

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo deste trabalho será disponibilizado somente a partir de 26/11/2018.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



LAÍS FERNANDA MELO PEREIRA

**ASPECTOS FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS DA MANDIOCA CULTIVADA SOB
DEFICIÊNCIA HÍDRICA EM DIFERENTES FASES DE DESENVOLVIMENTO**

Botucatu

2017

LAÍS FERNANDA MELO PEREIRA

**ASPECTOS FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS DA MANDIOCA CULTIVADA SOB
DEFICIÊNCIA HÍDRICA EM DIFERENTES FASES DE DESENVOLVIMENTO**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Campus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia (Agricultura).

Orientador: Prof. Dr. Marcelo de Almeida
Silva

Botucatu
2017

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

P436a Pereira, Lais Fernanda Melo, 1987-
Aspectos fisiológicos e bioquímicos da mandioca cultivada sob deficiência hídrica em diferentes fases de desenvolvimento / Lais Fernanda Melo Pereira. - Botucatu : [s.n.], 2017
96 p. : il. color., grafs., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2017
Orientador: Marcelo de Almeida Silva
Inclui bibliografia

1. Mandioca - Cultivo. 2. Irrigação com déficit hídrico. 3. Estresse abiótico. 4. Amido - Produção - Qualidade
I. Silva, Marcelo de Almeida. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.


"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

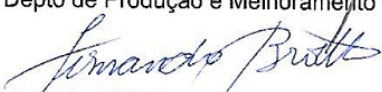
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "ASPECTOS FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS DA MANDIOCA CULTIVADA SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA EM DIFERENTES FASES DE DESENVOLVIMENTO"

AUTORA: LAÍS FERNANDA MELO PEREIRA
ORIENTADOR: MARCELO DE ALMEIDA SILVA


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


Prof. Dr. MARCELO DE ALMEIDA SILVA
Depto de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu - UNESP


Prof. Dr. FERNANDO BROETTO
Depto de Química e Bioquímica / Instituto de Biociências de Botucatu


Prof. Dr. ADALTON MAZETTI FERNANDES
CERAT / Universidade Estadual Paulista - UNESP


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


Dr. JOSÉ RODRIGUES MAGALHÃES FILHO
. / Instituto Agrônômico de Campinas

Botucatu, 26 de maio de 2017.

*A minha mãe Tereza Cristina,
a minha vó Enilda Melo e ao meu tio
Newton A. de Alcântara, por todo amor e
apoio nessa caminhada,
dedico.*

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Botucatu, pela oportunidade de realização do Curso de Doutorado.

Ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo de Almeida Silva, pela confiança, amizade, incentivo e orientação.

À minha parceira de experimento Samara Zanetti por toda amizade, cumplicidade, paciência, carinho e por tudo que fez por mim nos momentos mais difíceis.

À Magno Mandioca, em nome do sr. Alexandre Bortoloto, pelo gentil fornecimento das hastes de mandioca para condução do experimento.

A todos os companheiros do Laboratório de Ecofisiologia Aplicada à Agricultura pela convivência e amizade, especialmente a Fernanda P. A. P. Bortolheiro, Marcela Cristina Brunelli, Breno K. L. Bezerra, Lucas A. de Holanda, Isabella G. Willmersdorf, Gabriel Henrique Germino, Paula Caroline S. Moura e José Gerardo Espinoza Véliz.

À Iara Aparecida Pereira Brito pela amizade e auxílio nas análises bioquímicas.

Às amigas Carolina Serrano, Jéssica Dellinhares, Michely Alves, Olívia Lopes, Natália Soares, Cristiana Araújo e Miriam Büchler Tarumoto por todo carinho, amizade, apoio e convivência.

Ao Edilson Ramos Gomes pela amizade e colaboração no experimento.

Ao professor Fernando Broetto pelo apoio na condução das avaliações fisiológicas no laboratório.

Aos funcionários do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, Eliane Gonçalves da Silva, Adelina Gonçalves dos Santos, Casimiro Edson Alves, Ciro Venâncio de Oliveira, Antônio Oliveira Camargo e Milton Matheus Vieira pela convivência, amizade e colaboração na colheita do experimento.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos que possibilitou a execução desse trabalho de pesquisa.

Ao João Paulo Pereira por todo apoio, amor, carinho e compreensão.

À minha mãe Tereza Cristina, à minha irmã Leila Cristina, à minha vó Enilda Melo, à minha prima Ana Karine, aos meus tios Newton A. de Alcântara e Carlos André Melo pelo amor e carinho e por me apoiarem em todos os momentos.

A todos meus sinceros agradecimentos!

RESUMO

Essa pesquisa teve como objetivo avaliar as características fisiológicas, bioquímicas e os componentes da produção da mandioca de mesa IAC 576-70 sob deficiência hídrica em diferentes fases fenológicas da cultura. O experimento foi conduzido em cultivo protegido, em delineamento inteiramente casualizado e esquema fatorial 3x3, constituído por três fases fenológicas (de 90 a 180; de 180 a 270 e de 270 a 360 dias após o plantio, DAP) e três tensões de água no solo (-10, -40 e -70 kPa), com cinco repetições. As manivas-sementes foram plantadas em caixas com 0,30 m³ de solo e a umidade do solo foi monitorada por tensiômetros, mantendo-se o solo na capacidade de campo até o início dos tratamentos. As características fisiológicas e bioquímicas foram descritas apenas na fase de 90 a 180 DAP, pois a perda natural de folhas no período do inverno na região comprometeu as avaliações nas demais fases. Aos 135 DAP a deficiência hídrica aumentou 42,9% o teor de clorofila total nas plantas sob tensão de -70 kPa. O potencial da água, o teor relativo de água e o extravasamento de eletrólitos nas folhas não foram alterados pelas tensões de água no solo. Houve acréscimo de 16,0% na densidade estomática foliar nas tensões de -40 e -70 kPa, enquanto que a eficiência quântica efetiva do fotossistema II e a taxa de transporte de elétrons foram reduzidas. As plantas sob as menores tensões de água no solo aumentaram 15,4% os teores de açúcares solúveis nas folhas. As atividades das enzimas antioxidantes foram mais acentuadas aos 180 DAP, de modo que os teores de peróxido de hidrogênio não diferiram entre os tratamentos. A tensão de -70 kPa ocasionou aumento de 22,6% nos teores de ácido malondialdeído nas folhas aos 135 DAP. A deficiência hídrica entre 90 e 180 DAP reduziu 60% as massas de matéria seca da parte aérea e da raiz, ocasionando perdas de até 75,6% na produção total de raiz. A limitação hídrica entre 180 a 270 DAP não alterou a massa de matéria seca da planta, o número de raiz não comercial, o índice de colheita, o teor de amido e a produção de raiz. As plantas sob deficiência hídrica entre 270 a 360 DAP reduzem em 32,5% a produção total de raiz tuberosa. A deficiência hídrica afeta o desenvolvimento das plantas de mandioca na fase de desenvolvimento dos ramos e folhas.

Palavras-chave: *Manihot esculenta* Crantz. Seca. Fluorescência da clorofila. Ajuste osmótico. Enzimas antioxidantes. Produção.

ABSTRACT

This research aimed to evaluate the physiological and biochemical characteristics and yield components of sweet cassava plants IAC 576-70 under water deficit in different phenological phases of the crop. The experiment was carried out in a completely randomized design and factorial scheme 3 x 3, consisting of three phenological stages (90 to 180, 180 to 270 and 270 to 360 days after planting DAP), and three soil water tension (-10, -40 and -70 kPa), with five replicates. The stem cuttings were planted in boxes with 0.30 m³ of soil and the soil moisture was monitored by tensiometers, keeping the soil in the field capacity until the beginning of the treatments. The physiological and biochemical characteristics were described only in the phenological phase 90 to 180 DAP, because the natural loss of leaves in the winter period in the region compromised the evaluations in the other phases. At 135 DAP the water deficit increased by 42.9% the total chlorophyll content in plants under tension of -70 kPa. The water potential, relative water content and electrolyte leakage in the leaf were not altered by soil water tension. There was an increase of 16.0% in leaf stomatal density under tensions of -40 and -70 kPa, while the effective quantum efficiency of photosystem II and the rate of electron transport were reduced. The plants under the tensions of -40 and -70 kPa increased the soluble sugar content of the leaves by 15.4%. The activities of antioxidant enzymes were more accentuated at 180 DAP, so that the levels of hydrogen peroxide did not differ between treatments. The tension of -70 kPa caused an increase of 22.6% in malondialdehyde acid content in the leaves at 135 DAP. The water deficit between 90 and 180 DAP reduced the dry matter masses of the aerial part and the tuberous root by 60%, causing losses of up to 75.6% in total root yield. The water limitation between 180 and 270 DAP did not change the dry matter mass of the plant, number of non-commercial root, harvest index, starch content and root yield. Plants under water deficit between 270 and 360 DAP reduce total tuberous root production by 32.5%. The water deficit effects the development of cassava plants in the development stage of the branches and leaves.

Keywords: *Manihot esculenta* Crantz. Drought. Chlorophyll fluorescence. Osmotic adjustment. Antioxidant enzymes. Yield.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	15
CAPÍTULO 1 – RELAÇÕES HÍDRICAS EM PLANTAS DE MANDIOCA DE MESA IAC 576-70 SOB DIFERENTES NÍVEIS DE DEFICIÊNCIA HÍDRICA	18
1.1 Introdução.....	19
1.2 Material e Métodos	21
1.2.1 Descrição da área experimental e instalação da cultura	21
1.2.2 Submissão dos tratamentos e manejo da cultura	22
1.2.3 Variáveis fisiológicas	23
1.2.3.1 Pigmentos fotossintéticos e índice SPAD	23
1.2.3.2 Potencial da água e teor relativo de água	24
1.2.3.3 Extravasamento de eletrólitos	24
1.2.3.4 Densidade estomática.....	25
1.2.3.5 Fluorescência da clorofila a	25
1.2.4 Análise estatística	26
1.3 Resultados	26
1.3.1 Condições ambientais durante o experimento	26
1.3.2 Análises fisiológicas	27
1.4 Discussão	34
1.5 Referências Bibliográficas	39
CAPÍTULO 2 – EFEITOS DA DEFICIÊNCIA HÍDRICA E DA ÉPOCA DE CRESCIMENTO NAS CARACTERÍSTICAS BIOQUÍMICAS DA MANDIOCA DE MESA IAC 576-70	46
2.1 Introdução.....	47
2.2 Material e Métodos	49
2.2.1 Caracterização da área experimental e instalação da cultura.....	49
2.2.2 Tratamentos e manejo da cultura	50
2.2.3 Variáveis bioquímicas.....	51
2.2.3.1 Proteínas solúveis.....	52
2.2.3.2 Prolina	52
2.2.3.3 Açúcares solúveis	53
2.2.3.4 Peróxido de hidrogênio	53

2.2.3.5	Peroxidação de lipídios	53
2.2.3.6	Atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e peroxidase (POD).....	54
2.2.4	Análise estatística.....	55
2.3	Resultados.....	55
2.3.1	Condições ambientais durante o experimento	55
2.3.2	Análises bioquímicas	57
2.4	Discussão.....	61
2.5	Referências Bibliográficas	65
	CAPÍTULO 3 – COMPONENTES DA PRODUÇÃO DA MANDIOCA DE MESA IAC 576-70 SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA EM DIFERENTES FASES FENOLÓGICAS.....	72
3.1	Introdução	73
3.2	Material e Métodos.....	73
3.2.1	Descrição da área experimental e instalação da cultura.....	75
3.2.2	Submissão dos tratamentos e manejo da cultura	76
3.2.3	Componentes da produção.....	77
3.2.4	Análise estatística.....	78
3.3	Resultados.....	78
3.3.1	Condições ambientais durante o experimento	78
3.3.2	Análise dos componentes da produção	81
3.4	Discussão	88
3.5	Referências Bibliográficas	90
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	94
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95

INTRODUÇÃO GERAL

Originária da América do Sul, a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma planta heliófita, perene, arbustiva de raízes tuberosas que constitui uma das mais importantes fontes de carboidratos nos trópicos, principalmente na África, Ásia e América do Sul (Kanto et al., 2012). No Brasil, a mandioca é cultivada em todo o país, com estimativa de produção em 2016 de 23,7 milhões de toneladas e produtividade de 15,3 toneladas de raízes por hectare. A região Sudeste contribuiu com 2,3 milhões de toneladas, destacando-se o Estado de São Paulo com produção equivalente a 48% do total da região e produtividade superior a média nacional de 24,8 toneladas de raízes por hectare (IBGE, 2017).

As cultivares de mandioca são geralmente classificadas em mandioca de mesa, comercializada na forma in natura, apresentando baixa concentração do ácido cianídrico nas raízes frescas e mandioca de indústria, transformada principalmente em farinha e fécula, com maior concentração do ácido cianídrico (Souza; Fialho, 2003). A cultivar IAC 576-70 é a principal cultivar de mandioca de mesa plantada no Estado de São Paulo, ocupando em torno de 90% da área, com altas produtividades, excelentes qualidades culinárias e arquitetura favorável aos tratamentos culturais (Otsubo; Lorenzi, 2004).

O desenvolvimento da planta de mandioca pode ser dividido em cinco fases fenológicas: emergência (5 a 15 dias após o plantio); início do desenvolvimento foliar e formação do sistema radicular (15 a 90 dias após o plantio); desenvolvimento dos ramos e folhas (90 a 180 dias após o plantio); translocação expressiva de carboidratos para as raízes (180 a 300 dias após o plantio) e paralização do crescimento vegetativo (300 a 360 dias após o plantio), cuja duração e existência dependem de vários fatores relacionados a diferenças varietais, práticas culturais e condições ambientais (Alves, 2006).

A mandioca é encontrada nas mais variadas condições edafoclimáticas, entre as latitudes 30° N e 30° S e altitudes que variam desde o nível do mar até cerca de 2.000 m, com precipitação anual de 500 mm em regiões semi-áridas e maior que 2.000 mm em regiões úmidas (El-Sharkawy, 2012). Devido a sua rusticidade e adaptabilidade às condições ambientais adversas, a mandioca geralmente é produzida em áreas inaptas para a maioria dos outros cultivos, onde a cultura é submetida a períodos frequentes de deficiência de água no solo. No entanto, apesar

de ser uma cultura considerada tolerante à seca, a produtividade das raízes pode ser reduzida em até 60% sob condições de deficiência hídrica (Connor et al., 1981; Oliveira et al., 1982).

A importância ecológica da água está associada ao fato de que os processos fisiológicos das plantas são afetados pelo suprimento hídrico (Kramer; Boyer, 1995). Além de ser o principal constituinte, desempenha funções como solvente, reagente, manutenção da turgescência celular e regulação térmica dos tecidos (Angelocci, 2002). Diante dessa importância, a tolerância das plantas a deficiência hídrica envolve uma série de adaptações morfológicas, fisiológicas, bioquímicas e moleculares que as conduzem a economizar água para uso em períodos posteriores (Machado et al., 2009). Essas respostas podem ser complexas e dependem da cultivar, do estágio de desenvolvimento da planta, além da duração e da severidade do estresse (Santos; Carlesso, 1998).

Sob condições de deficiência de água no solo ou de alta demanda evaporativa da atmosfera, as plantas de mandioca apresentam controle estomático bastante eficiente (El-Sharkawy, 2007). Contudo, a redução da abertura estomática pode limitar a taxa de difusão de CO_2 para o interior da folha, com efeitos diretos sobre a fotossíntese e o crescimento do vegetal (Alves, 2006).

Dentre todas as atividades que dependem do turgor celular a fotossíntese é uma das variáveis que apresentam maior sensibilidade à seca (Lawlor; Tezara, 2009). Assim, os teores de pigmentos fotossintéticos são frequentemente utilizados para estimar a capacidade fotossintética das plantas na ocorrência de diversos estresses ambientais (Baret et al., 2007; Ciganda et al., 2008), bem como a análise da fluorescência da clorofila *a* para detectar a ocorrência da inibição ou redução na transferência de elétrons na etapa fotoquímica da fotossíntese (Maxwell; Johnson, 2000).

Na ocorrência da fotoinibição, ou seja, inibição do processo fotoquímico pelo excesso de luz, combinada a elevadas temperaturas e deficiência hídrica do solo, a absorção intensa de energia luminosa produz elétrons em excesso que podem reagir com o oxigênio molecular (O_2) e formar as espécies reativas de oxigênio (EROs) (Carvalho, 2008). As EROs tal como oxigênio singleto ($^1\text{O}_2$), peróxido de hidrogênio (H_2O_2), ânion superóxido (O_2^-) e radical hidroxílico ($\text{OH}\cdot$) são moléculas tóxicas capazes de oxidar as proteínas, DNA e lipídios (Apel; Hirt, 2004).

A fim de conter os efeitos deletérios das EROs, as plantas desenvolveram um complexo mecanismo de defesa antioxidativo constituído por metabólitos e enzimas antioxidantes que atuam para manter as EROs em baixo nível celular (Sharma et al., 2012). Os antioxidantes têm sido encontrados em quase todos os compartimentos celulares, o que demonstra a importância da desintoxicação das EROs para a sobrevivência celular (Mittler et al., 2004).

Estudos realizados em diversas culturas revelam que outra forma de adaptação à seca que as plantas desenvolveram é o acúmulo de solutos compatíveis com a água que permite a expansão celular e o crescimento da planta em situações de deficiência hídrica, pois mantém os estômatos parcialmente abertos permitindo a assimilação de CO₂ (Morgan, 1984; Munns, 1988). O incremento desses solutos, tais como açúcares solúveis, prolina e outros aminoácidos, promove o ajuste osmótico, preservando a integridade de proteínas, enzimas e membranas, mantendo o equilíbrio de água na célula em condições ambientais desfavoráveis (Bartels; Sunkar, 2005).

Na cultura da mandioca, apesar de alguns genótipos serem recomendados como adaptados à seca, pouco se tem elucidado sobre as características que estão por trás dos mecanismos que fazem da mandioca uma das culturas mais tolerantes às diferentes condições ambientais. Diante do exposto, a hipótese dessa pesquisa é que a deficiência hídrica submetida em diferentes fases de desenvolvimento das plantas de mandioca promove alterações a nível fisiológico, bioquímico e de produção que podem indicar tolerância ou sensibilidade à escassez de água. Assim, o objetivo foi avaliar as características fisiológicas, bioquímicas e os componentes da produção da mandioca de mesa IAC 576-70 sob condições de deficiência hídrica em diferentes fases de desenvolvimento, visando gerar informações sobre o comportamento da cultura que possam servir para selecionar materiais genéticos mais produtivos em condições de baixa precipitação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Plantas de mandioca de mesa IAC 576-70 sob deficiência hídrica durante a fase fenológica entre 90 a 180 dias após o plantio apresentam acréscimo nos teores de clorofilas totais e carotenoides nas folhas, manutenção do potencial de água foliar e o teor relativo de água foliar na antemanhã, integridade das membranas celulares nas folhas e manutenção da eficiência quântica potencial do fotossistema II. A deficiência hídrica reduz 13,3% a eficiência quântica efetiva do fotossistema II e 16,2% a taxa de transporte de elétrons, porém aumenta 16,0% o número de estômatos mm^{-2} . Os açúcares solúveis acumulam-se nas folhas e as enzimas antioxidantes superóxido dismutase e catalase aumentam suas atividades na deficiência hídrica prolongada.

A deficiência hídrica entre 90 a 180 dias após o plantio reduz 60% as massas de matéria seca da parte aérea, raiz e total das plantas, reduz em até 100% o número de raiz comercial e ocasiona perdas de até 75,6% na produção total de raiz tuberosa, dependendo da intensidade da deficiência hídrica. A limitação hídrica entre 180 a 270 dias após o plantio não altera as massas de matéria seca da planta, o número de raiz não comercial, o índice de colheita, o teor de amido, a produção de raiz comercial e a produção total de raiz. Tensões de água no solo de -40 e -70 kPa entre 270 a 360 dias após o plantio da mandioca reduzem em 45,7% a produção de raiz comercial e 32,5% a produção total de raiz tuberosa.

A cultivar IAC 576-70 demonstra características fisiológicas e bioquímicas de tolerância a deficiência hídrica. No entanto, sugere-se pesquisas em condições de campo nessa cultivar visando avaliar o desempenho das plantas em situações de deficiência hídrica, visto que as reduções nos componentes da produção podem ser de menor impacto em comparação ao cultivo em ambiente protegido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, A.A.C. **Fisiologia da mandioca**. In: Aspectos socioeconômicos e agronômicos da mandioca. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, v.7, p.138–169, 2006.
- ANGELOCCI, L.R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera: introdução ao tratamento biofísico**. Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP, Piracicaba, 272 p. 2002.
- APEL, K.; HIRT, H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. **Annual Review of Plant Biology**, v. 55, p. 373–399, 2004.
- BARET, F.; HOULÈS, V.; GUÉRIF, M. Quantification of plant stress using remote sensing observations and crop models: the case of nitrogen management. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, p. 869–880, 2007.
- BARTELS, D.; SUNKAR, R. Drought and salt tolerance in plants. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 24, p. 23–58, 2005.
- CARVALHO, M.H.C. Drought stress and reactive oxygen species: production, scavenging and signaling. **Plant Signaling & Behavior**, v.3, p. 156–165, 2008.
- CIGANDA, V.; GITELSON, A.; SCHEPERS, J. Vertical profile and temporal variation of chlorophyll in maize canopy: quantitative “crop vigor” indicator by means of reflectance-based techniques. **Agronomy Journal**, v. 100, p. 1409–1417, 2008.
- 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.
- EL-SHARKAWY, M.A. Physiological characteristics of cassava tolerance to prolonged drought in the tropics: Implications for breeding cultivars adapted to seasonally dry and semiarid environments. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 4, p. 257–286, 2007.
- EL-SHARKAWY, M.A. Stress-tolerant cassava: the role of integrative ecophysiology-breeding research in crop improvement. **Open Journal of Soil Science**, v. 2, p. 162–186, 2012.
- IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Rio de Janeiro: LSPA, Estatística da Produção Agrícola: janeiro de 2017, 72 p. 2017.
- KANTO, U.; JUTAMANEE, K.; OSOTSAPAR, Y.; JATTUPORNPOONG, S. Effect of swine manure extract on leaf nitrogen concentration, chlorophyll content, total potassium in plant parts and starch content in fresh tuber yield of cassava. **Journal of Plant Nutrition**, v. 35, n. 5, p. 688–703, 2012.
- KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. **Water relations of plants and soils**. Academic Press, San Diego, 495 p. 1995.

MACHADO, R.S.; RIBEIRO, R.V.; MARCHIORI, E.R.; MACHADO, D.F.S.P.; MACHADO, E.C.; LANDELL, M.G.A. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 12, p. 1575–1582, 2009.

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

MITTLER, R.; VANDERAUWERA, S.; GOLLERY, M.; VAN BREUSEGEM, F. Reactive oxygen gene network of plants. **Trends in Plant Science**, v. 9, n. 10, p. 490–498, 2004.

MORGAN, J.M. Osmoregulation and water stress in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 35, p. 299–319, 1984.

MUNNS, S.R. Why measure osmotic adjustment? **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 15, p. 717–726, 1988.

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, 1982.

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

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.

SHARMA, P.; JHA, A.B.; DUBEY, R.S.; PESSARAKLI, M. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stress ful conditions. **Journal of Botany**, v. 2012, p. 1–26, 2012.

SOUZA, L.S.; FIALHO, J.F. **Cultivo da mandioca para a região do Cerrado**. Embrapa Mandioca e Fruticultura. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 03 mar. 2017.