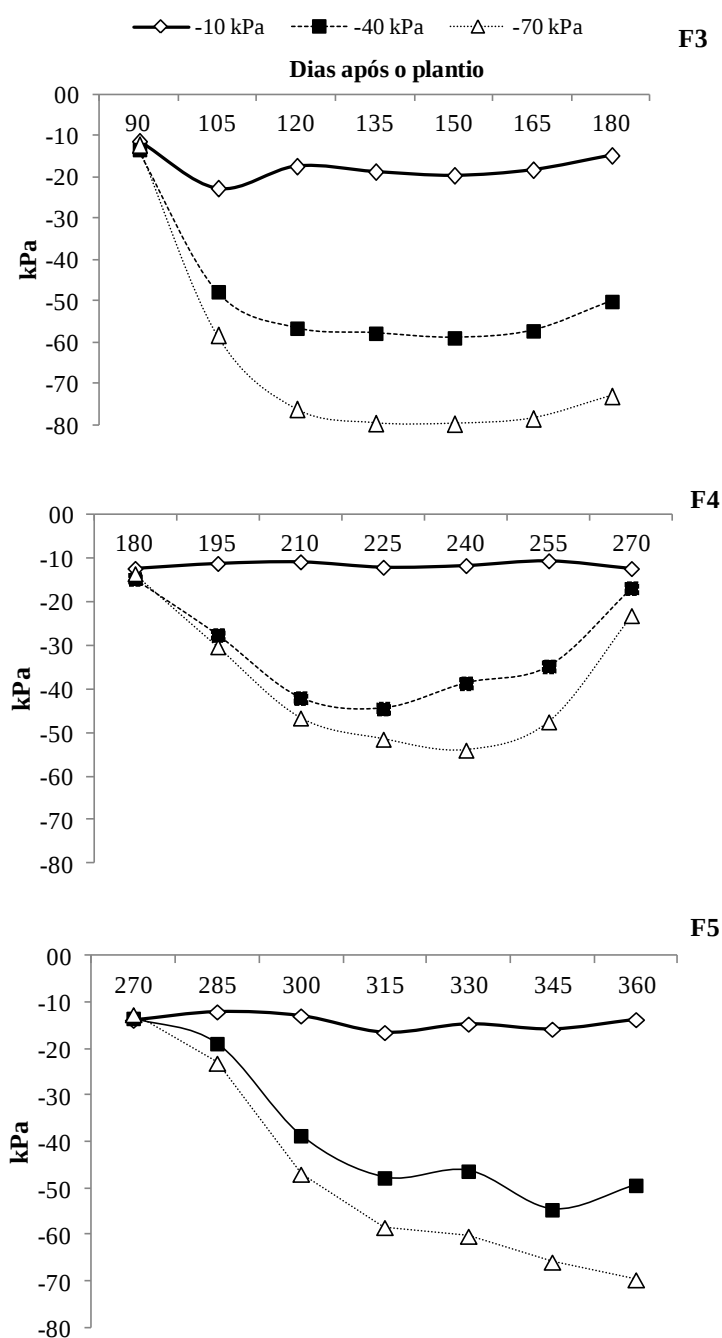


Figura 4. Tensões de água no solo -10, -40 e -70 kPa, durante as fases de crescimento da cultura de 90-180 (F3); 180-270 (F4) e 270-360 (F5) dias após o plantio da mandioca de mesa IAC 576-70. Botucatu, SP, 2015.

A tensão da água no solo foi monitorada a partir dos 90 DAP até ao final do experimento, sendo possível verificar a distribuição das mesmas em cada fase. As tensões de água foram diferenciadas entre si na F3 alcançando os valores pré-determinados

de -10, -40 e -70 kPa. Já na F4 as tensões de -40 e -70 kPa diminuíram e na maior parte da fase não atingiram os valores esperados, verificando apenas aos 220 DAP a tensão de -40 kPa, esse fato pode ser explicado pelas condições climáticas desse período (Figura 3) que não foram adequadas para promover secamento do solo. Na última fase de crescimento (F5) com o aumento da temperatura do ar (Figura 3), as tensões tenderam a subir, contudo a tensão de -40 kPa foi verificada a partir dos 320 DAP e a de -70 kPa foi alcançada apenas no final do experimento. A tensão de -10 kPa em todas as fases situou-se na faixa esperada (Figura 4).

5.5 Avaliações morfológicas e anatômicas

5.5.1 Variáveis morfológicas

Aos 0, 20, 40, 60 e 80 dias após a aplicação do déficit hídrico (DAD) em cada fase de crescimento (F3, F4 e F5) foram avaliadas as variáveis morfológicas altura da planta, diâmetro do caule, número de folhas por planta, área foliar e o índice de área foliar. Considerou-se a época 0 o dia do início da restrição hídrica.

As variáveis morfológicas foram analisadas em parcelas subdivididas no tempo.

5.5.1.1 Altura de planta (AP)

A altura da planta foi avaliada a partir do nível do solo até a base da inserção do broto terminal, mensurada com o auxílio de uma trena graduada em centímetros.

5.5.1.2 Diâmetro do caule (DC)

O diâmetro do caule foi aferido a 5 cm da superfície do solo com auxílio de paquímetro digital (mod. 62379-531, VWR, Radnor, PA, EUA).

5.5.1.3 Número de folhas por planta (NFP)

O número de folhas por planta foi realizado pela contagem, em que foram consideradas apenas as folhas que apresentarem ao menos 70% da superfície do limbo foliar verde.

5.5.1.4 Área foliar (AF)

A área foliar foi determinada a partir da medição do lóbulo central da folha e sua área estimada pela equação $AF = -69,91114 + (15,06462) \cdot C$, onde AF é a área da folha em cm^2 e C o comprimento do lóbulo central em centímetro.

A equação para estimar a área foliar da mandioca de mesa IAC 576-70 foi obtida pela coleta, de 140 folhas de plantas que não participavam do experimento, de modo aleatório, retirando do ápice, terço médio e basal das plantas, aos 80 dias após o plantio. As folhas foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas ao laboratório para medição do comprimento do lóbulo central, largura do lóbulo central número de lóbulos e determinação da área foliar (AF). As áreas foliares foram determinadas com a utilização do integrador de área foliar (mod. LI 3100C, LI-COR[®] Lincoln, NE, EUA). A equação linear em função do comprimento do lóbulo central, foi a que melhor ajustou-se aos dados ($R^2=0,92$) e por isso, foi selecionada para determinar a área foliar da mandioca no presente trabalho.

5.5.1.5 Índice de área foliar (IAF): Calculou-se o IAF, através da relação da área foliar total da planta (m^2), por unidade de terreno (m^2) disponível para a planta:

$$IAF = AF \cdot S^{-1}$$

Onde,

AF: Área foliar fotossinteticamente ativa da planta (m^2);

S: Superfície do solo ocupada pela planta ($0,8 \text{ m}^2$).

5.5.2 Variáveis anatômicas da folha - Microscopia de luz

As amostras de folhas foram coletadas para descrição anatômica aos 150 dias após o plantio, retirando-se o folíolo central da terceira folha completamente expandida. Os folíolos foram fixados em FAA 50 por 48 horas (JOHANSEN, 1940) e armazenadas em etanol 70%.

O material foi desidratado em série etílica e incluído em resina. Foram realizadas secções transversais ($6 \mu\text{m}$) na porção mediana da nervura central de

cada amostra, utilizando-se micrótomo rotativo de mesa, modelo RM 2145. Em seguida, as lâminas foram coradas com azul de toluidina 0,05%, pH 4,7 (O'BRIEN et al., 1964) e montadas com Entellan.

Os resultados foram documentados utilizando-se microscópio eletrônico (mod. BX 41, Olympus) acoplado ao sistema digital de captura de imagens. As análises morfométricas foram realizadas por meio do software de imagens Olympus Cell^B. Em cada amostra foram realizadas as mensurações espessura do limbo (EL); espessura da epiderme na face adaxial (EAD) e na face abaxial (EAB); espessura do parênquima paliádico (PP) e lacunoso (PL); espessura da cutícula (EC); número de elementos de vasos do metaxilema (NEV); diâmetro dos elementos de vaso (DEV); espessura da parede dos elementos de vaso (EEV); e área ocupada pelos espaços intercelulares do parênquima lacunoso (EPL).

5.6 Avaliação nutricional

Aos 180, 270 e 360 dias após o plantio foram coletadas as folhas de mandioca para avaliação nutricional das plantas. Seguindo as recomendações de Lorenzi et al. (1997), retirou-se o limbo (folíolo) das folhas mais jovens totalmente expandidas e o material amostrado foi levado a estufa de ventilação forçada a 60 °C por 48 horas. Determinou-se os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn), segundo Malavolta et al. (1997), e os teores de silício (Si), segundo Korndörfer et al. (2004).

5.7 Avaliação na colheita

Ao final do experimento (360 DAP), as plantas foram colhidas e separadas em folha (limbo foliar + pecíolo), haste, cepa, raiz fibrosa, raiz tuberosa e, posteriormente, foram pesadas para obtenção da massa fresca. As hastes e as raízes tuberosas foram amostradas e obtidas as suas massas frescas. As partes da planta foram colocadas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C por 96 horas ou até atingirem a massa constante. Em seguida, com o auxílio de uma balança de precisão, foi determinada:

- Massa seca da parte aérea (folha + haste) (g planta^{-1});
- Massa seca da cepa (g planta^{-1});

- Massa seca das raízes fibrosas (g planta⁻¹);
- Massa seca das raízes tuberosas (g planta⁻¹).

5.7.1 Número de raízes comerciais e não comerciais

O número de raízes comerciais foi obtido pela contagem das raízes que apresentavam o diâmetro médio maior ou igual a 30 mm, sendo as restantes consideradas não comerciais.

5.7.2 Comprimento e diâmetro das raízes tuberosas

O comprimento foi determinado com régua milimetrada, medindo-se toda a extensão da raiz. O diâmetro foi avaliado na porção central da raiz, com auxílio de um paquímetro digital (mod. 62379-531, VWR, Radnor, PA, EUA). O comprimento e diâmetro foram realizados apenas nas raízes consideradas comerciais.

5.7.3 Espessura da casca + entrecasca e diâmetro da polpa

A espessura da casca + entrecasca e o diâmetro da polpa foram medidos com o paquímetro digital (mod. 62379-531, VWR, Radnor, PA, EUA), na porção central da raiz.

5.7.4 Índice de Colheita (IC)

O índice de colheita (IC) foi calculado pela relação entre a massa seca das raízes comerciais e a massa seca total da planta

$$IC (\%) = (MSr \text{ } MSt^{-1}) * 100$$

Onde:

MSr: Massa seca das raízes comerciais (g);

MSt: Massa seca total da planta (g).

5.7.5 Razão de área foliar (RAF)

A RAF foi obtida pela relação entre a área foliar total de uma planta e a massa seca da total da planta, mediante a seguinte equação:

$$RAF (m^2 \text{ kg}^{-1}) = AF \text{ } MSt^{-1}$$

Onde,

AF: Área foliar da planta (m^2);

MSt: Massa seca total da planta (kg).

5.7.6 Produtividade

A produtividade das raízes tuberosas foi calculada pela massa fresca das raízes comerciais (kg m^{-2}) e extrapolado para toneladas por hectare.

5.8 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância, com posterior comparação de médias utilizando o teste Tukey a 5% de probabilidade.

As variáveis morfológicas foram analisadas em parcela subdivididas no tempo.

Essas análises foram executadas utilizando-se o programa estatístico Assistat (SILVA, 1996).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Variáveis morfológicas

As variáveis morfológicas das plantas de mandioca de mesa cultivar IAC 576-70 foram avaliadas aos 0, 20, 40, 60 e 80 dias após a implantação do déficit hídrico nas fases de crescimento da cultura de 90-180 (F3); 180-270 (F4) e 270-360 (F5) dias após o plantio.

Com relação à altura das plantas, houve diferença significativa no fator época na F3 e F5 (Tabela 3), indicando que as plantas apresentaram diferentes alturas quando submetidas às tensões de -10, -40 e -70 kPa. Avaliando o diâmetro do caule, houve diferença significativa durante as épocas apenas na F3 e sob as diferentes tensões de água no solo nas fases de crescimento F3 e F4. Não foi observada interação entre os fatores época e a tensão de água no solo nas variáveis altura e diâmetro das plantas (Tabela 3).

Tabela 3. Análise de variância da altura e diâmetro do caule de plantas de mandioca de mesa IAC 576-70 referente à época de avaliação e as tensões de água no solo durante as fases de crescimento da cultura. Botucatu, SP, 2015.

Fonte de Variação	Valores de <i>F</i>						
	GL	Altura			Diâmetro		
		F3	F4	F5	F3	F4	F5
Época (DAD)	4	18,64 *	0,37 ^{ns}	5,92 *	5,97 *	0,19 ^{ns}	0,24 ^{ns}
Tensão de água no solo (TS)	2	22,36 *	11,98 *	4,67 *	21,67 *	10,31 *	1,31 ^{ns}
DADxTS	8	1,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,09 ^{ns}	1,74 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,01 ^{ns}
CV% parcela		16,34	8,48	10,51	12,23	9,91	8,22
CV% subparcela		20,4	10,34	12,42	10,34	9,51	10,75

DAD: dias após o déficit hídrico; F3: de 90 a 180; F4: de 180 a 270 e F5: de 270 a 360 dias após o plantio; G.L.: graus de liberdade; ns: não significativo; *: significativo ($p < 0,05$); C.V: coeficiente de variação.

De modo geral, houve aumento em altura nas fases de crescimento F3 e F5 até aos 80 DAD quando comparada ao início da aplicação do déficit hídrico, o que não ocorreu na F4 (Tabela 4).

Analisando a tensão de água no solo, observou-se que na F3, as plantas sob -10 kPa apresentaram maior crescimento, em torno de 29,2% e 24,8% em relação às plantas sob -40 kPa e -70 kPa, respectivamente. No entanto, na F4 e na F5 verificou-se que nas maiores tensões de água no solo (-40 e -70 kPa), as plantas apresentaram altura superior em relação às de tensão de -10 kPa, sendo as plantas desenvolvidas na F4 sob -40 kPa e -70 kPa semelhantes entre si. Na F5, as plantas na tensão de -40 kPa não diferiram em altura das plantas sob -10 kPa e -70 kPa, obtendo-se altura média de 2,55 m (Tabela 4).

Notou-se que o déficit hídrico teve maior influência na F3, correspondente a fase de maior crescimento vegetativo. Assim, na F4 e F5, no momento da imposição das restrições hídricas, as plantas já haviam atingido a altura máxima, tornando essas fases pouco influenciadas pela disponibilidade de água.

Tabela 4. Altura de plantas de mandioca de mesa IAC 576-70 aos 0, 20, 40, 60 e 80 dias após o déficit hídrico (DAD) durante as três fases de crescimento da cultura, sob diferentes tensões de água no solo. Botucatu, SP, 2015.

Dias após o déficit hídrico (DAD)	Altura (m)		
	F3	F4	F5
0	1,22 c	2,13 a	2,32 c
20	1,60 b	2,18 a	2,42 bc
40	1,85 ab	218 a	2,55 abc
60	1,93 a	2,19 a	2,65 ab
80	1,98 a	2,20 a	2,74 a
Tensão de água no solo			
-10 kPa	2,09 a	2,00 b	2,39 b
-40 kPa	1,48 b	2,22 a	2,55 ab
-70 kPa	1,57 b	2,30 a	2,66 a
CV parcela	16,34	8,48	10,51
CV subparcela	20,40	10,34	12,42

F3: de 90 a 180; F4: de 180 a 270 e F5: de 270 a 360 dias após o plantio; *Médias seguidas pela mesma letra minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

As plantas na F3 submetidas às tensões de -10 kPa, -40 kPa e -70 kPa, aos 40 DAD, apresentaram altura média de 2,30, 1,60 e 1,65 m, respectivamente. Analisando o quanto essas mesmas plantas cresceram em relação ao período inicial da imposição das tensões (0 a 40 DAD), observou-se as médias de 93 cm (-10 kPa), 52 cm (-40 kPa), e 42 cm (-70 kPa) (Figura 5). Entre o período de 40 e 80 DAD, o crescimento em altura das plantas das três tensões de água no solo manteve-se praticamente constante (Figura 5).

O período compreendido entre 90 a 180 DAP é considerado o de maior crescimento vegetativo para a cultura da mandioca, visto que, é a fase que ocorre às maiores taxas de crescimento dos ramos e folhas (ALVES, 2006). Assim, o déficit hídrico nessa fase pode comprometer o crescimento em altura das plantas, devido à diminuição da turgescência celular, reduzindo o crescimento por alongamento (CAIRO, 1995).

Nossos resultados corroboram com os encontrados por Aidar et al. (2015), que estudando acessos de *Manihot esculenta* em condições de déficit hídrico, notaram redução do crescimento em altura em plantas submetidas à restrição hídrica. Resultado semelhante foi observado por Correia e Nogueira (2004), no estudo com a cultura do amendoim sob déficit hídrico, onde após 35 dias de restrição hídrica, as plantas nessas condições apresentaram redução significativa na altura em relação às plantas hidratadas.

Na fase de crescimento 4 (180 a 270 DAP) verificou-se que as plantas não apresentaram aumento significativo em altura nas tensões estudadas, apresentando em média 2,02 m (-10 kPa), 2,25 m (-40 kPa) e 2,35 m (-70kPa) ao final dos 80 DAD (Figura 5). Essa fase foi coincidente pela redução na temperatura do ar (180 a 240 DAP) (Figura 3), determinando para as plantas de mandioca início do repouso fisiológico, justificando a estabilidade do crescimento em altura nessas plantas.

Souza (2007), estudando variedades de mandioca em Vitória da Conquista - BA observou que as plantas apresentaram estabilidade no crescimento em altura, de maio a outubro, indicando a fase de repouso fisiológico das plantas, coincidindo com a estação fria da região.

Na última fase de crescimento (F5), as plantas sob as três tensões cresceram durante as épocas de avaliações, registrando, aos 80 DAD, altura de 2,57 m na tensão de -10 kPa e de 2,81 m nas tensões de -40 kPa e -70 kPa. No entanto, o menor crescimento observado foi em plantas sob a tensão de -70 kPa (27 cm) e o maior em plantas sob -40 kPa (53 cm) em relação ao período inicial (Figura 5).

A diminuição do crescimento das plantas é considerada como um mecanismo adaptativo em plantas desenvolvidas sob condições de baixa disponibilidade de água, pois permite direcionar assimilados e energia, antes utilizados para o crescimento de caule, folhas, ramos em moléculas protetoras para combater o estresse e/ou para manter o crescimento da raiz, para a absorção de água (SAUSEN, 2007).

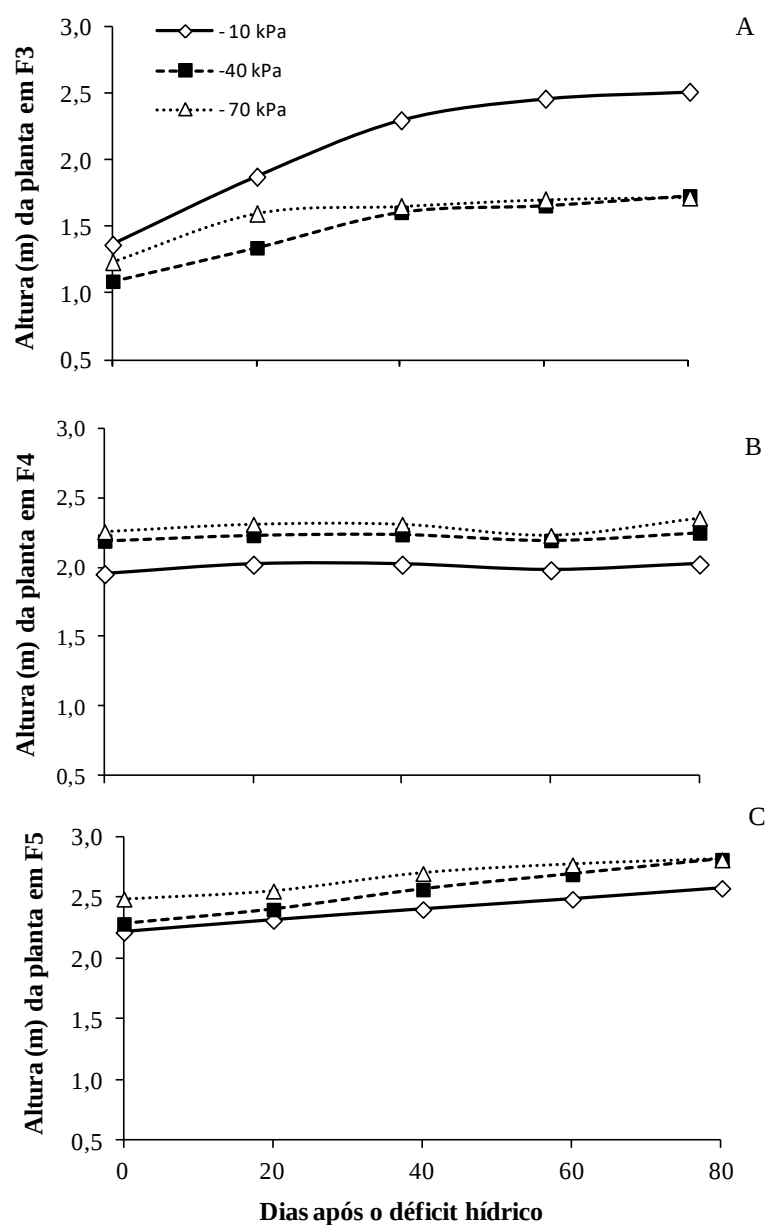


Figura 5. Altura de plantas de mandioca de mesa cultivar IAC 576-70, sob as tensões de água no solo de -10 kPa, -40 kPa e -70kPa, em cinco datas de avaliação após o déficit hídrico, dentro das fases de crescimento da cultura de 90-180 (F3, A); 180-270 (F4, B) e 270-360 (F5, C) dias após o plantio. Botucatu, SP, 2015.

O diâmetro do caule das plantas de mandioca na F3 apresentou aumento significativo até aos 20 DAD, mantendo-se praticamente constante a partir dessa data nessa fase. As plantas submetidas à tensão de -10 kPa apresentaram diâmetro do caule maior que as de -40 kPa e -70 kPa, 16,1% e 13,5%, respectivamente, nessa mesma fase. Já

na F4 e na F5 não houve diferença entre o diâmetro das plantas até aos 80 DAD (Tabela 5). Essa paralisação do crescimento em diâmetro observada nessas duas fases pode ser explicada pelo encerramento do período de crescimento vegetativo e início da fase de engrossamento das raízes.

Verificou-se que as plantas submetidas à -40 kPa de tensão de água no solo na F4 tiveram diâmetro do caule maior que as do -10 kPa e -70 kPa, média de 22,86 mm. E na F5 o diâmetro do caule das plantas não foi influenciado pela tensão de água no solo nesse período (Tabela 5).

Tabela 5. Diâmetro do caule de plantas de mandioca de mesa IAC 576-70 aos 0, 20, 40, 60 e 80 dias após o déficit hídrico (DAD) durante as fases de crescimento da cultura, sob diferentes tensões de água no solo. Botucatu, SP, 2015.

Dias após o déficit hídrico (DAD)	Diâmetro do caule (mm)		
	F3	F4	F5
0	16,17 b	21,01 a	22,86 a
20	17,60 ab	21,26 a	23,06 a
40	19,09 a	21,53 a	23,24 a
60	18,91 a	21,30 a	23,18 a
80	19,69 a	21,63 a	23,53 a
Tensão de água no solo			
-10 kPa	20,30 a	20,64 b	22,66 a
-40 kPa	17,02 b	22,86 a	23,14 a
-70 kPa	17,55 b	20,54 b	23,87 a
CV parcela	12,23	9,91	8,22
CV subparcela	10,34	9,55	10,75

F3: de 90 a 180; F4: de 180 a 270 e F5: de 270 a 360 dias após o plantio; *Médias seguidas pela mesma letra minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

As plantas desenvolvidas na F3, aos 40 DAD, apresentaram 21,83, 17,46 e 18,02 mm de diâmetro do caule nas tensões de -10 kPa, -40 kPa e -70 kPa, respectivamente, registrando aumento em relação ao início da fase de 5,11 mm nas plantas sob a tensão de -10 kPa, de 1,92 mm nas plantas sob a tensão de -40 kPa e de 1,77 mm nas

plantas sob -70 kPa. No entanto, após esse período, o aumento em diâmetro foi praticamente constante até aos 80 DAD (Figura 6). Tais resultados corroboram com os encontrados por Nesreen et al. (2013), que reportaram redução do diâmetro do caule de plantas de mandioca com a diminuição da disponibilidade de água no solo. A redução do potencial hídrico da planta afeta inicialmente a divisão e a expansão celular e, consequentemente, reduz o crescimento do caule em diâmetro antes que o estresse se torne severo (CHAVES et al., 2001; ANYIA; HERZOG, 2004, AWAL; IKEDA, 2002; SOUZA et al., 2004).

Na F4, as plantas sob -40 kPa foram as que apresentaram o maior diâmetro, média de 23,39 mm, caracterizando aumento de 1,05 mm em relação ao período inicial da imposição da tensão. Já as plantas sob as tensões de -10 kPa e -70kPa resultaram em 21,10 e 20,80 mm, respectivamente, tendo aumento médio de 0,41mm nas plantas submetidas a tensão -10 kPa e de 0,81 mm na tensão de -70 kPa, comparadas com o início da fase (Figura 6). Nessa fase, a diminuição da temperatura do ar com o início do repouso fisiológico das plantas, não permitiu que as tensões de -40 e -70 kPa fossem alcançadas, não havendo déficit hídrico nas tensões pré-determinadas, desse modo, os diâmetros do caule foram menos afetados pela disponibilidade de água nesse período.

O crescimento em diâmetro das plantas da F5 foi constante e independente da tensão aplicada. Notou-se que aos 80 DAD, as plantas que apresentaram o maior diâmetro foram às mantidas sob -70 kPa (24,08 mm), seguida das plantas sob a tensão de -40 kPa (23,44 mm) e da -10 kPa (23,20 mm). No entanto, o aumento em diâmetro comparado ao início da fase foi de 0,86 mm nas plantas sob tensão de -10 kPa e 0,64 mm nas tensões de -40 kPa e -70 kPa (Figura 6).

As plantas de mandioca no seu primeiro ciclo de desenvolvimento têm o seu crescimento vegetativo mais pronunciado entre os 90 aos 180 DAP, dessa maneira, na F2 e F3 as plantas já estavam com o padrão de suas hastes definidas, sendo também menos influenciadas pela restrição hídrica.

Nesreen et al. (2013), avaliando a morfologia de plantas de mandioca variedade América sobre a influência do déficit hídrico, verificaram redução do diâmetro do caule com a diminuição de água no solo. No entanto, Lopes (2006) estudando a mandioca de mesa observou que plantas desenvolvidas em ambiente irrigado apresentaram menor diâmetro do caule em relação às plantas em sequeiro.

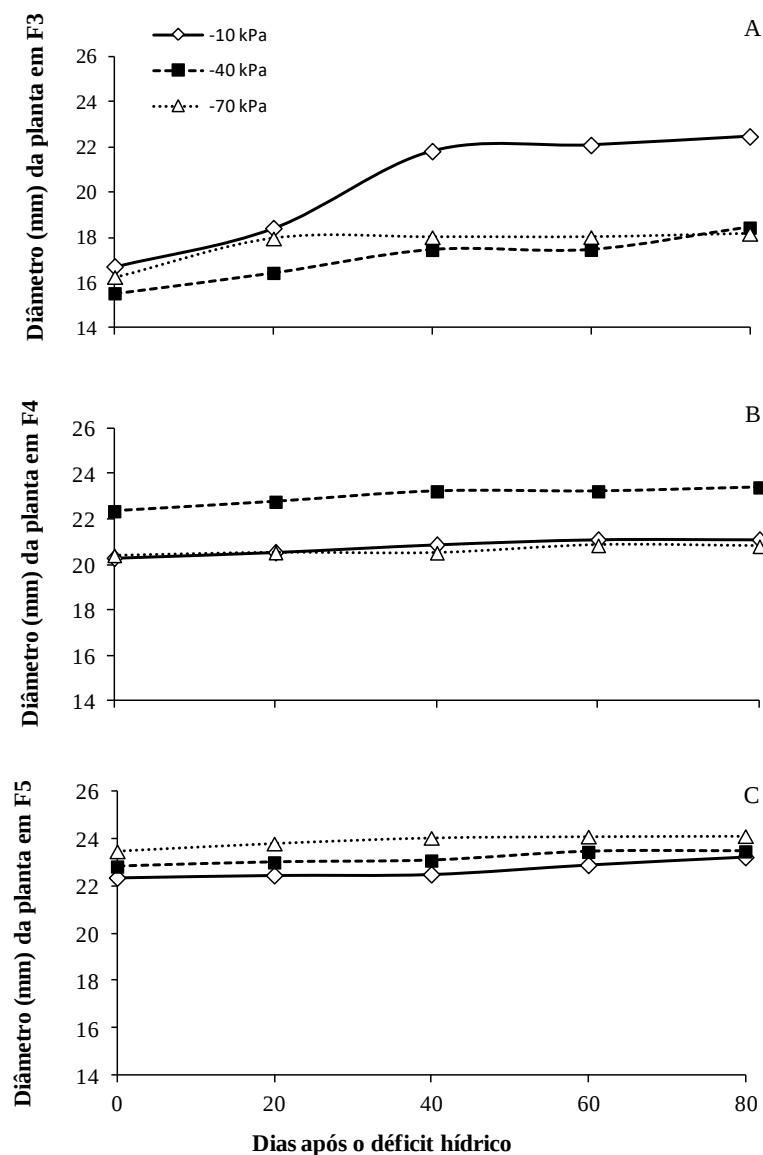


Figura 6. Diâmetro do caule de plantas de mandioca de mesa cultivar IAC 576-70, sob diferentes tensões de água no solo dentro das fases de crescimento da cultura de 90-180 (F3, A); 180-270 (F4, B) e 270-360 (F5, C) dias após o plantio. Botucatu, SP, 2015.

Aos 360 dias após o plantio, as plantas de mandioca apresentaram efeito significativo das fases de desenvolvimento sobre as variáveis altura e diâmetro do caule. O fator tensão de água no solo promoveu efeito apenas no diâmetro do caule. Já a interação entre esses dois fatores afetou tanto a altura das plantas quanto o diâmetro do caule (Tabela 6).

Tabela 6. Análise de variância da altura e diâmetro do caule de plantas de mandioca de mesa IAC 576-70 sob três tensões de água no solo durante três fases de crescimento da cultura, avaliadas aos 360 dias (colheita). Botucatu, SP, 2015.

Fonte de Variação	GL	Valores de <i>F</i>	
		Altura	Diâmetro
Fases de crescimento (F)	2	4,67 *	8,92 *
Tensão de água no solo (TS)	2	0,03 ^{ns}	1,86 *
FxTS	4	4,35 *	2,88 *
CV%		11,39	10,85

G.L.: graus de liberdade; ns: não significativo; *: significativo ($p < 0,05$); C.V: coeficiente de variação.

A altura das plantas aos 360 DAP foi influenciada pelo déficit hídrico na F3, levando a redução de 18,3% na tensão de -40 kPa e de 19,4% na de -70 kPa, quando comparadas com as plantas sob -10 kPa. No entanto, tanto a F4 quanto a F5 não tiveram diferença entre as tensões. O mesmo foi observado para o diâmetro do caule, em que as plantas sob a tensão -40 e -70 kPa na F3 tiveram o diâmetro reduzido em 22,8% e 17,8%, respectivamente, quando comparadas as plantas sob -10 kPa. Já, as F4 e F5 não apresentaram diferença entre as tensões (Tabela 7).

De modo geral, observou-se que a altura e o diâmetro das plantas de mandioca foram afetados quando o déficit hídrico foi imposto na terceira fase de crescimento da cultura (90 a 180 DAP) (Tabela 7).

Reduções na altura e no diâmetro do caule são respostas estratégias das plantas, relatadas por diversos autores, que visam reduzir os efeitos deletérios da baixa disponibilidade hídrica, constituindo, portanto, mecanismos de tolerância à seca (INMAM-BAMBER; PIMENTEL, 2005; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Tabela 7. Altura e diâmetro do caule de plantas de mandioca de mesa IAC 576-70 sob diferentes tensões de água no solo durante as fases de crescimento da cultura, avaliados aos 360 dias após o plantio (DAP) (colheita). Botucatu, SP, 2015.

Tensão de água no solo	Fases de crescimento		
	F3	F4	F5
Altura aos 360 DAP			
-10 kPa	2,83 aA	2,50 aA	2,58 aA
-40 kPa	2,31 bB	2,70 abA	2,98 aA
-70 kPa	2,28 bB	2,78aA	2,87 aA
Diâmetro aos 360 DAP			
-10 kPa	22,69 aA	21,38 aA	22,97 aA
-40 kPa	17,51 bB	22,26 aA	23,15 aA
-70 kPa	18,66 bB	20,51 abA	23,50 aA

F3: de 90 a 180; F4: de 180 a 270 e F5: de 270 a 360 dias após o plantio; *Médias seguidas pela mesma letra minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Com relação ao número de folhas e área foliar total das plantas de mandioca, constatou-se que foram influenciados pelo fator época nas três fases de crescimento da cultura (Tabela 8).

No fator tensão de água no solo, observou-se que não houve diferença significativa das tensões apenas para as plantas desenvolvidas sob a F4 para as duas variáveis. Nas três fases verificou-se interação entre os fatores para número de folhas e área foliar (Tabela 8).

Tabela 8. Análise de variância do número de folhas e área foliar total de plantas de mandioca de mesa IAC 576-70 referente a cinco épocas de avaliação e três tensões de água no solo durante as fases de crescimento da cultura. Botucatu, SP, 2015.

Fonte de Variação	GL	Valores de <i>F</i>					
		Número de folhas			AF		
		F3	F4	F5	F3	F4	F5
Época (DAD)	4	5,74 *	229,45*	161,28*	4,21 *	220,53*	74,03*
Tensão de água no solo (TS)	2	74,01*	0,49 ^{ns}	142,24*	52,84*	2,97 ^{ns}	90,84*
DADxTS	8	20,26*	6,40 *	23,54 *	12,11*	2,65 *	21,36*
CV% parcela		18,55	29,23	25,34	23,82	32,41	29,59
CV% subparcela		20,32	30,02	28,82	28,73	39,69	32,82

DAD: dias após o déficit hídrico; F3: de 90 a 180; F4: de 180 a 270 e F5: de 270 a 360 dias após o plantio; G.L.: graus de liberdade; ns: não significativo; *: significativo ($p < 0,05$); C.V: coeficiente de variação.

O número de folhas das plantas de mandioca na F3 foi influenciado pelo déficit hídrico a partir dos 40 DAD, quando verificou o início da queda das folhas das plantas sob a tensão de -70 kPa. Aos 80 DAD, as plantas submetidas às tensões de -40 kPa e -70 kPa apresentaram redução no número de folhas de 41,6% e 85,9%, respectivamente, em relação às mantidas sob -10 kPa. Na F4, a partir dos 20 DAD, verificou-se a abscisão foliar nas plantas, havendo diferença no número de folhas das plantas desenvolvidas nas diferentes tensões aos 40 DAD (Tabela 9). Isto ocorreu devido, principalmente, às reduções da temperatura do ar na região, que se iniciou aos 180 DAP e estendeu-se até aos 240 DAP (Figura 3). Segundo Hunt et al. (1977), a redução na precipitação pluvial e a queda da temperatura do ar são os fatores que determinam o início da fase de repouso fisiológico para as plantas de mandioca.

A emissão das folhas iniciou novamente depois dos 270 DAP, porém em taxas menores que na fase inicial do ciclo. No F5, com a formação de novas folhas observou-se que entre os 40 a 80 DAD, o número de folhas foi afetado pela tensão de água no solo. No final da fase, aos 80 DAD, as plantas mantidas sob a tensão de -10 kPa apresentaram maior número de folhas, média de 24, no entanto, foi estaticamente igual ao número de folhas da tensão de -40 kPa, que registrou média de 20 folhas. Já as plantas

mantidas sob a tensão de -70 kPa encerraram o período de avaliação com nenhuma folha (Tabela 9). Em condições de déficit hídrico a redução do número de folhas das plantas ocorre devido à diminuição do número e do crescimento dos ramos. A redução do número de folhas em plantas sob déficit hídrico pode ser considerada como uma estratégia de sobrevivência sob condições adversas, para evitar a perda de água por transpiração (KOZLOWSKI, 1976).

A diminuição do número de folhas também foi observado por Nesreen et al. (2013) em plantas de mandioca desenvolvidas sob 25 e 50% da capacidade de campo. Rocha et al. (2001), trabalhando com três cultivares de *Vigna unguiculata* submetidas à deficiência hídrica, notaram que o número de folhas reduziu-se em todas as cultivares, sendo a redução mais acentuada quando as plantas foram submetidas a períodos de 30 e 45 dias de estresse.

Em geral, houve redução da AF total das plantas submetidas à restrição hídrica (-40 e -70 kPa) nas F3 e F5, diferenciando estatisticamente das plantas hidratadas (-10 kPa) a partir dos 40 DAD. Na F4, mesmo com a abscisão foliar foi possível observar que as plantas submetidas às tensões de -40 e -70 kPa, aos 40 DAD, apresentaram menor área foliar total do que as plantas sob a tensão de -10 kPa (Tabela 9).

Com relação às épocas de avaliação, na fase de crescimento 3 as plantas mantidas sob tensão de -40 kPa apresentaram AF total estatisticamente igual durante todas as avaliações, correspondendo a média de 0,57 m² de AF. Já as plantas sob a tensão de -10 kPa tiveram sua AF total crescente durante as avaliações, representando, aos 80 DAD, AF total de 0,78 m² a mais em relação ao início da fase. Ao contrário das plantas hidratadas, as plantas sob -70 kPa diminuíram sua AF total durante as avaliações, havendo redução de 0,52 m² de AF aos 80 DAD em relação à primeira avaliação (0 DAD). Na F4, foi observado redução da área foliar nas três tensões de água no solo durante as avaliações (Tabela 9).

A AF total das plantas hidratadas (-10 kPa) desenvolvidas na F5 aumentaram durante as avaliações. Já as plantas sob restrição hídrica de -40 kPa tiveram aumento na AF total até aos 40 DAD, após esse período se manteve constante, e nas sob tensão de -70 kPa observou aumento da AF total até aos 40 DAD, contudo, após esse período, a AF total foi prejudicada pelo déficit hídrico, pois não apresentou folhas na última época (Tabela 9). Uma vez terminado o primeiro ciclo vegetativo, o qual culmina com a fase de repouso da planta, dá-se início a um novo ciclo, as quais utilizam reservas

das raízes para produção de novas folhas (SILVA, 2006; VIÉGAS, 1976), no entanto, a área foliar é produzida em uma taxa menor do que no seu primeiro ciclo (CASTRO, et al. 1999). Assim, o período compreendido entre os 180 a 240 DAP marcou o final da primeira fase de repouso vegetativo e o início da nova estação de crescimento, coincidindo com a F5 explicando a menor produção da AF total. Távora et al. (1982), constataram, também, que a área foliar unitária foi menor no segundo ciclo de crescimento para as duas cultivares, Do céu e Saracura.

Tabela 9. Número de folhas e área foliar de plantas de mandioca de mesa IAC 576-70 aos 0, 20, 40, 60 e 80 dias após o déficit hídrico (DAD) durante as fases de crescimento da cultura, sob diferentes tensões de água no solo (TS). Botucatu, SP, 2015.

Fases de crescimento	TS	Número de folhas				
		0	20	40	60	80
		DAD				
F3	-10 kPa	30,0 bA	43,0 bAB	61,8 aA	71,2 aA	72,6 aA
	-40 kPa	29,6 bA	34,4 abB	41,6 abB	44,0 aB	42,4 abB
	-70 kPa	37,8 abA	48,0 aA	24,0 bcC	18,0 cC	10,2 cC
F4	-10 kPa	63,4 aB	55,8 aA	36,6 bA	0,0 cA	0,0 cA
	-40 kPa	75,0 aAB	64,6 aA	14,0 bB	0,0 bA	0,0 bA
	-70 kPa	77,6 aA	66,2 aA	0,0 bC	0,0 bA	0,0 bA
F5	-10 kPa	00 eA	6,8 dA	22,8 bA	32,2 aA	24,4 bA
	-40 kPa	0,0 bA	0,0 bB	18,2 aAB	19,2 aB	20,4 aA
	-70 kPa	0,0 bA	0,0 bB	17,4 aB	5,2 aC	0,0 bB
Área foliar total (m ²)						
F3	-10 kPa	0,49 cA	0,78 bcA	1,07 abA	1,25 aA	1,27 aA
	-40 kPa	0,42 aA	0,58 aA	0,63 aB	0,63 aB	0,61 aB
	-70 kPa	0,64 abA	0,79 aA	0,4 bcB	0,23 cC	0,12 cC
F4	-10 kPa	1,00 aB	0,87 aA	0,28 bA	0,00 bA	0,00 bA
	-40 kPa	1,51 aA	0,99 bA	0,18 cAB	0,00 cA	0,00 cA
	-70 kPa	1,17 aB	0,94 aA	0,00 bB	0,00 bA	0,00 bA
F5	-10 kPa	0,00 dA	0,09 cA	0,29 bA	0,38 aA	0,36 abA
	-40 kPa	0,00 cA	0,09 bA	0,17 aB	0,17 aB	0,21 aB
	-70 kPa	0,00 cA	0,09 abA	0,15 aB	0,02 bcC	0,00 cC

F3: de 90 a 180; F4: de 180 a 270 e F5: de 270 a 360 dias após o plantio; *Médias seguidas pela mesma letra minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Plantas desenvolvidas sob déficit hídrico apresentam redução na área foliar a fim de gerar menor perda de água por transpiração, o que caracteriza um meio

de proteção da planta (PRISCO, 1986). A planta pode perder área foliar pela redução do tamanho individual das folhas, como também pela senescência e redução no aparecimento de novas folhas (SILVA et al., 2005). Essa redução da AF, em plantas sob deficiência hídrica, possivelmente está associada à redução da turgescência celular, diminuindo a pressão da água sobre a parede celular, ou seja, a pressão que causa a expansão das células (VAN VOLKENBURGH; CLELAND, 1984; ROSENTHAL et al., 1987), ou então, com alterações no balanço hormonal de citocininas ou ácido abscísico, as quais podem causar redução na extensibilidade da parede celular e, em consequência, no crescimento foliar (CHAPIN, 1991; LARCHER, 2004).

Aidar et al. (2015), estudando acessos de *Manihot esculenta* em condições de déficit hídrico, observaram redução da área foliar em nível de copa, como forma de minimizar a perda de água dos tecidos vegetativos. Resultado semelhante também foi encontrado por Pinheiro (2013), no estudo sobre respostas morfológicas e fisiológicas em plantas de mandioca submetidas ao secamento do solo.

Sivakumar e Shaw (1978) afirmaram que, em condições de déficit hídrico no solo, reduz-se a expansão das folhas, acelera a senescência, diminui o índice de área foliar e aumenta a abscisão das folhas.

O índice de área foliar (IAF) de plantas de mandioca desenvolvidas sob diferentes tensões da F3 variou durante as épocas de avaliações, sendo o menor valor registrado nas plantas sob tensão de -70 kPa (0,15) e o maior em plantas sob -10 kPa (1,60). A imposição da tensão -40 kPa nas plantas de mandioca acarretou em pouca variação do IAF durante as épocas de avaliações da F3, contudo, permaneceu abaixo dos valores do IAF das plantas na tensão de -10 kPa (Figura 7).

O IAF é influenciado por condições edafoclimáticas durante o ciclo de desenvolvimento da cultura (EL-SHARKAWY; COCK, 1987) e sua redução em condições de déficit hídrico é principalmente, devido à restrição de formação de folhas e pelo seu menor tamanho (CONNOR; COCK, 1981; PORTO, 1983; YAO et al., 1988), também observado no presente estudo (Tabela 9). De fato, El-Sharkawy e Cadavid (2002) e Lopes (2006) observaram menor IAF em plantas com deficiência hídrica do que em plantas hidratadas.

Na fase 4, o decréscimo observado da variável IAF a partir dos 180 DAP ocorreu devido ao início do período de repouso fisiológico e, consequente, senescência foliar, correspondente ao período de queda de temperatura e umidade da

região (Figura 3). Esse decréscimo do IAF de plantas de mandioca, em decorrência da diminuição da temperatura do ar e da umidade também foi verificado por outros autores como os Fahl et al., (1982), Tironi et al., (2015), Fagundes, et al., (2010), entre outros.

Após os 270 dias do plantio, início da F5, as plantas retomaram a emissão das folhas, no entanto, o IAF não ultrapassou de 0,5 entre as tensões (Figura 7).

Os IAFs observados por Williams (1974), Hunt et al. (1977) e Begum e Paul (2005) como ideal para a cultura da mandioca situam-se entre 3-4, no entanto, no presente estudo o IAF resultou em valores inferior ao indicado, mesmo em condições sem déficit hídrico, possivelmente pelas limitações do cultivo protegido, como a redução de luminosidade. Segundo Lorenzi (2012), a mandioca é uma cultura que requer boa luminosidade para se desenvolver bem, desse modo, a redução na radiação solar provoca aumento no comprimento dos internódios e diminuição da área foliar, com consequente diminuição na produção das raízes tuberosas.

Silva (2006), analisando o crescimento e produção de três variedades de mandioca, verificou que as cultivares Macaxeira rosa e Aipim Brasil tanto no sistema tradicional de plantio quanto em consórcio com feijão de porco apresentaram IAF abaixo de 1 durante todo o ciclo da cultura, já Cardoso Junior et al. (2005), relatam que a variedade de mandioca Sergipe demonstrou IAF em torno de 3,0, em estudo conduzido em Vitória da Conquista-BA.

O IAF aumenta nos primeiros 4 a 6 meses após o plantio da mandioca devido ao aumento no tamanho e no número de folhas. Após esse período o IAF diminui em função da abscisão foliar e devido ao fato de que a formação de novas folhas não se processa na mesma intensidade que aquela verificada durante fase inicial do crescimento (CASTRO et al., 1999) (Figura 8), tal fato, explica o menor IAF observado na F5 (Figura 7).

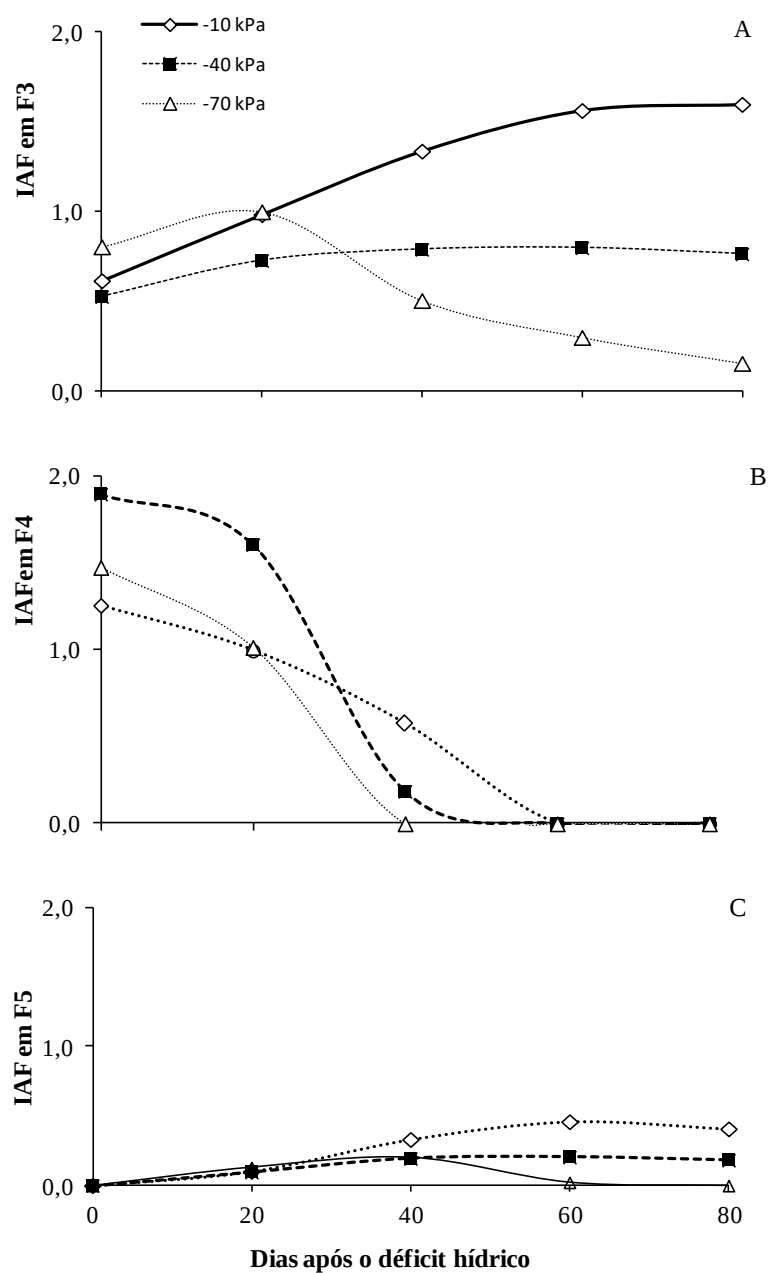


Figura 7. Índice de área foliar (IAF) de plantas de mandioca de mesa cultivar IAC 576-70, sob diferentes tensões de água no solo durante as fases de crescimento da cultura de 90-180 (F3); 180-270 (F4) e 270-360 (F5) dias após o plantio. Botucatu, SP, 2015.

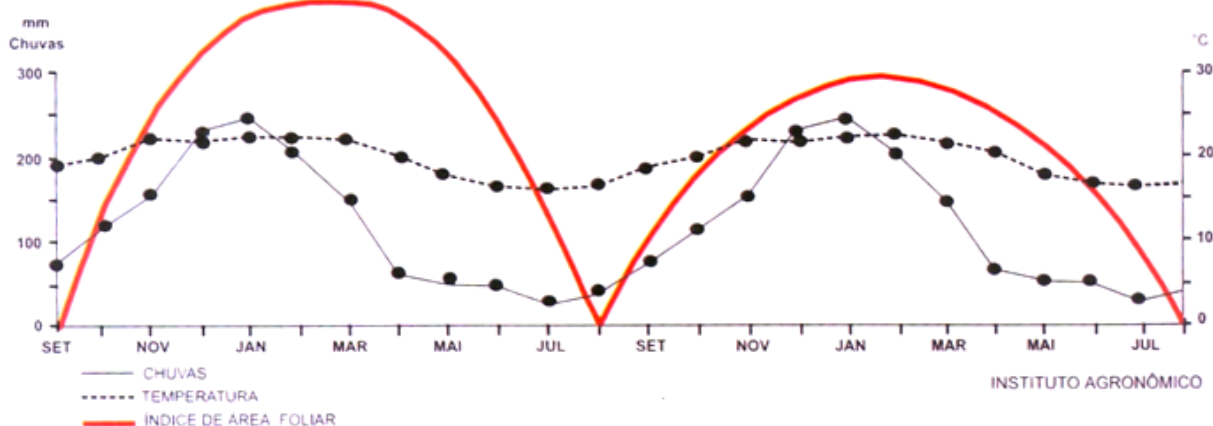


Figura 8. Evolução do desenvolvimento e do índice foliar da mandioca (IAF) da mandioca por dois ciclos vegetativos. Fonte: LORENZI (2012).

6.2 Variáveis anatômicas

As análises anatômicas nas plantas de mandioca sem deficiência hídrica indicaram que as folhas são dorsiventrais, hipostomáticas e homobáricas. Em ambas as faces do limbo foliar, a epiderme é unisseriada e coberta por fina cutícula; na face adaxial a epiderme é constituída por células comuns de formato retangular, e na face abaxial é formada por células papilosas (Figura 9A). Os estômatos são arranjados no mesmo nível das células epidérmicas, ou levemente protuberantes. O mesofilo é formado por uma camada de parênquima paliçádico e três a quatro camadas de parênquima lacunoso (Figura 9A).

Na região da nervura principal, o córtex é composto por três a quatro camadas de colênquima na superfície abaxial (Figura 9B), e duas a três na face adaxial, além de três a cinco camadas de células parenquimáticas volumosas com contorno regular; o sistema vascular consiste de xilema e floema com início da instalação cambial (Figura 9C).

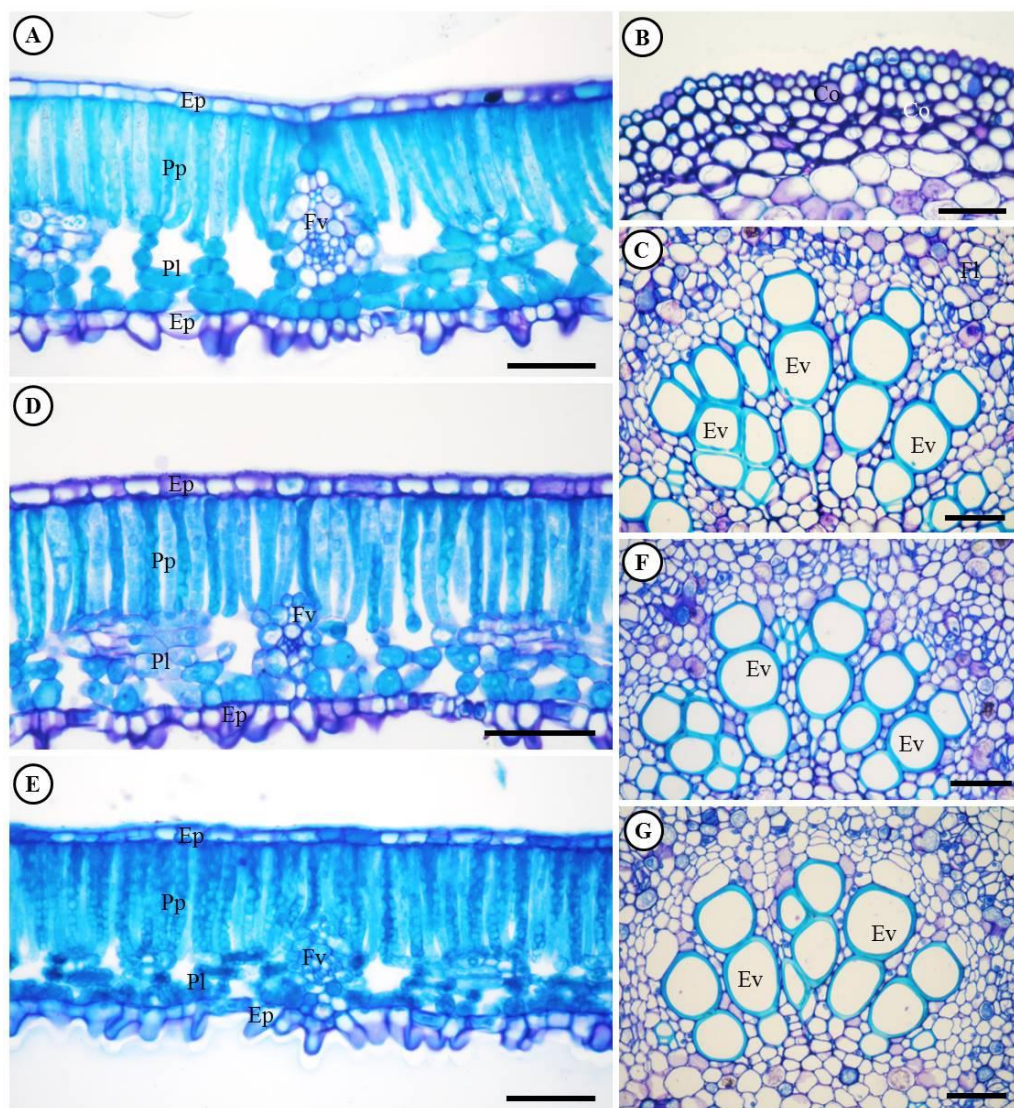


Figura 9. Fotomicrografias do limbo foliar de plantas de mandioca de mesa cultivar IAC 576-70 sob tensão de -10 kPa (A-C), -40 kPa (D, F) e -70 kPa (E, G), aos 150 dias após o plantio, em cultivo protegido. Botucatu, SP, 2015. **A** Secção transversal mostrando epiderme unisseriada e mesofilo dorsiventral. **B** Detalhe da nervura central mostrando as camadas de colênquima. **C** Detalhe do feixe vascular da nervura central mostrando os elementos de vaso e início da instalação cambial. **D-E** Secção transversal do limbo foliar mostrando a epiderme unisseriada e a redução nos espaço intercelular do parênquima lacunoso. **F-G** Detalhe da nervura mostrando os elementos de vaso com a parede celular espessada. Co: colênquima; Ep: epiderme; Ev: elemento de vaso; Fl: floema; Fv: feixe vascular; Pl: parênquima lacunoso; Pp: parênquima paliçádico. Barras: A, D, E = 100 μ m; B, C, F, G = 50 μ m.

As análises anatômicas mostraram as plantas de mandioca expostas às tensões de -40 kPa (Figura 9D) e -70 kPa (Figura 9E) aos 150 dias após o plantio

apresentaram redução da espessura do mesofilo (EM) de 11,8% e 15,6% respectivamente, em relação às plantas que estavam sob a tensão de -10 kPa (Tabela 10). A essa diminuição da EM, pode ser atribuída a redução na espessura do parênquima lacunoso (-40 kPa= 16,8% e -70 kPa= 23,0%) em relação às plantas que estavam em -10 kPa, e também à diminuição do volume parcial dos espaços intercelulares, observados em plantas sob a tensão de -40 kPa e -70 kPa. A redução dos espaços intercelulares é relatada como alternativa para amenizar a evaporação de água e garantir a eficiência no seu uso, pois maior compactação do mesofilo proporciona aumento na resistência interna ao movimento de vapor d'água, diminuindo a evaporação (SILVA et al., 2001). Assim, a redução do parênquima lacunoso e dos espaços intercelulares no mesofilo das plantas de mandioca sob deficiência hídrica, pode ser uma estratégia para diminuir a perda de água na planta.

A espessura da epiderme abaxial (EAB) foi influenciada pelo déficit hídrico, apresentando menores valores, cerca de 8,39 μm para a tensão de -40 kPa e 8,22 μm para a tensão de -70 kPa, enquanto que as plantas sob a tensão de -10 kPa apresentaram, em média, espessura de 10,13 μm (Tabela 10). Contudo, a espessura da epiderme adaxial (EAD) não apresentou diferenças significativas para as plantas de mandioca IAC 576-70. Segundo Levitt (1972), o aumento da espessura da epiderme pode indicar resistência ao déficit hídrico. Grisi et al. (2008), estudando o potencial de tolerância ao déficit hídrico em cultivares de *Coffea arabica*, não observaram diferenças significativas tanto para a espessura da epiderme adaxial quanto para a abaxial, entre as plantas irrigadas e não irrigadas.

Com relação aos elementos dos vasos vasculares, as suas dimensões (comprimento e diâmetro) e frequência são influenciadas pelas variações da disponibilidade hídrica (DICKISON, 2000). No presente estudo, o número de elementos de vasos do xilema diminuiu de acordo com o aumento da tensão de água no solo (Tabela 10). Esse resultado corrobora ao observado por Machado (2004), em que plantas de *Hedyosmum brasiliense* Mart, sob o tratamento de déficit hídrico, apresentaram menor número de elementos de vasos em relação às do controle. Nas raízes de plantas submetidas à deficiência hídrica ocorre o estreitamento do diâmetro do elemento de vaso, a fim de se evitar o embolismo (VASELATTI et al. 2001; CARLQUIST 2012).

Tabela 10. Características morfométricas de folhas de mandioca de mesa IAC 576-70 sob as tensões de água no solo de -10, -40 e -70 kPa, aos 150 dias após o plantio. Botucatu, SP, 2015.

Variáveis	Tensão de água no solo			F	CV%
	-10 kPa	-40 kPa	-70 kPa		
Espessura do mesofilo (µm)	120,10 a	105,98 b	101,33b	8,39*	6,89
Espessura da epiderme adaxial (µm)	8,27 a	7,53 a	7,54 a	0,80 ^{ns}	13,66
Espessura da epiderme abaxial (µm)	10,13 a	8,39 b	8,22 b	8,64*	9,01
Espessura do parênquima paliçádico (µm)	57,03 a	54,7 a	50,99 a	2,60 ^{ns}	7,77
Espessura do parênquima lacunoso (µm)	41,83 a	34,79b	32,19 b	7,93*	10,91
Espessura da cutícula (µm)	3,77 a	3,08 a	3,2 a	1,27 ^{ns}	21,87
Número de elemento de vaso	27,8 a	23,80 ab	23,00 b	4,52*	10,87
Espessura da parede do elemento de vaso (µm)	1,70 c	3,16 b	3,81 a	45,31*	12,46
Diâmetro do elemento de vaso (µm ²)	20,58 c	33,59 b	42,76 a	24,39*	15,62
Área do espaço intercelular do parênquima lacunoso (µm ²)	384,36 a	299,08 a	155,6 a	3,71 ^{ns}	31,91

*Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$); ns: não significativo; C.V: coeficiente de variação.

Quanto à espessura da parede do elemento de vaso e do seu diâmetro, ocorreram alterações em função da baixa disponibilidade de água. Ambos aumentaram nas tensões de -40 kPa e -70 kPa (Figura 9 F,G). A espessura da parede do elemento de vaso do xilema aumentou 85,8% na tensão de -40 kPa (Figura 9 F) e 123%, na de -70 kPa (Figura 9 G). Já o diâmetro do elemento de vaso em plantas sob a tensão -40 kPa apresentou valores em torno de 33,59 µm e plantas sob a tensão -70 kPa de 42,76 µm, aumentos de 63,21% e 107,7%, respectivamente, em relação ao diâmetro das plantas sob tensão de -10 kPa (Tabela 10).

Melo et al. (2011), estudando alterações anatômicas em raízes de *Jatropha curcas* L. cultivadas sob estresse salino, observaram diminuição da quantidade e do diâmetro de elementos de vasos nas plantas tratadas com concentrações salinas superiores a 75 mM de NaCl. Em um trabalho desenvolvido por Davanzo-Fabro et al.

(1998) sobre a anatomia do caule de *Sesbania virgata* (Cav.), verificaram maior diâmetro dos elementos de vasos em plantas alagadas em relação às plantas controle. Contudo, Costa et al. (2006) afirmam que estudos direcionados a anatomia de plantas em ambientes mesofíticos e xerofíticos, os elementos de vasos são maiores e em menor número em plantas hidratadas. Já em ambientes sujeitos a deficiência hídrica, os elementos se apresentam em maiores quantidades, agrupados e de tamanho menor. Estudos mostram que número e o diâmetro do elemento de vaso pode ser um fator chave na condutância hidráulica (TOMBESI et al. 2010). Nesse caso, diâmetro de elemento de vaso maior em plantas submetidas à deficiência hídrica pode estar relacionado com a melhora da condutância hidráulica, enquanto vasos estreitos nas plantas na tensão de -10 kPa podem estar relacionados com estratégia para se evitar o embolismo (MCELTRONE et al., 2004). Na literatura são encontrados alguns trabalhos relacionados com a anatomia de plantas, porém são escassas as informações sobre o estudo da anatomia das folhas em condições de déficit hídrico.

6.3 Nutrição da planta

De maneira geral, o teor de nitrogênio (N) nas folhas foi maior do que os demais nutrientes, nas três fases de crescimento, seguido por $\text{Ca} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P} > \text{S}$. Essa maior concentração do N é explicada pela sua importância como componente da estrutura das células vegetais e participação das funções metabólicas, além de fazer parte das proteínas, clorofilas, enzimas, hormônios e vitaminas (CLARKSON; HANSON, 1980; HÁK; NÁTR, 1987). Observou-se também que as plantas desenvolvidas sob a tensão de -70 kPa apresentaram, em média, os maiores teores de N nas F3 ($36,4 \text{ g kg}^{-1}$) e F5 ($36,9 \text{ g kg}^{-1}$), provavelmente isso ocorreu devido ao menor crescimento da AF (Tabela 9) das plantas submetidas nessa tensão, gerando concentração do nutriente (Tabela 11).

O teor de potássio (K) nas folhas apresentou diminuição nas F3 e F5, nas tensões de -40 kPa e -70 kPa em relação às mantidas na tensão de -10 kPa, sendo na F3 o teor do K nas plantas submetidas às tensões de -40 ($6,3 \text{ g kg}^{-1}$) e -70 kPa ($7,4 \text{ g kg}^{-1}$) inferior a faixa recomendada por Lorenzi et al. (1997) de 10 a 20 g kg^{-1} (Tabela 11). Esses dados corroboram com El-Sharkawy e Cadavid (2002) que também observaram redução do teor de K na parte aérea de quatro cultivares de mandioca, quando submetidas

ao déficit hídrico em diferentes épocas de crescimento. Segundo Munson e Nelson (1973), quando as plantas estão sob disponibilidade hídrica restrita, pode ocorrer diminuição na absorção de elementos que se translocam para as raízes pelo mecanismo de difusão, como P e K.

Houve maior teor de Mg e P nas folhas da mandioca com o aumento da tensão de água no solo. Em média, o teor de Mg nas folhas sob déficit hídrico (-40 e -70 kPa) foi 23%, 7,8% e 27% maior nas F3, F4 e F5, respectivamente, em relação as folhas hidratadas (-10 kPa). Já para o P, a diferença observada nas duas primeiras fases nas plantas sob déficit hídrico foi 5,9% (F3) e 2,9% (F4), em média a mais do que as plantas sob -10 kPa, no entanto, na última fase essa diferença correspondeu a 100% a mais de teor P nas folhas sob déficit hídrico (Tabela 11). Segundo Malavolta (2006), o suprimento para as raízes de P e Mg é efetuado principalmente pelo processo de difusão e fluxo de massa, respectivamente, os quais dependem de umidade do solo e da superfície radicular, por sua vez, a umidade do solo interfere diretamente no desenvolvimento radicular, influenciando direta ou indiretamente, no fornecimento de fósforo (MACKAY; BARBER, 1985) e magnésio para as plantas. Contudo, no presente estudo não foi observado restrição desses nutrientes nas plantas sob as maiores tensões de água -40 e -70 kPa no solo.

Na cultura da mandioca, as suas raízes podem ser beneficiadas com a associação simbiótica natural com fungos micorrizos arbusculares. As hifas dos fungos ajudam na absorção e transporte de P para as raízes de mandioca. Através desta simbiose a mandioca é capaz de absorver P em solos com baixos níveis de P disponível (HOWLER, 2012). Essa associação de fungos com as raízes da mandioca pode ter contribuído para a maior disponibilidade do P mesmo com o falta de umidade do solo.

Já o cálcio (Ca), apenas na última fase (F5) houve diminuição na sua concentração nas folhas, comparado às outras fases, para as três tensões (Tabela 11). A principal função do cálcio na planta é manter a integridade da parede celular conferindo rigidez e resistência às mesmas (MALAVOLTA, 2006). A redução nos teores desse nutriente pode estar relacionada à diluição do mesmo na planta, visto que, o Ca é requerido para formação das estruturas sendo fundamental para o bom desenvolvimento das culturas.

Em todas as fases da cultura, o enxofre (S) apresentou pouca variação e as concentrações foram semelhantes ao observado por Parry et al. (2005), média de $1,6 \text{ g kg}^{-1}$, em plantas de mandioca cultivadas em diferentes épocas sob cobertura morta.

O enxofre é um componente básico de vários aminoácidos e é, assim, necessário para a síntese de proteínas (HOWELER, 1981).

Tabela 11. Teores médios de macronutrientes em folhas de plantas de mandioca de mesa IAC 576-70 durante as fases de crescimento da cultura, sob diferentes tensões de água no solo (TS). Botucatu, SP, 2015.

Fases de crescimento	TS	N	P	K	Ca	Mg	S
-----g kg ⁻¹ -----							
F3	-10 kPa	28,9 ± 0,1	2,6 ± 0,1	11,8 ± 4,3	15,7 ± 0,6	3,8 ± 0,2	1,5 ± 0,3
	-40 kPa	31,9 ± 0,3	2,8 ± 0,1	6,3 ± 0,0	15,6 ± 0,3	4,8 ± 0,1	1,4 ± 0,3
	-70 kPa	36,4 ± 0,3	2,7 ± 0,0	7,4 ± 1,3	11,6 ± 0,7	4,6 ± 0,4	1,7 ± 0,2
F4	-10 kPa	33,1 ± 3,3	3,4 ± 0,4	12,9 ± 1,3	15,5 ± 3,1	5,1 ± 0,3	1,1 ± 0,2
	-40 kPa	33,3 ± 2,6	3,4 ± 0,4	13,4 ± 2,5	17,3 ± 2,0	5,5 ± 0,4	1,4 ± 0,3
	-70 kPa	33,0 ± 2,7	3,6 ± 0,4	12,5 ± 2,0	16,5 ± 3,4	5,5 ± 0,5	1,4 ± 0,4
F5	-10 kPa	25,7 ± 2,5	2,3 ± 0,2	14,0 ± 6,3	7,4 ± 1,4	2,9 ± 0,7	1,2 ± 0,6
	-40 kPa	35,3 ± 2,2	2,9 ± 0,3	10,5 ± 4,5	7,8 ± 2,0	3,1 ± 0,9	1,4 ± 0,2
	-70 kPa	36,9 ± 6,5	6,3 ± 0,0	10,7 ± 0,5	7,9 ± 0,5	4,3 ± 0,1	1,4 ± 0,2

F3: de 90 a 180; F4: de 180 a 270 e F5: de 270 a 360 dias após o plantio.

Com relação aos micronutrientes, o elemento com maior teor nas folhas da mandioca foi o Fe, seguido por Zn>Mn> Cu em todas as fases (Tabela 12).

A concentração de Fe nas folhas da mandioca aumentou durante as fases do estudo. Segundo Lorenzi et al. (1997), o teor de ferro (Fe) recomendado, em folhas de mandiocas analisadas entre 3 a 4 meses, é em torno de 60 a 200 mg kg⁻¹. Contudo, na F3 foi observado valor inferior ao recomendado (22,2 mg kg⁻¹) em plantas submetidas à tensão de -10 kPa, já nas tensões de -40 e -70 kPa, as concentrações encontraram-se adequadas para essa fase. Na F4 e F5, as concentrações variaram entre 122 a 232 mg kg⁻¹, entre as tensões (Tabela 12).

Esses dados concordam com os observados de Parry, et al. (2005), que observaram variações entre 105 a 218 mg kg⁻¹ do teor de Fe em folhas de mandioca em três épocas diferentes de plantio, sob cobertura morta e duas adubações. Essa elevada

concentração de Fe nas folhas possivelmente ocorreu pelo alto teor desse elemento no solo, conforme observado na análise química (Tabela 1).

Na terceira fase de crescimento, os teores de ferro (Fe) nas folhas das plantas sob -40 e -70 kPa foram 48,2 e 97,7 mg kg⁻¹, respectivamente, a mais do que as plantas sob -10 kPa. Também verificado na F4, maior quantidade de Fe nas folhas das plantas sob déficit hídrico (-40 e -70 kPa), apresentando em média 64,6% a mais de Fe em relação as folhas das plantas sob -10 kPa. No entanto, na última fase o teor de Fe nas folhas foram maiores nas plantas sem deficiência hídrica (-10 kPa) (Tabela 12). O ferro é um importante constituinte ou ativador de enzimas, possui função estrutural e participa dos processos de fotossíntese, respiração entre outros (MALAVOLTA, 2006).

Com relação ao zinco (Zn) as plantas na F3, apresentaram valores inferiores ao recomendado por Lorenzi et al., (1997) (35 a 100 mg kg⁻¹) quando submetidas na tensão de -10 kPa (26,9 mg kg⁻¹). As fases de crescimento F3 e F4, tiveram maior concentração de Zn nas folhas sob déficit hídrico (-40 e -70 kPa) em relação as folhas sob -10 kPa. Já na F5, a maior concentração de Zn foi verificada em plantas submetidas à tensão de -40 kPa (Tabela 12). Na planta, o zinco é fundamental para a síntese do triptofano, que é o precursor do ácido indolacético (AIA), responsável por produzir enzimas que irão promover o alongamento e crescimento celular (SOBRAL; WEBER, 1983; ORLANDO FILHO et al., 2001; TAIZ; ZEIGER, 2013). As maiores concentrações observados com o elemento Zn nas F4 e F5 comparadas à F3 deve-se, provavelmente, a menor AF das plantas também observadas nessas fases que proporcionou a concentração desse nutriente (Tabela 9).

O valor das médias do elemento cobre (Cu) nas folhas aumentaram ao longo do tempo, não havendo alterações em relação às tensões de água no solo (Tabela 12). Silva et al. (2014), avaliando o acúmulo de matéria seca e micronutrientes em mandioca consorciada com bananeira observaram que o acúmulo de Cu nas folhas foi crescente até os 175 DAP, após este período, a alocação deste nutriente praticamente cessou. Já no trabalho desenvolvido por Howeler e Cadavid (1983), observaram diminuição da concentração de Cu nos diferentes tecidos de duas cultivares de mandioca durante o seu ciclo, indicando que possivelmente foi devido à interação com o zinco.

Já as concentrações de silício (Si) diminuíram durante as fases da cultura, variando de 2,0 a 5,8 mg kg⁻¹. Não foi observada relação do Si com as tensões de água no solo (Tabela 12). Segundo Ma et al. (2001), consideram-se plantas acumuladoras

de Si aquelas com teores superiores a 1 g kg^{-1} de Si na massa seca, como arroz e trigo; plantas com $0,5$ a 1 g kg^{-1} de Si são consideradas intermediárias e as plantas não acumuladoras possuem concentração de Si na massa seca inferior a $0,5 \text{ g kg}^{-1}$. Dessa maneira, conclui-se que a cultivar de mesa IAC 576-70, não é acumuladora de Si, pois suas concentrações foliares foram inferiores a $0,5 \text{ g kg}^{-1}$.

Tabela 12. Teores médios de micronutrientes e silício em folhas de plantas de mandioca de mesa IAC 576-70 durante as fases de crescimento da cultura, sob diferentes tensões de água no solo (TS). Botucatu, SP, 2015.

Fase de crescimento	TS	Cu	Zn	Mn	Fe	Si
		-----mg kg ⁻¹ -----				
F3	-10 kPa	$5,9 \pm 0,0$	$26,9 \pm 0,0$	$36,0 \pm 8,2$	$22,2 \pm 2,8$	$5,2 \pm 0,6$
	-40 kPa	$5,9 \pm 0,0$	$50,2 \pm 0,2$	$40,0 \pm 6,5$	$70,4 \pm 5,5$	$5,8 \pm 0,1$
	-70 kPa	$4,4 \pm 0,0$	$60,6 \pm 2,1$	$35,8 \pm 4,8$	$119,9 \pm 43,7$	$3,5 \pm 0,0$
F4	-10 kPa	$6,5 \pm 0,8$	$169,7 \pm 26,4$	$44,2 \pm 18,8$	$122,9 \pm 43,7$	$2,9 \pm 1,4$
	-40 kPa	$8,5 \pm 1,2$	$170,6 \pm 24,1$	$53,5 \pm 22,6$	$209,3 \pm 49,0$	$2,7 \pm 0,8$
	-70 kPa	$8,5 \pm 1,9$	$179,6 \pm 43,4$	$40,0 \pm 13,9$	$195,4 \pm 33,2$	$2,2 \pm 1,0$
F5	-10 kPa	$10,3 \pm 1,0$	$145,0 \pm 28,1$	$38,5 \pm 9,5$	$261,6 \pm 58,4$	$3,1 \pm 0,8$
	-40 kPa	$10,0 \pm 2,4$	$149,6 \pm 35,8$	$45,1 \pm 20,2$	$242,1 \pm 20,8$	$4,9 \pm 1,3$
	-70 kPa	$13,3 \pm 0,0$	$135,2 \pm 2,4$	$52,1 \pm 11,1$	$231,9 \pm 0,0$	$2,0 \pm 0,3$

F3: de 90 a 180; F4: de 180 a 270 e F5: de 270 a 360 dias após o plantio.

6.4 Componentes da produção e produtividade

O acúmulo de massa de matéria seca da parte aérea (folhas + hastes) foi influenciado pelo fator tensão de água no solo e por sua interação com o período de crescimento. Já para massa de matéria seca raiz tuberosa houve efeito tanto do período de crescimento quanto de tensões de água no solo e de sua interação. A cepa foi afetada significativamente pelo fator período de crescimento e pela interação com tensão de água

no solo. Por outro lado, a massa de matéria seca de raiz fibrosa não foi afetada significativamente por nenhum fator aos 360 DAP (Tabela 13).

Tabela 13. Análise de variância da massa da matéria seca da parte aérea, raiz tuberosa, raiz fibrosa e cepa de plantas de mandioca de mesa IAC 576-70 sob diferentes tensões de água no solo nas fases de crescimento da cultura na colheita aos 360 dias após o plantio. Botucatu, SP, 2015.

Fonte de Variação	GL	Valores de <i>F</i>			
		Massa da matéria seca			
		Parte aérea	Raiz tuberosa	Raiz fibrosa	Cepa
Fase de crescimento (F)	2	2,79 ^{ns}	22,01 *	0,36 ^{ns}	5,77 *
Tensões de água no solo (TS)	2	7,28 *	5,12 *	1,52 ^{ns}	1,51 ^{ns}
FxTS	4	6,01 *	5,37 *	2,02 ^{ns}	4,74 *
CV% parcela		35,36	38,00	38,13	17,09

F3: de 90 a 180; F4: de 180 a 270 e F5: de 270 a 360 dias após o plantio; G.L.: graus de liberdade; ns: não significativo; *: significativo ($p < 0,05$); C.V: coeficiente de variação.

Houve diminuição da massa seca (MS) da parte aérea, em média, de 61,37% na F3 das plantas sob déficit hídrico (-40 e -70 kPa) em relação às plantas sob a tensão de -10 kPa, no momento da colheita. Não foi observada diferença entre as tensões para MS da parte aérea na F4. Na F5, a redução da MS da parte aérea das plantas sob a tensão de -40 e -70 kPa foram de 20,4 e 49,9%, respectivamente, em relação as plantas hidratadas (-10 kPa), contudo as tensões de -10 e 40 kPa não diferiram estatisticamente. Independente da fase que foi imposta a tensão -70 kPa, as plantas não apresentaram diferença na MS da parte aérea. Entretanto, as plantas desenvolvidas sob tensão de -40 kPa, apresentaram menor MS da parte aérea na F3, porém foi estatisticamente igual quando essa tensão foi imposta na F4 (Tabela 14).

A redução da MS observada nas F3 e F5 nas plantas sob déficit hídrico está de acordo com os resultados encontrados por El- Sharkawy e Cadavid (2002), os quais verificaram menor produção de MS da parte aérea da mandioca em condições de estresse por deficiência hídrica. Conforme os resultados, foi possível observar que a MS da

parte aérea reduziu com a restrição hídrica nas fases de crescimento de 90 a 180 DAP e 270 a 360 DAP, podendo estar relacionada também com a diminuição de NF, AF e IAF observado nesses mesmos períodos, nas tensões de -40 e -70 kPa em relação as plantas sob -10 kPa (Tabela 9 e Figura 7).

A redução do acúmulo de matéria seca pelos vegetais em condições de déficit hídrico é devido aos mecanismos de aclimação do vegetal para evitar a perda de água, por exemplo, redução da área foliar, e consequente redução da interceptação de radiação e redução da condutância estomática, e também a redução da assimilação de CO₂ e o acúmulo de biomassa (CAVATTE et al., 2011).

Em termos de MS das raízes tuberosas, a imposição das tensões durante a terceira fase da cultura (de 90 aos 180 DAP) resultou na redução de 60,78% de MS nas plantas sob a tensão -40 kPa e de 100% na tensão -70 kPa, em relação a MS das plantas sob a tensão de -10 kPa. Na fase de crescimento 4, as tensões de -10 kPa e -70 kPa resultaram em menos 40,93 e 25,6% de MS, respectivamente, em relação as plantas na tensão de -40 kPa. Na F5, ambas as imposições de restrição hídrica (-40 kPa e -70 kPa) afetaram a produção de MS seca da raiz tuberosa, havendo redução de 21,66 e 33,77%, respectivamente, em relação as plantas sob a tensão de -10 kPa (Tabela 14).

Com relação às fases de crescimento, as plantas sob a restrição hídrica de -40 kPa apresentaram maior produção na F4 (681,16g) e menor MS de raiz na F3 (158,83 g). Já, a restrição hídrica de -70 kPa resultou em MS da raiz tuberosa semelhante para as fases 4 e 5, sendo estatisticamente diferente da F3 (Tabela 14).

De acordo com os resultados, foi possível verificar que o déficit hídrico imposto durante a primeira (F3) e a última (F5) fase afetou significativamente a MS das raízes tuberosas, evidenciando que na F3 o efeito do déficit foi mais prejudicial para essa variável (Tabela 14).

De fato, segundo Oliveira et al. (1982), déficit hídrico aplicado por dois meses, desde 1 até 11 meses após o plantio, reduziu o rendimento de raízes, e o efeito mais severo ocorreu no período de 1 a 5 meses após o plantio, ou seja, no período de tuberização e de rápido crescimento foliar (ALVES, 2006).

Tabela 14. Massa da matéria seca da parte aérea, raiz tuberosa e cepa de plantas de mandioca de mesa IAC 576-70 sob diferentes tensões de água no solo (TS) durante as fases de crescimento da cultura, avaliadas aos 360 dias. Botucatu, SP, 2015.

Tensões de água no solo	Fase de crescimento		
	F3	F4	F5
	Massa da matéria seca		
	Parte aérea (g) planta ⁻¹		
-10 kPa	1275,21 aA	578,47 bA	1252,11 aA
-40 kPa	489,36 bB	820,56 abA	996,29 aAB
-70 kPa	495,69 aB	802,01 aA	627,37 aB
Raiz tuberosa (g) planta ⁻¹			
-10 kPa	404,98 aA	402,32 aB	566,14 aA
-40 kPa	158,83 cB	681,16 aA	443,50 bA
-70 kPa	0,00 bB	506,64 aAB	374,94 cA
Cepa (g) planta ⁻¹			
-10 kPa	235,01 aA	163,06 bA	207,83 abA
-40 kPa	124,20 bB	203,38 aA	195,21 aA
-70 kPa	139,51 bB	202,57 aA	214,06 aA

F3: de 90 a 180; F4: de 180 a 270 e F5: de 270 a 360 dias após o plantio; *Médias seguidas pela mesma letra minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

As tensões de -40 kPa e -70 kPa aplicadas na F3 também proporcionaram menor MS da cepa em relação aos outras fases, sendo esta a única fase que apresentou diferença entre as tensões, com redução da MS da cepa de 110,81 g nas plantas desenvolvidas sob tensão de -40 kPa e 95,5 g nas plantas sob -70 kPa (Tabela 14). Fiuza (2010) estudando características agrônômicas e fisiológicas relacionadas à tolerância a seca em plantas de mandioca, avaliadas aos 60 DAP sob irrigação e sob restrição hídrica por 9 dias e posterior reidratação, observou resultados significativamente maiores de massa seca total nas plantas hidratadas comparadas as sob déficit hídrico, corroborando os resultados do presente trabalho, exceto para a F4.

O diâmetro da raiz, o comprimento da raiz comercial, o diâmetro da casca + entrecasca e o diâmetro da polpa, avaliados aos 360 DAP (colheita), foram influenciados pelos fatores tratamento e tensão de água no solo, havendo interação entre os fatores em todos os parâmetros (Tabela 15).

Tabela 15. Análise de variância do diâmetro da raiz (DR), comprimento da raiz comercial (RC), diâmetro da casca + entrecasca (DCE) e diâmetro da polpa (DP) de plantas de mandioca de mesa IAC 576-70 sob diferentes tensões de água no solo durante as fases de crescimento da cultura, avaliados aos 360 dias Botucatu, SP, 2015.

Fonte de Variação	Valores de <i>F</i>				
	GL	DR	CR	DCE	DP
Fase de crescimento (F)	2	172,53 *	62,67 *	18,50 *	93,21 *
Tensões de água no solo (TS)	2	162,16 *	29,70 *	13,98 *	76,88 *
FxTS	4	157,68 *	25,30 *	11,22 *	84,16 *
CV% parcela		6,59	14,6	19,05	9,23

G.L.: graus de liberdade; ns: não significativo; *: significativo ($p < 0,05$); C.V: coeficiente de variação.

O diâmetro (DR) e comprimento da raiz comercial (CR), diâmetro da casca + entrecasca (DEC) e da polpa (DP) apresentaram diferença significativa apenas na F3. As plantas desenvolvidas sob tensão de -70 kPa diferiram das plantas sob -10 e -40 kPa, sendo o valor 0, referente a inexistência de raízes com diâmetro maior de 30 mm, ou seja, consideradas não comerciais. Com relação as F4 e F5, os valores de DR foram semelhantes entre as tensões de água no solo (Tabela 16). Lopes (2006), avaliando o efeito da irrigação e de épocas de colheita na cultura da mandioca, encontrou que o diâmetro das raízes tuberosas no experimento sequeiro foi maior do que o irrigado, contudo não teve diferença no comprimento da raiz entre os experimentos.

Segundo nossos resultados, a restrição hídrica (-40 e -70 kPa) comprometeu CR nas plantas desenvolvidas na fase 3, visto que, houve redução de 22,3% e 100% no comprimento das raízes sob a tensão de -40 e -70 kPa, respectivamente, em relação às médias das F4 e F5. Observou-se que as plantas da F3 e da F4 sob a tensão de -10 kPa apresentaram CR semelhantes, no entanto, foram, em média, 6,13 cm menor em relação as da F5. Enquanto, as plantas submetidas à tensão de -40 kPa não diferiram na F4 e na F5, porém tiveram CR, em média, 6,42 cm maior em relação as plantas desenvolvidas na F3 (Tabela 16). O comprimento das raízes de reserva depende da variedade e das condições de cultivo, da fertilidade do solo, do clima, da idade da planta, entre outros fatores, podendo ser encontradas raízes com até 1,0 m de comprimento ou mais (CONCEIÇÃO, 1981).

O DCE, em média, considerando as três tensões, foi relativamente maior nas plantas desenvolvidas na F4 (2,57 mm), quando comparadas a F3 (1,55 mm) e a F5 (2,33 mm). No entanto, não foi possível identificar a influência da restrição hídrica para a variável DCE nas F4 e F5. (Tabela 16).

Analisando o DP verificou-se diferença significativa entre as tensões na F3 e na F5. Na terceira fase de crescimento, tensões de -10 e -40 kPa foram semelhantes entre si, com média de 37,9 mm, diferindo da tensão de -70 kPa. Já na F5, plantas sob a tensão de -70 kPa tiveram maior DP, contudo, resultaram em DP semelhante às plantas submetidas a tensão de -40 kPa (Tabela 16). O maior DP verificado nas tensões de -40 e -70 kPa na F5 foi acompanhado pelo menor número de raízes comerciais (NR) nessa mesma fase (Tabela 18), o que sugere que as raízes tiveram maior espaço para o seu desenvolvimento e, conseqüentemente, aumentaram o seu DP, ou por ter menor número de drenos, direcionando maior quantidade de fotoassimilados para essas raízes.

Tabela 16. Diâmetro da raiz (DR), comprimento da raiz comercial (CR), diâmetro da casca + entrecasca (DCE) e diâmetro da polpa (DP) de plantas de mandioca de mesa IAC 576-70 sob diferentes tensões de água no solo durante as fases de crescimento da cultura, avaliados aos 360 dias (colheita). Botucatu, SP, 2015.

Tensão de água no solo	F3	F4	F5
Diâmetro da raiz comercial (mm)			
-10 kPa	42,28 aA	43,23 aA	40,80 aA
-40 kPa	40,97 aA	42,77 aA	42,37 aA
-70 kPa	0,00 bB	41,08 aA	43,05 aA
Comprimento da raiz comercial (cm)			
-10 kPa	25,27 bA	25,10 bA	31,31 aA
-40 kPa	22,37 bA	28,28 aA	29,30 aA
-70 kPa	0,00 bB	27,95 aA	27,20 aA
Espessura da casca + entrecasca (mm)			
-10 kPa	2,39 aA	2,63 aA	2,44 aA
-40 kPa	2,26 aA	2,56 aA	2,27 aA
-70 kPa	0,00 bB	2,54 aA	2,28 aA
Diâmetro da polpa (mm)			
-10 kPa	39,31 aA	40,52 aA	35,87 aB
-40 kPa	36,49 aA	39,37 aA	39,81 aAB
-70 kPa	0,00 cB	36,31 bA	41,99 aA

F3: de 90 a 180; F4: de 180 a 270 e F5: de 270 a 360 dias após o plantio; *Médias seguidas pela mesma letra minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

De acordo com a análise de variância, verificou-se efeito significativo dos fatores fase de crescimento e tensão de água no solo e sua interação nas variáveis número de raízes comerciais, índice de colheita e produtividade, assim como para as interações dos fatores. A razão da área foliar foi afetada pelo fato fase de crescimento e a interação entre esse fator e tensão de água no solo (Tabela 17).

Tabela 17. Análise de variância do número de raízes comerciais (NRC), número de raízes não-comerciais (NRNC), índice de colheita (IC), razão da área foliar (RAF) e produtividade de plantas de mandioca de mesa IAC 576-70 sob diferentes tensões de água no solo durante as fases de crescimento da cultura, avaliadas aos 360 dias (colheita). Botucatu, SP, 2015.

Fonte de Variação	Valores de <i>F</i>					
	GL	NRC	NRNC	IC %	RAF	Produtividade
Fase de crescimento (F)	2	64,50 *	0,91 ^{ns}	18,67 *	31,32 *	16,53 *
Tensão de água no solo (TS)	2	46,36 *	1,89 ^{ns}	7,30 *	0,92 ^{ns}	7,61 *
FxTS	4	10,28 *	1,42 ^{ns}	3,85 *	5,21 *	3,27 *
CV% parcela		19,46	21,99	33,42	45,33	41,29

G.L.: graus de liberdade; ns: não significativo; *: significativo ($p < 0,05$); C.V: coeficiente de variação.

O número de raízes comerciais (NRC) da F3 diferenciou entre as tensões, sendo que as plantas sob a tensão -70 kPa não desenvolveram raízes consideradas comerciais. As plantas mantidas sob tensão de -10 kPa apresentaram NRC 50% a mais que as sob -40 kPa. Na F4, as plantas sob -10 kPa apresentaram número de raízes estatisticamente igual as plantas sob tensão de -40 kPa e -70 kPa. Na F5 verificou-se que tensões de -40 kPa e -70 kPa impostas nessa fase, reduziram significativamente o número de raízes comerciais, principalmente nas plantas sob -70 kPa que apresentaram redução de mais de 50% do número de raízes comerciais em relação às plantas sob -10 kPa (Tabela 18).

No presente estudo, observou-se que o maior IC (37,16%) foi abaixo do intervalo normalmente encontrado por diversos autores (LORENZI, 1978; CAVALCANTI, 1985; PINHO et al., 1995; PERESSIN et al., 1998) de 49 a 77% entre 10

a 12 meses após o plantio. Na terceira fase (F3), o índice de colheita se mostrou semelhante entre as tensões de -10 e -40 kPa e estes diferentes estaticamente à tensão de -70 kPa. O IC foi similar entre as tensões na F4 e F5. Analisando as diferentes tensões separadamente, observou-se que a imposição da restrição hídrica resultou em menor IC quando imposta na F3 (Tabela 18).

O fato das plantas não apresentarem diferença entre as tensões na F4 e F5, em relação ao IC, sugere que foram capazes de manter o parcionamento de fotossintatos de forma mais equilibrada mesmo sob deficiência hídrica até os 360 DAP.

Tabela 18. Número de raízes comerciais por planta, índice de colheita, razão da área foliar e produtividade de raízes tuberosas da mandioca de mesa IAC 576-70 sob diferentes tensões de água no solo durante as fases de crescimento da cultura, avaliados aos 360 dias (colheita). Botucatu, SP, 2015.

Tensão de água no solo	Fase de crescimento		
	F3	F4	F5
Número de raízes comerciais planta ⁻¹			
-10 kPa	4,50 aA	5,20 aAB	5,53 aA
-40 kPa	2,25 cB	6,25 aA	4,25 bB
-70 kPa	0,00 cC	4,75 aB	2,60 bC
Índice de colheita (%)			
-10 kPa	21,94 bA	32,64 abA	37,16 aA
-40 kPa	22,91 bA	35,91 aA	23,92 aA
-70 kPa	0,00 bB	29,00 aA	27,97 aA
RAF (m ² kg ⁻¹)			
-10 kPa	0,17 abB	0,24 aA	0,09 bA
-40 kPa	0,34 aA	0,22 aA	0,07 bA
-70 kPa	0,41 aA	0,19 bA	0,00 cA
Produtividade (t ha ⁻¹)			
-10 kPa	12,82 aA	14,05 aA	15,74 aA
-40 kPa	4,84 bB	16,94 aA	12,86 aAB
-70 kPa	0,00 cB	15,19 aA	7,85 bB

F3: de 90 a 180; F4: de 180 a 270 e F5: de 270 a 360 dias após o plantio; *Médias seguidas pela mesma letra minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

O IC é o parâmetro que reflete a eficiência da produção das raízes de reserva, e pode variar tanto em função do peso da parte aérea como em função da produção de raízes tuberosas (CONCEIÇÃO, 1981), representando a distribuição da MS total da planta em relação à produção de suas raízes.

Aos 360 dias após o plantio, a RAF das plantas da F3 foi em média 54,6% maior nas tensões de -40 kPa e -70 kPa em relação à tensão de -10 kPa, contudo, nas demais fases não foram verificadas diferenças entre as tensões. As tensões de -40 kPa e -70 kPa resultaram em menor RAF, quando impostas na F5 (Tabela 18).

Conforme Benincasa (2003), a RAF expressa a área foliar útil para a fotossíntese, sendo considerado um índice fisiológico, pois relaciona a área foliar, que é responsável pela interceptação da energia luminosa e CO₂ absorvido, com a massa seca total. Assim, com o desenvolvimento das plantas sob condições de baixa disponibilidade hídrica, resulta em interferência no pleno desenvolvimento das folhas (diminuição da área foliar útil) promovendo então o decréscimo dessa variável. No presente estudo, essa diminuição da RAF em relação à disponibilidade de água foi observada apenas na F5, provavelmente pelo fato dessa variável ter sido avaliada no momento da colheita para as três fases, coincidindo apenas a F5 estar sobre restrição hídrica e apresentar diferenças na AF.

A imposição das tensões de água no solo na fase de crescimento 3 resultou em nenhuma produtividade nas plantas submetidas a tensão de -70 kPa e redução de aproximadamente oito toneladas nas plantas sob -40 kPa, comparado às que estavam sob tensão de -10 kPa. Não foi observada diferença na produtividade das raízes durante a fase 4 entre as tensões de -10 kPa, -40 kPa e -70 kPa. Houve redução na produtividade, em torno de 2,88 t ha⁻¹ e 7,89 t ha⁻¹, nas plantas que foram submetidas às tensões -40 kPa e -70 kPa, respectivamente, em relação às sob -10 kPa na fase 5.

Alves et al. (2007), avaliando variedades de mandioca para tolerância à seca no semiárido baiano, relataram que o déficit hídrico acarretou reduções mais pronunciadas nas variáveis relacionadas à produção de raízes tuberosas, com decréscimo de 57% no peso fresco de raízes tuberosas e de 38% no número dessas raízes.

Segundo Kelling (1995), o efeito do déficit hídrico sobre a produção das culturas está vinculado ao período de ocorrência durante o desenvolvimento das plantas. Diante disso, a produtividade das raízes de mandioca da cultivar IAC 576-70

foi mais sensível quando o déficit hídrico foi imposto nas fases de 90 a 180 DAP (F3) e de 270 a 360 DAP (F5) (Tabela18).

7 CONCLUSÕES

O déficit hídrico resultou em diminuição das espessuras do mesofilo, do parênquima lacunoso, e da epiderme abaxial, do número de elementos de vasos, e aumento da espessura e diâmetro dos elementos de vasos das estruturas anatômicas das folhas da mandioca IAC 76-70 aos 150 DAP.

O estado nutricional das plantas de mandioca IAC 576-70 foi influenciado pelas tensões de água no solo (-40 e -70 kPa), com diminuição no teor de K nas folhas nas fases de 90 a 180 e 270 a 360 DAP e aumento nos teores de P e Mg nas três fases de crescimento, e de Fe e Zn na fase de 90 a 180 DAP.

A produtividade foi prejudicada pela restrição hídrica (-40 kPa e -70 kPa) nas fases 90 a 180 DAP e 270 a 360 DAP, correspondente ao plantio realizado em novembro, nas plantas de mandioca cultivar IAC 576-70.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIDAR, S. T. et al. Características fisiológicas, produção total de raízes e de parte aérea em acessos de manihot esculenta em condições de déficit hídrico. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n.4, p. 685-696, 2015.

ALVES, A. A. C. Fisiologia da mandioca. In: Aspectos socioeconômicos e agronômicos da mandioca. **Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical**, Cruz das Almas, BA, v.7, p.138-169, 2006.

ALVES, A. A. C.; SETTER, T. L. Response of cassava to water deficit: leaf area growth and abscisic acid. **Crop Science**, v. 40, n.1, p. 131-137, 1999.

ALVES, A. A. C.; SILVA, A. F. Cultivo da mandioca para a região semi-árida. **Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical**, Cruz das Almas, BA, 2003. Disponível em:<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca_semi_arido/a_dubacao.htm>. Acesso em: 7 de jun. 2016.

ALVES, A. A. C.; SILVA, A. F.; QUEIROZ, D. C.; DITA, M. A. Avaliação de variedades de mandioca para tolerância à seca, em condições semi-áridas do Brasil. **Revista Raízes e Amidos Tropicais – RAT**, v. 3, 2007.

ANGELOCCI, L. R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera: introdução ao tratamento biofísico**, Piracicaba: Edição do autor, 2002. 272 p.

ANYIA, A. O.; HERZOG, H. Genotypic variability in drought performance and recovery in cowpea under controlled environment. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 190, n. 2, p. 151-159, 2004.

ASSAD, E. D. et al. Mudanças climáticas: o aquecimento global e a agricultura. Reportagens - **Com Ciência**, 2002.

AWAL, M. A.; IKEDA, T. Recovery strategy following the imposition of episodic soil moisture deficit in stands of peanut (*Arachis hypogaea* L.). **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 188, n. 3, p. 185-192, 2002.

BATISTA, L. A. et al. Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 3, p. 475-481, 2010.

BEGUM, S.; PAUL, N. K. Growth analysis of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) varieties in relation to time of planting. **Bangladesh Journal of Botany**, v. 34, n. 1, p. 21-26, 2005.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p.

BEZERRA, F. M. L. et al. Feijão caupi e déficit hídrico em suas fases fenológicas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 34, n. 1, p. 13-18, 2003.

BOSABALIDIS, A. M.; KOFIDIS, G. Comparative effects of drought stress on leaf anatomy of two olive cultivars. **Plant Science**, v. 163, p. 375-379, 2002.

BUSSOTTI, F.; BORGHINI, F.; CELESTI, C.; LEONIZIO, C.; BRUSHCHI, P. Leaf morphology and macronutrients in broad-leaved trees in central Italy. **Trees – Structure and Function**, v.14, p. 361-368, 2000.

CAIRO, P. A. R. **Curso básico de relações hídricas de plantas**. Vitória da Conquista-BA, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. 32 p. 1995.

CALVACHE, A. M. et al. Efeito da deficiência hídrica e da adubação nitrogenada na produtividade e na eficiência do uso de água em uma cultura do feijão. **Scientia Agrícola**, v. 54, n. 3, p. 232-240, 1997.

CARDOSO JUNIOR, N. dos S.; VIANA, A.E.S.; MATSUMOTO, S.N.; SEDIYAMA, T.; CARVALHO, F.M. de. Efeito do nitrogênio em características agronômicas da mandioca. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.4, p.651-659, 2005.

CARLQUIST, S. 2012. **How wood evolves: a new synthesis**. *Botany* 90(10): 901-940.

CASTRO, P. R. C., KLUGE, R. A. **Ecofisiologia de cultivos anuais**. Nobel. 1999. 126p.

CASTRO-DÍEZ, P. et al. Leaf morphology and leaf chemical compositions in three *Quercus* (Fagaceae) species along a rainfall gradient in NE Spain. **Trees – Structure and Function**, v. 11, p. 127-134, 1997.

CAVALCANTI, J. **Desenvolvimento das raízes tuberosas em mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)**. 1985. 66 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1985.

CAVATTE, P. C. A fisiologia dos estresses abióticos. In: FRITSCHÉ-NETO, R.; BORÉM, A. **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**, p. 39-79, 2011.

CAYÓN, M. G.; EL-SHARKAWY, M. A.; CADAVID, L. F. Leaf gas exchange of cassava as affected by quality of planting material and water stress. **Photosynthetica**, v. 34, p. 409 -418, 1997.

CEBALLOS, H.; CRUZ, G.A. Taxonomia y morfología de la yuca. In: La yuca en el tercer milênio. **Sistema modernos de producción, procesamiento, utilización e comercialización**. Bernardo Ospina, Héran Ceballus, p. 16-32, 2002.

CERQUEIRA, Y. M. Efeito da deficiência de água na anatomia foliar de cultivares de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). Idensidade estomática. **Sitientibus**, n. 10, p. 103-115, 1992.

CHAPIN , F. S. Integrated responses of plants to stress. **BioScience**, v. 41, p. 29-35, 1991.

CHARTZOULAKIS, A.; PATAKAS, A.; BOSABALIDIS. Changes in water relations, photosynthesis and leaf anatomy induced by intermittent drought in two olive cultivars **Environmental and Experimental Botany**, v. 42, p. 113-120, 1999.

CHAVES, J. H. **Crescimento, fotossíntese e relações hídricas de clones de eucalipto sob diferentes regimes hídricos**. 2001. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

CHAVES, M. M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 3, p. 869–88, 2011.

CLARKSON, D. T.; HANSON, J. B. The mineral nutrition of higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, n. 31, p. 239-298, 1980.

COCK, J. H.; PORTO, M. C. M.; EL-SHARKAWY, M. A. Water use efficiency of cassava. III. Influence of air humidity and water stress on gas exchange of field grown cassava. **Crop Science**, v. 25, p. 265-272, 1985.

CONCEIÇÃO, A. J. da. **A mandioca**. São Paulo: Nobel, 1981. 382 p.

CONNOR, D. J; COCK, J. H.; PARRA, G. E. Response of cassava to water shortage. I. Growth and yield. **Field Crops Research**, v. 4, n. 4, p. 181-200. 1981.

CORREIA, K. G.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Avaliação do crescimento do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) submetido a déficit hídrico. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, v. 4, n. 2, 2004.

COSTA, C. G. et al. Xilema. In: Appezzato-da-Gloria e Carmello-Guerreiro (ed). **Anatomia Vegetal**, Viçosa, MG: Ed. UFV. 2006.

DAVANSO-FABRO, V. M. et al. Tolerância à inundação: aspectos da anatomia ecológica e do desenvolvimento da *Sesbania virgata* (CAV.) Pers. (Fabaceae). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 41, n. 4, p. 475-482. 1998.

DICKISON, H. C. Integrative Plant Anatomy. **Harcourt Academic Press**, San Diego, 2000. Disponível em: < <http://faostat3.fao.org/download/FB/CC/E>>. Acesso em: 12 set. 2016.

DUQUE, L. O. **Response of cassava (*Manihot esculenta*, Crantz) to terminal water stress: ABA, sugar and starch accumulation/partitioning and root growth under different water regime treatments**. 2006. Dissertação (Mestrado), Cornell University, Ithaca, New York, 2006.

EL-SHARKAWY, M. A. Drought-tolerant cassava for Africa, Asia and Latin America: breeding projects work to stabilize productivity without increasing pressures on limited natural resources. **BioScience**, v. 43, p. 441-451, 1993.

EL-SHARKAWY, M. A.; CADAVID, L. F. Response of cassava to prolonged water stress imposed at different stages of growth. **Experimental Agriculture**, v. 38, p. 333-350, 2002.

EL-SHARKAWY, M. A.; COCK, J. H. Response of cassava to water stress. **Plant and Soil**, v. 100, p. 345-360, 1987.

EL-SHARKAWY, M. A.; HERNANDEZ, A. D. P.; HERSHEY, C. Yield stability of cassava during prolonged midseason water stress. **Experimental Agriculture**, v. 28, p. 165-174, 1992.

EL-SHARKAWY, M.A.; COCK, J.H. Water use efficiency of cassava: Effects of air humidity and water stress on stomatal conductance and gas exchange. **Crop Science**, v. 24, p. 497-502, 1984.

EMBRAPA. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação e Solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Embrapa-Solos, 2006. 306 p.

EMBRAPA. **Sistemas de produção de mandioca**. Cultivo da mandioca na região centro sul do Brasil, 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/#mandioca>> Acesso em: 07 jun. 2016.

FAGUNDES, L.K.; STRECK, N.A.; ROSA, H.T.; WALER, L.C.; ZANON, A.J.; LOPES, S.J. Desenvolvimento, crescimento e produtividade de mandioca em diferentes datas de plantio em região subtropical. **Ciência Rural**, v.40, p.2460-2466, 2010.

FAHL, I.J. et al. Características Fisiológicas de Três Cultivares de Mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.17, n.3, p.399-405,1982.

FAOSTAT. **Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics**.

FERREIRA, V. M. et al. Acúmulo e distribuição de macronutrientes em dois híbridos duplos de milho, em função da disponibilidade de água no solo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 7, n. 1, p. 1-17, 2008.

FILHO, W. P.; SILVEIRA, S. R. (2012). **Cultura da mandioca**. Disponível em: <<http://www.emater.mg.gov.br/doc/intranet/upload/LivrariaVirtual/cultura%20da%20mandioca.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2016.

FIUZA, D.S. et al. Avaliação de condutância estomática e temperatura foliar em variedades de mandioca submetidos a diferentes regimes climáticos. In: XIII Congresso Brasileiro de mandioca. Botucatu, jul. 2009. **Anais do XIII Congresso Brasileiro de mandioca**. Botucatu, p. 632-637, 2009.

FUKUDA, W. M. G.; IGLESIAS, C. Desenvolvimento de germoplasma de mandioca para as condições semi-áridas. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. **Revista Brasileira de Mandioca**, v. 14, n. 2, p.17-38. 1995.

GOMES JUNIOR, F. A. et al. Avaliação de produtividade massa seca e área foliar de três variedades de mandioca em condições distintas de déficit hídrico. **Anais da Jornada Científica**. Embrapa Mandioca e Fruticultura, v. 4, n. 2, 2010.

GOMES, E. R. **Eficiência no uso de água e de potássio no cultivo e na produção do morangueiro**. 2013. 99 f. Dissertação (mestrado em Irrigação e Drenagem). Campus de Botucatu, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, São Paulo. 2013.

GOMES, J. de C. Considerações sobre adubação e calagem para a cultivar de mandioca. **Revista Brasileira de Mandioca**, v. 6, n. 2, p. 99-107, 1987.

GOMES, J. de C.; LEAL, E. C. Cultivo da Mandioca para a Região dos Tabuleiros Costeiros. **Embrapa Mandioca e Fruticultura**, Sistemas de Produção, 11, ISSN 1678-8796, Versão eletrônica, Janeiro de 2003.

GOTO, R.; GUIMARÃES, V. F.; ECHER, M. de M. Aspectos fisiológicos e nutricionais no crescimento e desenvolvimento de plantas hortícolas. In: FOLEGATTI, M.V.; CASARINI, E.; BLANCO, F.F.; BRASIL, R.P.C. do; RESENDE, R.S. (Coord.) **Fertirrigação: flores, frutas e hortaliças**. Agropecuária, v. 2, p. 241-268, 2001.

GRISI, F. A. et al. Avaliações anatômicas foliares em mudas de café 'Catuaí' e 'Siriema' submetidas ao estresse hídrico. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 06, p. 1730-1736, 2008.

HÁK, R.; NÁTR, L. Effect of nitrogen starvation and recovery on gas exchange characteristics of young leaves. **Photosynthetica**, n. 1, v. 21, p. 9-14, 1987.

HODGES, T.F. **Predict crop phenology**. Boca Raton: CRC, 1991. 233 p.

HOWELER, R. H.; CADAVID, L. F. Accumulation and distribution of dry matter and nutrients during a 12-month growth cycle of cassava. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 7, n. 2, p. 123-139, 1983.

HOWELER, R.11. **Nutrición mineral y fertilización de la yuca**. Cali, CIAT, 1981. 55p.

HOWELER, R.H. Importance of mycorrhiza for phosphorus absorption by cassava. In HOWELER, R.H. **The cassava handbook** – A reference manual based on the Asian regional cassava training course, held in Thailand. Cali, Colombia, CIAT. p. 626-648, 2012.

HUNT, L. A.; WHOLEY, D. W.; COCK, J. H. Growth physiology of cassava. **Field Crop Abstracts**, v. 30, n. 2, p. 77-91, 1977.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Rio de Janeiro: LSPA, Levantamento sistemático da produção agrícola, 2016, 72 p.

IKE, I. F. Effect of water deficits on transpiration, photosynthesis and leaf conductance in cassava. **Physiologia Plantarum**, v. 55, p. 411-414, 1982.

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

JOHANSEN, D. A. **Plant michrotechnique**. McGraw-Hill: New York, 1940.

KELLING, C.R.S. **Efeito da disponibilidade de água no solo sobre os componentes do balanço hídrico e o rendimento do feijoeiro**. 1995. 91 f. Dissertação (Mestrado) Santa Maria: UFSM, 1995.

KORNDÖRFER, G. H.; NOLLA, A.; OLIVEIRA, L. A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: GPSi-ICIAG-UFU, (Boletim Técnico, 2), 2004, 39p.

KOZLOWSKI, T.I. Water supply and leaf shedding. In: Water stress and plant growth. **Academic Press**, n. 4, p. 191-222, 1976.

KRAMER, P. J, BOYER, J. S. Water relations of plants and soils. San Diego: **Academic Press**, 1995. 495 p.

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

LEVITT, J. **Responses of plants to enviromental stresses**. New York: **Academic Press**, 1972.

LOPES, A.C. **Efeito da irrigação e de épocas de colheita sobre a cultura da mandioca**. 2006. 68 f. Dissertação (mestrado em Fitotecnia). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA. 2006.

LORENZI, J. O. **Absorção de macronutrientes e acumulação de matéria seca para duas cultivares de mandioca**. 1978. 92 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1978.

- LORENZI, J. O. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. p. 221-229. (Boletim Técnico, 100).
- LORENZI, J. O. **Mandioca**. Campinas: CATI, 2012. 129 p. (CATI. Boletim técnico, 245).
- LORENZI, J. O.; VALLE, T. L.; MONTEIRO, D. A.; PERESSIN, V. A.; KANTHACK, R. A. D. **Variedades de mandioca para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996b. 23 p. (Boletim técnico, n. 162).
- LORENZI, J.O. et al. Aspectos fitotécnicos da mandioca em Mato Grosso do Sul. In: OTSUBO, A.A.; MERCANTE, F. M.; MARTINS, C. de S. (Coord.). **Aspectos do cultivo da mandioca em Mato Grosso do Sul**. Dourados/Campo Grande: Embrapa Agropecuária Oeste/UNIDERP, p. 77-108, 2002.
- MA, J.F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier, p.17-39, 2001.
- MACHADO A.V. **Efeitos do estresse hídrico em plantas jovens de Hedyosmum brasilienses Mart. (Chloranthaceae)**. 2004. 59 f. Tese de Mestrado. Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.
- MACKAY, A. D.; BARBER, S. Soil moisture effect on root growth and phosphorus uptake by corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 77, p. 519-523, 1985.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 2006. 638 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafós, 1997. 319p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 1995. 889 p.
- MATTOS, P.L.P; BEZERRA, V. S (2003). Cultivo de mandioca para o estado do Amapá. **Embrapa Mandioca e Fruticultura**. Disponível em: http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca_amapa/adubacao.htm >. Acesso em: 20 maio de 2016.
- MCELDRONE, A. J. et al. Variation in xylem structure and function in stems and roots of trees to 20 m depth. **New Phytologist**, v. 163, p. 507-517, 2004.
- MEDIAVILLA, S.; ESCUDERO, A.; HEILMEIER, H.; Internal leaf anatomy and MELO, G. M. et al. Alterações anatômicas em folhas e raízes de *Jatropha curcas* L. cultivadas sob estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, p. 670-674, 2011.
- MUNSON, R. D.; NELSON, W. L. Principles and practices in plant analysis. In: WALSH, L. M.; BEATON, I. D. Soil testing and plant analysis. Madison: **Soil Science Society of American Journal**, p. 223-248, 1973.

NESREEN, A.SS Morphological and Chemical Studies on Influence of Water Deficit on Cassava. **World Journal of Agricultural Sciences**, p. 369-376, 2013.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; ALBUQUERQUE, M. B.; SILVA, E. C. Aspectos ecofisiológicos da tolerância à seca em plantas da caatinga. In: NOGUEIRA, R. J. M. C. et al. **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Imprensa Universitária, p. 22-31, 2005.

O'BRIEN, T.P.; FEDER, N.; McCULLY, M.E.. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. **Protoplasma**, v. 59, p. 368-373, 1964.

OLIVEIRA, A.M. G. et al. **Adubação com manganês para o controle do “Amarelão” da mandioca no extremo Sul da Bahia**. Embrapa, 2009. Disponível em: <http://www.cnpmf.embrapa.br/publicacoes/produto_em_foco/mandioca_38.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2016.

OLIVEIRA, S. L., MACEDO, M. M. C.; PORTO, M. C. M. Efeito do déficit de água na produção de raízes de mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 17, p. 121-124, 1982.

OLIVEIRA, S. L.; MACEDO, M. M. C.; PORTO, M. C. M. Efeito do déficit de água na produção de raízes de mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 17, n. 1, p. 121-124. 1992.

ORLANDO FILHO, J.; ROSSETO, R.; CASAGRANDE, A. A. Cana-de-açúcar. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B. VAN; ABREU, C. A. (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal, p.335-369, 2001.

OTSUBO, A. A; LORENZI, J. O. Cultivo da mandioca na região Centro-Sul do Brasil. Dourados: **Embrapa Agropecuária Oeste**, p. 51. 2004.

PARRY, M. M. et al. Estado nutricional da mandioca cultivada em diferentes épocas sob cobertura morta e duas adubações. **Revista Ciências Agrárias**, n. 43, p. 91-114, 2005.

PERESSIN, V. A. et al. Acúmulo de matéria seca na presença e na ausência de plantas infestantes no cultivar de mandioca SRT 59 – Branca de Santa Catarina. **Bragantia**, v. 57, p. 135-148, 1998.

PERESSIN, V. A. **Matointerferência na cultura da mandioca (Manihot esculenta Crantz) em duas regiões do estado de São Paulo**. 1997. 132 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 1997.

photosynthetic resource use efficiency: interespecific and intraespecific comparisons. **Tree Physiology**, v. 21, p. 251-259, 2001.

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

PINHEIRO, D. G. et al. **Respostas fisiológicas e morfológicas de plantas de mandioca submetidas a um e dois ciclos de secamento do solo**. 2013. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria, 2013

PINHO, J. L. N. de. et al. Componentes de produção e capacidade distributiva da mandioca no Litoral do Ceará. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 7, p. 89-96, 1995.

PORTO, M. C. M. et al. Acúmulo e distribuição de matéria seca em mandioca submetida a deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 24, p. 557-565, 1989.

PORTO, M.C.M. 1983. **Physiological mechanisms of drought tolerance in cassava (Manihot esculenta Crantz)**, Ph.D. Thesis, University of Arizona Tucson, Arizona, USA, 1983.

PRISCO, J. T. Possibilidades de exploração de lavouras xerófilas no semi-árido brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 21, n. 4, p. 333-342, 1986.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B. et al. Caracterização da anatomia foliar de cafeeiros arábica em diferentes períodos sazonais. **Biotemas**, v. 27, p. 1-10, 2014.

RIBEIRO, M. N. O. et al. Anatomia foliar de mandioca em função do potencial para tolerância à diferentes condições ambientais. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 2, p. 354-361, 2012.

ROCHA, D. G. da F.; QUEIROZ, M. B. de; TÁVORA, F. J. A. F. Crescimento de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. submetida à deficiência hídrica. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 52, REUNIÃO NORDESTINA DE BOTÂNICA, 16., 2001. João Pessoa: **Resumos**. Ed. Gráfica JB, p. 19, 2001.

ROSENTHAL, W.D.; ARKIN, G.F.; SHOUSE, P.J.; JORDAN, W.R.. Water deficit effects on transpiration and leaf growth. **Agronomy Journal**, v. 79, p. 1019 -1026, 1987.

SALAMONI, A. T. **Apostila de aulas teóricas de Fisiologia Vegetal**. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, 2008.

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

SAUSEN, T.L. **Respostas fisiológicas de *Ricinus communis* à redução na disponibilidade de água no solo**. 2007. 61P. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

SILVA, D.K.T. et al. Análise de crescimento em cultivares de cana-de-açúcar em cana-soca no nordeste do Paraná na safra de 2002/2003. **Scientia Agraria**, v. 6, n. 1, p. 47-53, 2005.

SILVA, F.A.S. The Assistat Software Statistical Assistance In: Sixth International Conference On Computers In Agriculture. Cancun, Mexico: Annals of the **American Society of Agricultural Engineers**, v.1, p.294 - 296, 1996.

SILVA, H.; ACEVEDO, E.; SILVA, P. Anatomia del tejido fotosintético de diez taxa de Opuntia establecidos en el secano árido mediterráneo de Chile. **Revista Chilena de História Natural**, v. 74, p. 341-351, 2001.

SILVA, M. N. **Análise de crescimento e produção de três variedades de mandioca (Manihot esculenta, Crantz) consorciadas com feijão de porco (Canavalia ensiformis DC)**. 2006. 64 p. Dissertação (Mestrado em Agroecologia), Universidade Estadual do Maranhão, São Luiz, 2006.

SIVAKUMAR, M.V.K.; SHAW, R.H. Relative evaluation of water estress indicators for soybeans. **Agronomy Journal, Madison**, v.70, p.619-623, 1978.

SOUZA, L. D; SOUZA, L. S. Clima e solo. In: MATTOS, P. L. P.; GOMES, J. C. O cultivo da mandioca. Cruz das Almas – BA, **Embrapa Mandioca e Fruticultura**, p. 11-13, 2000 (Circular Técnica, 37).

SOUZA, L.S.; FIALHO, J.F. de. Cultivo da Mandioca para a Região do Cerrado, **Embrapa Mandioca e Fruticultura**, ISSN 1678-8796. Versão eletrônica, Jan/2003. Acesso em: 15 jun. 2016.

SOUZA, M. J. L. **Manejo da irrigação, épocas de colheita e efeito do cloreto de mepiquat sobre características agrônômicas da mandioca**. 2007. 69 f. Dissertação (Fitotecnia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da conquista, BA, 2007.

SOUZA, R. P. et al. Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. **Environmental and Experimental Botany**, v. 51, n. 1, p. 45–56, 2004.

SOUZA, T. C. de. **Aplicação de ácido abscísico (ABA) e caracterização fisiológica e anatômica em dois híbridos de milho contrastantes ao estresse de seca**. 2012. 133 f. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012. TAIZ, L; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013, 918 p. TARDIEU, F. Plant tolerance to water deficit: physical limits and possibilities for progress. **Comptes Rendus Geoscience**, v. 337, n. 1-2, p. 57-67, 2005.

TÁVORA, F.J.A; QUEIROZ, G.M; PINHO, J.L.N & MELO, F.I. Comportamento de cultivares de mandioca com diferentes características foliares, submetidas a diversas densidades de plantio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 17, p.417-31, 1982.

TERNES, M. Fisiologia da planta. In: CEREDA, M. P. (Coord.). **Agricultura: tuberosas amiláceas latinoamericanas**. São Paulo: Fundação Cargill, p. 448-504, 2002.

TIRONI, L. F. et al. Desempenho de cultivares de mandioca em ambiente subtropical. **Bragantia**, v. 74, p. 58-66, 2015.

TOMBESI, S. et al. Relationship between xylem vessel characteristics, calculated axial hydraulic conductance and size-controlling capacity of peach rootstocks. **Annals of Botany**, v. 110, p. 511-519, 2010.

VAN GENUTCHEN, M. T. H. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of insaturated. **Soil Science Society American Journal**, v. 41, p. 892-898, 1980.

VAN VOLKENBURGH, E.; CLELAND, R. E. Control of leaf growth by changes in wall properties. **New Plant Physiol**, v. 15, p. 25-28, 1984.

VASELLATI, V. et al. Effects of flooding and drought on the anatomy of *Paspalum dilatatum*. **Annals of Botany**, v. 88(3), p. 355-360, 2001.

VIÉGAS, A. P. **Estudo sobre a mandioca**. Campinas : Instituto Agronômico do Estado de São Paulo/BRASCAN Nordeste, 1976. 214p.

WILHELM, W. W.; MCMASTER, G. S. Importance of the phyllochron in studying development and growth in grasses. **Crop Science**, v.35, n.1, p.1-3, 1995.

WILLIAMS, C. N. Growth and productivity of tapioca (*Manihot utilissima*) IV: development and yield of tubers. **Experimental Agriculture**, v. 10, p. 9-16, 1974.

YAO, N.R., B. GOUE', B. ZELLER, AND B. MONTENY. Effect of drought on leaf development and dry matter production of the cassava (*Manihot esculenta* Crantz) plant. **Tropical Agriculture**.v. 65, p. 84-88, 1988.