



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE MESTRADO**

**IDENTIFICAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E
FISIOLÓGICAS RELACIONADAS COM A TOLERÂNCIA À SECA
EM MANDIOCA**

DANILA DA SILVA FIUZA

CRUZ DAS ALMAS – BAHIA
MAIO DE 2010

**IDENTIFICAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E
FISIOLÓGICAS RELACIONADAS COM A TOLERÂNCIA À SECA
EM MANDIOCA**

DANILA DA SILVA FIUZA

Engenheira Agrônoma

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2007

Dissertação submetida à Câmara de Ensino de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Ciências Agrárias, Área de Concentração: Fitotecnia.

Orientador: Dr. Carlos Alberto da Silva Ledo
Co-orientadores: Dr. Alfredo Augusto Cunha Alves
Dr. Mauricio Antonio Coelho Filho

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CRUZ DAS ALMAS - BAHIA – 2010

FICHA CATALOGRÁFICA

F Fiuza, Danila Silva da
 Identificação de características agronômicas e fisiológicas
relacionadas com a tolerância à seca em mandioca \ Danila da
Silva Fiúza – Cruz das Almas – BA, 2010.

61f. : il. , tab.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto da Silva Ledo

Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Agrárias,
Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da
Bahia, 2010.

1. Mandioca – Estresse hídrico. 2. Mandioca – Tolerância à
seca. I. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de
Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II. Título.

isaelce@ufrb.edu.br

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE
DANILA DA SILVA FIUZA**

Prof. Dr. Carlos Alberto da Silva Ledo
EMBRAPA – Mandioca e Fruticultura Tropical\UFRB

Dr. Vanderlei da Silva Santos
EMBRAPA – Mandioca e Fruticultura Tropical

Prof. Dr. Paulo Cezar Lemos de Carvalho
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Dissertação homologada pelo Colegiado do Curso de Mestrado em Ciências Agrárias em
Conferindo o Grau de Mestre em Ciências Agrárias em.....

À Deus,

meu refugio e fortaleza,
a Ele toda honra e toda gloria.

Meus pais,

Raimundo e Lúcia Dalva,
por serem os principais responsáveis pela formação do meu caráter;
pelo amor, dedicação e apoio incondicionais.

Aos verdadeiros Amigos,

pela alegria, companheirismo e conforto nos momentos mais propícios.

Ofereço

Aos meus amados e queridos irmãos, André, Lucira e Henrique; ao meu amor Wagner e minha querida filhinha Giovanna; aos meus avós, tios e primos pelo estímulo e apoio.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ser a minha fortaleza, proporcionando tudo em minha vida.

À minha família, que sempre me deu apoio e força, para o meu crescimento. Em especial Lucira minha irmã e meu tio Wandesclei, que além de tudo, me ajudaram nas avaliações de fim de semana.

A meu marido Wagner pelo seu amor, amizade, paciência, apoio e ajuda em meus trabalhos e à sua família que sempre me acolheu com muito carinho. Em especial Aline e Elaine minhas cunhadas que nunca mediram esforços ao me ajudarem.

A minha filhinha linda, pelo carinho e o sorriso sincero, que me dá forças para prosseguir.

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, em especial àqueles que fazem parte do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, pela oportunidade de realização do curso e aos discentes.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa.

Ao meu orientador, prof. Dr. Carlos Ledo, pela orientação e confiança.

Aos co-orientadores: Dr. Alfredo Augusto e Dr. Maurício Antônio, pela confiança e direcionamento na pesquisa.

À Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, pela concessão do uso de suas instalações e em especial aos amigos do Laboratório de Fisiologia Vegetal e pós-colheita e do Laboratório de Meteorologia e irrigação, Pedro, Elaine e Tiberio; e aos técnicos do setor de mandioca Fabio e Paulo.

Aos pesquisadores Dr. Jailson e Claudia, pela ajuda nas pesquisas.

Aos amigos do grupo de Pesquisa, na realização do trabalho; Mariza, Leônidas, Diana (UESC), Elder, Ariana, Verônica, Juliana, Valquíria, Thamires, Mayana e Taís.

As minhas grandes amigas e irmãs Laurenice e Vanessa por estarem sempre próximas nos momentos alegres e tristes, por estarem sempre prontas a ajudar, em fim pela amizade.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para o desenvolvimento desta dissertação.

A todos vocês os meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

Página

RESUMO

ABSTRACT

INTRODUÇÃO.....1

Capítulo 1

CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E FISIOLÓGICAS RELACIONADAS À TOLERANCIA À SECA EM MANDIOCA.....10

Capítulo 2

EFEITO DO DEFICIT HÍDRICO NO DESENVOLVIMENTO DE VARIEDADES DE MANDIOCA.....35

CONSIDERAÇÕES FINAIS53

IDENTIFICAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E FISIOLÓGICAS RELACIONADAS COM A TOLERÂNCIA À SECA EM MANDIOCA

Autora: Danila da Silva Fiuza

Orientador: Dr. Carlos Alberto da Silva Ledo

Co-Orientadores: Dr. Alfredo Augusto Cunha Alves e Dr. Mauricio Antonio Coelho Filho

RESUMO: Com o objetivo de estudar o efeito do déficit hídrico em variedades contrastantes de mandioca e identificar genótipos com potencial para tolerância à seca, foram conduzidos dois experimentos na **Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical**, em Cruz das Almas – BA. No primeiro experimento, foram estudadas 28 variedades de mandioca selecionadas como contrastantes para tolerância à seca por meio das seguintes características: Altura de planta, área foliar, comprimento do caule sem folha, retenção foliar, produtividade, condutância estomática e temperatura foliar. Em todas as épocas, foi observada redução nos parâmetros avaliados em resposta a baixos valores de potencial hídrico do solo. A menor sensibilidade ao déficit hídrico foi observada nos genótipos Engana Ladrão, Fio de Ouro e Pretinha V. No segundo experimento foram utilizados quatro variedades contrastantes de mandioca: Engana Ladrão, Tai 8, Pretinha V e COL 1468. Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado com cinco repetições. Os tratamentos foram dois: T₁ - controle; T₂ - deficiência hídrica. As avaliações realizadas foram: Umidade do solo, altura de planta, área foliar total, número de folhas, crescimento da folha, condutância estomática, transpiração, temperatura da folha, conteúdo relativo de água na folha, conteúdo osmótico, massa da matéria seca e taxa de crescimento relativo. As variedades Engana Ladrão e TAI 8 demonstraram maior eficiência nos mecanismos de tolerância em relação às variedades Pretinha V e COL 1468. Os parâmetros utilizados foram capazes de identificar as variedades de mandioca tolerantes ao déficit hídrico.

Palavras-chave: Estresse hídrico, potencial hídrico, resistência à seca.

IDENTIFICATION OF AGRONOMICAL AND PHYSIOLOGICAL TRAITS RELATED TO DROUGHT TOLERANCE IN CASSAVA

Author: Danila da Silva Fiuza

Advisor: Dr. Carlos Alberto da Silva Ledo

Co-Advisors: Dr. Alfredo Augusto Cunha Alves and Dr. Mauricio Antonio Coelho Filho

ABSTRACT: Aiming to study the effect of drought on contrasting varieties of cassava and identify sources of drought tolerance, two experiments were conducted at Embrapa Cassava and Tropical Fruits, in Cruz das Almas, Bahia, Brazil. The first study evaluated 28 varieties, selected as contrasting for drought tolerance. The following traits were evaluated: plant height, leaf area, length of the stem without leaves, leaf retention, productivity, stomatal conductance and leaf temperature. At all times, the evaluated traits were decreased in response to low values of soil water potential. The lower sensitivity of water deficit was observed in genotypes 'Engana Ladrão', 'Fio de Ouro' e 'Pretinha V'. In another experiment four contrasting cassava varieties were used: Engana Ladrão, Tai 8, Pretinha V e COL 1468. A complete randomized design were used, with five replications. The two treatments were: T1 - control, T2 - water deficit. The evaluations were: Soil moisture, plant height, leaf area, leaf number, leaf growth, stomatal conductance, transpiration, leaf temperature, leaf relative water content, osmotic content, dry matter and relative growth rate. The varieties 'Engana Ladrão' and 'Tai 8' had greater efficiency in the mechanism for drought tolerance than 'Pretinha V' and 'COL 1468'. The traits used were able to identify the cassava varieties tolerant to drought.

Key-words: water stress, water potential, drought resistance.

INTRODUÇÃO

Atualmente, a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é a quarta cultura na produção de alimentos mais importante do mundo e a principal na região tropical. A raiz da planta e seus subprodutos são consumidos por mais de 800 milhões de pessoas, segundo a FAO (2007). Em algumas regiões do mundo, como Gana, Nigéria, algumas ilhas da Indonésia e no Nordeste brasileiro, mais de 70% das calorias consumidas diariamente pela população vêm da mandioca (Nassar, 2006).

Planta Eudicotiledônea, da família euphorbiáceae, a mandioca é originária do Brasil, mas é cultivada mundialmente em cerca de 16 milhões de hectares (El-Sharkawy et al., 2008). O Brasil se destaca pela expressiva produção agrícola, sendo atualmente o terceiro maior produtor mundial de mandioca, atrás apenas da Nigéria e Tailândia (FAO, 2009). A produção nacional, em 2007, foi de 26,92 milhões de toneladas de raízes, com área colhida de 1.912.925 ha e produtividade média de 14,07 t.ha⁻¹. As Regiões Norte e Nordeste destacam-se como as maiores consumidoras de raízes de mandioca e produtos derivados. O Estado da Bahia foi o segundo maior produtor de mandioca do Brasil em 2006, ficando atrás apenas do Pará, com produção de 4,36 milhões de toneladas de raízes, apresentando produtividade média de 12,75 t.ha⁻¹, contribuindo com 46% da produção nordestina (IBGE, 2008).

Espécies silvestres do gênero *Manihot* crescem naturalmente em várias partes do país e exibem uma ampla variação genética, concentrada principalmente na América Latina e Caribe, ainda não explorada ou utilizada para gerar cultivares mais resistentes ou de melhor produtividade. Muitos cientistas têm enfatizado a importância, para o desenvolvimento de cultivares melhoradas, utilizando o material genético de tais espécies. Elas têm sido sistematicamente

coletadas, avaliadas e manipuladas visando a incorporação de seus genes úteis em híbridos (Nassar, 2006).

A mandioca é normalmente cultivada em áreas com prolongados períodos de seca (4 a 7 meses); e apesar de ser considerada uma cultura tolerante à seca, a produtividade pode ser reduzida em até 60%, sob condições de déficit hídrico (Connor et al, 1981; Oliveira et al, 1982; Porto et al, 1989). Em condição de disponibilidade de água a mandioca mantém uma alta condutância estomática e pode manter uma alta concentração interna de CO₂, mas quando a água torna-se limitante, os estômatos fecham em resposta a um pequeno decréscimo no potencial hídrico do solo (Connor e Palta 1981; El-Sharkawy e Cock 1987). Além disso, o crescimento da área foliar é reduzido em resposta ao estresse hídrico, sendo rapidamente revertido após a rehidratação (Alves e Setter 2000; Baker et al. 1989; Connor et al., 1981; Palta, 1984). Portanto, a mandioca é tolerante ao déficit hídrico usando um mecanismo de evitação, no qual o comportamento estomático e a taxa de expansão foliar podem responder diretamente à diminuição de água no solo, antes que um déficit de água seja detectado na parte aérea. Nessas condições, a tolerância à seca é um importante atributo para a sobrevivência.

Tolerância à seca em mandioca

O termo seca indica um período sem precipitação apreciável, durante o qual o conteúdo em água do solo é reduzido de tal modo que as plantas sofrem de falta de água. Frequentemente, mas não invariavelmente, a secura do solo está associada a uma forte evaporação causada pela secura do ar e elevados níveis de radiação (Larcher, 1995).

Algumas das primeiras respostas ao estresse parecem ser mediadas predominantemente por acontecimentos biofísicos mais do que por alterações de reações químicas causadas pela desidratação (Taiz e Zeiger, 1998).

A tolerância à seca é um caráter complexo e a eficiência da avaliação fenotípica para o melhoramento é consideravelmente afetada pelo ambiente. Devido à sua inerente tolerância a ambientes estressantes, a mandioca é considerada uma cultura de segurança alimentar, sendo seu cultivo importante

em áreas propensas à seca das regiões tropicais e subtropicais da América Latina, África e Ásia.

A planta de mandioca é extremamente tolerante a condições de seca e, por este motivo, é cultivada em áreas onde as precipitações são elevadas e esporádicas. Nestas circunstâncias a eficiência na utilização da água pode ser mais importante para a planta do que o seu potencial produtivo. No entanto, um aumento da eficiência do uso da água parece estar intimamente associado com as características da troca de gases na folha, justificando, desta forma, a busca de variedades superiores no germoplasma existente.

Estudos realizados em várias culturas revelam que quando o déficit hídrico leva ao fechamento dos estômatos e limita a fotossíntese, uma importante estratégia de adaptação é a mobilização de carboidratos de reserva para manter uma fonte de substrato para o metabolismo e síntese de osmólitos (solutos compatíveis) (Blum, 1998). É possível que a mandioca, com seus tecidos espessos e lenhosos, acumule abundantes reservas de amido no caule, folhas e raízes (incluindo as raízes em pré-tuberização) os quais podem ser mobilizadas durante o estresse e contribuir para a tolerância à seca.

Mesmo considerando que o fechamento estomático leva a uma redução na fotossíntese total e na massa de raízes de reserva, este comportamento é benéfico, pois proporciona um uso mais eficiente da água armazenada no perfil do solo. Por outro lado, sob condições não limitantes de água no solo, ou durante breves períodos de estresse hídrico, este comportamento seria desvantajoso, uma vez que, nessas circunstâncias, a maximização da produtividade da cultura é mais importante que a otimização da eficiência do uso da água.

Outra maneira de aumentar a tolerância à seca é através da acumulação de solutos osmoticamente ativos, para que o turgor e os processos dependentes de turgor possam ser mantidos durante períodos de seca (Pugnaire et al., 1994). Este ajustamento osmótico permite a expansão celular e o crescimento da planta em situações de elevado estresse hídrico, e permite que os estômatos permaneçam parcialmente abertos e que a assimilação de CO₂ continue, mesmo em baixos potenciais de água. Muitos solutos podem ser usados no mecanismo de ajustamento osmótico; dentre eles estão os íons inorgânicos, tais como, Na⁺, K⁺, NO₃⁻ e Cl⁻, que contribuem para grande parte do potencial osmótico de muitas

espécies, mas solutos orgânicos compatíveis são os principais componentes acumulados em plantas vasculares (Morgan, 1984; Munns et al., 1988).

Uma outra reação ao déficit hídrico é o acúmulo de uma série de proteínas específicas que foram descobertas como uma resposta a qualquer tipo de estresse ambiental ou em resposta a ácido abscísico (ABA). Um conjunto dessas proteínas, as "dehydrins", têm considerável homologia de seqüência entre várias espécies. Elas conferem à célula uma função de osmoproteção bem como outros atributos para tolerar a seca (Baker et al., 1988; Bray, 1988; Close et al., 1993).

Sob déficit hídrico, a mandioca rapidamente acumula grande quantidade de ácido abscísico (ABA) nas folhas (Alves e Setter, 2004). Esse acúmulo de ABA ocorre simultaneamente com a redução do crescimento foliar, da taxa de transpiração, e com o fechamento dos estômatos (El-Sharkawy et al., 1992; Duque, 2006). Portanto, a resistência à seca em mandioca pode estar relacionada com a manutenção de um alto potencial hídrico nos tecidos através do fechamento rápido dos estômatos com um mínimo de ajustamento osmótico durante o estresse hídrico (El-Sharkawy, 2003); e a rápida redução do crescimento foliar e fechamento estomático podem ser devido à habilidade da mandioca de sintetizar e acumular ABA no início do período de déficit hídrico (Alves e Setter, 2000).

A estratégia mais econômica e a curto prazo capaz de reduzir os efeitos da seca é o uso de variedades tolerantes. O programa de melhoramento genético de mandioca da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical tem selecionado e recomendado variedades de mandioca adaptadas a diferentes ecossistemas, incluindo a região semi-árida, onde o prolongado período de seca é o principal problema da cultura (Alves, 2006).

Como em outras espécies, o completo benefício deste mecanismo requer uma regulação apropriada das atividades de armazenamento e remobilização. Portanto, a variação genética na regulação dessas atividades pode ser um fator importante que determine diferenças genotípicas para tolerância à seca.

Fisiologia da seca

À medida que o conteúdo em água diminui, a célula reduz o volume cada vez mais, e as paredes relaxam, os solutos ficam cada vez mais concentrados e a membrana plasmática torna-se mais espessa, uma vez que cobre uma área menor. Como a perda de turgidez é o primeiro efeito biofísico da carência hídrica, as atividades relacionadas com a turgidez são as mais sensíveis ao déficit hídrico (Taiz e Zeiger, 1998). O crescimento celular é um processo dependente da turgidez e conseqüentemente é extremamente sensível à deficiência hídrica.

A carência hídrica não limita apenas a dimensão das folhas individuais, mas também o número de folhas numa determinada planta, porque diminui o número e o crescimento dos ramos. O processo do crescimento dos caules é menos estudado, mas provavelmente é afetado pelas mesmas forças que limitam o crescimento foliar durante o stresse (Taiz e Zeiger, 1998). O déficit hídrico provoca alterações na área foliar, no sistema radicular, na abertura estomática, na fotossíntese, na translocação de carboidratos, no ajustamento osmótico, resistência à condução de água e alterações na cutícula. São os chamados mecanismos de tolerância.

Fisiologia estomática

Estômatos são pequenas estruturas epidérmicas existentes principalmente nas folhas, mas podem ser encontrados em frutos, flores e caules jovens, formadas por duas células estomáticas (células guardas), que delimitam uma fenda (ostíolo), duas ou mais células anexas (acessórias ou subsidiárias) adjacentes, e uma câmara sub-estomática, a qual está em conexão com os espaços intercelulares. Através dos estômatos há uma comunicação direta do interior da planta com o ambiente.

As trocas de gases como o gás carbônico, o oxigênio e o vapor de água, entre os tecidos vegetais e a atmosfera ocorrem principalmente através dos estômatos. O mecanismo de abertura e fechamento destas estruturas está diretamente ligado aos processos de transpiração, fotossíntese e respiração, pois a intensidade desses processos depende, principalmente, do grau de abertura dos estômatos.

Além da regulação da abertura estomática de acordo com o estado hídrico da planta, existem numerosos dados que mostram que várias espécies fecham os estômatos com a diminuição do teor em água do solo, mesmo que o estado hídrico da planta não tenha mudado. Isto é, os estômatos fecham mesmo quando as folhas não estão em carência hídrica, desde que pelo menos parte do sistema radicular esteja a experimentar falta de água. Esta resposta dos estômatos pode ser considerada como uma resposta antecipada, na qual um sinal das raízes que estão sob déficit hídrico é transmitido às folhas, de modo a que estas reduzam a perda de água (transpiração) antes da planta, como um todo, sofrer carência hídrica (Mansfiels e Davies, 1985).

As plantas, ao captarem CO₂, inevitavelmente perdem água pelas folhas. Essa perda de água ocorre principalmente através dos estômatos, que apresentam mecanismos para controlar o seu grau de abertura. Esse controle é atribuído à condutância estomática foliar, que é freqüentemente utilizada como indicador da deficiência hídrica (Mc Dermitt, 1990).

O decréscimo na disponibilidade de água no solo ocasiona queda no potencial da água nas folhas das plantas, levando à perda de turgescência e à redução da condutância estomática (Shalhevet, 1983). A redução da taxa de assimilação de CO₂ durante o estresse hídrico deve-se à redução na disponibilidade de CO₂ no interior da folha, causada pelo fechamento dos estômatos em resposta à redução da disponibilidade de água no solo (Rosa et al., 1991). Esse aumento da resistência à difusão gasosa e a diminuição na taxa de assimilação de CO₂ determina menor perda de água por transpiração, além de poder afetar a fotossíntese.

De acordo com Gholz et al. (1990), a disponibilidade de água afeta o crescimento das plantas, por controlar a abertura dos estômatos e, conseqüentemente, a produção de fitomassa. O decréscimo de água no solo diminui o potencial de água na folha e sua condutância estomática, promovendo o fechamento dos estômatos. Esse fechamento bloqueia o fluxo de CO₂ para as folhas, afetando o acúmulo de fotoassimilados, o que pode reduzir a produtividade.

Os mecanismos de resistência à seca podem ser entendidos no sentido de prevenir a queda no potencial de água nos tecidos vegetais (prevenção à seca) ou tolerar a queda no potencial água dos tecidos provocada pela

desidratação celular sem ocorrer danos fatais nos processos metabólicos (tolerância à seca). Portanto, a compreensão dos mecanismos de tolerância a seca pode ser útil em programas de melhoramento, através da transgenia ou do melhoramento clássico, para obtenção de variedades tolerantes, principalmente frente às mudanças climáticas, que tem alterado o regime de distribuição das chuvas (Alves, 2006). Deste modo, o trabalho teve por objetivo estudar o efeito do déficit hídrico na performance de variedades contrastantes e identificar genótipos com tolerância à seca.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, A.A.C.; SETTER, T.L. Response of cassava to water deficit : Leaf area growth and abscisic acid. **Crop Science** v. 40, p. 131-137, 2000.

ALVES, A.A.C.; SETTER, T.L. The Response of cassava leaf area expansion to water deficit: Cell proliferation, cell expansion, and delayed development. **Annals of Botany**, v. 94, p. 605-613, 2004.

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

BAKER J, STEELE C, DURE III L Sequence and characterization of 6 Lea proteins and their genes from cotton. **Plant Mol Biol** 11: (1988) 277-292.

BLUM, A.; SINMENA, B. Isolation and characterization of variant wheat cultivars for ABA sensitivity. **Plant, Cell and Environment**, Logan, v. 18, p. 77-83, 1998.

BRAY EA Drought- and ABA-induced changes in polypeptide and mRNA accumulation in tomato leaves. **Plant Physiol** 88: (1988) 1210-1214.

CLOSE TJ, FENTON RD, YANG A, ASGHAR R, DEMASON DA, CRONE DE, MEYER NC, MOONAN F Dehydrin: The protein. *In*, Close TJ, Bray EA, eds, Plant

response to cellular dehydration during environmental stress, **American Society of Plant Physiologists, Rockville**, (1993) pp. 104-118.

CONNOR, D.J.; PALTA, J. Response of cassava to water shortage. III. Stomatal control of plant water status. **Field Crops Res** 4: (1981), p. 297-311.

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

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. Tese (Mestrado), Cornell University, Ithaca, New York.

EL-SHARKAWY, M. A.; COCK, J. H. **Response of cassava to water stress**. Plant and Soil, Hague, 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. Cassava biology and physiology. **Plant Molecular Biology**, v. 53, p. 621-641, 2003.

EL-SHARKAWY, M.A.; LOPEZ, Y.; BERNAL, L.M. **Genotypic variations in activities of PEPC and correlations with leaf photosynthetic characteristics and crop productivity of cassava grown in low-land seasonally-dry tropics**. **Photosynthetica**, v. 46, cap.2, p. 238-247, 2008.

FAO. **Food and agriculture organization of the united nations**. Disponível em: < www.faostat.fao.org/site/340/default.aspx > Acesso em: 30 de janeiro de 2007.

GHOLZ, H.L.; EWEL, K.C.; TESKEY, R.O. Water and forest productivity. *Forest Ecological Management*, Amsterdam, v.30, n.1, p.1-18, 1990.

LARCHER W. *Physiological plant ecology*. 1995.

McDermitt D.K., 1990. Sources of error in the estimation of stomatal conductance and transpiration from porometer data. **HortScience**, 25 (12), 1538-48.

MANSFIELD, T.A. & DAVIES, W.J. 1985. Mechanisms for leaf control of gas exchange. **BioScience** 35:158-164.

Morgan, J.M., 1984. Osmoregulation and water stress in higher plants. **Annu. Rev. Plant Physiol.**, 35: 299–319

Munns, S.R., 1988. Why measure osmotic adjustment? *Aust. J. Plant Physiol.*, 83: 703–8

NASSAR, N.M.A. Mandioca: Uma opção contra a fome - estudos e lições do Brasil e do mundo. **Ciência hoje**, vol. 39, n. 231, 2006, p. 31-34.

OLIVEIRA, S.L.; MACEDO, M.M.C.; PORTO, M.C.M.. Effects of water stress on cassava root production. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.17, n.1, p.121-124. 1982.

PALTA, J. A. Influence of water deficits on gas-exchange and the leaf area development of cassava cultivars. **Journal of Experimental Botany**, London, v. 35, p. 1441-1449, 1984.

PORTO MCM, COCK JH, CADENA GG, PARRA GE, HERNANDEZ AP. Acúmulo e distribuição de matéria seca em mandioca submetida a deficiência hídrica. **Pesq Agropec Bras** 24: (1989) 557-565

PUGNAIRE, F. I.; ENDOLZ, L. S.; PARDOS, J. Constraints by water stress on plant growth. In: PESSARAKLI, M. (Ed.). **Handbook of plant and crop stress**. New York: Marcel Dekker, 1994. p. 247-259.

ROSA, L.M.; DILLENBURG, L.R.; FORSETH, I.N. Responses of soybean leaf angle, photosynthesis and stomatal conductance to leaf and soil water potential. *Annals of Botany*, London, v.67, n.1, p.51-8, 1991.

SHALHEVET, J. Plants under salt and water stress. In: FOWDEN, L.; MANSFIELD, T.; STODDART, J. *Plant adaptation to environmental stress*. London: Chapman & Hall, 1983. cap 7, p.133-54.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. California, The Benjamin/Cummings Publishing Co., 1998, 559 p.

CAPÍTULO 1

CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E FISIOLÓGICAS RELACIONADAS À TOLERANCIA À SECA EM MANDIOCA

CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E FISIOLÓGICAS RELACIONADAS À TOLERANCIA À SECA EM MANDIOCA

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar o germoplasma de mandioca utilizando parâmetros fisiológicos relacionados com resistência à seca e identificar genótipos de mandioca com resistência à seca, para serem utilizados em programas de melhoramento genético. Foram avaliadas 28 variedades de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), selecionadas como contrastantes para tolerância à seca: Aipim Bravo (2); Amansa burro (8); Cacau (14); Cachimbo (18); Cigana Preta (20); CM 3306-9 (26); COL 1725 (29); Do Céu (32); Engana Ladrão(41); Fio de Ouro(45); Guaiana (49); Jaboti (53); Macaxeira Preta (55); Manca (57); Manteiga 1 (58); Maragogipe (66); Mocotó (71); Paraguai SR-11 (74); Paulo Rosa (78); Pretinha V (84); Rosa (87); Sacaí (93); São João (98); Saracura (105); SM 1438-2 (106); TAI 8 (108); VEN 77 (110); Venezuelana 1 (111). As variedades foram dispostas num esquema experimental inteiramente casualizado, onde foram selecionadas aleatoriamente três plantas de cada variedade para realização das avaliações. Cada planta constituía-se em uma parcela experimental. Foram avaliados: Altura de plantas, área foliar, comprimento do caule sem folha, retenção foliar, produtividade, condutância estomática e temperatura foliar. Em todas as épocas, foi observada redução na altura de planta, área foliar e retenção foliar, em resposta a baixos valores de potencial hídrico do solo. O período intermediário é o melhor para analisar as respostas das plantas ao déficit hídrico, sendo possível discriminar melhor as variedades. Em todas as épocas, as variedades Pretinha, Do Céu e Sacaí apresentaram maior condutância estomática. E as variedades com menor sensibilidade ao déficit hídrico foram Engana Ladrão, Fio de Ouro e Pretinha V.

Palavras-chave: Estresse hídrico, condutância estomática, resistência à seca.

AGRONOMICAL AND PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS RELATED TO TOLERANCE TO DROUGHT IN CASSAVA.

ABSTRACT: The purpose of this chapter was to evaluate the germplasm of cassava using physiological parameters related to drought resistance and identify cassava genotypes with drought resistance source which is use for genetic improvement progromme. 28 varieties of casssva were randomly arrengeed(*Manihot esculenta* Crantz) selected as contrasting for drought tolerance: Aipim Bravo (2); Amansa burro (8); Cacau (14); Cachimbo (18); Cigana Preta (20); CM 3306-9 (26); COL 1725 (29); Do Céu (32); Engana Ladrão(41); Fio de Ouro(45); Guaiana (49); Jaboti (53); Macaxeira Preta (55); Manca (57); Manteiga 1 (58); Maragogipe (66); Mocotó (71); Paraguai SR-11 (74); Paulo Rosa (78); Pretinha V (84); Rosa (87); Sacai (93); São João (98); Saracura (105); SM 1438-2 (106); TAI 8 (108); VEN 77 (110); Venezolana 1 (111). The varieties were randomly arranged, where they were randomly selected from three typesof plants of each variety for conducting the assessments described below as each plant was in an experimental plot. Were evaluated: plant height, leaf area, length without leaves, leaf retention, productivity, stomatal conductance and leaf temperature. In all seasons, a decrease in plant height, leaf area and leaf retention in response to low values of soil water potential. The dry period was not an appropriate time to notice the contrast between the varieties. In all seasons the black varieties, The Sky and Sacai presented highest stomatal conductance. The lower sensitivity of water deficit was observed in genotypes Engna Ladrão, Fio de Ouro and Pretinha V.

Key-words: water stress, stomatal conductance, drought resistance.

INTRODUÇÃO

A cultura da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) apresenta uma ampla diversidade genética concentrada principalmente na América Latina e Caribe. Essa diversidade genética é resultado da seleção natural ocorrida durante a evolução dessa espécie, na pré e pós-domesticação. Nos diversos ambientes onde a mandioca se diversificou, a seleção resultou numa ampla diversidade de clones, com adaptação específica a determinados ecossistemas (Hershey, 1988).

A diversidade genética de mandioca existente no Brasil representa uma ampla base genética para programas de melhoramento com a cultura nos trópicos, por concentrar genes que conferem resistência às principais pragas e doenças que afetam o cultivo, além de adaptação a diferentes condições edafoclimáticas.

O que existe coletado e disponível nas coleções e bancos de germoplasma do mundo, apresenta suficiente grau de variabilidade para fornecer aos melhoristas a maioria dos caracteres de interesse econômico. No Brasil, dentro da espécie *Manihot esculenta*, já foi identificada diversidade genética para quase todos os caracteres, incluindo aqueles de natureza morfológica, agrônômica e de resistência às principais pragas e doenças que afetam a cultura no país (Fukuda *et al.*, 1996).

Embora a mandioca seja considerada uma espécie tolerante ao déficit hídrico, o crescimento e rendimento são reduzidos por prolongados períodos de seca. Um dos mecanismos que a cultura possui para reduzir o efeito da seca é a redução da superfície transpirante, com a abscisão foliar e conseqüente redução da taxa de crescimento. O rendimento de raízes depende da duração do déficit hídrico, e é determinado pela sensibilidade da planta ao estresse, em um particular estágio de crescimento.

A mandioca apresenta um controle estomático eficiente sobre as trocas gasosas, a fim de reduzir as perdas de água quando as plantas são sujeitas ao déficit de água no solo, ou a altas demandas evaporativas da atmosfera, protegendo, portanto as folhas de uma desidratação severa. Durante déficits

hídricos prolongados, a mandioca reduz a área de sua copa, através de perda das folhas mais velhas e formação de novas e menores folhas, reduzindo a interceptação da luz, que é outra característica de adaptação à seca. Apesar de produção de raízes ser reduzida, porém muito menos que a redução do crescimento da parte aérea, sob seca, a cultura pode recuperar-se quando a água se torna disponível, via a rápida formação de novas folhas, com taxas fotossintéticas muito maiores que as de plantas não-estressadas, de modo a compensar pelas perdas de produção. Com efeito, a produção aproxima-se da produção de cultivos bem irrigados.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o germoplasma de mandioca utilizando parâmetros fisiológicos relacionados com a resistência à seca; e identificar genótipos de mandioca com resistência à seca para serem utilizados em programas de melhoramento genético.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no campo experimental da **Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical**, em Cruz das Almas – BA, situada a 12°40'19" de Latitude Sul e 39°06'22" de Longitude Oeste, a 220 m de altitude. O clima é tropical quente e úmido, Aw a Am, segundo a classificação de Köppen, com temperaturas médias anuais de 24,5°C e umidade relativa de 80%. Na Tabela 1 encontram-se os valores de temperatura, precipitação e umidade relativa, referentes ao período de avaliação, entre setembro de 2008 e abril de 2009. O experimento foi instalado em um Latossolo Amarelo Distrófico, bem drenado, profundo, de textura média e de médios teores de argila.

Tabela 1. Temperatura média, precipitação e evapotranspiração no período de Setembro de 2008 a Março de 2009.

Meses	Temperatura média (°C)	Precipitação (mm)	Evapotranspiração
SETEMBRO	21,736	26,0	28,508
OUTUBRO	23,096	8,0	34,183
NOVEMBRO	24,706	4,1	41,521
DEZEMBRO	25,488	13,6	45,515
JANEIRO	25,93	13,9	47,382
FEVEREIRO	25,694	20,7	45,440
MARÇO	26,598	5,5	48,205

Fonte: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2010.

Foram avaliadas 28 variedades de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), selecionadas como contrastantes em relação à tolerância à seca (Tabela 2).

As variedades foram dispostos num esquema experimental inteiramente casualizado, no qual foram selecionadas aleatoriamente três plantas de cada variedade para realização das avaliações. Cada planta constituía-se em uma parcela experimental.

Tabela 2. Variedades de mandioca contrastantes para tolerância à seca. TOL = tolerante à seca, SUS = suscetível à seca e DES = desconhecido.

Nome da variedade	Tipo	Nome da variedade	Tipo
Cacau	SUS	Do Céu	TOL
Cachimbo	SUS	Engana Ladrão	TOL
Jaboti	SUS	Macaxeira Preta	TOL
Paulo Rosa	SUS	Sacaí	TOL
Pretinha V	SUS	TAI 8	TOL
VEN 77	SUS	São João	TOL
Fio de Ouro	SUS	Rosa	TOL
Mocotó	SUS	Saracura	TOL
Paraguai SR-11	SUS	Manteiga	TOL
		Amansa burro	TOL
CM 3306-9	DES	Aipim bravo	TOL
COL 1725	DES	Cigana Preta	TOL
Maragogipe	DES	Guaiana	TOL
SM 1438-2	DES	Venezolana 1	TOL
		Manca	TOL

Seis meses após o plantio, em outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março, foram avaliados os seguintes caracteres:

- **Altura de plantas:** medida com o auxílio de uma trena, posicionada desde o nível do solo até o ponto mais alto da planta.
- **Comprimento do caule sem folha:** medida com o auxílio de uma trena desde a base até a altura em que se encontra a primeira folha da haste principal.
- **Retenção foliar:** realizado mediante a estimativa visual da porcentagem de folhas existentes na planta _ Se a planta apresentar folhas desde a base do solo ao ápice esta tem 100% de retenção foliar.
- **Área foliar:** o lóbulo central da folha completamente expandida de cada planta foi medido com o auxílio de régua no seu comprimento e largura. A área foliar foi estimada usando a relação $AF = aL^b$, onde L é o comprimento do lóbulo central e a e b são coeficientes determinado de acordo com a forma do lóbulo central. A razão do comprimento pela largura gerou os índices para cada forma, que foram:

Linear de 9 a 13; Hasteada de 6 a 8; Lanceolada de 5 a 6; Oblongo 4 e Obovate 3. As equações utilizadas para as diferentes formas foram: linear: $0,2142L^{2,2038}$; Hasteada: $0,2689L^{2,2225}$; Lanceolada: $0,7551L^{1,8964}$; Oblongo: $0,9441L^{1,8985}$ e Obovate: $1,6507L^{1,7806}$ (Alves & Setter, 2000)

- **Produtividade:** peso das raízes tuberosas, em kg por planta. Avaliação realizada no mês de julho de 2009.

- **Condutância estomática e temperatura foliar:** foram realizadas utilizando-se um porômetro de difusão (Leaf porometer, model sc-1, Decagon). As medições foram feitas nas folhas completamente expandidas, localizadas na parte superior da planta, exposta à radiação solar. As medições foram realizadas entre 11h e 13h. Visando diminuir o efeito do tempo nas avaliações, estas eram realizadas na planta 1 de todos os genótipos, seguido da planta 2 e por fim a planta 3, obtendo assim homogeneidade nos dados. As avaliações do período chuvoso foram realizadas no mês de setembro, e as avaliações de seca foram realizadas nos meses de março e abril.

Com o término das avaliações, os dados foram tabulados e submetidos a análise de variância, por meio do programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2000). As medias foram agrupadas conforme o teste de Scott & Knott (1974), a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As avaliações de crescimento e de caráter agrônômico foram realizadas num período considerado seco para a região. É possível observar (Figura 1B) que exatamente no período compreendido entre outubro de 2008 e abril de 2009 ocorreu déficit hídrico na região, porém os meses de outubro e novembro podem ser considerados intermediários (Figura 1A), por apresentar disponibilidade hídrica para as plantas, não por haver chuva neste período, mas por estar próximo ao período de chuvas, setembro.

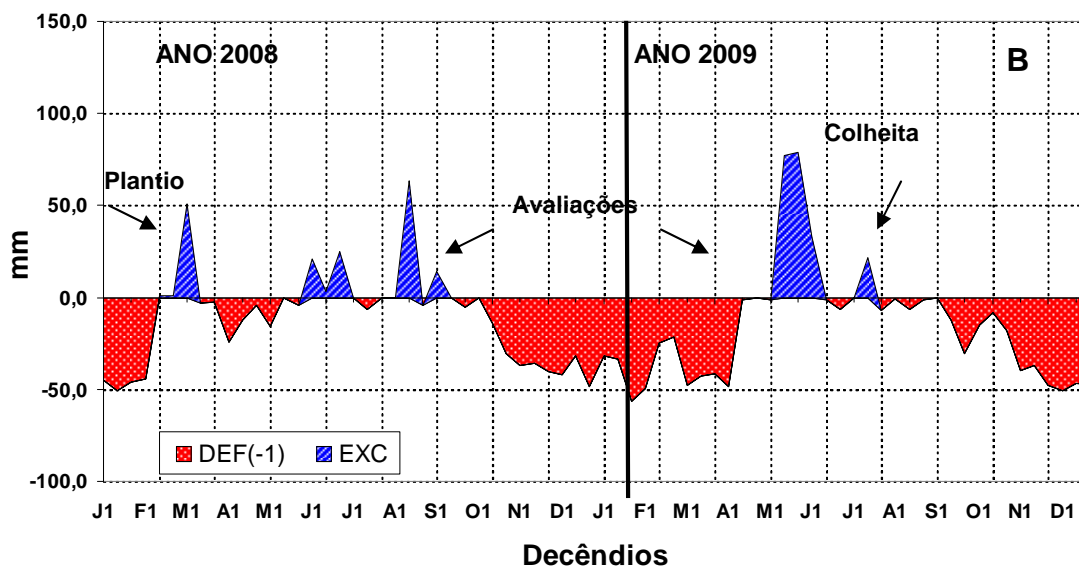
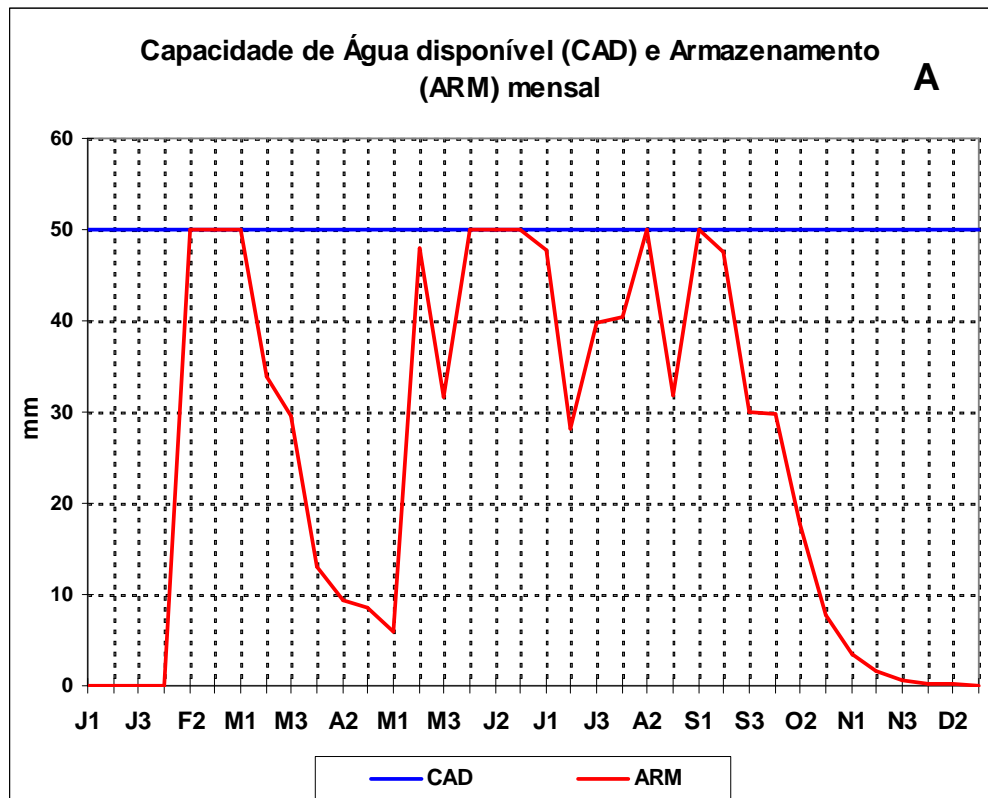


Figura 1. Capacidade de água disponível (CAD) e armazenamento (ARM), mensal (A) do ano de 2008, e Balanço hídrico seqüencial de Cruz das Almas dos anos de 2008 e 2009 (B).

A partir dos dados de crescimento pode-se inferir atividade fisiológica, isto é, estimar, de forma precisa as causas de variações de crescimento entre plantas geneticamente diferentes.

Pode-se observar na Tabela 1 que as variedades Engana Ladrão e Fio de Ouro alcançaram um aumento superior a 38% na altura, seguido pela Venezuelana, Pretinha V, Rosa, Jaboti e Maragogipe com 35,6%, 33,83%, 33,22%, 32,33% e 32,15%, respectivamente. Esses clones figuraram entre os genótipos com um maior incremento em altura, e a maioria deles alcançaram também a maior altura em todo o período, com exceção da Venezuelana e Jaboti, que apresentaram altura significativamente menor em todo o período, isto é, são genótipos de baixo porte, sendo esta uma característica inerente ao próprio genótipo. Os genótipos Macaxeira Preta, Guaiana e Paulo Rosa, todos com menos de 10% em acréscimo na altura nos seis meses de avaliação, foram os genótipos que menos obtiveram aumento, sendo estas variedades, provavelmente, suscetíveis ao déficit hídrico.

O crescimento depende da divisão celular, do alongamento e da diferenciação, e todos estes processos são afetados pelo déficit hídrico, devido à perda da turgescência (Tezara et al., 2002). Como o alongamento celular cessa antes da interrupção da fotossíntese, alguns autores sugerem que metabólitos osmoprotetores que possam ter sido acumulados durante o período em que o alongamento foi inibido pela falta de turgescência sejam depois utilizados na síntese da parede celular e para outros processos associados com o crescimento, após a turgescência ter sido restabelecida (Chaves et al., 2002).

Tabela 1. Altura das plantas (cm) no decorrer do tempo nas variedades de mandioca avaliadas e crescimento dado pela diferença entre o mês final e o mês inicial.

Variedades	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	Crescimento (%)
Aipim Bravo	163,33b	171,33b	166,67c	169,00c	184,00a	192,67c	15,22
Amansa Burro	186,00a	186,00a	189,33b	196,00b	216,00a	232,67b	20,06
Cigana preta	172,33a	183,33a	189,33	195,00b	206,67a	221,33b	22,14
Do Céu	114,67c	123,00d	130,33e	140,00d	154,67b	166,33c	31,06
Engana Ladrão	171,33a	195,67a	211,33a	234,33a	260,67a	277,67a	38,29
Guaiana	132,00c	131,00c	124,6e	128,33	135,33b	140,00d	5,714
Macaxeira	125,67c	120,00d	124,67e	128	131,67b	133,00d	5,51
Manca	145,00c	157,33b	167,67c	171,67c	184,67a	191,67c	24,35
Manteiga	107,67d	128,67c	142,67d	155,00c	155,33b	158,00d	31,85
Rosa	131,33c	152,33c	156,00d	160,67c	173,33a	196,67c	33,22
Sacaí	142,33c	156,67b	163,33c	169,67c	179,67a	197,33c	27,87
São João	123,67c	138,00c	147,00d	156,33c	162,67b	159,00d	22,22
Saracura	120,67c	138,67c	142,67d	150,33c	160,33b	157,67d	23,47
TAI 8	103,67d	116,33d	137,67d	159,00c	138,67b	141,33d	26,65
Venezolana	72,33d	94,67d	95,67e	96,67d	105,33b	112,33d	35,6

CM 3306-9	115,00c	110,67d	114,33e	115,33d	120,67b	129,00d	10,85
COL 1725	130,00c	133,00c	140,33d	148,33c	147,33b	166,33c	21,84
SM 1438-2	122,33c	145,00c	155,33d	166,00c	172,00a	179,67c	31,91
Cacau	139,00c	145,33b	151,00d	157,00c	161,00b	171,00c	18,71
Cachimbo	176,67a	180,33b	180,67c	160,67c	199,67a	227,33b	22,28
Fio de Ouro	135,33c	159,33b	173,00b	182,33b	207,33a	221,67b	38,95
Jaboti	97,67d	107,00d	119,00e	126,00d	135,00b	144,33d	32,33
Maragogipe	153,33b	173,00b	190,67b	209,00b	210,67a	226,00b	32,15
Mocotó	201,67a	210,67a	193,67b	243,00a	187,33a	264,00a	23,61
Paraguai	153,67b	137,67c	165,00c	191,00b	196,00a	200,67c	23,42
Paulo Rosa	161,33b	167,67b	168,00c	169,67c	177,67a	177,67c	9,19
Pretinha V	178,67a	209,00a	223,33a	231,33a	186,67a	270,00a	33,83
VEN 77	128,67c	135,67c	137,67d	140,67	161,33b	168,33c	23,56
CV	9,81	11,61	11,24	10,93	15,58	13,76	

*Medias foram agrupadas pelo teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade.

A Tabela 2 mostra o comportamento dos genótipos com relação à área foliar. Observa-se que no mês de outubro, mês com maior disponibilidade de água no solo, houve uma variabilidade maior entre os genótipos estudados, em comparação aos demais meses. Os genótipos Fio de Ouro, Engana Ladrão, Maragogipe e Cigana Preta destacaram-se, por apresentar maior área foliar em todo o período de avaliação. As variedades COL e Guaiana, foram as que menos reduziram sua área foliar no período, com redução de 22,36% e 37,96%, respectivamente. Em contrapartida, as variedades que tiveram um maior percentual de redução foram Pretinha V, Fio de Ouro, Manteiga 1, Aipim Bravo e Engana Ladrão, com 318,63%, 286,55%, 276,80%, 266,85% e 226,00% respectivamente, sendo as duas primeiras consideradas suscetíveis e as três seguintes, tolerantes. Tendo em vista que quanto maior a área foliar maior a quantidade de água para a realização de trocas de gases com a atmosfera, os genótipos que mais reduziram sua área foliar são aqueles mais eficientes no uso da água, e portanto, mais tolerantes à deficiência hídrica, porém isso pode refletir-se na produtividade da cultura.

A redução da expansão celular, em plantas sob deficiência hídrica, possivelmente está associada com a redução no potencial de turgescência, que causa diminuição da pressão da água sobre a parede celular, pressão esta que causa a expansão celular (Van Volkenburgh & Cleland 1984; Rosenthal *et al.* 1987), ou então, com alterações no balanço hormonal de citocininas ou ácido abscísico, alterações estas que podem causar redução na extensibilidade da parede celular e, em conseqüência, no crescimento foliar (Chapin 1991, Larcher 2000).

Tabela 2. Área do limbo de uma folha (cm²) no decorrer do tempo em 28 variedades de mandioca.

Variedades	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	Redução (%)
Aipim Bravo	225,00b	159,00a	114,00b	100,67b	48,67b	61,33b	266,85
Amansa Burro	166,00c	146,67a	110,00b	103,67b	51,67b	90,00a	84,44
Cigana Preta	256,33a	158,33a	139,67a	130,67b	104,67a	99,00a	158,92
Do Céu	115,67d	69,33b	79,33b	64,33b	43,00b	59,67b	93,85
Engana Ladrão	271,67a	150,33a	146,67a	154,00a	115,67a	83,33a	226
Guaiana	99,33d	112,00b	89,33b	70,33b	101,00a	72,00a	37,96
Macaxeira	171,67c	178,00a	155,33a	138,33b	113,67a	98,67a	73,99
Manca	132,33d	117,33b	108,00b	81,67b	51,67b	69,33b	90,87
Manteiga	173,33c	105,00b	137,67a	123,67b	117,00a	46,00b	276,81
Rosa	217,33b	149,00a	159,33a	185,67a	67,00b	76,67a	183,48
Sacaí	187,00c	108,00b	111,33b	125,33b	68,33b	62,67b	198,4
São João	214,00b	122,67b	104,33b	84,67b	60,00b	78,33a	173,19
Saracura	99,33d	81,33b	78,33b	60,67b	40,00b	49,33b	101,35
TAI 8	190,33c	163,00a	117,33b	109,00b	53,00b	77,67a	145,06
Venezolana	191,00c	165,33a	176,00a	213,33a	89,67a	62,33b	206,42
CM 3306-9	138,67d	106,00b	106,00b	113,67b	67,33b	76,33a	81,66
COL 1725	131,33d	112,67b	122,33b	94,67b	96,67a	107,33a	22,36
SM 1438-2	160,67c	129,00b	121,67b	104,67b	46,67b	66,67b	141
Cacau	144,67d	112,00b	112,00b	118,33b	63,00b	65,67b	120,3
Cachimbo	169,67c	114,67b	106,00b	92,00b	51,67b	74,67a	127,23
Fio de Ouro	306,67a	150,33a	141,33a	116,33b	100,67a	79,33a	286,55
Jaboti	141,00d	102,00b	110,33b	103,00b	81,67b	69,00b	104,35
Maragogipe	258,00a	172,67a	166,67a	182,00a	135,00a	91,33a	182,48
Mocotó	173,67c	103,00b	110,33b	106,33b	71,67b	81,67a	112,65
Paraguai	210,33b	149,00a	110,67b	108,67b	66,00b	83,67a	151,39
Paulo Rosa	213,67b	99,00b	108,00b	100,00b	65,00b	81,00a	163,79
Pretinha	224,67b	108,00b	129,00a	128,33b	101,00a	53,67b	318,63
VEN 77	105,33d	60,67b	70,33b	88,00b	61,67b	33,67b	212,87
CV	18	31,81	19,62	26,99	25,32	23,06	

*Medias foram agrupadas pelo teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade.

A vida da folha (da emergência até a abscisão) depende da variedade, nível de sombreamento, déficit hídrico e temperatura (Cock et al., 1979; Irikura et al., 1979), e pode variar de 40 a 210 dias, mas comumente persiste de 60 a 120 dias (Cock, 1984).

Quando a temperatura diminui, o desenvolvimento da área foliar torna-se mais lento, porque o tamanho máximo das folhas individuais é menor e menos folhas são produzidas em cada ápice, embora a vida da folha seja aumentada (Irikura et al., 1979). Com temperaturas entre 15°C a 24°C, as folhas mantêm-se na planta até 200 dias (Irikura et al., 1979), enquanto que, com temperaturas mais altas, a vida da folha chega a 120 dias (Splittstoesser & Tunya, 1992).

Para o caráter retenção foliar (tabela 3), observa-se que os maiores valores foram alcançados no mês de outubro, onde observou-se também um maior contraste entre os genótipos. As variedades Saracura, Engana Ladrão, Jaboti, COL 1725 e TAI 8, alcançaram maiores percentagens em todos os meses, exceto no mês de outubro de 2008.

A redução do número de folhas em plantas sob estresse hídrico pode ser considerada como uma estratégia de sobrevivência sob condições adversas, para evitar a perda de água por transpiração (Kozlowski, 1976). As variedades que mais reduziram a percentagem do número de folhas foram Macaxeira Preta, Pretinha V, SM 1438-2 e São João, todas com mais de 70% de redução na retenção foliar. As que menos reduziram foram Manteiga e Jaboti, ambos com menos de 20%.

Tabela 3. Retenção foliar (%) no decorrer do tempo nas variedades avaliadas.

Variedades	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	Redução
Aipim Bravo	66,67a	31,67b	38,33a	38,33a	26,67b	30,00a	55,00
Amansa Burro	55,00b	28,33b	26,67b	20,00b	10,00b	18,33b	66,67
Cigana Preta	50,00c	20,00b	21,67b	23,33b	18,33b	20,00b	60,00
Do Céu	48,33c	30,00b	28,33b	26,67b	23,33b	30,00a	37,93
Engana Ladrão	50,00c	41,67a	36,67a	36,67a	40,00a	30,00a	40,00
Guaiana	50,00c	35,00b	28,33b	21,67b	40,00a	28,33a	43,34
Macaxeira	50,00c	40,00a	28,33b	25,00b	55,00a	8,33b	83,34
Manca	50,00c	43,33a	38,33a	38,33a	31,67a	23,33b	53,34
Manteiga	40,00d	41,67a	33,33b	33,33a	30,00b	33,33a	16,68
Rosa	50,00c	43,33a	43,33a	50,00a	33,33a	21,67b	56,66
Sacaí	33,33d	28,33b	26,67b	21,67b	23,33b	15,00b	55,00
São João	60,00b	50,00a	33,33b	23,33b	40,00a	16,67b	72,22
Saracura	50,00c	43,33a	45,00a	43,33a	46,67a	35,00a	30,00
TAI 8	43,33d	43,33a	38,33a	36,67a	33,33a	31,67a	26,91
Venezolana	45,00c	50,00a	45,00a	43,33a	43,33a	15,00b	66,67
CM 3306-9	50,00c	33,33b	26,67b	23,33b	36,67a	33,33a	33,34
COL 1725	46,67c	50,00a	41,67a	33,33a	33,33a	26,67a	42,85
SM 1438-2	68,33a	56,67a	43,33a	33,33a	30,00b	16,67b	75,60
Cacau	41,67d	23,33b	23,33b	30,00b	23,33b	30,00a	28,01
Cachimbo	50,00c	31,67b	23,33b	16,67b	16,67b	23,33b	53,34
Fio de Ouro	55,00b	43,33a	41,67a	40,00a	26,67b	20,00b	63,64
Jaboti	46,67c	43,33a	41,67a	40,00a	41,67a	38,33a	17,87
Maragogipe	50,00c	33,33b	26,67b	33,33a	26,67b	23,33b	53,34
Mocotó	50,00c	36,67b	25,00b	20,00b	16,67b	15,00b	70,00
Paraguai	63,33a	45,00a	41,67a	40,00a	26,67b	20,00b	68,42
Paulo Rosa	55,00b	38,33a	31,67b	26,67b	21,67b	16,67b	69,69
Pretinha	58,33b	36,67b	30,00b	23,33b	20,00b	13,33b	77,15
VEN 77	38,33d	26,67b	23,33b	15,00b	33,33a	15,00b	60,87
CV	9,1	18,64	21,6	27,68	33,1	41,99	

*Medias foram agrupadas pelo teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade.

O comprimento do caule sem folha (Figura 2), é usado para quantificar o grau de retenção foliar. Este caráter apresentou o comportamento inverso ao da retenção foliar aumentando do mês de outubro de 2008 a março de 2009, o que se deve à perda das folhas.

Rocha et al. (2001), trabalhando com três cultivares de *Vigna unguiculata* submetidas à deficiência hídrica, observaram que o número de folhas reduziu-se em todas as cultivares, e que a redução foi mais acentuada quando as plantas foram submetidas a períodos de 30 e 45 dias de estresse.

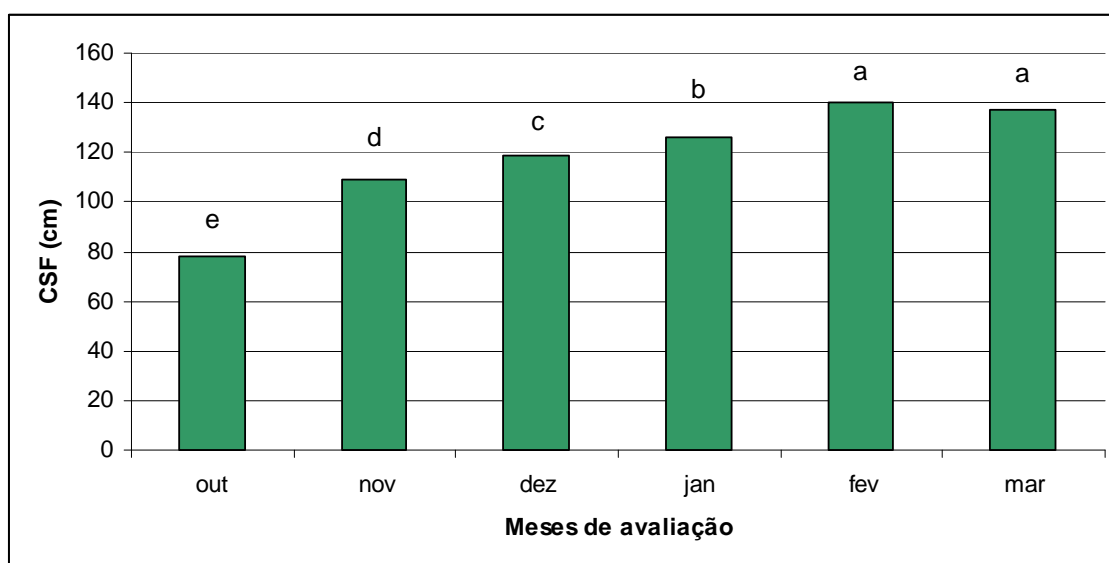


Figura 2. Média geral da altura sem folha (ASF), correspondente à senescência foliar, de 28 variedades de mandioca.

A condutância estomática (Tabela 5) foi medida em três períodos: chuvoso (Setembro de 2008), intermediário (Novembro de 2008) e seco (Março e abril de 2009), como observa-se na Figura 1B. No geral, no período chuvoso todos os genótipos apresentaram maior condutância estomática, o que significa dizer que os estômatos estavam abertos e as trocas gasosas ocorriam com menor resistência, conforme verificado anteriormente. Moraes et al. (1989), estudando espécies do cerrado, encontrou valores mais elevados de condutância foliar na estação chuvosa. Neste período ocorreu uma maior diferenciação entre os genótipos, por haver disponibilidade hídrica no solo e elevada demanda atmosférica, o que leva as variedades a expressar o máximo de seu potencial nas

trocas gasosas. As variedades que se destacaram foram Pretinha V (84), Do Céu (32) e Sacaí (93).

A maioria das variedades consideradas tolerantes apresentou elevada condutância estomática, no período chuvoso, embora algumas variedades consideradas tolerantes tenham apresentado valores significativamente menores, a exemplo do Aipim Bravo, da Guaiana e da Manteiga 1, porém isso não significa dizer que não são eficientes na captação de CO₂, pois levando-se em consideração o horário das avaliações, que era o de maior demanda atmosférica, esta pode ser uma estratégia das variedades para evitar perda excessiva de água no horário mais crítico do dia. Várias espécies fecham os estômatos com a diminuição do teor de água do solo, mesmo que o estado hídrico da planta não tenha mudado, como observado no período chuvoso. Porém, os estômatos podem fechar mesmo quando as folhas não estão em carência hídrica, desde que pelo menos parte do sistema radicular esteja experimentando falta de água. Esta resposta dos estômatos pode ser considerada um sinal das raízes transmitido às folhas, de modo a que estas reduzam a perda de água (transpiração) antes da planta apresentar sintomas de deficiência hídrica (Mansfiels & Davies, 1985). O decréscimo de água no solo diminui o potencial de água na folha e sua condutância estomática, promovendo o fechamento dos estômatos. Esse fechamento bloqueia o fluxo de CO₂ para as folhas, afetando o acúmulo de fotoassimilados, o que pode reduzir a produtividade (Gholz et al., 1990).

No período intermediário (tabela 5), além de se observar uma redução na condutância estomática, também observou-se redução na diferença entre os genótipos. Os valores de condutância estomática, significativamente menores, variaram de 13,43 a 115 87 mmol.m⁻².s⁻¹, com destaque para Cachimbo, Paulo Rosa (ambas consideradas suscetíveis), Manca, Aipim Bravo, Amansa Burro e Do Céu (consideradas tolerantes), todas com condutância estomática menores que 70 mmol.m⁻².s⁻¹. As de maior condutância neste período, tiveram valores variando entre 132,83 a 225,00 mmol.m⁻².s⁻¹, com destaque para Cacau, Venezuelana e COL 1725, com valores superiores a 200 mmol.m⁻².s⁻¹, valores considerados altos até para o período chuvoso. No período seco, a redução na condutância estomática foi ainda maior, em resposta ao déficit hídrico não havendo diferença estatística entre as variedades. A condutância estomática neste período variou de 11,2 a 74,98 mmol.m⁻².s⁻¹.

Segundo Larcher (2000), a transpiração e a resistência difusiva (que é inversamente proporcional à condutância estomática) são processos que têm sido correlacionados ao déficit hídrico. Em condições normais, a taxa de transpiração nas folhas é determinada especialmente pela radiação, déficit de saturação e pela condutância estomática.

A temperatura foliar (Tabela 5) foi inversamente proporcional à condutância estomática. Nota-se que no período chuvoso, a temperatura da folha foi menor, por haver água disponível na planta, promovendo assim, um efeito arrefecedor na folha. Por outro lado, a água contida na folha, num período de radiação solar intensa, e não havendo transpiração suficiente, pode elevar a temperatura foliar, como observado no período intermediário. O aumento de temperatura de apenas dois ou três graus, pode aumentar drasticamente o gradiente de difusão do vapor de água, resultando num aumento da transpiração e possivelmente, no aumento da carência hídrica da folha (Sebanek, 1992).

Tabela 5. Condutância estomática ($\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) e temperatura foliar de 28 variedades de mandioca, nos períodos chuvoso, intermediário e seco.

variedades	chuvoso		intermediário		seco	
	CE ($\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	CE ($\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	CE ($\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)
Aipim Bravo	138,06e	30,12b	53,1b	35,60a	67,12a	32,64a
Amansa Burro	184,75d	30,27b	61,2b	36,03a	27,54a	33,49a
Cigana Preta	191,81d	30,58b	81,40b	36,63a	74,98a	33,91a
Do Céu	249,97b	30,9b	69,33b	36,50a	15,74a	34,25a
Engana Ladrão	191,22d	30,85b	132,83a	36,93a	35,40a	34,74a
Guaiana	147,89e	30,7b	106,63b	36,43a	16,19a	34,87a
Macaxeira Preta	193,04d	30,6b	141,67a	35,97a	19,37a	34,72a
Manca	219,93c	30,61b	37,30b	36,00a	11,93a	34,77a
Manteiga	161,63e	31,97a	112,23b	36,87a	24,23a	34,31a
Rosa	186,9d	31,12b	115,87b	36,60a	18,42a	35,48a
Sacaí	248,22b	30,94b	148,37a	36,57a	24,48a	35,45a
São João	208,39c	30,92b	127,80a	36,53a	29,88a	35,12a
Saracura	176,27d	30,99b	134,10a	36,37a	31,01a	35,04a
TAI 8	179,34d	30,94b	163,43a	36,13a	47,19a	35,11a
Venezolana 1	185,13d	30,75b	211,83a	35,93a	27,53a	30,78a
Cacau	123,63e	30,342b	225,0a	36,33a	56,05a	34,07a
Cachimbo	191,84d	30,48b	13,43b	36,57a	36,44a	34,24a
CM 3306-9	228,1c	30,59b	187,87a	36,53a	69,52a	33,74a
COL 1725	129,62e	30,75b	208,40a	36,53a	44,45a	33,67a
Fio de Ouro	198,11d	30,73b	176,47a	36,77a	11,12a	34,75a
Jaboti	184,2d	30,62b	166,60a	36,10a	18,89a	31,00a

Maragogipe	225,97c	31,92a	96,77b	36,77a	29,92a	34,61a
Mocotó	198,14d	31,8a	98,07b	36,57a	37,52a	34,93a
Paraguai-SR-11	211,87c	31,69a	102,57b	36,43a	31,72a	34,81a
Paulo Rosa	221,79c	31,51a	48,40b	36,23a	18,31a	35,04a
Pretinha V	289,15a	31,32a	102,13b	36,37a	26,70a	35,29a
SM 1438-2	175,3d	31,0b	94,83b	36,17a	40,18a	35,08a
VEM 77	156,28e	30,86b	72,73b	36,03a	54,22a	35,10a

*Medias foram agrupadas pelo teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade.

Como esperado, as condutâncias estomáticas determinadas em cada genótipo estudado (Figura 3) refletiram o armazenamento de água no solo (Figura 1). Podem ser verificados valores elevados de condutância variando de 123,63 a 289,15 $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, no período de maior disponibilidade hídrica (Setembro). Analisando os gráficos de Box-plot, houve leve distinção entre os grupos de variedades tolerantes e suscetíveis para esta variável. No período chuvoso (Setembro), as variedades suscetíveis tenderam a apresentar maior condutância estomática que as tolerantes (Figura 3). No período intermediário (Novembro de 2008), houve maior distinção entre os grupos de variedades tolerantes e suscetíveis, quando analisada essa variável. Com maior regulação estomática do agrupamento tolerante, indicando a maior capacidade em conservação de água em períodos de déficit, corroborando Meinzer et al. (1990, 1992); Hartong & Davies (1994); Santos & Carlesso (1998).

Nesses dois períodos avaliados, pode ser observado, em média, maior redução na condutância estomática e menor dispersão dos valores, para as variedades consideradas tolerantes. No período de déficit hídrico intermediário (Novembro), como a variação dos valores para as variedades agrupadas como tolerantes ficaram entre 37,39 e 211,83 $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, coincidindo em parte aos observados para suscetíveis (48,40 e 225,00 $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), não é possível o estabelecimento de faixas de condutâncias características para cada agrupamento, não sendo um parâmetro único a ser avaliado em estudos de fenotipagem e tolerância à seca. Com relação ao período de março, quando o armazenamento de água no solo estava em valores mínimos, não foi observada diferenciação na resposta das plantas à condutância estomática entre tolerantes e suscetíveis, pois todas encontravam-se completamente estressadas.

Esses resultados mostram que o período intermediário é o melhor para analisar as respostas das plantas ao déficit hídrico, sendo possível discriminar melhor as variedades.

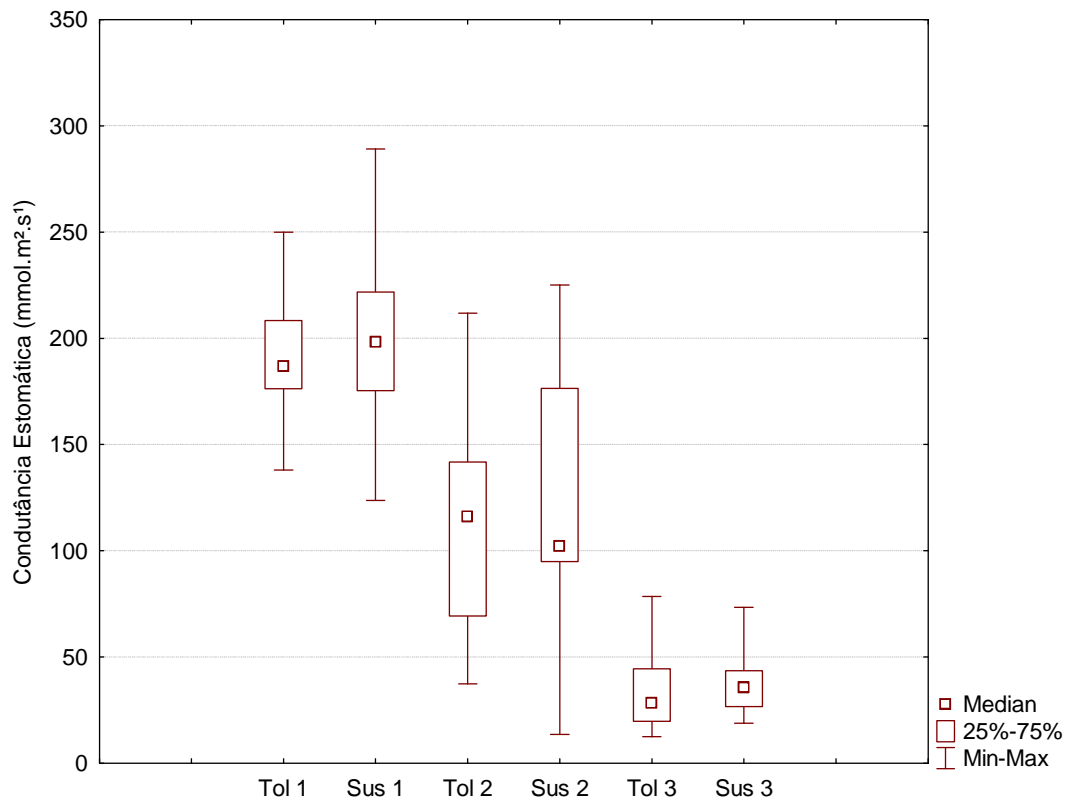


Figura 3. Condutância estomática nos períodos chuvoso (1), intermediário (2) e seco (3) em grupos de variedades tolerantes (Tol) e suscetíveis (Sus) ao déficit hídrico.

Os valores de peso de raízes mostram relação direta com a condutância estomática (Figura 4A), isto é, quanto maior a condutância, maior o peso da raiz, quando não há limitação de água no solo (período chuvoso). Porém no período em que o déficit de água é moderado (período intermediário) (figura 4B) observa-se uma tendência inversa, mostrando que algumas variedades iniciam a regulação estomática, fechando seu estômato mais rápido, antes de o solo secar completamente, para evitar perda excessiva de água, e essa característica as torna mais produtivas.

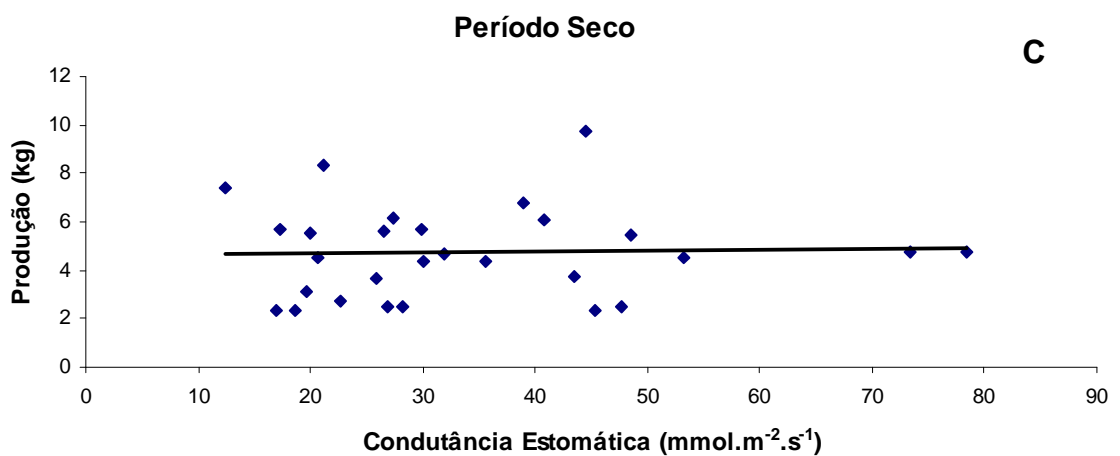
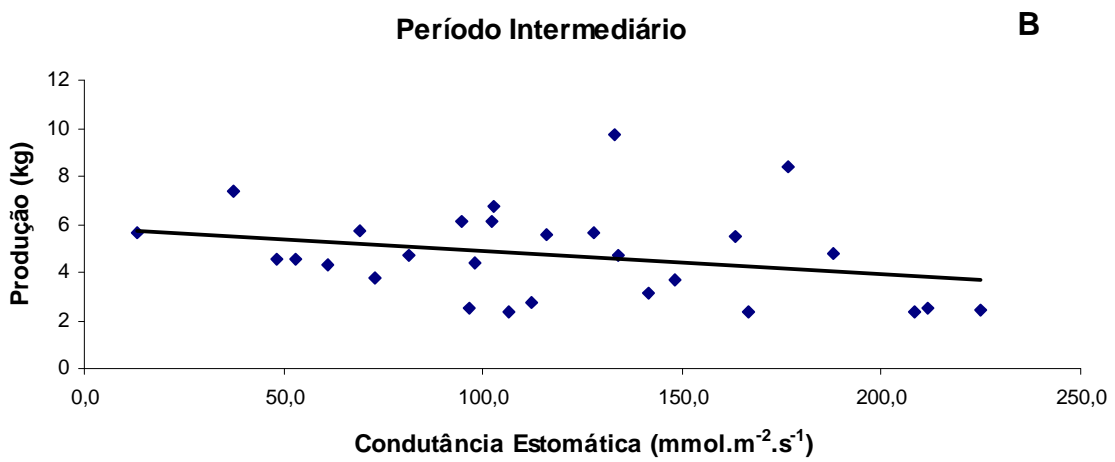
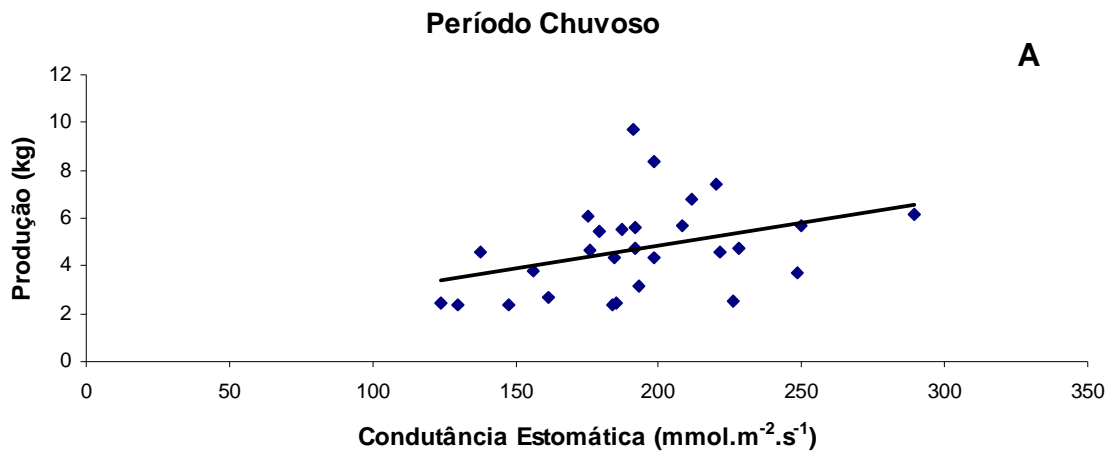


Figura 4. Correlação entre peso de raiz e condutância estomática nos períodos chuvoso (A), intermediário (B) e seco (C).

No período seco (Figura 4C) não foi possível observar tendência, já que todas as plantas se encontravam completamente estressadas e com redução excessiva na condutância estomática, não havendo diferenciação entre as respostas das plantas à variação da condutância (10 a 80 $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), corroborando os resultados da Figura 3. Estes dados sugerem que o fechamento dos estômatos bloqueia o fluxo de CO_2 para as folhas, afetando o acúmulo de fotoassimilados, e por consequência, podendo reduzir a produtividade. Alves et al. (2010) num estudo sobre tolerância à seca no semiárido baiano, relatou que o déficit hídrico causou reduções mais pronunciadas nos parâmetros relacionados à produção de raízes tuberosas, com redução de 57% no peso fresco de raízes tuberosas e de 38% no número dessas raízes.

CONCLUSÕES

- 1) Em todas as épocas, foi observada redução na altura de planta, área foliar e retenção foliar em resposta a baixos valores de potencial hídrico do solo.
- 2) Independentemente da variedade, quando há grande limitação de água no solo, os valores de condutância se aproximam, ficando entre 11,12 e 69,52 $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, não sendo o momento mais adequado para avaliação visando à seleção de variedades tolerantes à seca.
- 3) O período intermediário é o melhor para analisar as respostas das plantas ao déficit hídrico, sendo possível discriminar melhor as variedades.
- 4) Em todas as épocas, as variedades Pretinha, Do Céu e Sacaí apresentaram maior condutância estomática. E as variedades com menor sensibilidade ao déficit hídrico foram Engana Ladrão, Fio de Ouro e Pretinha V.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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. Disponível em: <http://www.cerat.unesp.br/revistarat/volume3/artigos/10%20Alfredo%20alves>. Pdf. Acesso: 27 de março de 2010.

ALVES, A.A.C.; SETTER, T.L. Response of cassava to water deficit : Leaf area growth and abscisic acid. **Crop Science** v. 40, p. 131-137, 2000.

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

CHAVES, M.M. et.al. How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. **Annals of Botany**, London, v.89, n. 2-3, p.907-916, 2002.

COCK, J.H.; PORTO, M.C.M. & EL-SHARKAWY, M.A. Water use efficiency of cassava. II. Influence of air humidity and water stress on gas exchange of field grown cassava. **Crop Science**, 25:265-72, 1984.

COCK, J.H.; FRANKLIN,D.; SANDOVAL, G. & JURI, P. The ideal cassava plant for maximum yield. **Crop Science**, 19:271-9, 1979.

FUKUDA, W.M.G.; SILVA, S. de O. MENDES, R. A. Caracterização morfológica e agrônômica do banco ativo de germoplasma de mandioca do Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura Tropical. In: **Congresso Latino Americano de Raízes Tropicais, I; Congresso Brasileiro de Mandioca IX**. São Pedro, SP. 07 a 10 de Outubro de 1996. **Resumos**.1996a. no. 107.

GHOLZ,. H.L.; EWEL, K.C.; TESKEY, R.O. Water and forest productivity. **Forest Ecological Management**, Amsterdam, v.30, n.1, p.1-18, 1990.

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

LARCHER, W. 2000. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos, Rima Artes e Textos. 531p.

MANSFIELD, T.A.; DAVIES, W.J. Mechanisms for leaf control of gas exchange. **BioScience**, 35:158-164. 1985

MEINZER, F.C., GOLDSTEIN, G.; GRANTZ, D.A. Carbon isotope discrimination in coffee genotypes grown under limited water supply. **Plant Physiology**, 92: 130-145, 1990.

MEINZER, F.C., SALIENDRA, N.Z.; CRISOSTO, C.H. Carbon isotope discrimination and gas exchange in coffee arabica during adjustment to different soil moisture regimes. *Aust. Journal Plant Physiology*, 19: 171-184, 1992.

MORAES, J.A.P.V.; PEREZ, S.C.J.G.A.; CARVALHO Jr., L. F. Curso diário do potencial da água e da resistência estomática em plantas de cerrado. *Ann: Missouri Bot. Garden*, 27, 13-23, 1989.

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. João Pessoa: Resumos. Ed. Gráfica JB., 2001. p. 19.

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

SEBANEK, J. **Plant Physiology**. Amsterdam. Ed. Elsevier Science & Technology, 454 p. 1992.

TEZARA, W. et al. Effects of water deficit and its interaction with CO₂ supply on the biochemistry and physiology of photosynthesis in sunflower. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.53, n.375, p.1781-1791, 2002.

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

CAPÍTULO 2

EFEITO DO DÉFICIT HÍDRICO NO DESENVOLVIMENTO DE VARIEDADES DE MANDIOCA

¹Artigo a ser submetido ao Comitê Editorial do Periódico Pesquisa Agropecuária Brasileira

EFEITO DO DEFICIT HIDRICO NO DESENVOLVIMENTO DE VARIEDADES DE MANDIOCA

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do déficit hídrico sobre diversos processos fisiológicos, em variedades de mandioca contrastantes para tolerância à seca. O experimento foi conduzido entre Janeiro e Março de 2010 no telado da **Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical**, em Cruz das Almas – BA. Foram utilizadas quatro variedades: Engana Ladrão, Tai 8, Pretinha V e COL 1468. Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado com cinco repetições. Os tratamentos foram dois: T₁ - controle com irrigações periódicas mantendo o solo próximo a sua capacidade máxima de armazenamento de água; T₂ - deficiência hídrica, imposta pela suspensão da irrigação durante nove dias, para reiniciar a irrigação após nove dias. Em seguida, as plantas foram submetidas a um tempo de recuperação. O plantio foi realizado em janeiro e as avaliações iniciaram-se dois meses após o plantio. As avaliações realizadas foram: Umidade do solo, altura de planta, área foliar total, número de folhas, crescimento da folha, condutância estomática, transpiração, temperatura da folha, conteúdo relativo de água na folha, conteúdo osmótico, massa da matéria seca e taxa de crescimento relativo. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos foram comparadas por meio do teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Em todas as variedades avaliadas, foi observada redução no crescimento, desenvolvimento e controle da abertura estomática em resposta a baixos valores de potencial hídrico do solo. As variedades Engana Ladrão e TAI 8 apresentaram maior eficiência nos mecanismos de tolerância em relação as variedades Pretinha V e COL 1468. Os parâmetros utilizados foram capazes de identificar com eficiência as variedades de mandioca tolerantes ao déficit hídrico.

Palavras-chave: Potencial hídrico, abertura estomática, tolerância à seca.

THE EFFECT OF DROUGHT IN THE DEVELOPMENT OF VARIETIES OF CASSAVA

ABSTRACT: This chapter aims to evaluate the effect of drought on various physiological processes in contrasting varieties of cassava. The experiment was conducted between January and March 2010 in the greenhouse at Embrapa Cassava and Tropical Fruits, Cruz das Almas – Bahia, Brazil. The plant material was obtained through the cassava germplasm bank assets, comprising four contrasting varieties of cassava (*Manihot esculenta* Crantz): Engana Ladrão, Tai 8, Pretinha V e COL 1468. complete outlined randomized design was used with five repetitions. The two treatments were: T1 - control with periodic irrigations keeping the soil near its maximum capacity for water storage, T2 - water stress, imposed by suspending irrigation during nine days, to restart the irrigation after nine days. Then the plants were subjected to a recovery time. The planting was done in January and the evaluation began two months after planting. The evaluations were: Soil moisture, plant height, total leaf area, number of leaves, leaf growth, stomatal conductance, transpiration, leaf temperature, relative water content in leaf osmotic content, mass of dry matter and charge relative growth. Data were subjected to analysis of variance and treatment measurements were compared by Tukey test at 5% probability. In all the varieties tested, a decrease in growth was observed, development and control of stomatal aperture in response to low values of soil water potential. The varieties Tai 8 greater efficiency in the mechanisms of tolerance in the varieties Pretinha V and COL 1468. The parameters used are able to efficiently identify the cassava varieties tolerant to drought.

Key-words: water potential, stomatal opening, tolerance to drought.

INTRODUÇÃO

A ocorrência de déficit hídrico em plantas cultivadas afeta o crescimento e o desenvolvimento das culturas em todo o mundo. O déficit hídrico é uma situação comum à produção de muitas culturas, podendo apresentar um impacto negativo substancial no crescimento e desenvolvimento das plantas (Lecoeur & Sinclair, 1996); assim, existe um conflito entre a conservação da água pela planta e a taxa de assimilação de CO₂ para a produção de carboidratos (Taiz & Zeiger, 1991). A necessidade de resolver este conflito leva as plantas a desenvolver mecanismos morfofisiológicos, que as conduzem a economizar água para uso em períodos posteriores (McCree & Fernández, 1989), levando assim as plantas a tentarem atingir a produção de sementes.

A deficiência hídrica provoca alterações no comportamento vegetal cuja irreversibilidade vai depender do genótipo, da duração e severidade do déficit hídrico e do estágio de desenvolvimento da planta.

Segundo Levitt (1980), no entendimento das respostas das plantas ao déficit hídrico é de fundamental importância se quantificar a capacidade de armazenamento de água no solo, e analisar a influência dos mecanismos de adaptação das plantas à redução da disponibilidade de água pois, de acordo com Kiehl (1979), a quantidade de água armazenada no solo disponível às plantas varia com a textura e as características físicas do mesmo, levando a planta a apresentar diferentes respostas em seus mecanismos morfofisiológicos de resistência.

A diminuição do conteúdo de água no solo afeta acentuadamente alguns processos morfofisiológicos, enquanto outros são relativamente insensíveis. Segundo Kelling (1995), o efeito do déficit hídrico sobre a produção das culturas está vinculado ao período de ocorrência durante o desenvolvimento das plantas.

Para Chaves (1991), a extensão dos efeitos do déficit hídrico nas espécies vegetais depende da sua intensidade e da duração, da capacidade genética das plantas em responder às mudanças do ambiente. Grant (1992) afirma que o desenvolvimento de mecanismos de adaptação das plantas é

influenciado pelo nível de CO₂, pela radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar.

Esta seção tem como objetivo analisar efeitos do déficit hídrico sobre diversos processos fisiológicos, em variedades de mandioca.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido entre janeiro e março de 2010, no telado da **Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical**, em Cruz das Almas – BA, situada a 12°40'19" de Latitude Sul e 39°06'22" de Longitude Oeste de Greenwich e com altitude média de 220 m. O clima é tropical quente e úmido com pluviosidade média anual de 1170 mm, com variações entre 900 e 1300 mm, Aw a Am, segundo a classificação de Köppen, com temperaturas médias anuais de 24,5°C e umidade relativa de 80%.

O plantio foi realizado utilizando manivas de duas gemas em vasos com capacidade de 5 kg, O solo utilizado foi um Latossolo amarelo distrófico de textura média e de teores médios de argila, misturado a areia e Plantimax. Após 44 dias do plantio procedeu-se a adubação utilizando maxsol e uréia diluídos em água. Foram utilizadas quatro variedades: Engana Ladrão, Tai 8, (consideradas tolerantes) Pretinha V e COL 1468 (consideradas suscetíveis). Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado com cinco repetições. Os tratamentos foram dois: T₁ - controle com irrigações periódicas mantendo o solo próximo a sua capacidade máxima de armazenamento de água; T₂ - deficiência hídrica, imposta pela suspensão da irrigação durante nove dias, para reiniciar a irrigação após nove dias. Os vasos foram vedados com papel alumínio, para evitar a evaporação da água do solo, sendo nos mesmos colocadas sondas de TDR (Reflectometria no domínio do tempo), para determinação da umidade em cada vaso (θ ; m³.m⁻³). Em seguida, as plantas foram submetidas a um tempo de recuperação. O plantio foi realizado em janeiro e as avaliações iniciaram-se dois meses após o plantio.

Avaliaram-se os seguintes parâmetros:

Umidade do solo: as medidas de umidade do solo foram realizadas através de sondas de TDR contínuas de três hastes. As medições foram realizadas às seis horas da manhã e às dezessete e trinta da tarde em três plantas de cada genótipo em T2 e duas plantas de cada genótipo em T1.

Altura de planta: medida realizada com o auxílio de régua desde a base do solo até o início da emissão das folhas. As medições foram feitas antes da suspensão da irrigação, durante o déficit e após a rehidratação das plantas.

Área foliar total: medida realizada com o auxílio de régua no lóbulo central de todas as folhas. As medições foram feitas antes da suspensão da irrigação, durante o déficit e após a rehidratação das plantas.

Número de folhas: contou-se o número total de folhas em cada planta. As medições foram feitas antes da suspensão da irrigação, durante o déficit e após a reidratação das plantas.

Crescimento da folha: medida realizada com o auxílio de régua no lóbulo central da folha em expansão, medida diariamente às sete horas da manhã, após a suspensão da irrigação.

Condutância estomática, transpiração e temperatura da folha: estas medidas foram realizadas diariamente, com um porômetro de equilíbrio dinâmico, modelo Li-1600 da Li-cor, entre 10 e 11 horas da manhã, na primeira folha completamente expandida.

Conteúdo relativo de água na folha: foi mensurado para indicar o *status* hídrico da planta, utilizando apenas o lóbulo central de uma folha completamente expandida. As folhas foram coletadas, cortadas em sua base, em tubos falkom, contendo 10 ml de água, previamente pesados, para evitar perda da umidade e pesados em seguida, gerando os valores de massa fresca. Após 12 horas em geladeira, retirou-se o excesso de água com papel toalha para obtenção da massa túrgida das amostras, as quais foram levadas à estufa (temperatura ≈ 65 °C ± 3 °C, até peso constante), para obtenção da massa seca (MS) das amostras.

Utilizou-se balança de precisão de 0,001 g para determinação das massas fresca, túrgida e seca. As avaliações foram realizadas durante o déficit e após a rehidratação das plantas. O CRA foi calculado por meio da seguinte equação:

$$\text{CRA (\%)} = [(MF-MS)/(MT-MS)]*100,$$

Sendo: CRA, conteúdo relativo de água; MF, massa fresca; MS, massa seca e MT, massa túrgida.

Potencial osmótico: coletou-se parte da folha (3 a 5 g), que foi acondicionada em seringa de 3 mL e congelada em N líquido, constituindo a amostra hidratada, para determinação do potencial osmótico. Os segmentos das folhas, congelados dentro das seringas, foram pressionados com o êmbolo para extração da seiva. A osmolaridade foi determinada em microsmômetro Wescor modelo 5520, e o potencial osmótico foi calculado segundo a equação de Van't Hoff. O ajuste osmótico foi calculado pela diferença entre o potencial osmótico das folhas hidratadas, das plantas irrigadas próximo à capacidade de campo, e o potencial osmótico das folhas hidratadas das plantas não-irrigadas. As avaliações foram realizadas durante o déficit e após a rehidratação das plantas.

Massa da matéria seca: a matéria seca total das folhas, haste e raízes foram determinadas por meio de secagem do material em estufa a temperatura de ≈ 65 °C ± 3 °C, até atingir massa constante. Utilizou-se balança de precisão de 0,001 g para determinação da massa seca. As avaliações foram realizadas após a rehidratação das plantas.

Taxa de crescimento relativo: expressa o incremento na altura (ALT) em relação a altura inicial, em um intervalo de tempo ($\text{cm.cm}^{-1}.\text{dia}^{-1}$), usando-se, para valores médios, a expressão $\text{TCR}=(\text{Ln.ALT}_2\text{Ln.ALT}_1)/(\text{T}_2 -\text{T}_1)$, onde Ln é o logaritmo neperiano e T o tempo.

Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias dos tratamentos foram comparadas por meio do teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta resultados da umidade do solo, medida com o uso de sonda TDR. Verifica-se que, poucos dias após a aplicação do déficit, constatam-se diferenças marcantes nos valores de umidade dos solos em plantas irrigadas e sob déficit. A reposição hídrica no final do dia, para o tratamento controle, permitiu a manutenção dos níveis de água acima de $0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$, próximos aos valores de capacidade de campo do solo ($0,21 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) pela manhã, porém a tarde, com a perda de água pela transpiração, os valores ficavam próximos de $0,16 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$, para as variedades Engana Ladrão e Tai 8. Já as variedades Pretinha V e COL 1468, os níveis de água permaneceram sempre acima da capacidade de campo nos dois períodos de avaliação. Observa-se que aproximadamente nove dias após da suspensão da irrigação, quando a planta apresentava sintomas de murchamento, a umidade estava aproximadamente a $0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$, valor indicativo do ponto de murcha permanente.

A taxa de crescimento relativo (TCR) pode ser considerada um índice de eficiência, uma vez que representa a capacidade da planta em produzir material novo, o que é visualizado pelo incremento em altura já existente, em um determinado intervalo de tempo, e observando a Figura 2, nota-se que este índice variou muito durante o período de realização deste trabalho, havendo diferença estatística entre estes mostraram uma taxa maior de crescimento relativo. Com a redução do potencial hídrico, houve uma redução do incremento em altura no período de déficit hídrico para todas as variedades estudadas, porém, observa-se que a variedade Engana Ladrão, apesar de sofrer redução, foi menor que as demais variedades, seguida da Tai 8. No período de recuperação, através da rehidratação, todas as variedades retomaram seu crescimento, com destaque para a Col 1468, com maior incremento em altura. Barros Júnior et al. (2004) concluíram que plantas submetidas a 40 e 60% de água disponível, praticamente paralisam o crescimento.

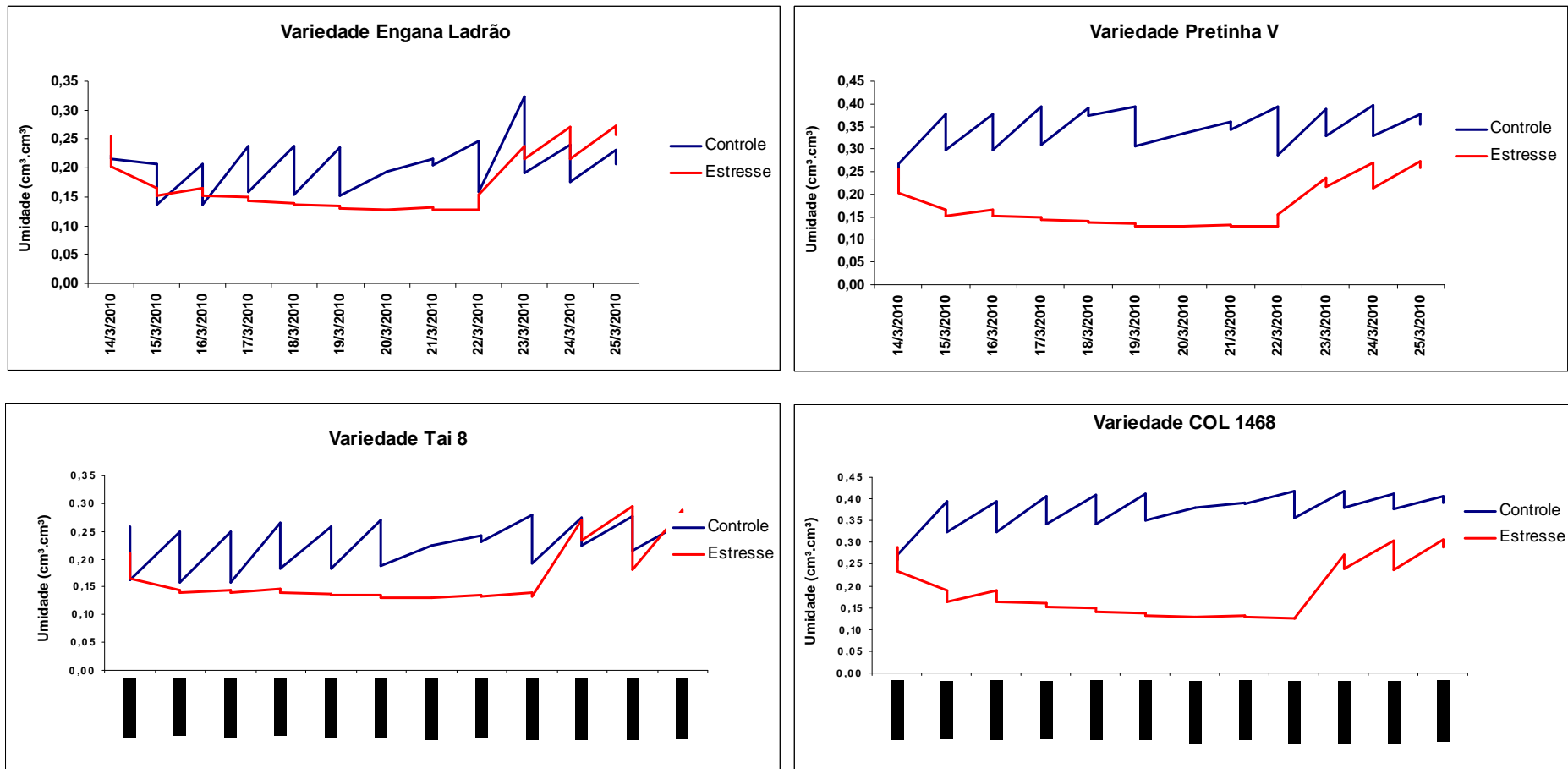


Figura 1. Umidade do solo das variedades avaliadas, nos tratamentos controle e estresse, durante os dias em que foi aplicado regime hídrico diferenciado para o tratamento estresse, onde DH – Déficit hídrico (nove dias) e RI – Retorno da irrigação (após nove dias).

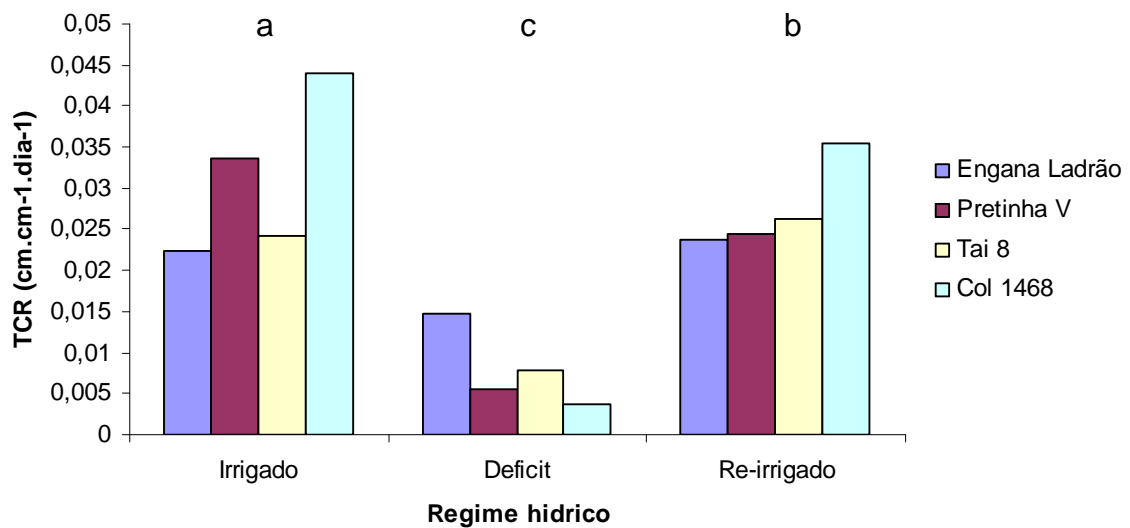


Figura 2. Taxa de crescimento relativo (TCR) em genótipos de mandioca sob diferentes regimes de disponibilidade hídrica.

Para Larcher (2000), paralisações no crescimento vegetativo em função da aceleração do crescimento produtivo ocorrem pela canalização da energia e de materiais destinados à floração e frutificação, que por sua vez originam-se no processo fotossintético, na incorporação de substâncias minerais e na mobilização de reservas para formação e enchimento dos frutos. Nery et al. (2007), em recente pesquisa com pinhão manso sob condições de estresse salino, verificaram que a taxa de crescimento absoluto em altura foi reduzida linearmente, com o incremento da condutividade elétrica da água.

A área foliar total observada na Figura 3 mostra que, ao contrário do esperado, não houve um aumento da área foliar com o passar do tempo, pois ao passarem por um déficit hídrico severo, as variedades avaliadas perderam suas folhas e reduziram a expansão foliar, diminuindo assim a área foliar total. No geral, todas as variedades sofreram com o déficit hídrico, o que mostra a eficiência da espécie no uso da água, porém a variedade Engana Ladrão e a Tai 8 mostraram uma capacidade maior de recuperação a partir da retomada da irrigação, mostrando-se menos sensíveis aos efeitos do déficit hídrico. Segundo El-Sharkawy (1989), a mandioca pode sobreviver a longos períodos de estiagem, adotando um mecanismo eficiente para redução da área foliar e, dessa forma, restringindo as perdas de água por transpiração.

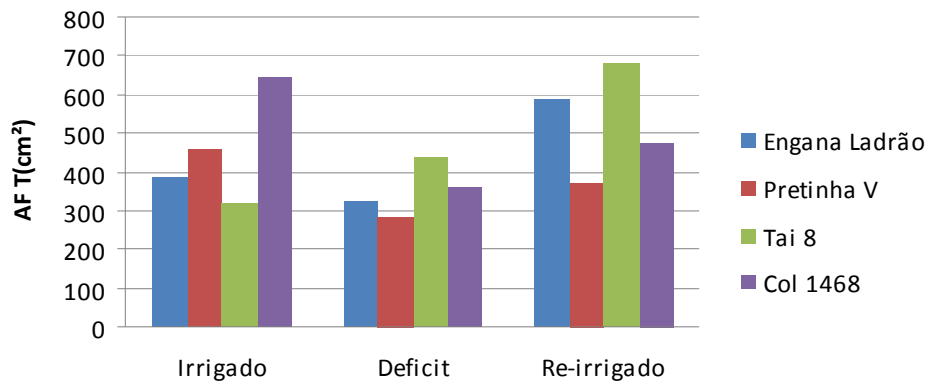


Figura 3. Área foliar total (AFT) em genótipos de mandioca sob diferentes regimes de disponibilidade hídrica.

O déficit hídrico reduz as trocas gasosas, especialmente de CO_2 , e sua condução para a folha (Lopes et al., 1988). Com a interrupção do déficit hídrico, as trocas gasosas tendem a voltar ao normal, porém, segundo Mota (1983), esta recuperação pode ser lenta quando a planta se aproxima do ponto de murchar, porém, isto depende de fatores edáficos, do manejo da irrigação e da espécie ou variedade envolvida.

O número de folhas está relacionado com a área foliar total, pois a diminuição no número de folhas levará a uma redução na área foliar total. Na figura 4 observa-se que houve uma redução significativa no número de folhas para o tratamento estresse em relação ao controle. A perda das folhas iniciou-se a partir das folhas em estágio de desenvolvimento mais avançado, devido à redução do fornecimento de fotoassimilados para manutenção da relação fonte dreno. O aumento no número de folhas após o retorno da irrigação mostra que todas as variedades foram capazes de retomar o crescimento.

A redução do número de folhas em plantas sob estresse hídrico pode ser considerada como uma estratégia de sobrevivência sob condições adversas, para evitar a perda de água por transpiração (Kozlowski, 1976).

Rocha et al. (2001), trabalhando com três cultivares de *Vigna unguiculata* submetidas à deficiência hídrica, observaram que o número de folhas foi reduzido em todas as cultivares e que a redução foi mais acentuada quando as plantas foram submetidas a períodos de 30 e 45 dias de estresse.

Alves & Setter (2004), em um estudo para determinar os efeitos do déficit hídrico e da rehidratação sobre a taxa de expansão de folhas de mandioca, em diferentes estádios de desenvolvimento, observaram que embora os processos envolvidos no crescimento celular tenham sido sensíveis a moderado déficit hídrico, eles recuperaram em grande extensão, e grande parte da redução na área foliar foi devido ao atraso no desenvolvimento e redução da divisão celular nas folhas mais jovens.

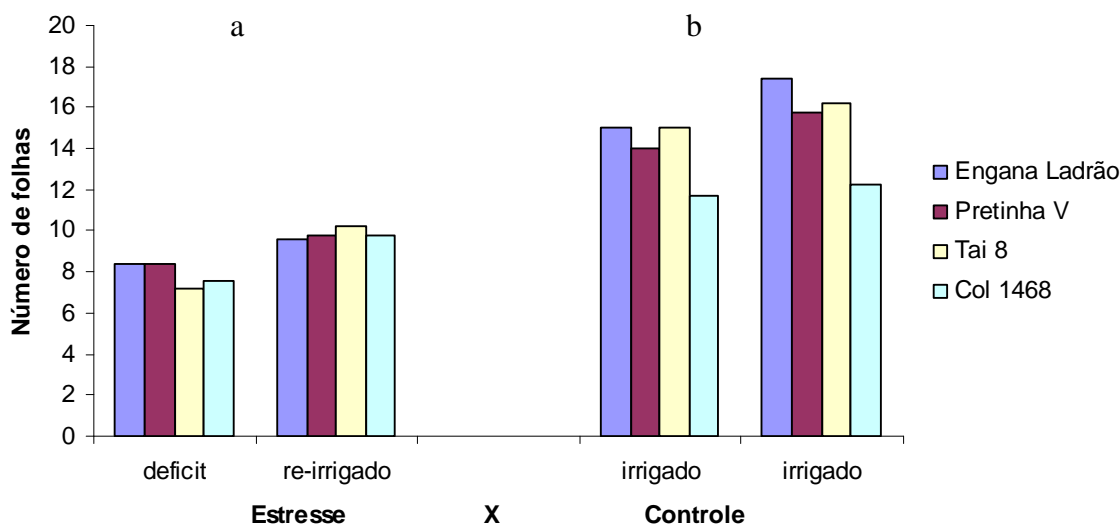


Figura 4. Número de folhas em genótipos de mandioca sob diferentes regimes de disponibilidade hídrica, onde o tratamento estresse constava de um período de déficit e outro irrigado e o controle constantemente irrigado.

Na figura 5 observa-se a relação existente entre o conteúdo relativo de água na folha (CRA) e o potencial osmótico. Estas avaliações mostram a tendência de aumento do CRA quanto mais negativo for o potencial osmótico.

O aumento dos valores de potencial osmótico em decorrência da diminuição do conteúdo relativo de água pode caracterizar um ajuste osmótico passivo ou ativo (Cutler *et al.*, 1977; Lascko, 1979; Hinckley *et al.*, 1980; Turner & Jones, 1980). Este ajuste é um mecanismo que pode ser utilizado por estas espécies na tolerância à seca, uma vez que irá garantir a manutenção da turgescência numa ampla faixa de valores de potencial hídrico (Hsiao, 1973; Doley, 1981). A manutenção da turgescência durante mudanças nas condições hídricas da planta pode assegurar a continuidade dos processos metabólicos,

garantindo assim a sobrevivência da espécie. (Hsiao *et al.*, 1976; Begg & Turner, 1976; Turner & Begg, 1978; Jones, 1979; Turner, 1979; Jones *et al.*, 1980).

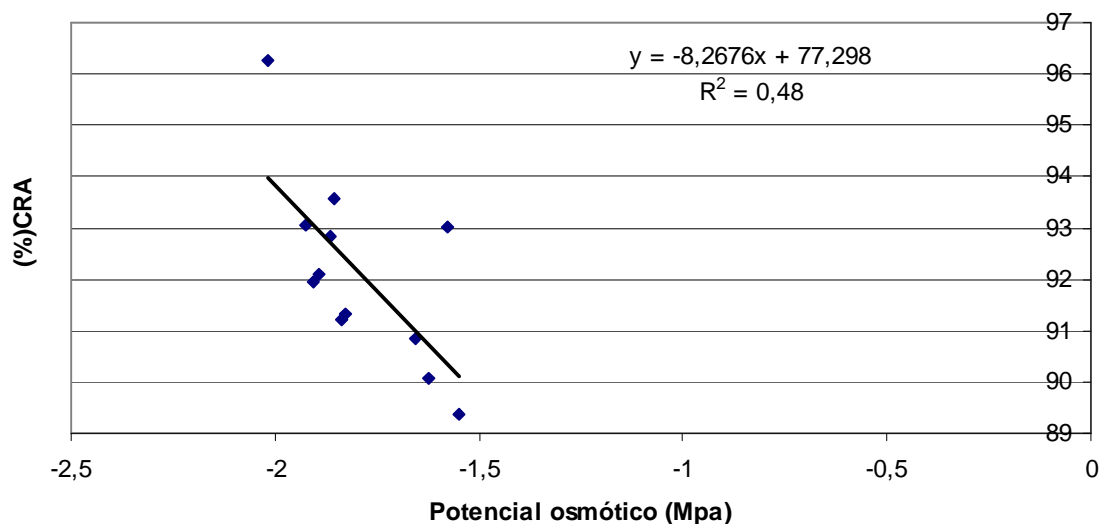


Figura 5. Relação entre conteúdo relativo de água (CRA%) e potencial osmótico (Mpa).

O ajustamento osmótico é definido como diminuição do potencial osmótico em resposta ao déficit hídrico ou à salinidade, que permite a manutenção de uma turgescência positiva em potenciais hídricos relativamente mais baixos (Acevedo *et al.*, 1979; Turner & Jones, 1980; Ackerson & Herbert, 1981). A Tabela 1 mostra que todas as variedades tiveram o mesmo comportamento, observando-se uma redução no potencial osmótico ao ser aplicado o déficit hídrico. Essa tendência também foi observada por Jensen *et al.* (2000), ao estudarem as relações hídricas de *Chenopodium quinoa* com déficit hídrico no solo. Em um estudo com diferentes cultivares de trigo, Bajji *et al.* (2001) também observaram queda no potencial osmótico, em razão do déficit hídrico, a qual foi mais acentuada em folhas que ainda estavam em crescimento. Em todos esses estudos, a diminuição do potencial osmótico ocorreu em resposta a uma situação de déficit hídrico, que ocasionou uma produção ativa de solutos, caracterizando a ocorrência de ajuste osmótico. O ajuste osmótico observado, (potencial osmótico = potencial osmótico controle – potencial osmótico estresse) utilizando-se valores corrigidos para a perda de água durante o déficit hídrico resultaram nos maiores valores foram das variedades Pretinha V e Tai 8 com 0,41 e 0,38 MPa, respectivamente.

Tabela 1. Potencial osmótico (PO) em genótipos de mandioca nos tratamentos estresse e controle, Redução do potencial osmótico do tratamento estresse em relação ao controle.

Variedades	Tratamentos	PO (MPa)	Ajuste osmótico
Engana Ladrão	estresse	-1,75	0,13
	controle	-1,62	
Pretinha V	estresse	-1,99	0,41
	controle	-1,58	
Tai 8	estresse	-1,93	0,38
	controle	-1,55	
COL 1468	estresse	-1,76	0,10
	controle	-1,66	

Os dados relativos à alocação de biomassa revelaram estratégias diferenciadas quanto à alocação do carbono orgânico nas partes da planta. Segundo valores médios obtidos de matéria seca total nos tratamentos estresse e controle (Figura 6), nas variedades de mandioca avaliadas, o tratamento controle apresentou resultados significativamente maiores com destaque para a TAI 8. Já no tratamento estresse, a deficiência hídrica determinou uma redução expressiva na produção de matéria seca total. A Engana Ladrão e a TAI 8 tiveram um acúmulo significativamente maior de matéria seca em relação aos demais. A imposição do estresse reduziu a alocação de biomassa das folhas e dos caules e aumentou a das raízes.

Esse tipo de resposta pode estar associado a um mecanismo de tolerância ao estresse hídrico, haja vista que em condições de baixa disponibilidade de água no solo, as plantas investem mais biomassa no sistema radicular, objetivando aumentar a capacidade de absorção de nutrientes. Araújo & Ferreira (1997), trabalhando com amendoim submetido a déficit hídrico em diferentes estádios de desenvolvimento, observaram uma expressiva redução na matéria seca da parte aérea, em todos os tratamentos.

A relação raiz/parte aérea é uma correlação de desenvolvimento, expressando o fato de que o crescimento radicular pode afetar o da parte aérea e vice-versa, (Goss, 1973).

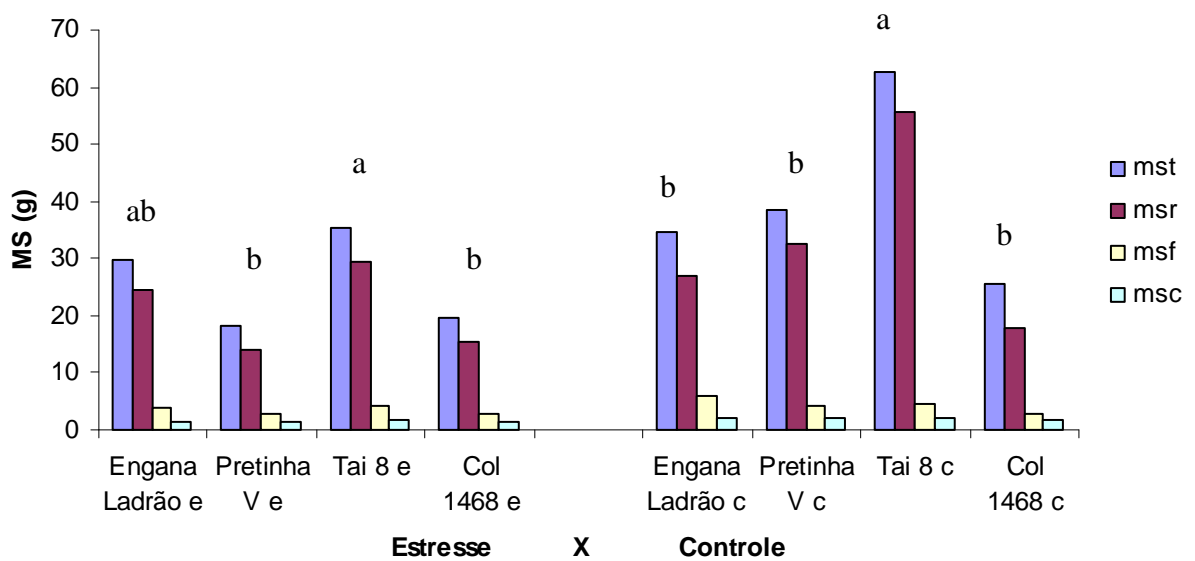


Figura 6. Matéria seca total (MST), da raiz (MSR), da folha (MSF) e do caule (MSC) dos tratamentos estresse e controle, nas variedades avaliadas.

A figura 7a mostra o crescimento da folha em expansão, e observa-se que , antes do déficit hídrico, a variedade Engana Ladrão apresentou o maior comprimento de folha nos dois tratamentos, porém com a imposição do déficit hídrico, o seu crescimento foi praticamente paralisado, de maneira que as demais variedades ultrapassaram seu comprimento. As demais variedades também reduziram seu crescimento porem não tão drasticamente. Este comportamento está relacionado com a redução do número de folhas formadas. Smit & Singels (2006) relataram que a senescência foliar é responsiva ao déficit hídrico, e ocorre após a redução no surgimento de folhas. A redução de folhas verdes tem sido relatada em plantas com déficit hídrico (Inman-Bamber, 2004; Pimentel, 2004) e atribuída à estratégia para diminuir a superfície transpirante e o gasto metabólico para a manutenção dos tecidos (Inman-Bamber & Smith, 2005; Smit & Singels, 2006; Inman-Bamber et al., 2008). A figura 7B mostra o comportamento das variedades a partir do retorno da irrigação. Verifica-se que com a retomada do crescimento, o tratamento estresse superou o controle nas variedades estudadas, com exceção da Pretinha V que recuperou o seu crescimento, porém não a ponto de alcançar o tratamento controle.

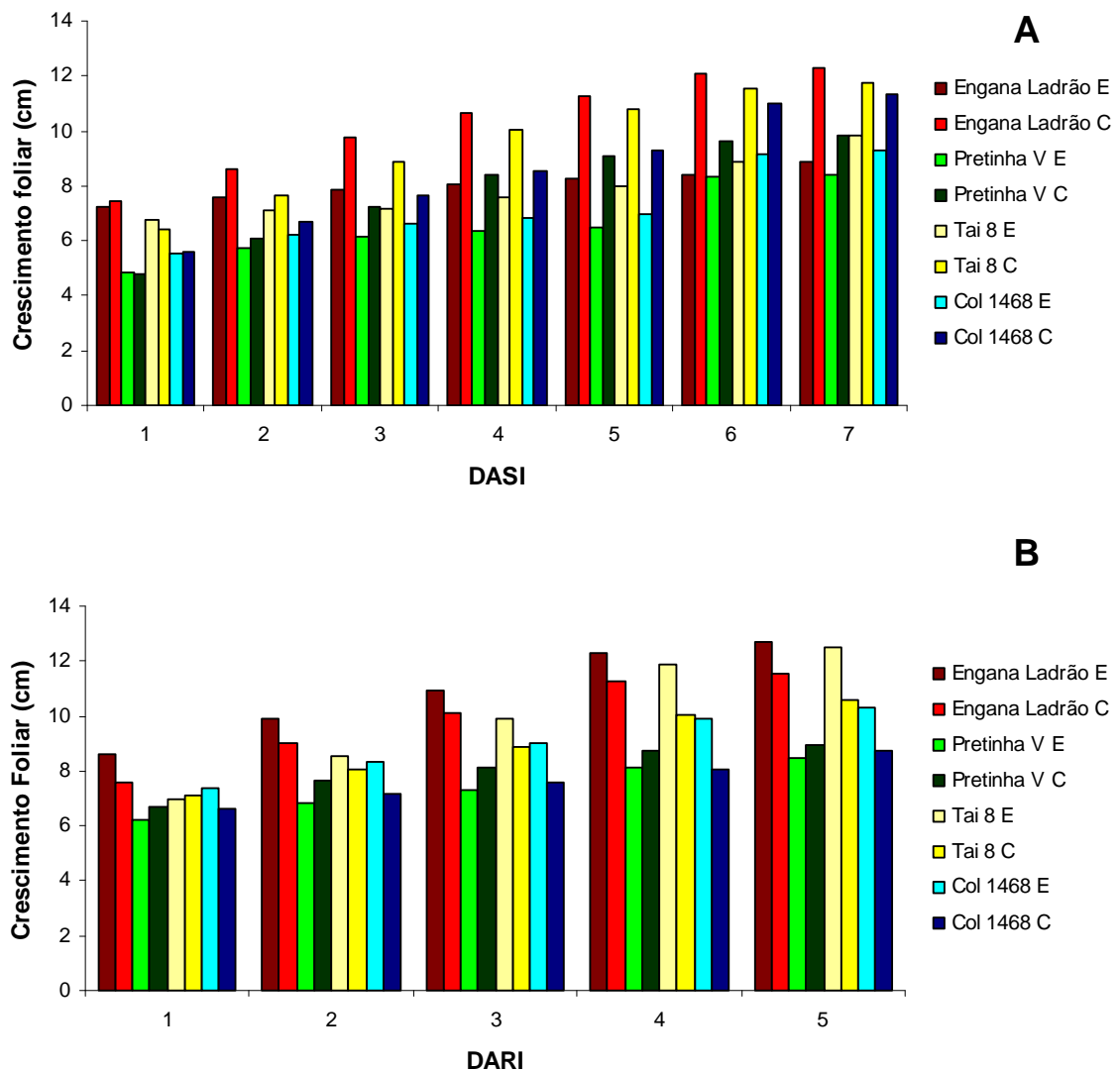


Figura 7. Crescimento foliar, de quatro variedades de mandioca, após a suspensão da irrigação (DASI) A, e após o retorno da irrigação (DARI) B.

As plantas, ao absorverem CO_2 , inevitavelmente, perdem água pelas folhas. Essa perda de água ocorre principalmente através dos estômatos, que apresentam mecanismos para controlar o seu grau de abertura. Esse controle é atribuído à condutância estomática foliar. A Figura 8 mostra o comportamento das variedades com relação à condutância estomática, característica esta de grande importância no que diz respeito à tolerância à seca, pois está diretamente relacionada com o controle da abertura estomática, sendo o fechamento dos estômatos uma resposta primária ao estresse hídrico. Todas as variedades estudadas responderam ao estresse, reduzindo a condutância estomática a

valores próximos de zero, não diferindo estatisticamente, porém as variedades Engana Ladrão e TAI 8 fecharam quase que totalmente seus estômatos no terceiro dia de déficit hídrico, evitando desta maneira uma diminuição drástica em seu potencial hídrico. Essa resposta é esperada em plantas submetidas à deficiência hídrica e é considerada uma das primeiras estratégias das plantas para impedir a desidratação excessiva das folhas (Yordanov et al., 2003; Inman-Bamber & Smith, 2005). Com o retorno da irrigação, a condutância estomática aumentou drasticamente a valores superiores ao do tratamento controle, com valores próximos de $35 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$; além disso, a variedade Engana Ladrão submetida ao tratamento controle destaca-se por apresentar valores superiores de condutância estomática em todo o período. As variedades Pretinha V e COL 1468 só fecharam seus estômatos após quatro dias de déficit hídrico, e com o retorno da irrigação, a condutância estomática aumentou lentamente, alcançando valores inferiores a $30 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$.

As observações feitas neste estudo evidenciam o efeito do estresse hídrico sobre este parâmetro, observando que o mesmo pode ser utilizado como indicador da deficiência de água.

O decréscimo na disponibilidade de água no solo ocasiona queda no potencial da água nas folhas das plantas, levando à perda de turgescência e à redução da condutância estomática (Shalhevet, 1983). A redução da taxa de assimilação de CO_2 durante o estresse hídrico deve-se à redução na disponibilidade de CO_2 no interior da folha, causada pelo fechamento dos estômatos em resposta à redução da disponibilidade de água no solo (Rosa et al., 1991). Esse aumento da resistência à difusão gasosa e a diminuição na taxa de assimilação de CO_2 determina menor perda de água por transpiração, além de poder afetar a fotossíntese.

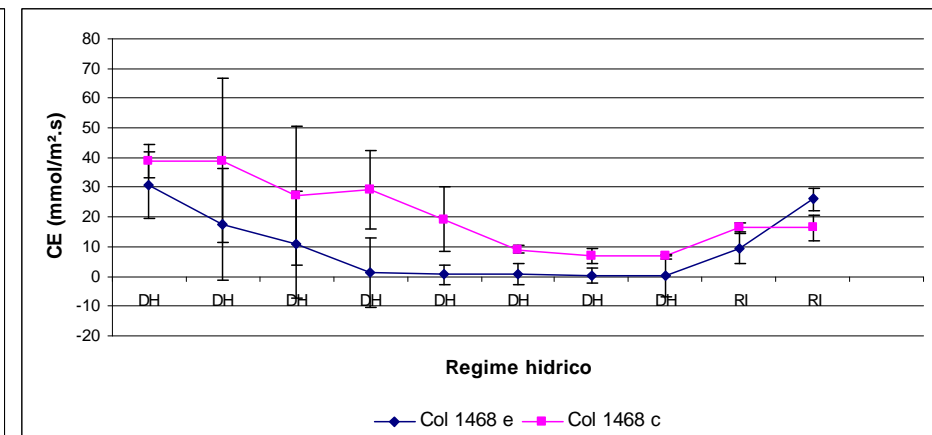
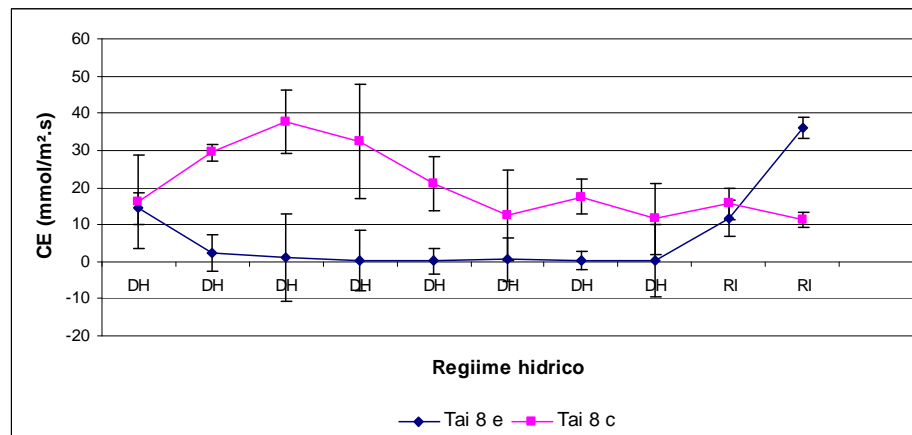
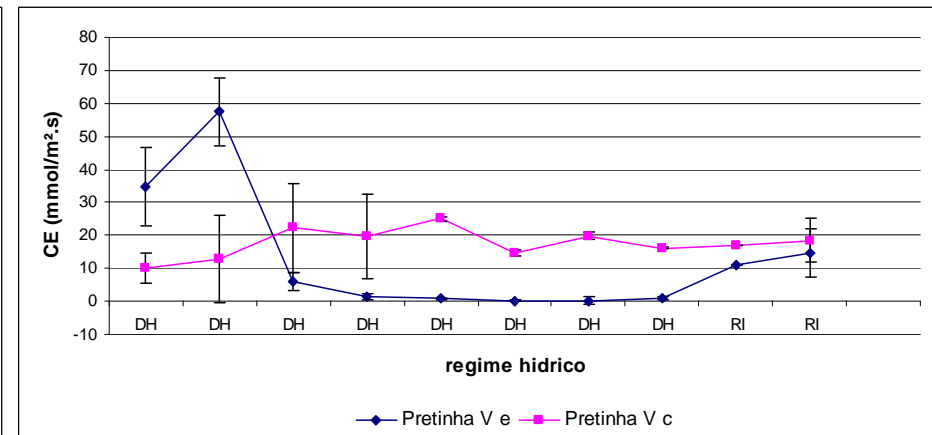
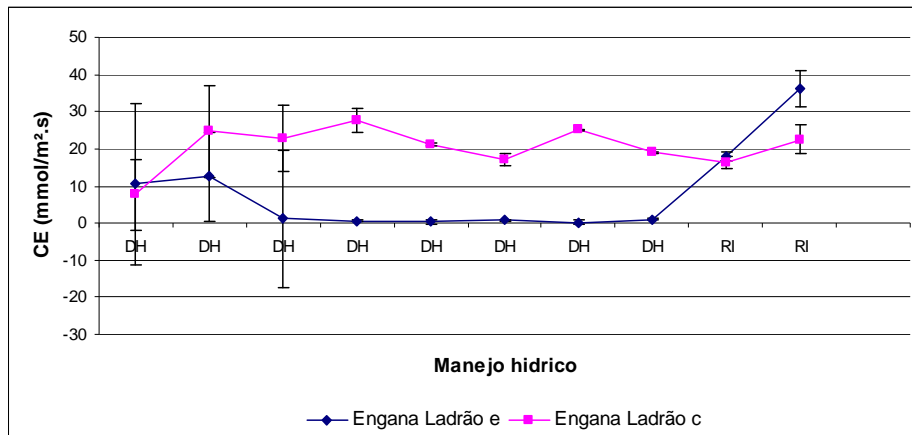


Figura 8. Condutância estomáca (CE) das variedades avaliadas, nos tratamentos controle e estresse, durante os dias em que foram aplicados regime hídrico diferenciado para o tratamento estresse, onde DH – Déficit hídrico (nove dias) e RI – Retorno da irrigação (após nove dias).

Na Figura 9 observa-se que, as variedades tiveram o mesmo comportamento observado na condutância estomática, quanto à transpiração, porém pararam de transpirar com atraso de um dia, em relação à condutância estomática.

Silva et al. (1998), estudando a variação diurna da transpiração em amendoim irrigado, observaram que a máxima transpiração ($110 \text{ mg H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi observada por volta do meio-dia, no tratamento que recebeu 700 mm por quatro dias, e apenas às 16 h: 30 para o tratamento que recebeu 300 mm por quatro dias, atingindo transpiração de $12 \text{ mg H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Isso evidencia que, sob condições de deficiência hídrica, a abertura dos estômatos não ocorre somente em resposta à radiação solar, mas, sobretudo, em função do potencial hídrico do solo, conforme afirmaram autores como Dubê et al. (1974) e Turner (1974).

Com relação à temperatura foliar (Figura 10) observa-se o inverso da transpiração e da condutância estomática, isto é, o tratamento estresse obteve temperaturas significativamente maiores que o controle para as variedades Engana ladrão e TAI 8, o que pode ser explicado pelo fato destas manterem turgescência com o fechamento dos estômatos, e desta maneira aumentarem a temperatura no horário mais quente do dia, que foi o horário de avaliação. As variedades Pretinha V e COL 1468 não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos estresse e controle. Oliveira et al. (2005), ao avaliarem a temperatura foliar em feijoeiro, observaram que tratamentos mais estressados obtiveram valores máximos de 38°C ao meio dia, enquanto os demais tratamentos atingiram valores máximos de 35°C e 33°C nos horários de 16h e 13h respectivamente.

Sakai et al. (1987), estudando o efeito do déficit hídrico sobre o comportamento estomático e a temperatura das folhas em feijoeiro, observaram que plantas sob déficit hídrico apresentaram maiores valores de resistência estomática e temperatura foliar. Além do efeito direto da resistência estomática à difusão de vapor de água de plantas de feijoeiro submetidas à deficiência hídrica, ocorre também diminuição da fotossíntese, causada pelo aumento da temperatura da folha e o conseqüente fechamento estomático, ocasionado pelo déficit hídrico (Bergamaschi et al., 1988), tornando escassa a disponibilidade de fotossintatos para o enchimento das vagens.

A manutenção da temperatura foliar igual ou ligeiramente inferior à temperatura do ar comprova a capacidade de refrigeração das diversas cultivares ou espécies, via transpiração, no intuito de manter a planta protegida das faixas térmicas muito elevadas. Esse é um comportamento desejável, e foi observado em várias espécies vegetais (Ludlow & Muchow, 1990). Também, foi sugerido que o comportamento da temperatura foliar em relação à temperatura do ar pode ser usado como indicador da condição hídrica da planta, o qual, devidamente obtido, pode ser utilizado como indicador do momento de irrigar (Millar,1997).

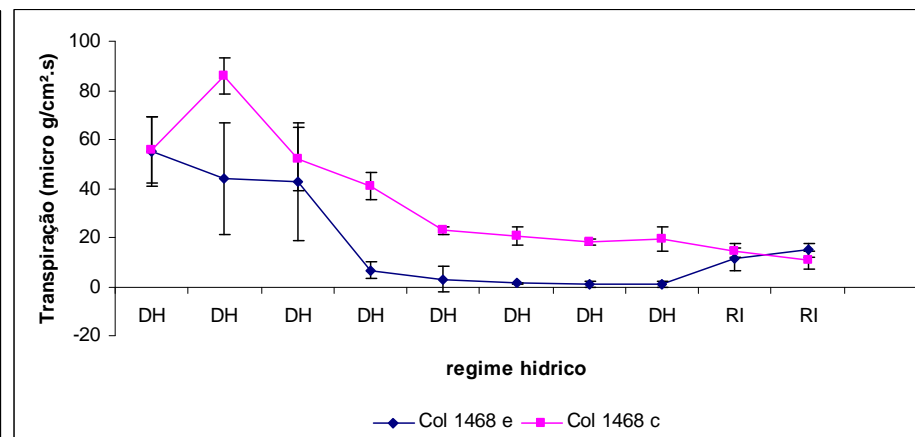
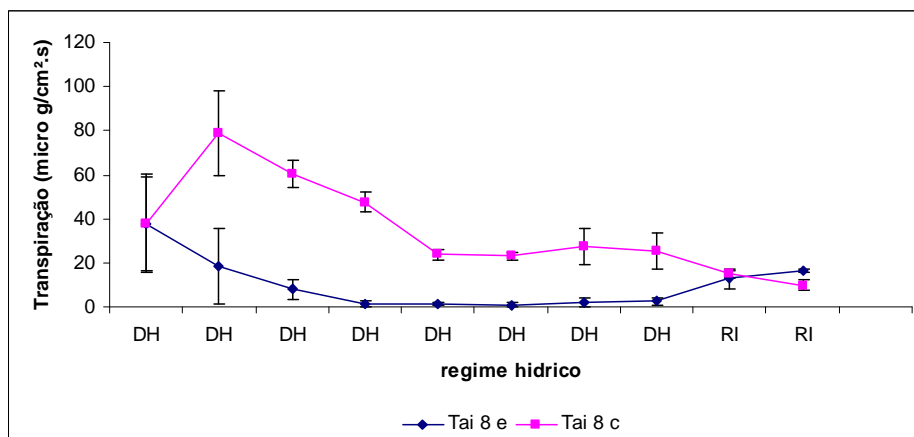
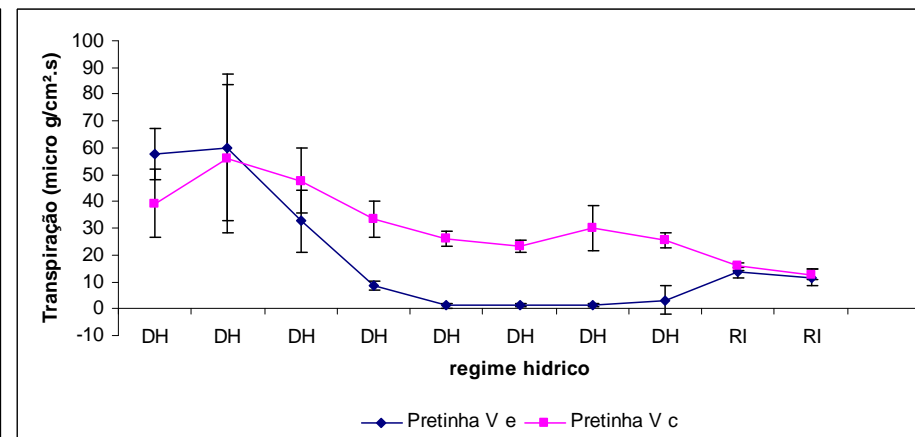
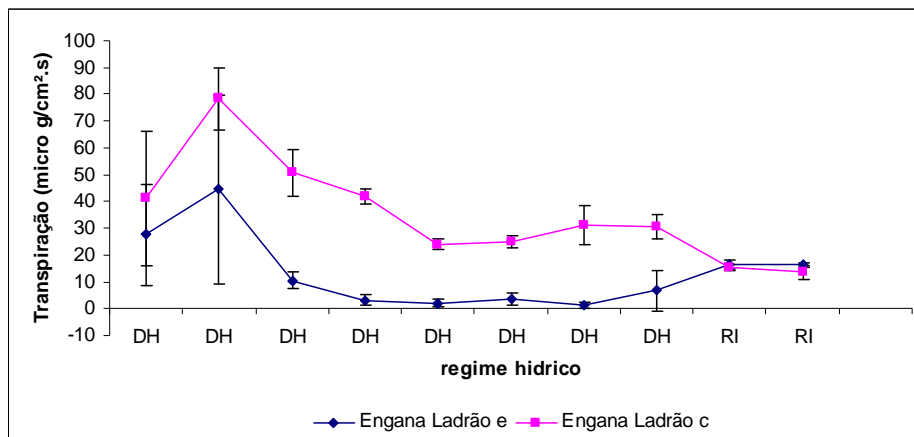


Figura 9. Transpiração das variedades avaliadas, nos tratamentos controle e estresse, durante os dias em que foram aplicados regime hídrico diferenciado para o tratamento estresse, onde DH – Déficit hídrico (nove dias) e RI – Retorno da irrigação (após nove dias).

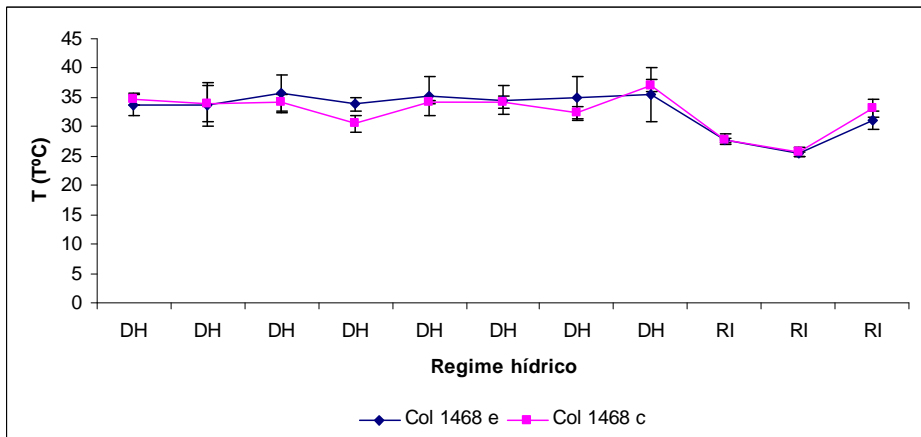
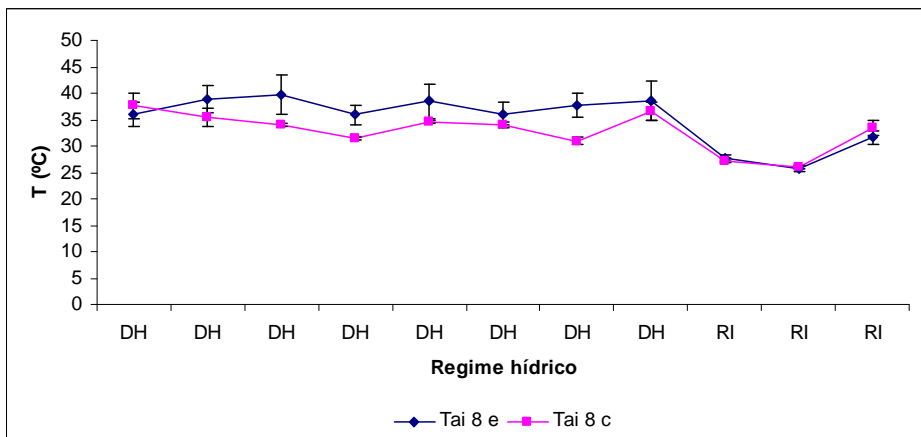
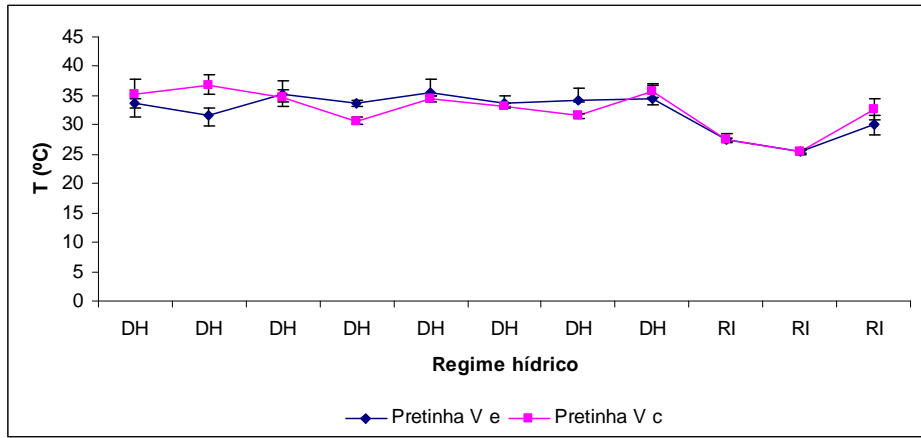
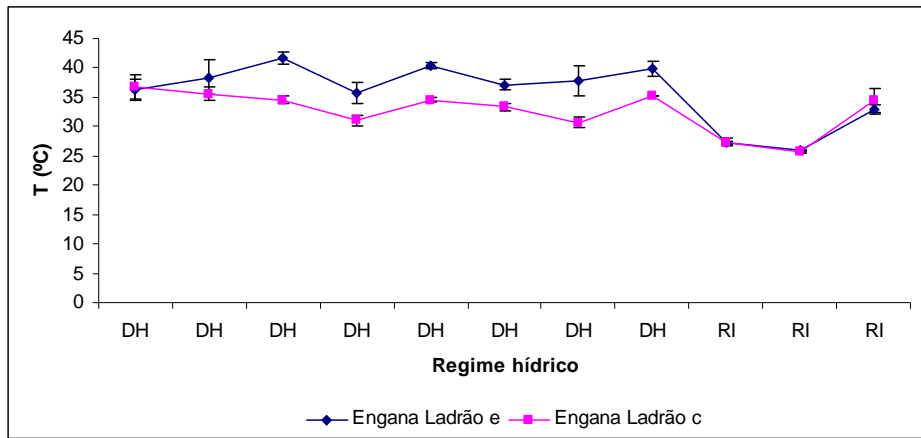


Figura 10. Temperatura foliar das variedades avaliadas, nos tratamentos controle e estresse, durante os dias em que foram aplicados regime hídrico diferenciado para o tratamento estresse, onde DH – Déficit hídrico (nove dias) e RI – Retorno da irrigação (após nove dias).

CONCLUSÕES

Em todas as variedades avaliadas, foi observada redução no crescimento, desenvolvimento e controle da abertura estomática em resposta a baixos valores de potencial hídrico do solo.

As variedades Engana Ladrão e TAI 8 apresentaram maior eficiência nos mecanismos de tolerância em relação às variedades Pretinha V e COL 1468.

Os parâmetros utilizados são capazes de identificar com eficiência as variedades de mandioca tolerantes ao déficit hídrico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKERSON, R.C.; HERBERT, R.R. Osmoregulation in cotton in response to water stress. **Plant Physiology**, 67:484-488, 1981.

ALVES, A.A.C.; SETTER, T.L. The response of cassava leaf area expansion to water deficit: Cell proliferation, cell expansion, and delayed development. **Annals of Botany**, v. 94, p. 605-613, 2004.

BAJJI, M.; LUTTS, S.; KINET, J.M. Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. **Plant Science**, v.160, p.669-681, 2001.

BARROS JÚNIOR, G.; GUERRA, H. O. C.; LACERDA, R. D.; CAVALCANTI, M. L. F. Análise de crescimento da mamoneira submetida ao estresse hídrico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1., 2004, Campina Grande. Energia e Sustentabilidade: **anais**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. 1 CD-ROM.

BERGAMASHI, H.; VIEIRA, H.J.; OMETTO, J.C.; ANGELOCCI, L.R.; LIBARDI, P.L. Deficiência hídrica em feijoeiro. I. Análise de crescimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.23, n.7, p.733-43, 1988.

BEGG, J.E.; TURNER, N.C. Crop water deficits. **Advance in Agronomy**, New York, 28:161-217, 1976.

CHAVES, M.M. Effects of water deficits on carbon assimilation. **Journal of Experimental Botany**, v.42, p.1-16, 1991.

CUTLER, J.R.; RAINS, D.W.; LOOMIS, R.S. The importance of cell in water relations of plants. **Physiology Plant.**, 40:225-260, 1977.

DOLEY, D. Tropical and subtropical forests and woodlands. In: *Water deficits and plant growth*, Vol. VI, KOZLOWSKI, T.T. Ed., 1 ed., Academic Press, 1981.

DUBÉ, P.A.; STEVENSON, K.R.; THURTELL, G.W. Comparison between two inbred corn lines for diffusive resistances, photosynthesis and transpiration as a function of leaf water potential. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.54, p.765-70, 1974.

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

HSIAO, T.C. Plant response to water stress. **Annual Review Plant Physiology**, 24:19-70, 1973.

HSIAO, T. C.; AZEVEDO, E.; FERERES, E. & HENDERSON, D.W. Water stress, growth and osmotic adjustment. **Philosophical Transactions of the royal Society London B**, 272: 479-500, 1976.

HINCKLEY, T.M., DUHME, F., MINCKLEY, A.R. & RICHTER, M. Water relations of drought hard shrubs. Osmotic potential and stomatal reactivity. **Plant, Cell & Environment**, 3:131-140, 1980.

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

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

INMAN-BAMBER, N.G.; BONNETT, G.D.; SPILLMAN, M.F.; HEWITT, M.L.; JACKSON, J. Increasing sucrose accumulation in sugarcane by manipulating leaf extension and photosynthesis with irrigation. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.59, p.13-26, 2008.

JENSEN, C.R.; JACOBSEN, S.E.; ANDERSEN, M.N.; NÚÑEZ, N.; ANDERSEN, S.D.; RASMUSSEN, L.; MOGENSEN, V.O. Leaf gas exchange and water relation characteristics of field quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) during soil drying. **European Journal of Agronomy**, v.13, p.11-25, 2000.

JONES, M.M. **Physiological responses of sorghum and sunflower to leaf water deficits**. PhD. Thesis, Australian National University, Canberra, Australia, 1979.

JONES, M.M.; TURNER, N.C.; OSMOND, C.B. In: L.G. PALEG.; D. ASPINALL (Eds.) — The physiology and biochemistry of drought resistance, Academic Press, New York, 1980.

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

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Ceres, 1979. 191-215p.

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

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 531 p.

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

LUDLOW, M.M.; MUCHOW, R.C. A critical evaluation of traits for improving crop yields in waterlimited environments. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.43, p.107-53, 1990.

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

MILLAR, A.A. Thermal regime of grapevines. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v.23, n.4, p.173-6, 1972.

MOTA, F.S. **Meteorologia agrícola**. São Paulo. Nobel, 7.ed, 376p, 1983.

MAGALHÃES, A.C.N. Análise quantitativa de crescimento. In: FERRI, M.G. **Fisiologia vegetal**. São Paulo: EPU/EDUSP, 1986. v.1, p.331-350.

NERY, A. R.; SILVA, M. B. R.; RODRIGUES, L. N.; FERNANDES, P. D.; DANTAS NETO, J.; VIEGAS, R. A. Taxas de crescimento do pinhão manso cultivado com água de diferentes níveis de salinidade. In: WORKSHOP MANEJO E CONTROLE DA SALINIDADE NA AGRICULTURA IRRIGADA, 2007. Recife. Convivência em Busca da Sustentabilidade: **anais** Recife-PE: UFRPE/UFCG. 2007. 4 p.

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

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

ROCHA, D. G. da F.; QUEIROZ, M. B. de; TÁVORA, F. J. A. F. Crescimento de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. submetida a deficiência hídrica. In: CONGRESSO

NACIONAL DE BOTÂNICA, 52., REUNIÃO NORDESTINA DE BOTÂNICA, 16., 2001. João Pessoa. João Pessoa: Resumos. Ed. Gráfica JB., 2001. p. 19.

SAKAI, E.; BULIZANI, E.; BRUNINI, O.; MURAMOTO, C.A. Efeito do déficit hídrico sobre o comportamento estomático e a temperatura das folhas em feijoeiro (cv.IAC-carioca 80). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 5., 1987, Brasília. **Anais...** Brasília: PRONI, 1987. p.370-6.

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

SILVA, L.C.; FIDELES FILHO, J.; BELTRÃO, E.M.; RAMANA RAO, T.V. Variação diurna da resistência estomática à difusão de vapor de água em amendoim irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.3, p.269-76, 1998.

TURNER, N.C. Stomatal behavior and water status of maize, sorghum and tobacco under field conditions. II. At low soil water potential. **Plant Physiology**, Rockville, v.53, n.3, p.360-5, 1974.

TURNER, N.C.; BEGG, E. Responses of pasture plants to water deficits. p. 50-66. In: J.R. WILSON (ed.). *Plant Relations in Pastures*. CSIRO, Melbourne, 1978.

TURNER, N.C. Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants. In: H. MUSSEL, R.C. STAPLE (eds.). *Stress Physiology*. John Wiley & Sons, New York. 1979, p. 343-372.

TURNER, N. C.; JONES, M.M. Turgor maintenance by osmotic adjustment: a review and evaluation. pp. 87-103. In: N.C. TURNER and P.J. KRAMER (eds.). *Adaptation of plants to water and high temperature stress* . Wiley — Interscience, N. YORK, 1980.

YORDANOV, I.; VELIKOVA, V.; TSONEV, T. Plant responses to drought and stress tolerance. **Bulgarian Journal of Plant Physiology**, special issue, p.187-206, 2003.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz) é atualmente a mais importante cultura de produção de alimentos na região tropical onde é normalmente cultivada em áreas com prolongados períodos de seca. Apesar da mandioca ser considerada uma cultura tolerante à seca, sob condições de déficit hídrico, a produtividade pode ser reduzida até 60%, trazendo assim prejuízos para o produtor que não dispõe de sistema de irrigação. A solução mais viável para solucionar este problema é o uso de variedades tolerantes a seca.

O conhecimento de atributos fisiológicos relacionados com a disponibilidade hídrica no solo, é de grande importância na recomendação de variedades tolerantes, que maximizem a produção com maior economia de água. Os estudos realizados neste trabalho mostram que déficit hídrico teve um significativo efeito sobre os caracteres estudados e os genótipos apresentaram respostas variáveis ao estresse hídrico.

As condições em que este trabalho foi conduzido mostraram-se adequadas para futuros estudos visando à seleção de genótipos tolerantes ao déficit hídrico, bem como, identificação de características fisiológicas ligadas aos mecanismos de tolerância expressados pela mandioca. Em todas as variedades avaliadas no telado, foi observada redução no crescimento, desenvolvimento e controle da abertura estomática em resposta a baixos valores de potencial hídrico do solo e, as variedades Engana Ladrão e TAI 8 se mostraram mais eficientes nos mecanismos de tolerância em relação as variedades Pretinha V e COL 1468. No campo, em todas as épocas, foi observada redução na altura de planta, área foliar e retenção foliar em resposta a baixos valores de potencial hídrico do solo. Em todas as épocas as variedades Pretinha, Do Céu e Sacaí apresentaram maior condutância estomática. A menor sensibilidade ao déficit hídrico foi observada nos genótipos Engana Ladrão, Fio de ouro e Pretinha V.

Este estudo possibilitou geração de informações importantes à respeito dos processos fisiológicos que conferem tolerância à seca e, dessa maneira, poderá contribuir para programas de melhoramento genético por identificar genótipos de mandioca com fonte de tolerância à seca, que por sua vez possibilitará um aumento da produtividade em áreas com restrição na disponibilidade de água para a cultura.