

LUCIANO REZENDE MOREIRA

**CARACTERIZAÇÃO MORFOFISIOLÓGICA DE CULTIVARES DE  
SORGO SACARINO EM ESTRESSE HÍDRICO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

**VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2011**

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

M838c  
2011

Moreira, Luciano Rezende, 1974-

Caracterização morfofisiológica de cultivares de sorgo sa-  
carino em estresse hídrico / Luciano Rezende Moreira  
– Viçosa, MG, 2011.  
xii, 75f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Glauco Vieira Miranda.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Sorgo sacarino. 2. Estresse hídrico. 3. Raiz – Análise.  
4. *Sorghum bicolor*. I. Universidade Federal de Viçosa. II.  
Título.

CDD 22. ed. 633.62

LUCIANO REZENDE MOREIRA

**CARACTERIZAÇÃO MORFOFISIOLÓGICA DE CULTIVARES DE SORGO  
SACARINO EM ESTRESSE HÍDRICO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 12 de dezembro de 2011.

---

Paulo Geraldo Berger

---

Juares Ogliari

---

Lucimar Rodrigues de Oliveira

---

Moacil Alves de Souza  
(Coorientador)

---

João Carlos Cardoso Galvão  
(Presidente da Banca)

*“ (...) Me gustan los estudiantes  
Que con muy clara elocuencia  
A la bolsa negra sacra  
Le bajó las indulgencias.  
Porque, hasta cuándo nos dura  
Señores, la penitencia.  
Caramba y zamba la cosa,  
Qué viva toda la ciencia! (...)”*

*- Mercedes Sosa -*

*À minha querida companheira Juliana,  
pela paciência, carinho e sabedoria  
dispendidos a mim neste turbulento  
período de doutorado; e à Universidade  
Federal de Viçosa, por ter garantido  
meus estudos do ensino médio até o  
doutorado.*

*Dedico*

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço ao povo brasileiro por ter financiando, através de pesados tributos, todos os meus estudos no sistema público de educação, desde a primeira série primária até o doutorado. Sem uma política pública de educação, jamais teria chegado até aqui.

Agradeço ao ex-presidente Lula que, a despeito de ser preconceituosamente ofendido pelas elites brasileiras como um “analfabeto”, investiu na Universidade Pública brasileira mais que qualquer outro presidente com “anel de doutor”, fazendo saltar os investimentos na educação em geral, e na pós-graduação em especial, a níveis nunca antes atingidos.

À Universidade Federal de Viçosa, por ter me abrigado em suas salas, laboratórios, bibliotecas, quadras, campos, subterrâneos e *porões* (CAs, DCE e APG) durante onze anos, em sua maior parte com bolsa de pesquisa/formação.

À Capes, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor e amigo Glauco Vieira Miranda.

Aos professores e pesquisadores que me orientaram e/ou fizeram parte de minha banca de defesa: Juarez Ogliari, Lucimar Rodrigues de Oliveira, Moacil Alves de Souza, Paulo Geraldo Berger, João Carlos Cardoso Galvão e Valterley Soares Rocha.

Aos amigos do Programa Milho, em especial, e os da UFV, em geral. Um agradecimento especial aos competentes estudantes de graduação e bolsistas de Iniciação Científica que me auxiliaram nos experimentos: Jardécio Ervilha e Rafael Silva Ramos dos Anjos.

Aos amigos da Organização Continental Latino Americana e Caribenha de Estudantes (Oclae), em especial aos seus funcionários, e a Sixto Efrain Zapata, Luis Arza Valdés e Victor Hugo Navarro Solis.

A todos os meus alunos e amigos professores e técnicos administrativos do Instituto Federal do Amazonas (IFAM), do Instituto Federal de Alagoas (IFAL) e do Instituto Federal Fluminense (IFF) pela convivência profícua, aprendizado mútuo e, sobretudo, pela solidariedade em ajudar-me a dividir a pesada carga horária para que eu pudesse escrever essa tese em horários alternativos. Agradeço, em especial, aos colegas Sérgio Rosa, Marcos José Pereira, Emanuel Fonseca, Mário Toledo, Ivickson Ricardo, Márcio Cunha,

Antônio Iatanilton, Roberta Meneses, José de Araújo, Valdomiro Odilon, Daniel Moreira, Tharcila Leão, Stoécio Malta e Daniel Camerino.

Por fim, a todos os meus familiares, amigos e amigas que, de forma direta ou indireta, me auxiliaram neste projeto que espero ser útil à sociedade brasileira.

A melhor forma de expressar meus sentimentos de gratidão por ter concluído esta tese, a partir de agora, é dedicando-me ainda mais como professor, o que certamente contribuirá muito para isso o aprendizado que tive nestes quatro anos de convívio em meio a todos aqueles que fazem ou fizeram parte do cinquentenário programa de pós-graduação em Fitotecnia.

As lacunas, limitações e desacertos que certamente haverão de ser encontrados pelo leitor mais atento, são de minha inteira responsabilidade e isentos estão todos aqueles que contribuíram, cada qual dentro de suas possibilidades, para que aqui chegasse a termo esta tese que agora é apresentada ao público.

Muito obrigado.

## BIOGRAFIA

LUCIANO REZENDE MOREIRA, filho de Bernardo Gonçalves Moreira e Lúcia Rezende da Silva Moreira, nasceu em 18 de maio de 1974, em Belo Horizonte, Minas Gerais.

Formou-se em Técnico em Agropecuária pela Central de Ensino e Desenvolvimento Agrário de Florestal (Cedaf), Universidade Federal de Viçosa (UFV), em 1993. No ano de 1999 graduou-se em Agronomia pela UFV e *Magister Scientiae* em Entomologia, em meados de 2003, por esta mesma instituição. É especialista em Manejo Integrado de Pragas e Receituário Agrônômico (2005) pela Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Em 2008 iniciou o Doutorado em Fitotecnia, também pela UFV, com a orientação do Professor Glauco Vieira Miranda, defendendo a tese em dezembro de 2011.

Foi professor de Agroecologia no Instituto Federal do Amazonas (IFAM) e no Instituto Federal de Alagoas (IFAL). Atualmente leciona no Instituto Federal Fluminense (IFF).

## ÍNDICE

	Página
RESUMO .....	ix
ABSTRACT.....	xi
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	01
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	05
<b>2. Fenotipagem de sorgo sacarino para tolerância ao estresse hídrico por meio de características morfológicas.....</b>	<b>09</b>
Resumo.....	09
Abstract.....	11
2. 1 Introdução.....	12
2. 2 Material e Métodos.....	13
2. 3 Resultados e Discussão.....	15
2. 4 Conclusões.....	18
2. 5 Agradecimentos.....	19
2. 6 Referências Bibliográficas.....	19
<b>3. Características morfológicas de sorgo sacarino BRS 501 em déficit hídrico.</b>	<b>22</b>
Resumo.....	22
Abstract.....	24
3. 1 Introdução.....	25
3. 2 Material e Métodos.....	26
3. 3 Resultados e Discussão.....	28

3. 4 Conclusões.....	33
3. 5 Agradecimentos.....	33
3. 6 Referências Bibliográficas.....	34
<b>4. Caracterização fisiológica de sorgo sacarino em diferentes umidades do solo.....</b>	<b>39</b>
Resumo.....	39
Abstract.....	41
4. 1 Introdução.....	42
4. 2 Material e Métodos.....	43
4. 3 Resultados e Discussão.....	45
4. 4 Conclusões.....	51
4. 5 Agradecimentos.....	52
4. 6 Referências Bibliográficas.....	52
<b>5. Aspectos morfológicos de sorgo sacarino em diferentes disponibilidades de água.....</b>	<b>53</b>
Resumo.....	56
Abstract.....	58
5. 1 Introdução.....	59
5. 2 Material e Métodos.....	60
5. 3 Resultados e Discussão.....	62
5. 4 Conclusões.....	72
5. 5 Agradecimentos.....	72
5. 6 Referências Bibliográficas.....	72

## RESUMO

MOREIRA, Luciano Rezende, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2011. **Caracterização morfofisiológica de cultivares de sorgo sacarino em estresse hídrico.** Orientador: Glauco Vieira Miranda. Coorientadores: João Carlos Cardoso Galvão e Valterley Soares Rocha.

O sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] é uma espécie que tem o seu centro de diversidade localizado no norte da África e apresenta elevada eficiência no uso da água. O sorgo do tipo sacarino é utilizado como matéria prima para bionergia (etanol) e se apresenta como boa alternativa em relação ao uso da cana-de-açúcar e como opção para as microdestilarias localizadas em regiões com baixos índices pluviométricos devido a sua alta produção de caldo nessas condições. A tolerância dessa espécie à seca pode ser devido aos caracteres morfológicos e fisiológicos do sistema radicular e da parte aérea da planta. Assim, os objetivos desse trabalho foram caracterizar aspectos morfológicos, fisiológicos e agrônômicos relacionados à planta e à cultura e identificar genótipos de sorgo sacarino adaptados em condição de déficit hídrico. Quatro experimentos foram realizados entre julho de 2009 e março de 2011 nas dependências da Universidade Federal de Viçosa (UFV). O delineamento experimental utilizado nos experimentos foi o inteiramente casualizado e as cultivares de sorgo foram: Rio, Ramada, BRS 501 e BRS 506. No primeiro experimento, avaliaram-se os parâmetros morfológicos dos quatro genótipos mencionados para tolerância ao estresse de seca. O experimento foi instalado em casa-de-vegetação e as parcelas foram em vasos com solo. Foi possível analisar, caracterizar e quantificar as raízes de sorgo com mais confiabilidade, sobretudo para avaliação precoce do sistema radicular com o auxílio do sistema de análise de imagens digitais WinRhizo. Nesse experimento não se constatou variações morfológicas do sistema radicular que explicassem a diferença entre os genótipos. O segundo experimento, também instalado em casa-de-vegetação em vaso com solo, objetivou-se estabelecer a lâmina de água disponível e ideal no solo que caracterizasse déficit hídrico para ser usado na discriminação de cultivares tolerantes à seca. Avaliaram-se os efeitos da irrigação na conformação radicular na fase inicial do desenvolvimento da cultivar BRS 501. Concluiu-se que o crescimento das plantas mostrou-se sensível à diminuição de água no solo, sendo afetadas acentuadamente pela baixa disponibilidade hídrica e constatou-se ser a metodologia viável para os demais experimentos que tiveram a finalidade de discriminar cultivares de sorgo tolerantes à seca. Nesta sequência, foi realizado o terceiro experimento com o propósito de

caracterizar cultivares de sorgo sacarino quanto as características fisiológicas nos diferentes níveis de irrigação testados no experimento anterior. A disponibilidade hídrica não causou alteração na transpiração das cultivares Ramada e BRS 501, mas afetou as cultivares Rio e BRS 506 que responderam positivamente ao aumento da irrigação. Resultado semelhante ocorreu com a fotossíntese, onde os distintos níveis de disponibilidade hídrica influenciaram positivamente apenas as cultivares Rio e BRS 506. Com o incremento da irrigação, houve um acréscimo na condutância estomática das cultivares avaliadas. Os resultados referentes à fluorescência da clorofila mostraram superioridade das cultivares BRS 506, Rio e Ramada. Por fim, o último experimento tratou de discriminar cultivares de sorgo sacarino por meio da avaliação de características morfológicas, da parte aérea e do sistema radicular, em quatro níveis de irrigação. O aumento da irrigação alterou aspectos morfológicos radiculares e da parte aérea entre as cultivares em diversos caracteres avaliados. A utilização da técnica de análise de imagens digitais mostrou-se uma ferramenta promissora para estudos de raízes em sorgo, pois permite discriminar atributos morfológicos em fase precoce da cultura.

## ABSTRACT

MOREIRA, Luciano Rezende, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2011. **Morphophysiological characterization of sweet sorghum cultivars under hydric stress.** Adviser: Glauco Vieira Miranda. Co-advisers: João Carlos Cardoso Galvão and Valterley Soares Rocha.

The sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] is a species from which the diversity center is located on northern Africa and presents high efficiency in using water. The sweet sorghum is used as raw material for bioenergy (ethanol), and it is a good alternative in relation to the use of the sugarcane and also as option for the microdistilleries located in areas with low pluviometric index due to its high juice production in those conditions. The tolerance of this species to the drought can be due to both morphologic and physiologic characters of either root system and aerial part of the plant. So, this study was carried out to characterize the morphologic, physiologic and agronomic aspects related to the plant and to the crop as well as to identify the genotypes of the sweet sorghum that are adapted to hydric deficit conditions. Four experiments were accomplished during the period from July 2009 and March 2011 in the Universidade Federal de Viçosa (UFV). The entirely randomized experimental design was used and the sorghum cultivars were Rio, Ramada, BRS 501 and BRS 506. In the first experiment, the morphological parameters of those four genotypes were evaluated for tolerance to the drought stress. The experiment was set up under greenhouse conditions and the vases with soil contained the plots. It was possible to analyze, to characterize and to quantify the sorghum roots with more reliability, mainly for precocious evaluation of the root system, by using the analytical system of digital images WinRhizo. In this experiment, no morphological variations that would explain the difference among genotypes were verified. In the second experiment also set up under greenhouse conditions and the vases fulfilled with soil, it was aimed to establish the ideal water depth available in the soil to characterize the water deficit. This water deficit was used to characterize the cultivars that are tolerant to drought. At the initial development phase of the BRS 501 cv., the irrigation effects on the root conformation were evaluated. It was concluded the growth of the plants to be sensible to the decrease of water in the soil, as being strongly affected by low water availability. The methodology showed to be viable for the other experiments from which the purpose was to discriminate the sorghum cultivars that are tolerant to drought. In this sequence, the third experiment was carried out

to characterize the sweet sorghum cultivars for their physiological characteristics at different irrigation levels tested in the previous experiment. The water availability caused no alterations in the perspiration of the cultivars Ramada and BRS 501, but it affected the cultivars Rio and BRS 506 that presented a positive response to the increased irrigation. Similar result occurred with photosynthesis, in which the different levels of water availability positively affected only the cultivars Rio and BRS 506. With the increased irrigation, there was an increment in the stoma conductance of the cultivars under evaluation. The results concerning to fluorescence of the chlorophyll showed superiority of the cultivars BRS 506, Rio and Ramada. Finally, the last experiment discriminated the sweet sorghum cultivars through evaluation of the morphological characteristics, aerial part and root system at four irrigation levels. The increase of the irrigation altered the morphological aspects of either roots and aerial part among cultivars in several characters under evaluation. The use of the digital image analysis technique showed to be a promising tool for studies of the sorghum roots, since it allows to discriminate the morphological attributes at precocious phase of the crop.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Os biocombustíveis (bioetanol e biodiesel), produzidos a partir de fontes renováveis de energia, estão ganhando cada vez mais importância em função do aumento dos preços dos combustíveis fósseis, esgotamento das reservas petrolíferas e a preocupação em relação ao "efeito estufa". Ao mesmo tempo, o contínuo suprimento de energia é condição vital para o crescimento econômico e melhoria da condição de vida da população. Em muitos trabalhos acadêmicos e relatórios governamentais a energia é claramente relacionada à segurança nacional e à estabilidade econômica global (Moreira, 2010).

Neste sentido, vários países têm dado prioridade a políticas que favoreçam a produção e utilização de biocombustíveis, sendo que o etanol é responsável por 90% da produção total de biocombustíveis, em diferentes partes do mundo (Reddy *et al.*, 2007)

Lipinski & Kresovich (1982) que fizeram a apreciação sobre culturas de grande potencial energético como fontes renováveis de energia, afirmaram que as três culturas de maior destaque são a cana-de-açúcar, a beterraba açucareira e o sorgo sacarino.

A cana-de-açúcar desenvolve-se bem no trópico úmido, apresentando rendimentos altos em açúcares por área cultivada, enquanto a beterraba açucareira desenvolve-se muito bem em climas temperados (Lipinski & Kresovich, 1982). O sorgo sacarino assemelha-se à cana-de-açúcar para a produção de bioenergia, uma vez que o armazenamento de açúcares localiza-se nos colmos, além de fornecer quantidade de bagaço suficiente para geração de vapor para a operação industrial. Entretanto, difere-se de maneira acentuada da cana-de-açúcar pelo fato de ser cultivado a partir de sementes e apresentar ciclo vegetativo bem mais curto, de 120 a 130 dias. Ademais, o sorgo sacarino produz grãos, que podem ser utilizados principalmente para alimentação animal na propriedade rural.

O sorgo, portanto, é uma “smart crop” porque pode ser utilizado para produzir combustível e alimento. Ainda, esse cereal é cultivado na maior parte das regiões tropicais e subtropicais do mundo, constituindo a maior fonte de alimento e de rações da África, Oriente e Oriente Médio, especialmente na Nigéria, Etiópia e Índia (Marchezan, 1987).

Em muitas regiões da África, o sorgo constitui um dos alimentos básicos da dieta humana, suprimindo cerca de 70% da ingestão calórica diária. Diante de tanta

versatilidade, admite-se que o sorgo possa ser também introduzido na alimentação humana (Oliveira, 1986), inclusive na formulação de produtos como o melão e a rapadura, ampliando a sua utilização como alimento, e atenuando a vulnerabilidade alimentar das regiões mais pobres.

No Brasil, a cultura do sorgo está se expandindo acentuadamente, em sucessão as culturas de verão, no período de safrinha (Duarte, 2010). A produção nacional de sorgo deve chegar, no ano de 2011, a 1,807 mil toneladas (t), com aumento de 11,3% em relação à safra de 2009/10, que foi de 1,624 mil toneladas. A cultura é destinada principalmente à produção de ração animal, principalmente na região Centro-Oeste, que detém 62% da colheita nacional, ou seja, 1,120 mil toneladas, seguida das regiões Sudeste (20,6%), Nordeste (12,8%), Sul (2,8%) e Norte (1,8%) (Conab, 2011).

Desta maneira, o sorgo tem despontado como excelente alternativa para as diversas regiões brasileiras, sendo importante destacar que este cereal possui tolerância a períodos de estiagem durante seu ciclo e produz colheitas de grãos e massa verde, economicamente compensadoras, em condições de pluviosidade baixa ou instável, até em solos de baixa qualidade (Camacho *et al.* 2002).

O cultivo do sorgo do tipo sacarino pode ser uma alternativa técnica e economicamente viável para fornecimento de matéria-prima à microdestilarias, evitando o corte antecipado de cana-de-açúcar. Também pode ser integrado aos sistemas produtivos da soja ou milho, pois pode ser cultivado em regiões secas e em sucessão a essas culturas (safrinha) e, principalmente, pode ser colhido na entressafra da cana-de-açúcar.

Em microdestilarias, grande parte do período da entressafra da cana-de-açúcar é completamente ocioso. Para essas microdestilarias uma das alternativas é realizar o corte antecipado da cana-de-açúcar, permitindo acelerar o início da operação da safra. Neste caso, ocorreria a redução no rendimento industrial, pelo fato de os colmos não terem atingido a maturação completa, apresentando o teor mais baixo de açúcares fermentescíveis (Teixeira *et al.*, 1997).

O sorgo é cultivado principalmente em zonas áridas e semi-áridas, visto que apresenta elevado potencial de adaptação a regiões mais secas (Neumann *et al.* 2002), com boa produtividade de grãos e altos teores de açúcares no caldo do colmo (Teixeira *et al.* 1997), além de elevada saturação lumínica e maior tolerância ao déficit hídrico e à

salinidade, caracterizando-se com as especificidades de biomas como o da caatinga (Lira, 1983).

Entretanto, o estresse causado pelo déficit hídrico não pode ser assumido como problema simples ou bem definido. Por meio de trabalhos de melhoramento têm sido demonstrado que o problema é bastante amplo variando de um local para outro. Além disso, é difícil distinguir os efeitos diretos do déficit hídrico de outros fatores como fungo de solo, baixa fertilidade do solo e altas temperaturas (White & Singh, 1991).

Em programas de melhoramento visando à tolerância ao déficit hídrico, deve-se considerar que as práticas agronômicas para diferenciar cultivares em condições de não-estresse freqüentemente falham para detectar diferenças sobre estresse, devido aos efeitos da heterogeneidade do solo e da distribuição das águas de irrigação. Para obter maior ganho na seleção por ciclo, é fundamental trabalhar com cultivares tolerantes e susceptíveis ao estresse hídrico, sendo necessário a identificação de tais cultivares em vários experimentos bem conduzidos (White & Singh, 1991).

Outro fato que prioriza o melhoramento para tolerância à seca é que o germoplasma selecionado em condições de baixo grau de estresses abióticos (limitações de clima e solo) não se mostra adequado para ser utilizado sem limitações em condições de estresses de ambientes. Isso ocorre, pois os genes que controlam a produtividade em condições de estresses abióticos são diferentes daqueles para condições ótimas.

Devido ao cultivo em ambientes com baixas disponibilidades hídricas, estratégias para aumentar a produção do sorgo e de outras culturas juntamente com a conservação dos recursos hídricos existentes são necessárias (Unger & Howell, 1999). Dentre essas estratégias, inclui-se a seleção de cultivares tolerantes à seca e com significativa eficiência do uso da água (EUA).

Para a seleção destas cultivares algumas características podem ser eficientemente aplicadas, como o aumento na eficiência de transpiração (ET) e o quociente da relação entre a biomassa seca produzida (g) por unidade de água transpirada ( $\text{dm}^3$ ), podendo aumentar o rendimento do sorgo nessas regiões áridas e semi-áridas (Xin *et al.*, 2008).

Cultivares de trigo selecionadas para baixas taxas de discriminação de carbono isótopo ( $\Delta^{13}\text{C}$ ), característica substituta da ET em plantas C3, tiveram rendimentos significativamente maiores em ambientes com baixa disponibilidade de água (Rebetzke

*et al.*, 2002). Entretanto, há pouca literatura a respeito da ET para discriminação e aumento de rendimento em cultivares de sorgo.

O sorgo possui características fisiológicas que permitem paralisar o crescimento ou diminuir as suas atividades metabólicas sob déficit hídrico e, após o término de um período de estresse hídrico, as plantas podem até crescer mais rapidamente do que as que não passaram por limitação hídrica (Amaral *et al.*, 2003). No entanto, pouco se sabe sobre estas características fotossintéticas de sorgo sob estresse hídrico (Tingting *et al.*, 2010).

Magalhães *et al.* (2007) registraram que a resistência à seca é uma característica complexa, pois envolve simultaneamente aspectos de morfologia, fisiologia e bioquímica. De acordo com os autores, existem três mecanismos relacionados à seca citados pela literatura: resistência, tolerância e escape. Suspeita-se que o sorgo apresente duas delas: escape e tolerância. O escape pode ocorrer com o sistema radicular profundo e ramificado o qual é eficiente na extração de água do solo. A tolerância está relacionada ao nível bioquímico com mecanismos internos da planta.

No programa de melhoramento de plantas, um dos fatores que mais dificulta a seleção para tolerância a seca é justamente a ausência de uma característica clara (marcador) para medir o grau no qual o genótipo é considerado tolerante ou susceptível ao estresse de seca. Medidas fisiológicas tais como potencial de água na folha e ajustamento osmótico não se correlacionam com diferenças em rendimento sob estresse (Magalhães *et al.*, 2007).

Em condições de déficit hídrico moderado, o fechamento estomático inibe significativamente as taxas fotossintéticas nas plantas, de maneira que o controle estomático é concebido como o principal fator da limitação da fotossíntese (Cornic, 2000).

Além da condutância estomática (gs), também a condutância mesofílica (gm) pode restringir o processo fotossintético (Cavatte, 2007). Pequenas reduções na condutância mesofílica podem reduzir significativamente a concentração de CO<sub>2</sub> nos sítios de carboxilação e, conseqüentemente, reduzir a fotossíntese na planta (Evans *et al.*, 1994).

Pinheiro *et al.* (2005) relataram que a sobrevivência ou a estabilidade de plantas tolerantes à seca, quando cultivadas em ambientes propensos a estiagens prolongadas, estão associados à combinação de fatores que minimizam a perda d'água, relacionados a sistemas radiculares profundos.

Várias espécies desenvolvem mecanismos capazes de aumentar contato das raízes com os recursos disponíveis no solo, ou seja, água e nutrientes. O crescimento em extensão e o aumento da ramificação das raízes possivelmente representam estratégias alternativas na exploração do volume do solo e na aquisição destes recursos encontrados pelo sistema radicular (Harper *et al.*, 1991).

As plantas deficientes em nutrientes tendem a aumentar o comprimento de raiz e formam-se mais finas, promovendo o aumento na área superficial do sistema radicular (Marschner, 1995).

Como as regiões e épocas de plantio do sorgo sacarino são, geralmente, em condições de pouca pluviosidade, é necessário que as cultivares sejam tolerantes à seca e esta característica deve ser prioridade nos programas de melhoramento de sorgo sacarino. Além disso, o desenvolvimento de cultivares tolerantes à seca pode promover impactos positivos na área social e econômica, destacando a grande possibilidade agrícola do uso do sorgo sacarino em regiões secas como nova alternativa para o agronegócio local.

Assim, o presente trabalho teve por objetivos gerais identificar genótipos de sorgo sacarino em condição de déficit hídrico e caracterizar aspectos fisiológicos, morfológicos e agrônômicos relacionados. Trabalhou-se com a hipótese da existência da variabilidade fenotípica das cultivares de sorgo sacarino avaliadas em diferentes níveis de água na irrigação.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AMARAL, S. R.; LIRA, M. A.; TABOSA, J. N.; SANTOS, M. V. F. S.; MELLO, A. C. L.; SANTOS, V. F. Comportamento de linhagens de sorgo forrageiro submetidas a déficit hídrico sob condição controlada. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 38, n. 8, p. 973-979, 2003.

CAMACHO, R.; MALAVOLTA, E.; GUEIREIRO-ALVES, J.; CAMACHO, T. Vegetative growth of grain sorghum in response to phosphorus nutrition. , v.59, n. 4, p. 771-776, 2002.

CAVATTE, P. C. Morfologia, relações hídricas e fotossíntese em duas cultivares de *coffea canephora*, submetidas ao déficit hídrico. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG. 2007.

COMPANHIA BRASILEIRA DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da Safra Brasileira – Safra 2010/2011. Nono Levantamento. 2011. Disponível em <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=>. Acessado em 02 de junho de 2011.

CORNIC, G. Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture: not by affecting ATP synthesis. Trends in Plant Science 5: p. 187-188. 2000.

DUARTE, J. O. A produção de sorgo granífero no Brasil. Mercado e Comercialização. Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção. Versão Eletrônica. 6ª Edição. 2010.

EVANS, J. R.; VON CAEMMERER S.; SETCHELL B. A.; HUDSON, G. S. The relationship between CO<sub>2</sub> transfer conductance and leaf anatomy in transgenic tobacco with a reduced content of rubisco. Australian Journal of Plant Physiology 21: p. 475-495. 1994.

HARPER, J. L.; JONES, M.; SACKVILLE-HAMILTON, N. R. The evolution of roots and the problems of analysing their behaviour. In: ATKINSON, D. (Ed.). Plant root growth: an ecological perspective. Oxford: Blackwell, p. 3-22. 1991.

LIPINSKY, E. S.; KRESOVICH, S. Sugar stalk crops for fuels and chemicals. In: Progress in biomass conversion. New York: Academic Press, p.89-125, 1982.

LIRA, M. A. Seleção entre e dentro de famílias de meios irmãos para produção, capacidade de expansão e correlações entre alguns caracteres em milho pipoca (*Zea*

mays L.). Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras. 63 p. 1983.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; RODRIGUES, J. A. S. Cultivo do Sorgo – Aspectos gerais dos efeitos ambientais sobre o crescimento do sorgo. Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de Produção 2. Sete Lagoas. 2007. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Sorgo/CultivodoSorgo/ambientais.htm>. Acessado em 27 de junho de 2011.

MARCHEZAN, E. Resultados do Ensaio Nacional do Sorgo em Santa Maria, RS. Reunião Técnica Anual do Sorgo, XVI. Pelotas-RS, 1987.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition in plants. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 1995.

MOREIRA, L. R. Biocombustíveis: abastecer o debate sobre os rumos da política energética. Revista Princípios. São Paulo. Ed. 105, p. 50-54, Jan/Fev. 2010.

NEUMANN, M.; RESTLE J.; ALVES FILHO, D. C.; BRONDANI, I. L.; PELLEGRINI, L. G.; FREITAS, A. K. Avaliação do valor nutritivo da planta e da silagem de diferentes híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.). Revista Brasileira de Zootecnia, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 293-301, 2002.

OLIVEIRA, F. A. Consumo humano do sorgo na propriedade agrícola. Informe Agropecuário, Belo Horizonte. v.12, p. 11-13, 1986

PINHEIRO, H. A.; DAMATTA, F. M.; CHAVES, A. R. M.; LOUREIRO, M. E.; DUCATTI, C. Drought tolerance is associated with rooting depth and stomatal control of water use in clones of *Coffea canephora*. Annals of Botany 96: p. 101-108. 2005.

REBETZKE, G. J.; CONDON, A. G.; RICHARDS, R. A.; FARQUHAR, G. D. Selection for reduced carbon isotope discrimination increases aerial biomass and grain yield of rainfed bread wheat. Crop Science vol.42, p. 739–745. 2002.

REDDY, B. V. S.; ASHOK KUMAR, A.; RAMESH, S. Sweet sorghum: a water saving bioenergy crop. International conference on linkages between energy and water management for agriculture in developing countries, IWMI, ICRISAT Campus, Hyderabad, India. 2007.

TEIXEIRA, C. G; JARDINE, J. G; BEISMAN, D. A. Utilização do sorgo sacarino como matéria-prima complementar a cana-de-açúcar para obtenção de etanol em microdestilaria. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. vol.17 n° 3. 1997.

TINGTING, X.; PEIXI, S.; LISHAN, S. Photosynthetic characteristics and water use efficiency of sweet sorghum under different watering regimes. *Pak. J. Bot.*, 42(6): p. 3981-3994, 2010.

UNGER, P. W.; T. A. HOWELL. Agricultural water conservation: A global perspective. *J. Crop Production* vol.2, p. 1-36. 1999.

XIN, Z.; FRANKS, C.; PAYTON, P.; BURKE, J. J. A simple method to determine transpiration efficiency in sorghum, *Field Crops Research* vol.107, p. 180-183. 2008.

WHITE, J. W.; SINGH, S. Breeding for adaptation to drought. In: SCHOONHOVEN, A. VAN, VOYSEST, O. (Ed.). *Common beans: research for crop improvement*. Cali: CIAT/ CAB, p.501-560. 1991.

## **2. CAPÍTULO I**

### **FENOTIPAGEM DE SORGO SACARINO PARA TOLERÂNCIA AO ESTRESSE HÍDRICO POR MEIO DE CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS**

#### **RESUMO**

Objetivou-se, com este trabalho, identificar as cultivares de sorgo sacarino que apresentam maior tolerância à seca e discriminar fenotipicamente as características morfológicas radiculares desses genótipos para ambientes com déficit hídrico. As cultivares (Rio, Ramada, BRS 501 e BRS 506) foram submetidos a dois tratamentos (Ambientes). O primeiro foi composto por um ambiente denominado água irrestrita (AI) -37,5 kPa e o segundo ambiente com restrição hídrica denominado água restrita (AR) com uma pressão matricial dez vezes menor que a do tratamento AI, ou seja, -375 kPa. A diferença entre o peso ideal do tratamento e o peso observado no vaso antes de ser irrigado comparado com um vaso idêntico aos respectivos tratamentos sem a planta, forneceu a evapotranspiração da cultivar nesse período. As raízes foram analisadas pelo sistema WinRhizo, de modo a se obter as seguintes características estudadas: comprimento, volume, área superficial, área projetada e diâmetro de raiz. A análise de

variância para todas as características avaliadas mostrou não haver interação ( $P > 0,05$ ) entre genótipo e ambiente. Isoladamente, também não foi observada variação ( $P > 0,05$ ) nos genótipos e nos ambientes avaliados para as características em questão, com exceção do diâmetro de raiz. Neste sentido, observou-se que o diâmetro das raízes foi maior ( $P < 0,05$ ) quando as plantas foram submetidas a condições de maior estresse de seca (AR). Conclui-se que as cultivares não apresentaram características significativamente distintas nos ambientes contrastantes o que pode ser em razão de serem muito tolerantes ao estresse imposto, pelo estágio fenológico avaliado ter sido muito inicial ou pelo estresse ter tido pouca intensidade para gerar atividades distintas nas cultivares.

**Palavras-chaves:** WinRhizo, sorgo sacarino, análise de raiz, déficit hídrico.

## **PHENOTYPING OF THE SWEET SORGHUM FOR TOLERANCE TO HYDRIC STRESS THROUGH MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS**

### **ABSTRACT**

This study was conducted to identify the sweet sorghum cultivars presenting higher tolerance to drought as well as to phenotypically discriminate the root morphological characteristics of those genotypes for environments with water deficit. The cultivars (Rio, Ramada, BRS 501 and BRS 506) were subjected to two treatments (Environments). The first one was composed by an environment so-called unrestricted water (AI) -37.5 kPa and the second one with hydric restriction so-called restricted water (AR) with a matrix pressure that was lower than the one of the CPA treatment, that is -375 kPa. The difference between the ideal weight of the treatment and the weight observed in the vase, before being irrigated, when compared with an identical vase used in the treatments without the plant, provided an evapotranspiration of the cultivar during the period. The roots were analyzed by the WinRhizo system, on such a way to obtain the following characteristics under study: length, volume, superficial area, projected area and root diameter. For all characteristics under evaluation, the variance analysis showed no interaction ( $P > 0.05$ ) between genotype and environment. Separately, no variation were observed ( $P > 0.05$ ) in the genotypes and environments evaluated for the characteristics under study, except the root diameter. In this sense, it was observed that the diameter of the roots were higher ( $P < 0.05$ ) when the plants were submitted to higher drought stress conditions (AIR). It is concluded that the cultivars did not present significantly different characteristics in the contrasting environments, what happened probably because they are very tolerant to the imposed stress, the phenological stage under evaluation study was very initial or the stress had low intensity to generate different activities in the cultivars.

**Keywords:** WinRhizo, sweet sorghum, root analysis, hydric deficit.

## 2. 1 INTRODUÇÃO

O sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] é cultivado na maior parte das regiões tropicais e subtropicais do mundo, constituindo-se na maior fonte de alimentos e de rações da África, Oriente Médio, especialmente Nigéria, Etiópia e Índia, sendo o quinto cereal mais produzido no mundo e um dos mais tolerantes à ambientes com déficit hídrico (Blum, 2004).

Um ponto que pode ser fortemente explorado pela cultura do sorgo é que ela se assemelha com a cana-de-açúcar para a produção de etanol, uma vez que o armazenamento de açúcares se localiza nos colmos, além de fornecer quantidade de bagaço suficiente para a geração de vapor para a operação industrial.

O sorgo também apresenta um ciclo mais curto que o da cana e é mais tolerante ao estresse hídrico, potencializando sua produção de bioetanol em áreas com pouca disponibilidade hídrica no período de entressafra da cana, uma vez que nesse período grande parte das destilarias fica operacionalmente ociosa ou em estado de reparo do maquinário para a próxima safra. Por isso, o sorgo apresenta-se como opção para manter as atividades operacionais das destilarias durante esse período.

Esse cereal apresenta grande eficiência no uso da água (Kimdambi *et al.*, 1990; Peng & Krieg, 1992) e possui características fisiológicas que permitem paralisar o crescimento ou diminuir as atividades metabólicas durante o estresse hídrico, acumulando reservas metabólicas e reiniciando o crescimento ao término do estresse (Masojidek *et al.*, 1991). Essas reservas, que são pouco utilizadas durante a seca, ficam disponíveis para estimular o crescimento quando a água se torna novamente disponível (Donatelli *et al.*, 1992).

Também o entendimento sobre a morfologia do sistema radicular no solo e a compreensão de suas interações genéticas é fundamental para a escolha dos melhores

genótipos adaptados às condições de estresse do solo (Cantão, 2007). De acordo com Fitter (1991), raízes que apresentam maiores comprimentos específicos tendem a explorar maior volume de solo por unidade de investimento metabólico em seus tecidos, sendo assim, mais eficientes na aquisição de água e nutrientes por unidade de carbono consumido.

Tuinstra *et al.* (1997) expuseram que durante o processo natural de evolução, as plantas de sorgo desenvolveram mecanismos de adaptação para diversas condições ambientais, resultando em extensa variação genética para tolerância a diversos estresses. Portanto, a escolha da cultivar mais adequada é um aspecto fundamental para o estabelecimento de um sistema de produção mais eficiente.

A eficiência na escolha de cultivar pode ser implantada pela observação de um conjunto de informações para a cultura dentro de cada região, dentre elas a caracterização do sistema radicular vigoroso (Coelho, 2002).

Este trabalho teve por objetivos identificar as cultivares de sorgo sacarino que se apresentam precocemente maior tolerância à seca e discriminar fenotipicamente as características morfológicas do sistema radicular desses genótipos para ambientes com déficit hídrico.

## 2. 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na casa de vegetação do Programa Milho<sup>®</sup> da Universidade Federal de Viçosa (UFV), durante os meses de julho a agosto de 2009. O experimento foi instalado segundo o delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. Foi utilizado quatro cultivares de sorgo sacarino, disponibilizados pela Embrapa – Milho e Sorgo<sup>®</sup>: Rio, Ramada, BRS 501 e BRS 506.

As cultivares foram semeadas em vasos de oito litro, usando-se cinco sementes por vasos preenchidos com solo de superfície, sendo deixado apenas uma planta por vaso, desbastando-se as demais no quinto dia após a emergência. A análise química e física do solo foi feita pelo Laboratório de Análises de Solos da UFV, sendo classificado texturalmente como argiloso, contendo 59% de argila, 2% de silte e 39% de areia, densidade de 1,1 kg/dm<sup>3</sup> e pH de 4,64. A calagem foi realizada segundo o método de neutralização do Al<sup>3+</sup> e da elevação dos teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, para a correção da

acidez até a faixa de pH 5,5, sendo utilizado 9,8 g de calcário dolomítico PRNT=80%, para cada vaso.

A adubação foi adequada às recomendações referentes à cultura do sorgo. Foi realizada adubação no plantio e outra de cobertura aos 20 dias após a emergência, totalizando as seguintes quantidades de nutrientes fornecidos a cada vaso: 0,600 g de N, 0,360 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 0,481 g de K<sub>2</sub>O.

As cultivares foram submetidas a dois tratamentos. O primeiro, composto por um ambiente denominado água irrestrita (AI), com pressão matricial de -37,5 kPa; e o segundo ambiente, com restrição hídrica denominado água restrita (AR), com pressão matricial dez vezes menor que a do tratamento AI, ou seja, -375 kPa. As análises foram feitas de acordo com a curva de retenção de água no solo, determinada pelo Laboratório de Análises do Solo da UFV.

As cultivares foram mantidas sob o tratamento AI até 14 dias após a semeadura, com o intuito de haver água em quantidade suficiente a fim de se promover condições ideais de germinação e início de desenvolvimento vegetativo. Após esse período as cultivares foram submetidas aos seus referidos tratamentos, com sua manutenção a cada quatro dias pela irrigação artificial.

A diferença entre o peso ideal do tratamento e o peso observado no vaso antes de ser irrigado, comparado com um vaso idêntico aos respectivos tratamentos sem a planta, forneceu a evapotranspiração da cultivar nesse período. A soma da diferença desses valores de evapotranspiração até o término do experimento gerou a evapotranspiração acumulada da cultivar (ETAC).

As plantas foram retiradas dos vasos 30 dias após a germinação, com a secagem da parte aérea e da raiz em estufa com fluxo de ar quente à 70°C por quatro dias. A relação do peso seco desse material pela ETAC forneceu a Eficiência de Evapotranspiração (EET), em grama de matéria seca por dm<sup>3</sup> de água evapotranspirada durante o experimento.

As plantas foram separadas em sistema radicular e parte aérea, na altura do coleto. As raízes lavadas foram armazenadas em frascos contendo solução de etanol 70%, para evitar sua desidratação.

As amostras de raízes foram submergidas em bacias contendo água destilada, por 30 minutos. Esse procedimento, descrito por Magalhães *et al.* (2008), teve por objetivo facilitar o processo de lavagem das raízes, que foi realizado utilizando-se um

jato de água, até que os sistemas radiculares das plântulas ficassem livres de partículas e impurezas do solo, sobretudo gravetos e raízes estranhas. Para evitar perda de material durante esse procedimento foi utilizado duas peneiras de malhas diferentes.

As raízes foram dispostas em uma cuba de acrílico de 20 centímetros de largura por 30 centímetros de comprimento contendo água. A utilização deste acessório permitiu a obtenção de imagens em três dimensões, minimizando também a sobreposição das raízes. As leituras foram analisadas pelo sistema WinRhizo (Epson®), acoplado a um scanner profissional Epson XL 10000 equipado com unidade de luz adicional (TPU). Foi utilizada uma definição de 400 (dpi) para as medidas de morfologia de raiz, como descritos por Bauhus & Christian (1999), Bouma *et al.* (2000) e Costa *et al.* (2002), gerando os dados referentes às seguintes características morfológicas radiculares: diâmetro, comprimento, volume, área superficial e área projetada da raiz.

As análises estatísticas foram executadas utilizando-se o programa SAS (Statistical Analysis System - SAS Institute Inc., Cary, NC, USA), versão 9.1. 2003.

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância para a característica eficiência de evapotranspiração (EET), comprimento, volume e diâmetro de raiz ( $P > 0,05$ ) entre genótipo (G) e ambiente (A) (Tabela 1). Isoladamente, não foi observada variação ( $P > 0,05$ ) para EET, comprimento e volume de raiz entre os genótipos e entre os ambientes avaliados.

Tabela 1 – Análise de variância para as características comprimento, volume e diâmetro de raiz

F.V.	G.L.	Q.M.			
		EET	Comprimento (cm)	Volume (dm <sup>3</sup> )	Diâmetro (cm)
(G)	3	0,00321697 <sup>ns</sup>	18,3990 <sup>ns</sup>	0,5983 <sup>ns</sup>	0,0013 <sup>ns</sup>
(A)	1	0,00197091 <sup>ns</sup>	1,8906 <sup>ns</sup>	0,9900 <sup>ns</sup>	0,01395 <sup>*</sup>
(G) X (A)	3	0,000264601 <sup>ns</sup>	6,5889 <sup>ns</sup>	0,3836 <sup>ns</sup>	0,0008 <sup>ns</sup>
RESÍDUO	8	0,00422679	36,0967	0,8354	0,0011
Média		0,10108840	13,5754	0,4790	
CV(%)		64,31378	44,26	37,59	6,86

<sup>ns</sup> não significativo ao nível de 5% de probabilidade

<sup>\*</sup> significativo ao nível de 5% de probabilidade

Segundo os resultados obtidos por Balota *et al.* (2008), para essa mesma característica, houve diferenças significativas entre o acúmulo de matéria seca em relação à quantidade de água transpirada no ambiente com estresse hídrico e sem estresse hídrico.

A aparente contradição apresentada, pode ser decorrente deste experimento ter sido conduzido apenas até o estágio de quarta folha completamente expandida, ao contrário do experimento citado, que foi conduzido até a fase de florescimento.

Ademais, os tratamentos no experimento de Balota *et al.* (2008) foram submetidos a uma pressão matricial de -100 kPa para o ambiente equivalente ao AI e -1000 kPa para o ambiente equivalente ao AR, amplitude superior ao estabelecido neste experimento (AI -37,5 kPa e AR -375 kPa).

A utilização da técnica de análise de imagens digitais, embora demonstre ser uma ferramenta promissora para estudos de raízes em sorgo, deve ser conduzido atento aos níveis adequados de irrigação, respeitar as fases críticas do desenvolvimento fenológico da espécie, além de se conhecer as características de cada genótipo testado (Magalhães, 2009). Portanto, com os cuidados devidos, além de servir como um instrumento de alta precisão, rápido e confiável na avaliação da morfologia das raízes de sorgo, o sistema utilizado permite ainda diferenciar, quantificar e caracterizar raízes de sorgo na fase precoce de desenvolvimento.

Nascimento (2008), ao avaliar o sorgo forrageiro sob diferentes disponibilidades de água em solos do nordeste brasileiro, observou uma influência negativa no crescimento das plantas de acordo com a diminuição de água disponível no solo, afetando de forma significativa no desenvolvimento radicular, interferindo nas características de volume e diâmetro das raízes. Entretanto, a metodologia usada por esse autor foi de imposição de maiores restrições hídricas, em quatro níveis de água no solo, em situações de 100%, 80%, 60% e 40% de capacidade de campo.

Parâmetros de raízes tais como volume e comprimento são difíceis serem determinados, sendo necessárias amostragens do sistema radicular por métodos rápidos e confiáveis (Amato & Pardo, 1994).

A relação de eficiência das raízes com altos índices de comprimento específico pode variar entre as espécies, provavelmente devido ao fato de as raízes muito finas apresentarem reduzida longevidade, podendo dificultar o metabolismo radicular. Assim, separar comprimentos específicos nos componentes finura de raiz

(comprimento/volume) e densidade de tecido de raiz (massa raiz/volume) pode trazer informações sobre a relação entre características de raiz e estratégias de desenvolvimento das plantas (Ryser & Lambers, 1995). Pela Tabela 2, observa-se que o diâmetro das raízes foi maior ( $P < 0,05$ ) quando as plantas foram submetidas a condições de maior estresse de seca (AR).

Tabela 2 – Médias da característica diâmetro de raiz, nas duas condições de disponibilidade de água (AR e AI) avaliadas

Ambiente	Diâmetro de Raiz (mm)
Água Restrita (AR)	0,50850 <sup>a</sup>
Água Irrestrita (AI)	0,44945 <sup>b</sup>

\* Médias seguidas por letras distintas diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste Tukey

Por ser o diâmetro das raízes uma característica morfológica de extrema importância na planta, influenciando diretamente a interação da planta com o solo para a aquisição de nutrientes minerais e por haver pouca literatura a respeito para a cultura do sorgo, é necessário mais estudos sobre sua dinâmica no solo.

De acordo com Magalhães *et al.*, (2009), a apresentação de raízes mais finas (diâmetro menor) e compridas nem sempre confere maior eficiência na absorção de água e nutrientes pela planta de milho, pois as mesmas podem apresentar tal aspecto por estarem mais suberizadas e menos impermeáveis. Segundo Hopikins (1995), as modificações morfológicas e anatômicas durante a maturidade de tecidos, seja por suberização, cutinização e formação de tecidos secundários, determinarão o padrão de absorção pelas partes radiculares.

Além do mais, com maior quantidade de água disponível no solo, é de se esperar um maior desenvolvimento de raízes finas, contribuindo para a diminuição da média do diâmetro das mesmas.

Assim, como observado para EET, comprimento, volume e diâmetro de raiz, para a característica morfológica área superficial e área projetada de raiz também não houve interação ( $P > 0,05$ ) entre genótipo e ambiente. Também não foi observada variação ( $P > 0,05$ ) para esta característica entre os genótipos e entre ambientes (Tabela 3).

Tabela 3 – Análise de variância para as características área de raiz

F.V.	G.L.	Q.M.
		Proj. Área (cm <sup>2</sup> )
(G)	3	38127,8119 <sup>ns</sup>
(A)	1	9377,0172 <sup>ns</sup>
(G) X (A)	3	18301,0973 <sup>ns</sup>
RESÍDUO	8	67815,8597
		Área Superficial (cm <sup>2</sup> )
Média		645,3425313
CV(%)		40,35

<sup>ns</sup> não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Com relação às características do sistema radicular, pode-se afirmar que quanto maior o volume do solo explorado pelo sistema radicular, maior é a absorção dos nutrientes pela planta (Teo *et al.*, 1995). A não diferenciação entre os dois ambientes em relação à área superficial de solo explorada pelo sistema radicular pode ser em razão do experimento ter sido conduzido até o estágio de quarta folha completamente expandida, não permitindo desenvolvimento mais robusto do sistema radicular da planta.

## 2.4 CONCLUSÕES

As cultivares não apresentaram características significativamente distintas nos ambientes contrastantes ou por serem muito tolerantes ao estresse imposto ou pelo estresse ter tido pouca intensidade para gerar atividades distintas nas cultivares, ou até mesmo pelo fato de o estágio fenológico avaliado ter sido muito inicial. Exceção ao diâmetro de raiz, que em condição de restrição hídrica demonstrou índices maiores.

É aconselhável que as quatro cultivares aqui analisadas, possam ser reavaliadas em ambientes com estresse hídrico mais intenso, além de serem analisadas até estágios mais avançados de desenvolvimento da cultura, preferencialmente com solos ou substratos de textura mais arenosa.

## 2. 5 AGRADECIMENTO

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão da bolsa; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig), pelo apoio financeiro ao projeto.

## 2. 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMATO, M.; PARDO, A. Root length and biomass losses during sample preparation with different screen mesh sizes. *Plant and Soil*, v. 161, p.299–303, 1994.

BALOTA, M.; WILLIAM, A.; PAYNE, W. R.; ROSENOW, D. Gas exchange and transpiration ratio in sorghum, *Crop Science*, vol. 48, 2361-2371. 2008.

BAUHUS, J.; CHRISTIAN MESSIER. Evaluation of fine root length and diameter measurements obtained using WinRhizo Image Analysis. *Agronomy Journal*, Madison, v. 91, n. 1, p. 142-147, Jan./Feb. 1999.

BLUM, A. Sorghum physiology. *In* NGUYEN H. T.; A. BLUM, A. (ed.) *Physiology and biotechnology integration for plant breeding*. Marcel Dekker, New York. p. 141–223. 2004.

BOUMA, T. J.; NIELSON, K. L.; KOUTSTAAL, B. A. S. Sample preparation and scanning protocol for computerised analysis of root length and diameter. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 218, p. 185-196, 2000.

CANTÃO, F. R. O. Marcadores morfológicos de raiz em genótipos de milho contrastantes para tolerância à seca em resposta a estresses de fósforo e alumínio. M.Sc. UFLA, Lavras, MG. 2007.

COELHO, A. M.; WAQUIL, J. M.; KARAM, D.; CASELA, C. R.; RIBAS, P. M. Seja doutor de seu sorgo. Potafós. *Informações Agronômicas*, n.100, p.24. 2002.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª. Aproximação. Viçosa. 359p. 1999.

COSTA, C.; DWYER, L. M.; ZHOU, X.; DUTILLEUL, P.; HAMEL, C.; REID, L. M.; SMITH, D. L. Root morphology of contrasting maize genotypes. *Agronomy Journal*, Madison, v. 94, n. 1, p. 96-101, Jan./Feb. 2002.

DONATELLI, M.; HAMMER, G. L.; VANDERLIP, R. L. Genotype and water limitation effects on phenology, growth and transpiration efficiency in grain sorghum. *Crop Science*, Madison, v. 32, p. 781-786. 1992.

EPSON Flatbed Scanner EPSON Perfection V700/V750 1.8 V3.24

FITTER, A. H. The ecological significance of root system architecture: an economic approach. In: *Plant Root Growth: an Ecological Perspective*. pp 229–243. Blackwell Scientific Publishers, London. 1991.

HOPIKINS, W. G. *Introduction to plant physiology*. New York: John Wiley, 464 p. 1995.

KIDAMBI, S. P.; KRIEG, D. R.; ROSENOW, D. T. Genetic variation for gas exchange rates in grain sorghum. *Plant Physiology* vol.92, 1211–1214. 1990.

MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C.; CASTRO, E. M.; CANTÃO, F. R. O.; PARENTONI, S. N.; PEREIRA, F. J. Caracterização precoce de raízes através de WinRhizo em ciclos de seleção de milho Saracura BRS-4154. In: *Congresso Nacional de Milho e Sorgo. Agroenergia, produção de alimentos e mudanças climáticas: desafios para milho e sorgo: trabalhos e palestras*. Londrina: Embrapa Milho e Sorgo, 2008.

MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C.; PEREIRA, F. J.; CASTRO, E. M.; PARENTONI, S. N. Avaliação das modificações morfológicas radiculares durante os

ciclos de seleção do milho Saracura tolerante a hipoxia. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento N. 15. Embrapa. Sete Lagoas. 23 p. 2009.

MASOJIDEK, J.; TRIVEDI, S.; HALSHAW, L.; ALEXIOU, A.; HALL, D. O. The synergetic effect of drought and light stress in sorghum and pearl millet. *Plant Physiology*, Bethesda, vol. 96, 198-207. 1991.

NASCIMENTO, R. Crescimento de plantas de sorgo sob diferentes disponibilidades de água no solo, *Revista Educação Agrícola Superior*, v.23, n.1, p.53-54. 2008.

PENG, S.; KRIEG, D. R. Gas exchange traits and their relationship to water use efficiency of grain sorghum. *Crop Science*, vol.32, 386–391. 1992.

RYSER, P.; LAMBERS, H. Root and leaf attributes accounting for the performance of fast- and slow-growing grasses at different nutrient supply. *Plant and Soil*, v. 170, p. 251–265, 1995.

SAS INSTITUTE (2003) SAS/STAT software versão 9.1, Cary. 2003.

TEO, Y. H.; BEYROUTY, C. A.; NORMAN, R. J.; GBUR, E. E. Nutrition uptake relationship to root characteristics of rice. *Plant and Soil*, Dordrecht, v.171, p.297-302, 1995.

TUINSTRA, M. R.; GROTE, E. M.; GOLDSBROUGH, P. B.; EJETA, G. Genetic analysis of post flowering drought tolerance and components of grain development in *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Molecular Breeding*, v. 3, p. 439-448, 1997.

### **3. CAPÍTULO II**

#### **CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE SORGO SACARINO BRS 501 EM DÉFICIT HÍDRICO**

##### **RESUMO**

A cultura do sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] destaca-se entre as demais por tolerar tanto o déficit hídrico como o excesso de umidade no solo, em situações ambientais muito secas e/ou muito quentes nas quais a produtividade de outros cereais torna-se antieconômica. Este trabalho objetivou avaliar os efeitos da irrigação na conformação radicular na fase inicial de desenvolvimento do sorgo sacarino. Nesse propósito, foi utilizado a cultivar BRS 501 submetido a quatro níveis de irrigação que se basearam em 80%, 60%, 40% e 20% da capacidade de campo (c.c). A diminuição na disponibilidade de água no solo influenciou negativamente a maioria das características avaliadas com exceção da relação entre o sistema radicular e a parte aérea (SR/PA), diâmetro médio de raiz (DMR) e área radicular específica (ARE). De acordo com os resultados obtidos e a metodologia utilizada, conclui-se que o crescimento das plantas de sorgo sacarino avaliado mostrou-se sensível à diminuição de água no solo, sendo afetadas pela baixa disponibilidade hídrica. Esta metodologia utilizada, comum às

outras culturas, pode ser utilizada para sorgo sacarino para estabelecer disponibilidades hídricas em novos experimentos que tenham a finalidade de discriminar cultivares tolerantes à seca.

**Palavras-chaves:** *Sorghum bicolor* (L.) Moench, déficit hídrico, raiz, WinRhizo.

## MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE SWEET SORGHUM BRS 501 UNDER HYDRIC STRESS

### ABSTRACT

The crop of the sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] is distinguished among the other ones for tolerating either hydric deficit and excessive humidity in the soil, under very dry and/or very hot environmental situations in which the productivity of other cereals becomes uneconomical. This work was conducted to evaluate the effects from irrigation upon root conformation at the initial development phase of the sweet sorghum. So, the BRS 501 cv. was subjected to four irrigation levels based on 80%, 60%, 40% and 20% of the field capacity (c.c.). The decreased availability of water in the soil negatively affected the majority of the characteristics under evaluation except for the relationship between the root system and the aerial part (SR/PA), average root diameter (DMR) and specific root area (ARE). According to the results and the used methodology, it is concluded that the growth of the sweet sorghum plants under evaluation show to be sensible to the decrease of water in the soil, as being affected by low water availability. This methodology, that is common to other crops, can be used for saccharine sorghum in order to establish hydric availabilities in new experiments from which the purpose is to discriminate the drought-tolerant cultivars.

**Keywords:** *Sorghum bicolor* (L.) Moench, hydric deficit, root, WinRhizo.

### 3. 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] tem despontado como alternativa para diversas regiões. A cultura adapta-se a ambientes variados, principalmente com deficiência hídrica e altas temperaturas (Santos *et al.*, 2005). Essa característica permite-lhe desenvolver-se e expandir-se em regiões com distribuição irregular de chuvas e em sucessão a culturas de verão.

Outra vantagem é que o sorgo apresenta alta eficiência no uso da água comparado a outras culturas da mesma família como, o milho e o trigo. Enquanto o trigo e o milho, respectivamente, necessitam de 500 e 370 quilos de água para produzir um quilo de matéria seca; o sorgo precisa de 330 quilos de água (Magalhães *et al.*, 2007).

A frequência e a intensidade do déficit hídrico constituem os fatores mais importantes à limitação da produção agrícola mundial e vários estudos têm sido realizados com o objetivo de analisar as variáveis morfofisiológicas das plantas e sua habilidade em adaptar-se às condições de déficit hídrico durante o seu desenvolvimento (Santos & Carlesso, 1998).

Desse modo, a resposta das plantas ao potencial de água no solo tem sido estudada por muitos pesquisadores, mas de maneira geral o potencial de água no solo não indica as condições de excesso ou déficit de água na profundidade do solo explorado pelo sistema radicular das plantas (Carlesso, 1995). Ritchie *et al.* (1990) fizeram ressalvas ao uso do potencial de água no solo para caracterizar a intensidade de

ocorrência de déficit hídrico e propõe que as respostas fisiológicas e morfológicas das plantas ao déficit hídrico sejam avaliadas em decorrência da água disponível no solo.

Mesmo com significativa publicação científica acerca de efeitos quantitativos do déficit hídrico sobre a cultura do sorgo, existem poucos registros sobre a quantificação das respostas e mesmo sobre o estudo morfológico das raízes em face de diferentes intensidades de seca.

Em condições limitantes de água é necessário conhecer a resposta do cultivo em relação ao fornecimento variável de água e determinar o consumo deste em suas distintas etapas fenológicas para definir as estratégias que minimizem as perdas de rendimento do cultivo (González & Merelo, 1999).

A amplitude dos efeitos do déficit hídrico nas plantas vai depender, portanto, da sua duração e intensidade, bem como da capacidade genética das espécies ou cultivares em responder às mudanças do ambiente (Chaves *et al.*, 2002).

Entre as cultivares de sorgo são grandes as diferenças em relação à reação e ao desempenho sob condições de estresse hídrico (Tardin *et al.*, 2008). A cultivar BRS 501 é representativa do cultivo do sorgo sacarino no Brasil, portanto sua utilização servirá como referência para avaliar o efeito de diferentes disponibilidades de água no solo para outras cultivares.

O objetivo foi estabelecer um nível de água disponível no solo em que houve déficit hídrico para ser usado na discriminação de cultivares tolerantes à seca, assim como avaliar os efeitos da irrigação na conformação radicular na fase inicial de desenvolvimento do sorgo.

### **3. 2 MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Programa Milho<sup>®</sup>, localizada no campus da Universidade Federal de Viçosa (UFV), no estado de Minas Gerais, durante os meses de janeiro e fevereiro de 2010. As análises morfológicas da parte aérea e do sistema radicular das plantas estenderam-se pelos meses de março e abril, também nas dependências do Programa Milho<sup>®</sup>. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente ao acaso com três repetições, onde cada vaso contendo uma planta foi considerado uma unidade experimental.

Foram utilizadas sementes de sorgo sacarino da cultivar BRS 501, cedidas pela Embrapa Milho e Sorgo, as quais foram semeadas em vasos plásticos com capacidade para oito litros. Quatro dias após a emergência foi feito o desbaste, deixando-se apenas uma planta por vaso.

Utilizou-se como substrato 50% de solo de textura argilosa e 50% de areia, devidamente homogeneizado. Pesou-se e distribuiu-se a mesma quantidade de substrato para todos os vasos.

Os tratamentos consistiram de quatro níveis de água no solo: 80% da capacidade de campo (80% cc), 60% da capacidade de campo (60% cc), 40% da capacidade de campo (40% cc) e 20% da capacidade de campo (20% cc).

Segundo a metodologia descrita por Nascimento (2008), a capacidade de campo do solo foi determinada com base na prática de saturar uma quantidade conhecida de solo seco e deixar drenar o excesso de água durante um período determinado. A umidade retida pelo solo nessas condições correspondeu à sua capacidade de campo.

Para isto, adicionou-se água ao substrato seco, deixando-se em repouso no vaso por um período de 24 horas ao abrigo da evaporação. Em seguida o vaso foi pesado e os tratamentos foram determinados tomando-se por base 100% da capacidade de campo.

Os vasos foram pesados diariamente e a água foi adicionada conforme a necessidade para a manutenção dos tratamentos. Até os 14 dias após a semeadura, todos os vasos foram mantidos sem déficit hídrico, para assegurar um bom desenvolvimento inicial das plantas.

O experimento foi mantido até 30 dias após a germinação das sementes até a quarta folha completamente expandida. Foram coletados os seguintes dados: massa seca da parte aérea (MSPA), relação entre o sistema radicular e a parte aérea (SR/PA), altura de planta, diâmetro de colmo, diâmetro médio de raiz (DMR), área radicular específica (ARE), comprimento de raízes laterais (CRLAT), comprimento de raízes axiais (CRAXI), volume de raízes laterais (VRLAT) e volume de raízes axiais (VRAXI).

A altura das plantas foi determinada com o auxílio de uma régua graduada e para se determinar o diâmetro de caule utilizou-se um paquímetro. O sistema radicular foi avaliado pela análise de imagens, utilizando o software WinRhizo Pro 2009a (Basic, Reg, Pro & Arabidopsis for Root Measurement) acoplado a um scanner EPSON *Perfection V700/V750* equipado com luz adicional (TPU), com definição de 400 dpi,

como descrito por Bauhus & Messier (1999) e Bouma *et al.* (2000), obtendo-se, assim, os comprimentos de raízes laterais e axiais.

Os comprimentos das raízes laterais e axiais foram extraídos do total das classes de diâmetro, obtidas pelo WinRhizo, sendo comprimento das laterais - CRL ( $\Phi \leq 0,5\text{mm}$ ) e das axiais - CRA ( $\Phi > 0,5\text{mm}$ ), conforme Trachsel *et al.*, (2009). Para determinação da massa seca, as partes da planta foram colocadas em estufa, com fluxo de ar quente, a 70 °C por quatro dias. A massa seca foi determinada com auxílio de uma balança digital.

As análises estatísticas foram executadas utilizando-se o programa SAS (Statistical Analysis System - SAS Institute Inc., Cary, NC, USA), versão 9.1. 2003.

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância para todas as características avaliadas é apresentada na Tabela 1.

A diminuição na disponibilidade de água no solo influenciou negativamente ( $P < 0,05$ ) a maioria das características avaliadas, exceto para a relação entre o sistema radicular e a parte aérea (SR/PA), diâmetro médio de raiz (DMR) e área radicular específica (ARE) (Figura 1). Portanto, as características massa seca da parte aérea (MSPA), altura de planta, diâmetro de colmo, comprimento de raízes laterais (CRLAT), comprimento de raízes axiais (CRAXI), volume de raízes laterais (VRLAT) e volume de raízes axiais (VRAXI), foram diferentes ( $P < 0,05$ ) nos distintos tratamentos utilizados (Tabela 1).

Características morfológicas também foram influenciados de forma negativa pelo decréscimo da irrigação em estudos desenvolvidos por Barreto *et al.* (2001) com *Pennisetum purpureum* e por Dias Filho *et al.* (1989) em *Panicum maximum*.

Tabela 1 – Resumo da análise de variância para os caracteres massa seca da parte aérea (MSPA), relação entre o sistema radicular e a parte aérea (SR/PA), altura de planta, diâmetro de colmo, diâmetro médio de raiz, área radicular específica (ARE), comprimento de raízes laterais (CRLAT), comprimento de raízes axiais (CRAXI), volume de raízes laterais (VRLAT) e volume de raízes axiais (VRAXI)

F.V.	G.L.	Q.M.									
		MSPA (g)	SR/PA	Altura (cm)	Diâmetro Colmo (cm)	Diâmetro Med. Raiz (mm)	ARE (cm <sup>2</sup> /g)	CRLAT (m)	CRAXI (m)	VRLAT (cm <sup>3</sup> )	VRAXI (cm <sup>3</sup> )
AMBIENTE	3	71,5912*	0,0169 <sup>ns</sup>	614,5278*	62,6386*	0,0019 <sup>ns</sup>	218442,250 <sup>ns</sup>	33723,5332*	1420,0254*	59,0003*	2459,3631*
RESÍDUO	8	4,2132	0,0057	32,3333	4,5317	0,0027	122750,325	1542,4502	25,4096	1,8501	127,9515

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.

<sup>ns</sup> não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 2 – Resumo da Análise de Regressão para os caracteres MSPA, altura de planta, diâmetro de colmo, CRLAT, CRAXI, VRLAT e VRAXI: (a) Modelo de 1º Grau; (b) Modelo de 2º Grau Incompleto

<b>(a) Modelo – 1º Grau</b>									
F.V.	G.L.	Q.M.							
		MSPA	Altura (cm)	Diâmetro Colmo (cm)	CRLAT (m)	CRAXI (m)	VRLAT (cm <sup>3</sup> )	VRAXI (cm <sup>3</sup> )	
AMBIENTE	1	202.4374017*	1591.350000*	179.2281667*	87111.84067	3757.567207	152.2238960	6547.260313	
FAJ	2	6.1681117 <sup>ns</sup>	126.116667 <sup>ns</sup>	4.3438333 <sup>ns</sup>	7029.37948*	251.254430*	12.3884555*	415.414433 <sup>ns</sup>	
Erro Puro	8	4.2132083	32.333333	4.5316667	1542.4502	25.409525	1.8501457	127.951497	

<b>(b) Modelo – 2º Grau Incompleto</b>									
F.V.	G.L.	Q.M.							
AMBIENTE <sup>2</sup>	1	94287.67858 * 4092.498915 * 164.7311308 *							
FAJ	2	3441.46053 <sup>ns</sup> 83.788576 <sup>ns</sup> 6.1348381 <sup>ns</sup>							
Erro Puro	8	1542.4502 25.409525 1.8501457							

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

<sup>ns</sup> não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

De acordo com Bergamaschi *et al.* (2006), o déficit hídrico interfere em quase todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento das culturas. A limitação hídrica pode reduzir a área foliar devido a inibição do crescimento ou pela senescência das folhas; redução na fotossíntese em decorrência da diminuição da área foliar, murchamento, enrolamento de folhas e fechamento dos estômatos e afeta vários outros processos, tais como a brotação, polinização, absorção de nutrientes e translocação de fotossintatos.

A redução da expansão celular, inerente da menor pressão de turgor resultante do déficit hídrico, diminui a área foliar da planta e conseqüentemente reduz o índice de área foliar (IAF), definido como a razão entre a área foliar de uma população de plantas e a área de solo por ela ocupada. O IAF tem relação com a capacidade fotossintética do vegetal por estar relacionado à área de assimilação de CO<sub>2</sub> e de intercepção de radiação (Muller, 2005). Ainda de acordo com Craufurd *et al.* (1999), o déficit hídrico reduz a área foliar específica e a matéria seca total das plantas.

A diminuição da área foliar contribui desta forma, para o decréscimo total da matéria seca da parte aérea da planta que, associado a uma menor área radicular específica, resulta em uma equalização da razão entre massa do sistema radicular e parte aérea (Figura 1).

Fitter (2002) e Silva *et al.*, (2007) relatam que raízes finas (até 2 mm) são responsáveis pela absorção de água e nutrientes e as raízes grossas responsáveis principalmente pela fixação da planta ao solo. Outros estudos têm revelado mudanças anatômicas e morfológicas em plantas frente ao incremento hídrico (Jackson, 2008; Vodnik, 2009) e enquanto a biomassa radicular determina o custo associado à construção e manutenção, o comprimento de raízes determina a capacidade de adquirir água e nutrientes (Bouma *et al.*, 2000), relativizando, assim, uma possível diferenciação significativa na área radicular específica nos diferentes níveis de irrigação, comprovado pela alta plasticidade fenotípica da planta (Marschner, 1995).

Outro aspecto importante a ser considerado é o aumento da resistência do solo ocasionado pela seca, o que reduz ou até cessa o desenvolvimento radicular dependendo da espécie (Beulter & Centurion, 2003). Entretanto, o aumento da resistência mecânica do solo à penetração pode estimular a proliferação de raízes laterais (Figura 3), as quais são mais finas e capazes de crescer em poros do solo de diâmetro reduzido (Russel &

Goss, 1974). Assim sendo, pode haver uma compensação na área radicular específica (ARE).

Gahoonia & Nielsen (2004) relataram que, possivelmente devido à dificuldade de avaliação, há poucos trabalhos que apresentam medidas de DMR e, ainda de acordo com esses autores, trata-se de uma característica mais relacionada à aquisição de nutrientes, que o comprimento de raiz (Schroeder & Janos, 2005).

De acordo com Geraskis *et al.* (1975), o estresse hídrico pode aumentar a razão entre o sistema radicular e a parte aérea das plantas, supostamente devido ao fato de que a parte aérea da planta tende a crescer até que a absorção de água pelas raízes seja limitante, e inversamente, o sistema radicular tende a se desenvolver até que sua necessidade em fotoassimilados seja igual a quantidade que é produzida na parte aérea (Taiz & Zeiger, 2002).

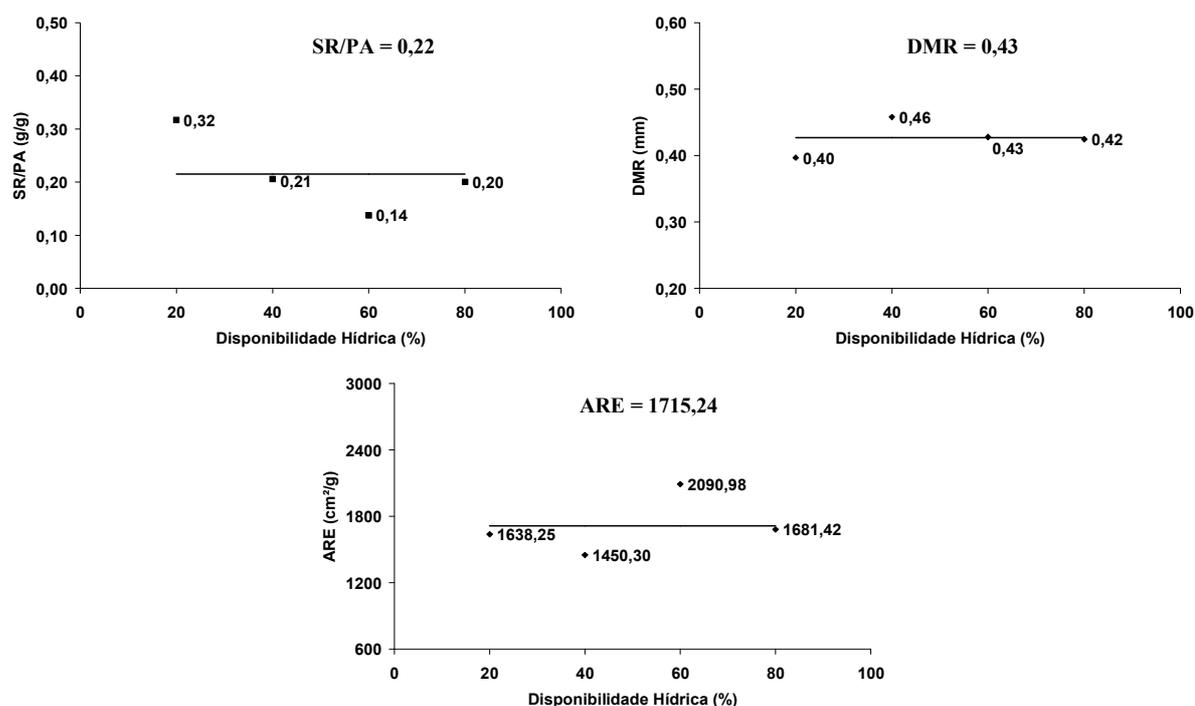


Figura 1 – Variação da razão entre massa de sistema radicular e parte aérea; do diâmetro médio de raiz (DMR) e da área radicular específica (ARE), em função da disponibilidade hídrica.

A massa seca da parte aérea diferiu estatisticamente entre os distintos níveis de irrigação, apresentando redução na produção de matéria seca conforme a diminuição da disponibilidade hídrica (Figura 2). Valores semelhantes foram observados por Pinho

(1992) em cultivares de sorgo e milho submetidos a uma condição de ponto de murcha permanente. Também o acúmulo de matéria seca da parte aérea na cultura do milho foi constatada por Costa *et al.* (2008) em menores níveis de estresse hídrico sendo que aquelas plantas submetidas ao estágio de ponto de murcha permanente obtiveram redução em torno de 50% dessa matéria seca, aos 35 dias após a germinação.

O comportamento da altura das plantas respondendo positivamente ao incremento da irrigação verificado neste trabalho (Figura 2) é corroborado por Peiter & Carlesso (1996) que constataram aumento no comprimento de entrenós com a maior fração da água disponível. De igual maneira, Chielle *et al.* (1984) verificaram que a redução na altura de sorgo sacarino ocorre em função da quantidade da água disponível no solo.

As médias dos diâmetros do colmo, em centímetros, obtidas na base das plantas, apresentaram diferenças significativas, o que pode ser visto na Figura 2, sendo que diâmetros maiores são verificados nos tratamentos com as maiores disponibilidades hídricas. Tanaka (2010), avaliando diâmetros médios de caules de sorgo, verificou diferenças significativas nas médias, em plantas submetidas a diferentes níveis do lençol freático, sendo a menor média o tratamento exposto a uma situação de encharcamento, apesar de serem encontrados trabalhos mostrando aumento do diâmetro de raízes de outras espécies alagadas (Visser *et al.*, 1996).

Nascimento (2008) também observou que o diâmetro médio dos caules de sorgo foi influenciado de forma negativa pela diminuição na disponibilidade de água no solo. O diâmetro médio foi reduzido de 1,70 mm (maior disponibilidade de água no solo) para 1,29 mm (menor disponibilidade de água no solo), o que correspondeu a um decréscimo de 24%.

As raízes axiais, mais grossas e relacionadas, sobretudo, à sustentação da planta, absorvem pequenas quantidades de nutrientes e água (Wilcox *et al.*, 2004). Portanto, o aumento no volume das raízes axiais em correspondência com maior disponibilidade hídrica oferecida à planta (Figura 2) é perfeitamente justificado. Rocha (2008) encontrou diferença significativa para a área de superfície de raízes grossas em ambientes de elevada disponibilidade de fósforo.

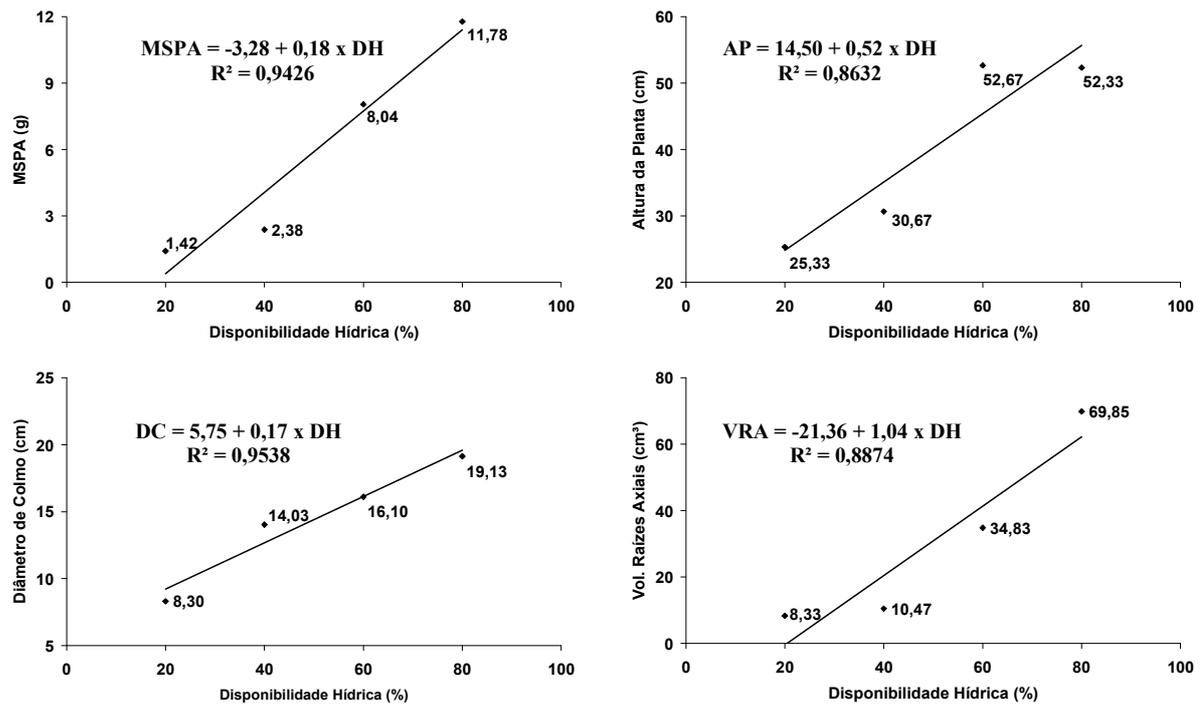


Figura 2 – Variação da massa seca da parte aérea (MSPA); da altura de planta; do diâmetro de colmo e do volume das raízes axiais, em função da disponibilidade hídrica.

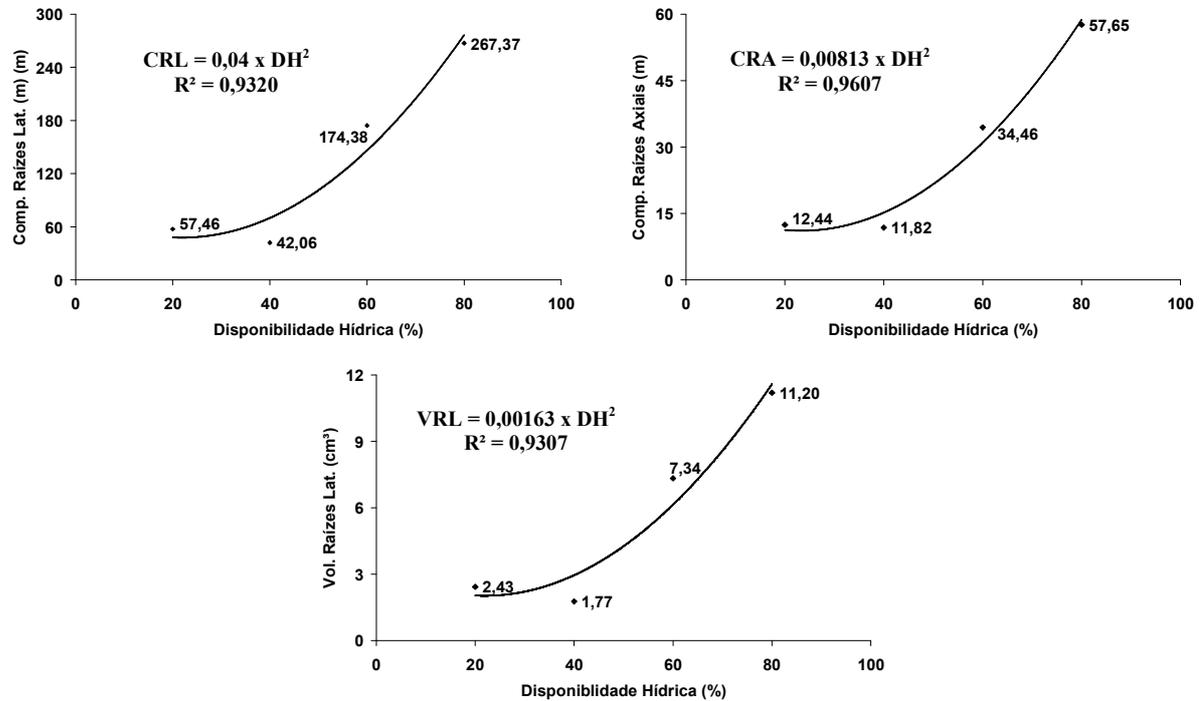


Figura 3 – Variação do comprimento de raízes laterais; do comprimento de raízes axiais e do volume de raízes laterais em função da disponibilidade hídrica.

Por fim, sabendo-se a porcentagem de redução de massa seca da parte aérea que distinguem plantas que sofrem déficit hídrico de plantas sob condições hídricas ótimas, é possível calcular o nível de disponibilidade de água no solo que irá imprimir déficit hídrico às plantas. Esse nível de disponibilidade de água no solo, capaz de impor déficit hídrico à cultura do sorgo sacarino, pode ser usado em novos experimentos para discriminação de cultivares resistentes ao déficit hídrico.

### **3.4 CONCLUSÕES**

Conclui-se que o crescimento das plantas de sorgo sacarino mostrou-se sensível à diminuição de água no solo, sendo afetadas acentuadamente pela baixa disponibilidade hídrica. Além de que, a metodologia utilizada, comum às outras culturas, pode ser perfeitamente utilizada para sorgo sacarino para estabelecer disponibilidades hídricas em novos experimentos que tenham a finalidade de discriminar cultivares resistentes à seca.

### **3.5 AGRADECIMENTOS**

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão da bolsa; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig), pelo apoio financeiro ao projeto.

### 3. 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARRETO, G. P.; LIRA, M. de A.; SANTOS, M. V. F. dos S.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B. Avaliação de clones de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) e de um híbrido com milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) submetidos a estresse hídrico - 1: parâmetros morfológicos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 30, n. 1, p. 1-6, 2001.

BAUHUS, J.; MESSIER, C. Soil exploitation strategies of fine roots in different tree species of the southern boreal forest of eastern Canada. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere* [S.I.], v. 29, n. 2, p. 260-273, 1999.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J. I.; MÜLLER, A. G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A. O.; RADIN, B.; BIANCHI, C. A. M.; PEREIRA, P. G. Water deficit and yield in maize crops. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 41, p. 243-249, 2006.

BEULTER, A. N.; CENTURION, J. F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.38, p.849-856, 2003.

BOUMA, T. J.; NIELSON, K. L.; KOUTSTAAL, B. A. S. Sample preparation and scanning protocol for computerized analysis of root length and diameter. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 218, n.1/2, p. 185-196, 2000.

CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus extrível e a produtividade das culturas. *Revista Ciência Rural*, Santa Maria, v.25, n.1, p.183-188, 1995.

CHAVES, M. M.; PEREIRA, J. S.; MAROCO, J.; RODRIGUES, M. L.; RICARDO, C. P. P.; OSÓRIO, M. L.; CARVALHO, I.; FARIA, T.; PINHEIRO, C. How plants cope with stress in the field: photosynthesis and growth. *Annals of Botany*, Oxford, v. 89, p. 907-16, 2002.

CHIELLE, Z. G.; CHIELLE, M. C. P.; SOARES, G. J. Efeito da irrigação em duas cultivares de sorgo sacarino e quatro densidades de plantio em solos de várzea. In. Reunião Técnica Anual do Milho e Sorgo. Pelotas. Anais... Pelotas: ABMS, 1984.

COSTA, J. R. da; PINHO, J. L. N de; PARRY, M. N. Produção de matéria seca de cultivares de milho sob diferentes níveis de estresse hídrico. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. V.12, n.5, p.443-450, 2008.

CRAUFURD, P. Q. Effect of temperature and water deficit on water-use efficiency, carbon isotope discrimination, and specific leaf area in peanut. Crop Science, Madison, v. 39, n. 1, p.136-142, 1999.

DIAS FILHO, M. B.; CORSI, M.; CUSATO, S. Respostas morfológicas de *Panicum maximum* Jacq. cv. Tobiata ao estresse hídrico. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 24, n. 7, p.893-898, jul. 1989.

FITTER, A. H. Characteristics and functions of root systems. In: WEISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. (Ed.). Plant roots: the hidden half. 3. ed. New York: Marcel Dekker. p.15-32, 2002.

GONZÁLEZ, J. M. F.; MERELO, M. J. B. Respuesta del sorgo al déficit hídrico en invernadero. ITEA. Producción Vegetal. Vol. 95, N° 1, p.41-66, 1999.

GAHOONIA, T. S.; NIELSEN, N. E. Root traits as tools for creating phosphorus efficient crop varieties. Plant and Soil, The Hagues, v. 260, p. 47-57, 2004.

GERASKIS, P.A.; GUERRERO, F.P.; WILLIAMS, W.A. Growth, water relations and nutrition of three grassland annuals as affected by drought. The Journal of Applied Ecology, v.12, n.1, p.125-135, 1975.

JACKSON, M. B. Ethylene promoted elongation: an adaptation to submergence stress. Annals of Botany, London, v. 101, n. 2, p. 229-248, 2008.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; RODRIGUES, J. A. S. Cultivo do Sorgo – Aspectos Gerais dos Efeitos Ambientais sobre o Crescimento do Sorgo. Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de Produção 2. Sete Lagoas. 2007. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Sorgo/CultivodoSorgo/ambientais.htm>. Acesso em: 22/08/2011.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition in plants. 2 ed. San Diego: Academic Press. 889 p, 1995.

MÜLLER, A. G. Estimativa do índice de área foliar do milho a partir da soma de graus-dia. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 65-71, 2005.

NASCIMENTO, R. Crescimento de plantas de sorgo sob diferentes disponibilidades de água no solo. Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior – ABEAS - vol. 23, n.1, p. 53-54, 2008.

PEITER, M. X.; CARLESSO, R. Comportamento do sorgo granífero em função de diferentes frações da água disponível no solo. Ciência Rural. Santa Maria, v. 26, n 1, p. 51-55, 1996.

PINHO, J. L. N. de. Étude comparée des mecanismes physiologiques de la résistance à la sécheresse de cultivars de mil (*Penissetum americanum* L.) et de sorgo [*Sorgum bicolor* (L) Moench] sensibles ou résistantes. Paris: Université Paris VII, 158 p. Tese de Doutorado. 1992.

RITCHIE, S. W.; NGUYEN, H. T.; HOLADAY, A. S. Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Science, Madison, v.30, p.105-111, 1990.

ROCHA, M. C. Caracterização morfofisiológica radicular relacionada aos mecanismos de aquisição de fósforo em sorgo. UFV. Viçosa. 62 p. Dissertação de Mestrado. 2008.

RUSSEL, R. S.; GOSS, M. J. Physical aspects of soil fertility: the response of roots the mechanical impedance. *Nether. J. Agric. Sci.*, v.22. p. 305-318, 1974.

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

SANTOS, F. G.; CASELA, C. R.; WAQUIL, J. M. Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa: Ed. UFV, p. 605-658. 2005.

SAS INSTITUTE (2003) SAS/STAT software versão 9.1, Cary. 2003.

SCHROEDER, M. S.; JANOS, D. P. Plant growth, phosphorus nutrition, and root morphological responses to arbuscular mycorrhizas, phosphorus fertilization, and intraspecific density. *Mycorrhiza*, Berlin, v. 15, p. 203-216, 2005.

SILVA, A. C.; ROSADO, S. C. S.; CALEGARIO, N.; RODRIGUES, E. A. C.; OLIVEIRA, A. N.; VIEIRA, C. T. Variações genéticas na qualidade do sistema radicular de mudas de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish). *Revista Árvore*, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 609-617, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Plant Physiology*. 3.ed. Sunderland: Sinauer Associates. 757p. 2002.

TARDIN, F. D.; SANTOS, F. G.; RODRIGUES, J. A. S.; MAGALHÃES, J. V.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; ANDRADE, C. L. T.; QUEIROZ, L. R.; SCHAFFERT, R. E. Avaliação de genótipos de sorgo submetidos ao estresse hídrico após seu florescimento. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 27, Londrina. ABMS, 2008.

TANAKA, A. A. Desenvolvimento de plantas de sorgo submetidas a diferentes níveis de lençol freático. UNESP. Botucatu. 64 p. Dissertação de Mestrado. 2010.

TRACHSEL, S.; MESSMER, R.; STAMO, P.; HUND, A. Mapping of QTLs for lateral and axile root growth of tropical maize. *Theor Appl Genet* 119, p.1413-1424, 2009.

VISSER, E. J. W.; BLOM, C. W. P. M.; VOESENEK, L. A. C. J. Flooding-induced adventitious rooting in *Rumex*, morphology and development in an ecological perspective. *Acta Botânica Neerlandica*, Amsterdam, v. 45, n. 1, p. 17-28, 1996.

VODNIK, D.; STRAJNAR, P.; JEMC, S.; MACEK, I. Respiratory potential of maize (*Zea mays* L.) roots exposed to hypoxia. *Environmental and Experimental Botany*, Paris, v. 65, n. 1, p. 107-110, 2009.

WILCOX, C. S.; FERGUSON, J. W.; FERNANDEZ, G. C. J.; NOWAK, R. S. Fine root growth dynamics of four Mojave Desert shrubs as related to soil moisture and microsite. *Journal of Arid Environments*, v. 56, p. 129-148, 2004.

#### 4. CAPÍTULO III

### CARACTERIZAÇÃO FISIOLÓGICA DE SORGO SACARINO EM DIFERENTES UMIDADES DO SOLO

#### RESUMO

O sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] é uma planta de origem africana, da mesma família botânica do milho. O sorgo tipo sacarino é utilizado como matéria prima para bionergia (etanol) e apresenta elevada eficiência no uso da água. Este trabalho teve por objetivo caracterizar cultivares de sorgo sacarino quanto as características fisiológicas em diferentes umidades do solo, avaliando-se trocas gasosas e fluorescência de clorofila. Para isso, foram avaliadas quatro cultivares, tolerantes à seca: Rio, Ramada, BRS 501, BRS 506. Os tratamentos consistiram de três níveis de água no solo: 80%, 60% e 40% da capacidade de campo (c.c.). Foram avaliadas a condutância estomática (gs), taxa de fotossíntese (A), transpiração foliar (T) e eficiência intrínseca do uso da água (EIUA, A/g<sub>s</sub>). Também foi determinada a eficiência quântica ideal (F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>) do fotossistema II (FSII), o rendimento quântico basal dos processos fotoquímicos no FSII (F<sub>o</sub>/F<sub>m</sub>) e a eficiência fotoquímica no FSII (F<sub>v</sub>/F<sub>o</sub>). A disponibilidade hídrica não causou alteração ( $P > 0,05$ ) na transpiração das cultivares Ramada e BRS 501, mas afetou ( $P < 0,05$ ) as cultivares Rio e BRS 506 que responderam positivamente ao

aumento da irrigação. Resultado semelhante ocorreu com a fotossíntese, onde os distintos níveis de disponibilidade hídrica influenciaram ( $P < 0,05$ ) positivamente apenas as cultivares Rio e BRS 506. Com o incremento da irrigação, houve um acréscimo ( $P < 0,05$ ) na condutância estomática das cultivares avaliadas. Os resultados referentes à fluorescência da clorofila mostraram superioridade das cultivares BRS 506, Rio e Ramada com valores maiores ( $P < 0,05$ ) de  $F_v/F_m$  e  $F_v/F_o$ . Os distintos níveis de disponibilidade hídrica e as diferentes cultivares não promoveram ( $P > 0,05$ ) alteração na EIUA.

**Palavras-chaves:** sorgo sacarino, déficit hídrico, trocas gasosas, fluorescência de clorofila.

## PHYSIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE SWEET SORGHUM AT DIFFERENT SOIL MOISTURE

### ABSTRACT

The sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] is a plant from African origin and pertains to the same botanical family of the maize. The sweet sorghum is used as raw material for bioenergy (ethanol) and presents high efficiency in the use of water. This study was conducted to characterize the cultivars of the sweet sorghum, as based on their physiologic characteristics at different soil moistures, as being evaluated the gaseous exchanges and chlorophyll fluorescence. So, the following four cultivars that are tolerant to drought were evaluated: Rio, Ramada, BRS 501 and BRS 506. The treatments consisted of three water levels in the soil: 80%, 60% and 40% of the field capacity (c.c.). The following variables were evaluated: the stomatic conductance (gs), photosynthesis rate (A), leaf transpiration (T) and intrinsic efficiency in using the water (EIUA, A/gs). Also the ideal quantum efficiency (Fv/Fm) of the photosystem II (FSII), the basal quantum efficiency of the photochemical processes in FSII (Fo/Fm) and the photochemical efficiency in FSII (Fv/Fo) were evaluated. Although the water availability caused no alterations ( $P > 0.05$ ) in transpiration of the cultivars Ramada and BRS 501, it affected ( $P < 0.05$ ) the cultivars Rio and BRS 506 that showed a positive response to the increase of irrigation. Similar results were verified in relation to photosynthesis, since the different levels of the water availability positively influenced ( $P < 0.05$ ) the cultivars Rio and BRS 506. With the increased irrigation, there was an increment ( $P < 0.05$ ) in the stomatic conductance of the cultivars under evaluation. The results referring to fluorescence of the chlorophyll showed superiority of the cultivars BRS 506, Rio and Ramada with higher values ( $P < 0.05$ ) of Fv/Fm and Fv/Fo. The different levels of the water availability and the different cultivars did not promote ( $P > 0.05$ ) any alteration in EIUA.

**Keywords:** sweet sorghum, water deficit, gaseous changes, chlorophyll fluorescence.

#### 4. 1 INTRODUÇÃO

Existem várias vantagens de se utilizar o sorgo sacarino [*Sorghum bicolor (L.) Moench*] em comparação à cultura da cana para a produção de etanol: o sorgo é colhido em quatro meses (sendo que o primeiro corte da cana se dará em aproximadamente 18 meses após o plantio), a produção do sorgo sacarino pode ser totalmente mecanizada, a colheita pode ser estabelecida a partir de sementes, o grão pode ser utilizado como alimento ou ração e o bagaço do sorgo sacarino tem um valor biológico superior do que o da cana quando usada como forragem para os animais (Sumantri & Purnomo, 1997).

Além da cana-de-açúcar que é cultivada principalmente na Ásia, África e no Brasil; o milho também aparece como uma das principais culturas utilizadas para produção de etanol, principalmente nos Estados Unidos. Estas culturas, no entanto, apresentam a restrição de utilizarem grandes quantidades de água em relação ao sorgo sacarino. Ressalta-se, todavia, que em regiões tropicais a baixa disponibilidade de água, associada à ocorrência de baixas temperaturas, e/ou fotoperíodos indutivos à diferenciação floral, são considerados fatores limitantes ao desenvolvimento do sorgo durante o período de outono e inverno (Silva, 2003).

O sorgo sacarino é bem adaptado às condições dos trópicos e regiões semiáridas justamente por ser mais eficiente no uso da água (310 kg de água/kg de matéria seca) se comparado, por exemplo, ao milho (370 kg água/kg matéria seca) tornando esta cultura promissora na produção de bioenergia (Reddy *et al.*, 2007).

Segundo Steponkus *et al.* (1980) mesmo em condições climáticas e edáficas de restrição de água, vários parâmetros fisiológicos, anatômicos e morfológicos, tanto de natureza indutiva como constitutiva, interagem e permitem a manutenção de processos vitais, como o crescimento e desenvolvimento, das plantas consideradas tolerantes à seca.

O sorgo possui essa tolerância à seca e apresenta características fisiológicas que permitem paralisar o crescimento ou diminuir as suas atividades metabólicas sob déficit hídrico e, após o término de um período de estresse hídrico, as plantas podem até crescer mais rapidamente do que as que não passaram por limitação hídrica (Amaral *et al.*, 2003). No entanto, pouco se sabe sobre estas características fotossintéticas de sorgo sob estresse hídrico (Tingting *et al.*, 2010).

O uso de parâmetros de fluorescência tem sido difundido principalmente no estudo de fotossíntese por ser um método que, além de não destrutivo, permite análise qualitativa e quantitativa da absorção e aproveitamento da energia luminosa através do fotossistema II e possíveis relações com a capacidade fotossintética (Netto *et al.*, 2005).

Este trabalho objetivou caracterizar cultivares de sorgo sacarino sob três níveis de umidade do solo durante a primeira fase de crescimento da cultura (EC1), que vai da germinação até a iniciação da panícula, avaliando-se trocas gasosas e fluorescência de clorofila e discriminar fenotipicamente as características fisiológicas desses genótipos para ambientes de estresse hídrico.

## **4. 2 MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido no campus da Universidade Federal de Viçosa, situada no município de Viçosa, MG. O ensaio foi realizado em casa-de-vegetação, durante os meses de janeiro a fevereiro de 2011, com uma planta por vaso de 10 litros, com solo caracterizado como Latossolo Vermelho Distrófico.

Foram avaliados quatro cultivares de sorgo sacarino, disponibilizados pela EMBRAPA – Milho e Sorgo<sup>®</sup>: Rio, Ramada, BRS 501, BRS 506. O experimento foi instalado segundo um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições.

As cultivares foram semeadas no dia 18 de janeiro e a emergência ocorreu entre os dias 20 e 22 do mesmo mês e irrigados sob o tratamento 80% de capacidade de campo até 10 dias após a germinação, com o intuito de haver água em quantidade suficiente para se garantir condições ideais de desenvolvimento vegetativo inicial. Após essa data, as cultivares foram submetidas aos seus referidos tratamentos, com reposição hídrica diária para manutenção dos níveis de irrigação requeridos.

Os tratamentos consistiram de três níveis de água no solo: 80% da capacidade de campo (80% c.c.), 60% da capacidade de campo (60% c.c.) e 40% da capacidade de campo (40% c.c.).

Segundo a metodologia descrita por Nascimento (2008), a capacidade de campo (c.c.) do solo foi determinada com base na prática de saturar uma quantidade conhecida de solo seco e deixar drenar livremente o excesso de água durante um período determinado. A umidade retida pelo solo nessas condições correspondeu à sua capacidade de campo. Para isto adicionou-se água ao substrato seco, deixando-se em repouso por um período de 24 horas ao abrigo da evaporação. Em seguida foi pesado e os tratamentos foram determinados tomando-se por base 100% da capacidade de campo.

Os vasos foram pesados diariamente e a água adicionada conforme a necessidade para a manutenção dos tratamentos.

As avaliações foram realizadas após 30 dias de emergência das plantas. Foram avaliadas a condutância estomática (gs), taxa de fotossíntese (A), transpiração foliar (T) e eficiência intrínseca do uso da água (EIUA, A/gs), utilizando sistema portátil de trocas gasosas LCpro+ (System Serial No.32124, ADC BioScientific, England).

Em folhas adaptadas ao escuro, foi determinada a eficiência quântica ideal (Fv/Fm) do fotossistema II (FSII), o rendimento quântico basal dos processos fotoquímicos no FSII (Fo/Fm) e a eficiência fotoquímica no FSII (Fv/Fo), através de fluorímetro (Multi-Mode Chlorophyll Fluorometer OS5P). O acondicionamento das folhas foi realizado com a ajuda de cliques foliares, e a intensidade de luz natural no sensor foi de 60% da capacidade total do aparelho, durante cinco segundos em cada leitura.

As análises estatísticas foram executadas utilizando-se o programa SAS (Statistical Analysis System - SAS Institute Inc., Cary, NC, USA), versão 9.1. 2003.

### **4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A avaliação estatística dos parâmetros transpiração e fotossíntese apresentou interação significativa ( $P < 0,05$ ) entre os fatores qualitativos cultivares (Ramada, Rio, BRS 501 e BRS 506) e os fatores quantitativos tratamentos (80%, 60% e 40% da capacidade de campo) (Tabela 1). Com isso, a avaliação da interferência da capacidade de campo foi feita para cada cultivar isoladamente, tanto para transpiração como para fotossíntese.

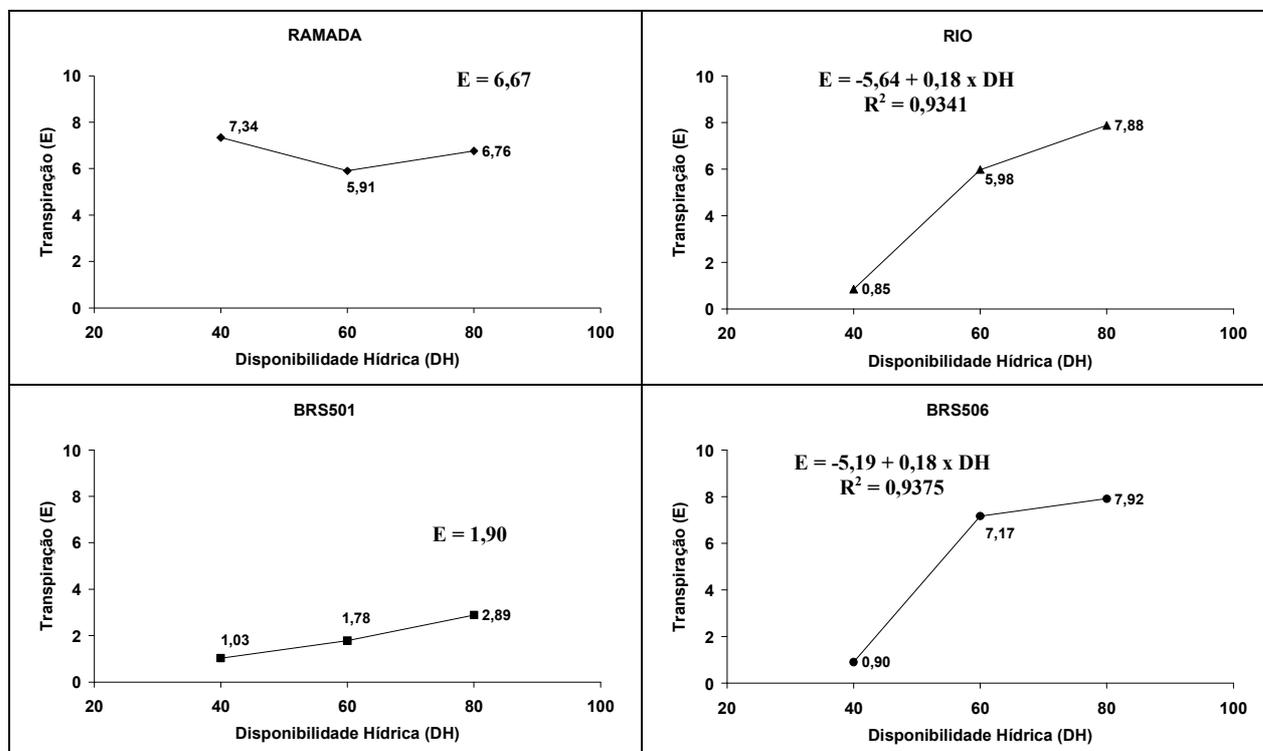
**TABELA 1** – Resumo da Análise de variância para os caracteres Transpiração (E), Fotossíntese (A), Condutância Estomática (gs) e Eficiência Intrínseca do Uso da Água (EIUA), Fv/Fm, Fo/Fm e Fv/Fo

F.V.	G.L.	QM						
		E	A	gs	EIUA	Fv/Fm	Fo/Fm	Fv/Fo
TRATAMENTO	3	36.4631132	430.176274	0.10790072*	228.050346 <sup>ns</sup>	0.00470530*	0.00247778*	0.61411774*
AMBIENTE	2	46.3352707	564.842503	0.17220957*	1003.458431 <sup>ns</sup>	0.00131158 <sup>ns</sup>	0.00067708 <sup>ns</sup>	0.07114803 <sup>ns</sup>
TRAT*AMB	6	14.0076888*	155.676971*	0.03999393 <sup>ns</sup>	1021.430261 <sup>ns</sup>	0.00072532 <sup>ns</sup>	0.00043508 <sup>ns</sup>	0.06886210 <sup>ns</sup>
RESÍDUO	24	2.9811222	48.493187	0.02386698	755.77939	0.00079442	0.00075575	0.14971058

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade

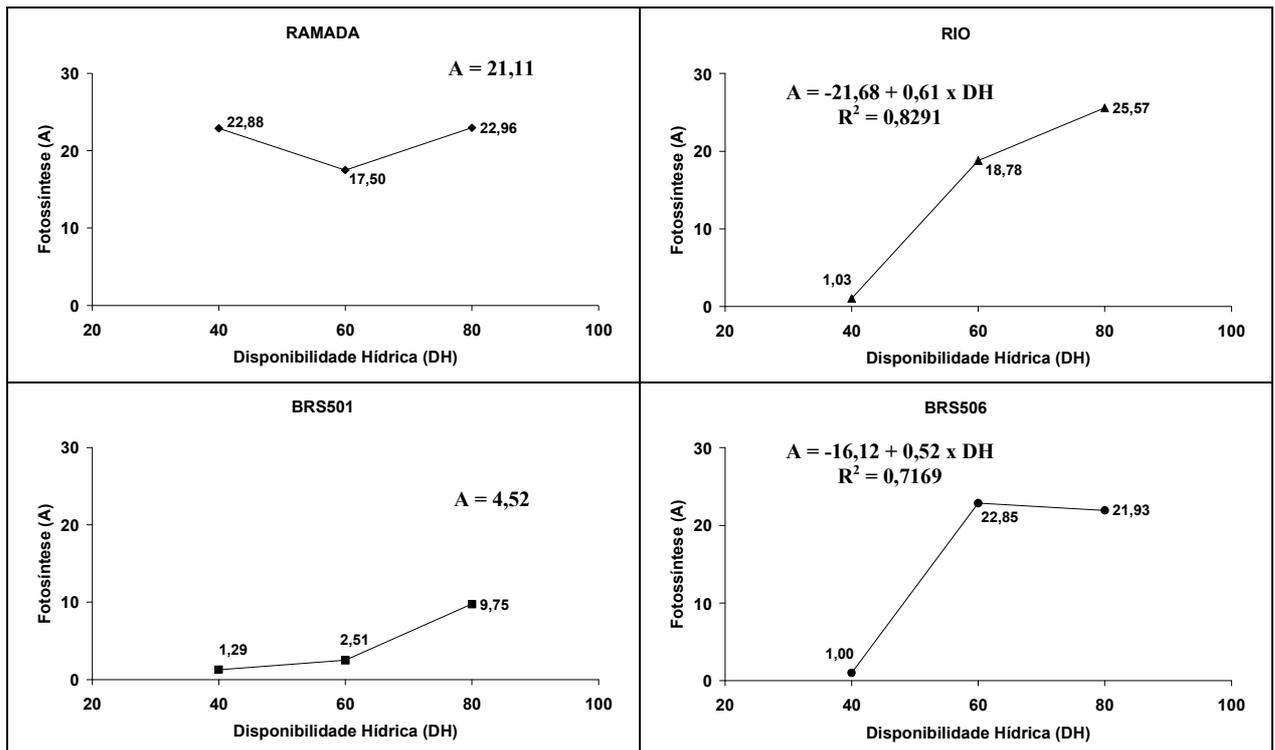
<sup>ns</sup> não significativo ao nível de 5% de probabilidade

A disponibilidade hídrica não causou alteração ( $P > 0,05$ ) na transpiração das cultivares Ramada e BRS 501, mas afetou ( $P < 0,05$ ) as cultivares Rio e BRS 506 (Tabela 1) que responderam positivamente ao aumento da irrigação com maiores taxas de transpiração (Figura 1).



**FIGURA 1** – Transpiração (E) em três níveis de disponibilidade hídrica, 80%, 60% e 40% da Capacidade de Campo, em plantas de sorgo sacarino durante a primeira fase de crescimento da cultura (EC1). Viçosa, MG. 2011.

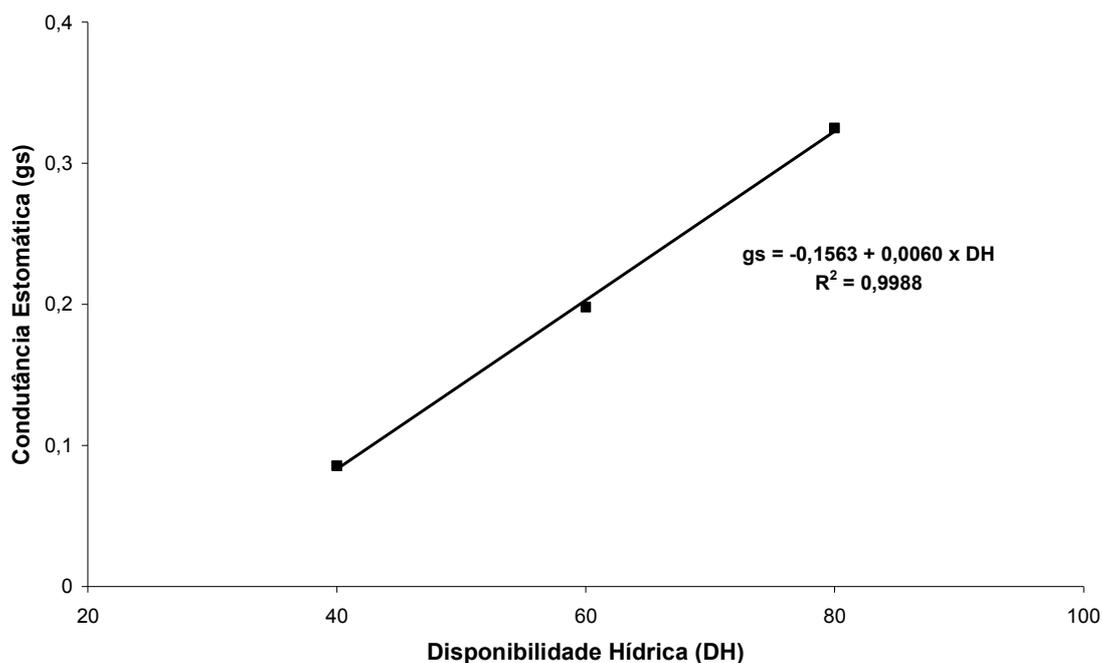
Resultado semelhante ocorreu com a fotossíntese, onde os distintos níveis de disponibilidade hídrica influenciaram positivamente ( $P < 0,05$ ) apenas as cultivares Rio e BRS 506 (Tabela 1). Nas cultivares Ramada e BRS 501 a fotossíntese não foi afetada ( $P > 0,05$ ) pela disponibilidade hídrica (Figura 2).



**FIGURA 2** – Fotosíntese (A) em três níveis de disponibilidade hídrica, 80%, 60% e 40% da Capacidade de Campo, em plantas de sorgo sacarino durante a primeira fase de crescimento da cultura (EC1). Viçosa, MG. 2011.

Na avaliação da condutância estomática não houve interação significativa ( $P > 0,05$ ) entre as cultivares e os tratamentos (Tabela 1). Com o incremento da irrigação, houve acréscimo ( $P < 0,05$ ) na condutância estomática, conforme apresentado na Figura 3.

As cultivares Ramada, Rio e BRS 506 apresentaram a mesma eficiência na condutância estomática, enquanto que a cultivar BRS 501 mostrou menor eficiência neste parâmetro (Tabela 2).



**FIGURA 3** – Condutância Estomática (gs) em três níveis de disponibilidade hídrica, 80%, 60% e 40% da Capacidade de Campo, em plantas de sorgo sacarino durante a primeira fase de crescimento da cultura (EC1). Viçosa, MG. 2011.

**TABELA 2:** Condutância Estomática (gs) das distintas cultivares (Ramada, Rio, BRS 506 e BRS 501) de plantas de sorgo sacarino durante a primeira fase de crescimento da cultura (EC1). Viçosa, MG. 2011

Cultivar	Condutância Estomática (gs)*
RAMADA	0.30185 <sup>a</sup>
RIO	0.23963 <sup>a</sup>
BRS 506	0.22333 <sup>a</sup>
BRS 501	0.04667 <sup>b</sup>
CV (%)	46,74

\* Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si a nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Para a Eficiência Intrínseca do Uso da Água (EIUA), não houve efeito ( $P > 0,05$ ) de interação entre as cultivares (Ramada, Rio, BRS 501 e BRS 506) e a disponibilidade hídrica (80%, 60% e 40% da c.c.). Isoladamente, os distintos níveis de disponibilidade hídrica e as diferentes cultivares não promoveram ( $P > 0,05$ ) alteração na EIUA (Tabela 1). A média para este parâmetro avaliado foi de  $73,88 \pm 27,75$ .

Os resultados referentes à fluorescência da clorofila mostraram que não houve efeito ( $P > 0,05$ ) de interação entre as cultivares (Ramada, Rio, BRS 501 e BRS 506) e a

disponibilidade hídrica (80%, 60% e 40% da c.c.). Os distintos níveis de disponibilidade hídrica não promoveram ( $P > 0,05$ ) alteração na fluorescência da clorofila. As diferentes cultivares apresentaram resultados distintos de fluorescência da clorofila ( $P < 0,05$ ) (Tabela 1), indicando superioridade das cultivares BRS 506, Rio e Ramada com valores maiores de Fv/Fm e Fv/Fo em relação a cultivar BRS 501 (Tabela 3). Em contrapartida, as cultivares BRS 501 e Ramada foram os que apresentaram maiores valores na relação Fo/Fm.

**TABELA 3:** Eficiência quântica potencial (Fv/Fm), rendimento quântico basal dos processos fotoquímicos (Fo/Fm) e eficiência fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fo), em plantas de sorgo sacarino durante a primeira fase de crescimento da cultura (EC1). Viçosa, MG. 2011

Cultivar	Características Ecofisiológicas		
	Fv/Fm	Fo/Fm	Fv/Fo
BRS506	0,75633 <sup>a</sup>	0,24689 <sup>b</sup>	3,0848 <sup>a</sup>
RIO	0,75389 <sup>a</sup>	0,24489 <sup>b</sup>	3,1010 <sup>a</sup>
RAMADA	0,73100 <sup>ab</sup>	0,26067 <sup>ab</sup>	2,8086 <sup>ab</sup>
BRS501	0,70744 <sup>b</sup>	0,28089 <sup>a</sup>	2,5499 <sup>b</sup>
CV (%)	3,032177	6,199015	8,748868
Média Geral	0,737167	0,258333	2,886056

\* Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si a nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

De acordo com Assis & Verona (1997), o papel da transpiração no crescimento e desenvolvimento da planta é fundamental. A mesma via de acesso do gás carbônico para a fotossíntese (os estômatos), permite a difusão do vapor d'água para a atmosfera. Assim, transpiração e fotossíntese estão intimamente associadas, como é demonstrado pelos resultados com sorgo sacarino, no presente trabalho.

A taxa líquida de fotossíntese foliar (A) de plantas submetidas a déficit hídrico moderado pode ser atribuído à limitação estomática, ao invés de fatores bioquímicos, como a atividade da Rubisco (Flexas *et al.*, 2006). Estudos recentes indicam que baixas precipitações podem desencadear importantes atividades biológicas, incluindo a fotossíntese e a respiração em ambientes de déficit hídrico (Loik, 2007).

Os maiores valores nas taxas de fotossíntese (A) e transpiração (E) nas cultivares Rio e BRS 506 com o acréscimo na irrigação podem ser explicados pela abertura maior dos estômatos, elevando, assim os valores de condutância estomática (gs) que também respondeu positivamente à diminuição do estresse hídrico.

A inibição da fotossíntese induzida pelo estresse hídrico pode ser devida à limitação estomática, como verificado em quatro diferentes espécies de poáceas, por Ghannoum *et al.* (2003) e Gonçalves *et al.* (2010).

Importante destacar que sob severos estresses de seca por períodos ainda mais prolongados, limitações não estomáticas, de ordem bioquímica, começam a ocorrer em triticale e milho (Grzesiak *et al.*, 2007). Nable *et al.* (1999) também encontraram reduções nas taxas transpiratórias em sorgo e cana de açúcar sempre que a fração de água disponível no solo decrescia.

A avaliação da fluorescência da clorofila, por sua vez, é importante para avaliação do comportamento das cultivares em relação aos danos causados pela restrição hídrica. No presente trabalho, optou-se por avaliar apenas as relações  $F_v/F_m$ ,  $F_o/F_m$  e  $F_v/F_o$ , visto que as mesmas são as mais representativas do estado fotoquímico das folhas ou mesmo indicadores de estresses (Zanandrea *et al.*, 2006).

A cultivar BRS 501 apresentou a menor eficiência fotoquímica no FSII ( $F_v/F_o$ ). Estes resultados são similares como os encontrados por Magalhães *et al.* (2009) na cultura do milho, que ressalta ainda, baseado em trabalho de Baker & Rosenqvst (2004), ser este o principal parâmetro utilizado para a avaliação desses danos no sistema fotossintético, uma vez que a eficiência fotoquímica do FSII indica quando todos os centros de reação estão abertos.

Bolhár-NordenKampf & Öquist (1993) afirmam que plantas que não estão sob estresse apresentam relação  $F_v/F_m$  entre 0,85 e 0,75, para os quais valores menores que 0,75 seriam indicativos de condições inibitórias do FSII, o que é corroborado pelo presente trabalho.

As respostas à disponibilidade hídrica limitada são altamente variáveis, tanto em função da espécie, como se pode observar no presente trabalho, como da severidade e da duração do déficit hídrico (Müller & Whitsitt, 1997).

#### **4. 4 CONCLUSÕES**

A imposição de déficit hídrico afetou as taxas de fotossíntese e transpiração das cultivares Rio e BRS 506, que responderam positivamente ao aumento da irrigação durante a primeira fase de crescimento da cultura (EC1). Com o incremento da

irrigação, houve um acréscimo na condutância estomática a todas as cultivares, sendo que Rio, BRS 506 e Ramada apresentaram maior eficiência. A EIUA não apresentou diferença entre as cultivares nos distintos níveis de disponibilidade hídrica, evidenciando serem tolerantes à seca. Os resultados referentes à fluorescência da clorofila mostraram superioridade das cultivares BRS 506, Rio e Ramada com valores maiores de Fv/Fm e Fv/Fo. Em contrapartida, as cultivares BRS 501 e Ramada foram as que apresentaram maiores valores na relação Fo/Fm.

#### **4. 5 AGRADECIMENTOS**

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão da bolsa; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig), pelo apoio financeiro ao projeto.

#### **4. 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AMARAL, S. R.; LIRA, M. A.; TABOSA, J. N.; SANTOS, M. V. F. S.; MELLO, A. C. L.; SANTOS, V. F. Comportamento de linhagens de sorgo forrageiro submetidas a déficit hídrico sob condição controlada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38: 973-979. 2003.

ASSIS, F. N.; VERONA, L. A. F. Consumo de água e coeficiente de cultura do sorgo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 26: 665-670. 1997.

BAKER, N. R.; ROSENQVST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany*, 55: 1607-1621. 2004.

BOLHÁR-NORDENKAMP, H. R.; ÖQUIST, G. Chlorophyll fluorescence as a tool in photosynthesis research. In: HALL, D. O.; SCURLOCK, J. M. O.; BOLHÁR-

NORDENKAMPH, H. R.; LEEGOOD, L. R. C. (Eds.). Photosynthesis and production in changing environment: a field and laboratory manual. London, Chapman & Hall. p. 193-206. 1993.

FLEXAS, J.; RIBAS-CARBÓN, M.; BOTA, J.; GALMÉS, J.; HENKLE, M.; MARTÍNEZ-CAÑELLAS, S.; MEDRANO, H. Decreased Rubisco activity during water stress is not induced by decreased relative water content but related to conditions of low stomatal conductance and chloroplast CO<sub>2</sub> concentration. *New Phytologist* 172: 73–82. 2006.

GHANNOUM, O.; CONROY, J. P.; DRISCOLL, S. P.; PAULL, M. J.; FOYER, C. H.; LAWLOR, D. W. Nonstomatal limitations are responsible for drought-induced photosynthetic inhibition in four C<sub>4</sub> grasses. *New Phytologist*, 159: 599-608. 2003.

GONÇALVES, E. R.; FERREIRA, V. M.; SILVA, J. V.; ENDRES, L.; BARBOSA, T. P.; DUARTE, W. G. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14: 378–386. 2010.

GRZESIAK, M. T.; RZEPKA, A.; HURA, T.; HURA, K.; SKOCZOWSKI, A. Changes in response to drought stress of triticale and maize genotypes differing in drought tolerance. *Photosynthetica*, 45: 280-287. 2007.

LOIK, M. E. Sensitivity of water relations and photosynthesis to summer precipitation pulses for *Artemisia tridentata* and *Purshiatridentata*. *Plant Ecology*, 191: 95–108. 2007.

MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; KARAM, D.; MAGALHÃES, M. M.; CANTÃO, F. R.O. Caracterização ecofisiológica de linhagens de milho submetidas à baixa disponibilidade hídrica durante o florescimento. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 8: 223- 232. 2009.

MÜLLER, J. E.; WHITSITT, M. S. Plant cellular responses to water deficit. In: BELHASSEN, E. (Ed.). Drought Tolerance in Higher Plants: Genetical, Physiological and Molecular Biological Analysis. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. p. 41-46. 1997.

NABLE, R. O.; ROBERTSON, M. J.; BERTHELSEN, S. Response of shoot growth and transpiration to soil drying in sugarcane. *Plant and Soil*, 207: 59-65. 1999.

NASCIMENTO, R. Crescimento de plantas de sorgo sob diferentes disponibilidades de água no solo. *Revista Educação Agrícola Superior*, 23: 53-54. 2008.

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

REDDY, B. V. S.; ASHOK KUMAR, A.; RAMESH, S. Sweet sorghum: a water saving bioenergy crop. International conference on Linkages between Energy and Water Management for Agriculture in Developing Countries, January 29-30, IWMI, ICRISAT Campus, Hyderabad, India. <http://www.icrisat.org/Biopower>. 2007.

SAS INSTITUTE. SAS/STAT software versão 9.1, Cary. 2003.

SILVA, A. G. Desempenho de cultivares de sorgo forrageiro sob diferentes condições termo-fotoperiódicas. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 174p. 2003.

STEPONKUS, P. L.; CUTLER, J. M.; O'TOOLE, J. C. Adaptation to water stress in rice. In: TURNER, N. C. & KRAMER, P. J. (Eds.) Adaptation of plants to water and high temperature stress. New York, Wiley Interscience. p. 401-418. 1980.

SUMANTRI, A; PURNOMO, E. Sweet sorghum research and development in Indonesia. Proceedings of the first international sweet sorghum conference. Institute of Botany, Beijing, Chinese Academy of Sciences. 1997.

TINGTING, X.; PEIXI, S.; LISHAN, S. Photosynthetic characteristics and water use efficiency of sweet sorghum under different watering regimes. *Pak. J. Bot.*, 42: 3981-3994. 2010.

ZANANDREA, I.; NASSI, F. L.; TURCHETTO, A. C.; BRAGA, E. J. B.; PETERS, J. A.; BACARIN, M. A. Efeito da salinidade sob parâmetros de fluorescência de clorofila em *Phaseolus vulgaris*. *Revista Brasileira de Agrociência*, 12: 157-161. 2006.

## 5. CAPÍTULO IV

### ASPECTOS MORFOLÓGICOS DE SORGO SACARINO EM DIFERENTES DISPONIBILIDADE DE ÁGUA

#### RESUMO

No Brasil, o sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] tem demonstrado grande potencial de produção, seja na produção de massa verde, grãos, etanol e até na confecção de vassouras. O sorgo sacarino vem comprovando seu potencial como matéria prima para a produção de etanol por uma série de motivos, dentre eles destaca-se sua conhecida capacidade de suportar estresses ambientais, notadamente o déficit hídrico. Este trabalho teve como objetivo caracterizar cultivares de sorgo sacarino quanto as características morfológicas da parte aérea e de raiz, com diferentes disponibilidades de água no solo. Para isso, foram avaliadas quatro cultivares: BRS 501, BRS 506, Rio e Ramada. Os tratamentos consistiram de quatro níveis de água no solo, a saber: 80%, 60%, 40% e 20% da capacidade de campo (c.c.). Foram avaliadas características morfológicas da parte aérea das plantas, através do diâmetro de colmo (mm), altura (cm), número de folhas, número de perfilhos, massa verde da parte aérea (MVPA) (g), massa seca da parte aérea (MSPA); e características do sistema radicular representadas na massa seca de raiz (MSR) (g), diâmetro médio de raiz (DMR) (mm), comprimento de raízes laterais (CRLAT) (m), comprimento de raízes axiais (CRAXI) (m), volume de raízes laterais (cm<sup>3</sup>), volume de raízes axiais (VRAXI) (cm<sup>3</sup>), área radicular específica (ARE) (cm<sup>2</sup>/g). O estresse hídrico influenciou ( $P < 0,05$ ) nas características número de folhas, número de perfilhos e massa seca da parte aérea, onde se observou o aumento do

número de folhas e massa seca da parte aérea com aumento da disponibilidade hídrica. A cultivar BRS 506 apresentou a melhor resposta ao incremento hídrico na altura de planta e diâmetro de colmo, influenciando positivamente ( $P < 0,05$ ) na produção de massa verde. As cultivares BRS 501 e Rio apresentaram resposta positiva ( $P < 0,05$ ) em relação a todos os parâmetros radiculares com o incremento hídrico.

**Palavras-chaves:** *Sorghum bicolor*, déficit hídrico, morfologia de raiz, WinRhizo.

## MORPHOLOGICAL ASPECTS OF THE SWEET SORGHUM UNDER DIFFERENT WATER AVAILABILITIES

### ABSTRACT

In Brazil, the sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] has demonstrated great production potential concerning to production of the green mass, grains, ethanol and even in confection of brooms. The sweet sorghum has proved its potential as raw material for the production of ethanol due to several reasons such as its well-known resistance to environmental stresses, especially the water deficit. So, this study was carried out to characterize four cultivars of the sweet sorghum, as taking into account the morphological characteristics of the aerial part and root, under different availabilities of water in the soil. The following cultivars were evaluated: BRS 501, BRS 506, Rio and Ramada. The treatments consisted of four water levels in the soil: 80%, 60%, 40% and 20% of the field capacity (c.c.). The following morphological characteristics of the plant aerial part were evaluated: the stem diameter (mm), height (cm), leaf number, tiller number, green mass of the aerial part (MVPA) (g), dry mass of the aerial part (MSPA), as well as the root system characteristics represented in the dry mass of the root (MSR) (g), average diameter of the root (DMR) (mm), length of the lateral roots (CRLAT) (m), length of the axial roots (CRAXI) (m), volume of the lateral roots (cm<sup>3</sup>), volume of the axial roots (VRAXI) (cm<sup>3</sup>) and the specific root area (ARE) (cm<sup>2</sup>/g). The water stress influenced ( $P < 0.05$ ) the leaf number, tiller number and dry mass of the aerial part. However, the increase of the water availability resulted an increase in the leaf number and dry mass of the Aerial Part. For the cultivar BRS 506, the hydric increment resulted a positive response for plant height and stem diameter, besides the production of the green mass ( $P < 0.05$ ). For the cultivars BRS 501 and Rio, the hydric increment provided a positive response ( $P < 0.05$ ) for all root parameters.

**Keywords:** *Sorghum bicolor*, water deficit, root morphology, WinRhizo.

## 5. 1 INTRODUÇÃO

O sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] é uma destacada matéria-prima para produção de etanol. O caldo extraído do caule fresco é composto de sacarose, glicose e frutose e pode, portanto, ser prontamente fermentados em álcool (Sipos *et al.*, 2009). Apresenta grande potencial na produção de etanol, destacando-se em relação à cana-de-açúcar, sobretudo, na rapidez do ciclo de produção, nas viabilidades de mecanização da cultura, no teor relativamente alto de açúcares diretamente fermentáveis contidos no colmo e na antecipação da colheita em até quatro meses (Embrapa, 2004).

Além do mais, o sorgo sacarino apresenta rápido crescimento, alta produção de biomassa, adaptação ampla e grande potencial para ser utilizado na produção de etanol por, entre outros fatores, apresentar um eficiente uso da água, podendo ser cultivada com sucesso no semiárido, onde outras culturas, como o milho, não desenvolvem bem sem irrigação (Reddy, 2007).

Em comparação ao milho, o sorgo apresenta menor custo de produção e possui 95% do seu valor biológico (Fialho *et al.*, 2002). Também produz mais sobre estresse

hídrico, raiz explora melhor o perfil do solo, e é capaz de se recuperar de murchas prolongadas (Magalhães *et al.*, 2007).

A distribuição do sistema radicular no perfil do solo é fundamental para o sucesso das plantas na utilização de recursos tais como a água e nutrientes, o que vai depender das condições físicas e químicas, as quais são passíveis de alterações em função do manejo utilizado (Alvarenga & Cruz, 2003).

O estudo da arquitetura do sistema radicular, em condição de campo, geralmente apresenta restrições, principalmente devido à destruição da raiz em seu formato integral, padrão. Já o escaneamento das raízes a partir de amostras coletadas em vasos permite a quantificação de um grande número de raiz por meio de parâmetros morfológicos, como o comprimento da raiz, classes de diâmetro, superfície, o número de pontas de raiz, ângulo de ramificação, entre outros (Bauhus & Messier, 1999).

Características morfológicas de raiz, como comprimento, massa, diâmetro médio e área superficial têm sido usadas para descrever quantitativa e qualitativamente o complexo sistema radicular e suas variáveis interações (Box & Ramseur, 1993). Soares *et al.* (2009) ressaltaram a viabilidade da técnica para medir o sistema radicular através da avaliação de parâmetros radiculares obtidos por meio de análise de imagens feitas pelo escaneamento digital de raízes.

O presente trabalho teve por objetivo discriminar cultivares de sorgo sacarino por meio da avaliação de características morfológicas, da parte aérea e do sistema radicular, em quatro níveis de irrigação.

## **5. 2 MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido no campus da Universidade Federal de Viçosa, situada no município de Viçosa, MG. O ensaio foi realizado em casa-de-vegetação, durante os meses de janeiro a fevereiro de 2011, com uma planta por vaso de 10 litros, com solo caracterizado como Latossolo Vermelho Distrófico.

Foram avaliadas quatro cultivares de sorgo sacarino, disponibilizadas pela Embrapa - Milho e Sorgo<sup>®</sup>: Rio, Ramada, BRS 501, BRS 506. O experimento foi instalado segundo o delineamento inteiramente casualizado, com três repetições.

As cultivares foram semeadas no dia 18 de janeiro e a emergência ocorreu entre os dias 20 e 22 do mesmo mês e irrigadas sob o tratamento 80% de capacidade de campo até dez dias após a germinação, com o intuito de haver água em quantidade suficiente para garantir condições ideais de desenvolvimento vegetativo inicial. Após essa data, as cultivares foram submetidas aos seus referidos tratamentos, com reposição hídrica diária para manutenção dos níveis de irrigação requeridos.

Os tratamentos consistiram de quatro níveis de água no solo: 80% da capacidade de campo (80% c.c.), 60% da capacidade de campo (60% c.c.), 40% da capacidade de campo (40% c.c.) e 20% da capacidade de campo (20% c.c.).

Segundo a metodologia descrita por Nascimento (2008), a capacidade de campo (c.c.) do solo foi determinada com base na prática de saturar uma quantidade conhecida de solo seco e deixar drenar livremente o excesso de água durante um período determinado. A umidade retida pelo solo nessas condições correspondeu à sua capacidade de campo. Para isto adicionou-se água ao substrato seco, deixando-se em repouso por um período de 24 horas ao abrigo da evaporação. Em seguida foi pesado e os tratamentos foram determinados tomando-se por base 100% da capacidade de campo.

Os vasos foram pesados diariamente e a água adicionada conforme a necessidade para a manutenção dos tratamentos. O experimento foi mantido até 35 dias após a semeadura.

Foram analisados os caracteres morfológicos da parte aérea, determinando-se as seguintes características: altura de planta, diâmetro de colmo, número de folhas, número de perfilhos, acamamento, massa verde e massa seca. A altura das plantas foi determinada com o auxílio de uma régua graduada e para se determinar o diâmetro de caule utilizou-se um paquímetro. A parte aérea foi seca em estufa, a uma temperatura de 70°C até obtenção de uma massa constante. A massa seca foi determinada com auxílio de uma balança digital.

Para a caracterização morfológica das raízes, todo o solo contendo o sistema radicular foi transferido para uma peneira de 20 *mesh*, sendo lavado com água corrente. Imediatamente após essa primeira lavagem, as raízes das plantas foram armazenadas em etanol 70% para uma posterior e mais minuciosa limpeza, usando-se pinças e bandejas

com água, para retirar pequenas impurezas mais aderidas às raízes que não foram descartadas na primeira lavagem.

Os parâmetros morfológicos do sistema radicular avaliados foram: massa seca de raiz (MSR) (g), diâmetro médio de raiz (DMR) (mm), comprimento de raízes laterais (CRLAT) (m), comprimento de raízes axiais (CRAXI) (m), volume de raízes laterais (cm<sup>3</sup>), volume de raízes axiais (VRAXI) (cm<sup>3</sup>) e área radicular específica (ARE) (cm<sup>2</sup>/g).

As características de comprimento e área de superfície por classes de diâmetro (muito finas  $\Phi < 0,5$  mm; finas  $0,5 \text{ mm} < \Phi < 2$  mm e grossas  $\Phi > 2$  mm) foram determinadas segundo a classificação proposta por Bhom (1979). Após avaliação do sistema radicular, as raízes foram levadas para estufa para determinação da massa seca de raiz (MSR); massa seca total (MST); relação raiz/parte aérea (MSR/MSPA); conforme citado para parte aérea.

O sistema radicular foi avaliado pela análise de imagens, utilizando o software WinRhizo Pro 2009a (Basic, Reg, Pro & Arabidopsis for Root Measurement) acoplado a um scanner EPSON *Perfection V700/V750* equipado com luz adicional (TPU), com definição de 400 dpi, como descrito por Bauhus & Messier (1999) e Bouma *et al.* (2000), obtendo-se assim os comprimentos de raízes laterais e axiais. Os comprimentos das raízes laterais e axiais foram extraídos do total das classes de diâmetro, obtidas pelo WinRhizo, sendo comprimento das laterais- CRL ( $\Phi \leq 0,5\text{mm}$ ) e das axiais - CRA ( $\Phi > 0,5\text{mm}$ ), conforme Trachsel *et al.*, (2009).

As análises estatísticas foram executadas utilizando-se o programa SAS (Statistical Analysis System - SAS Institute Inc., Cary, NC, USA), versão 9.1. 2003.

### **5. 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A análise de variância para todas as características de parte aérea avaliadas está apresentada na Tabela 1. Observa-se que para as características número de folhas, número de perfilhos e massa seca da parte aérea (MSPA) não houve interação entre Genótipo e Ambiente ( $P > 0,05$ ), o que permite a análise das variáveis independentes isoladamente. Neste sentido, para as características número de folhas e massa seca da

parte aérea, a análise de regressão para Ambiente é apresentada na Tabela 2, uma vez que esta variável influenciou nas características (Tabela 1).

**TABELA 1** – Resumo da Análise de Variância para os caracteres diâmetro de colmo (mm), altura (cm), número de folhas, número de perfilhos, massa verde da parte aérea (MVPA) (g) e massa seca da parte aérea (MSPA) (g) em sorgo sacarino

F.V.	G.L.	Q.M.					
		D. Colmo (mm)	Altura (cm)	Nº de Folhas	Nº de Perfilhos	MVPA (g)	MSPA (g)
GENÓTIPO	3	29.100278*	1159.29910*	179.298611*	11.41666667*	6957.1389*	436.154558 <sup>ns</sup>
TRATAMENTO	3	357.989167*	4382.49076*	347.965278*	0.58333333 <sup>ns</sup>	99006.3056*	3279.628697*
GENOT*TRAT	9	14.098981*	274.49132*	15.039352 <sup>ns</sup>	0.80555556 <sup>ns</sup>	3186.3981*	236.494240 <sup>ns</sup>
RESÍDUO	32	3.031250	53.46833	11.166667	0.58333333	588.3750	184.56785

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

<sup>ns</sup> não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

**TABELA 2** – Resumo da Análise de Regressão para as características número de folhas e matéria seca da parte aérea (MSPA) (g) em sorgo sacarino

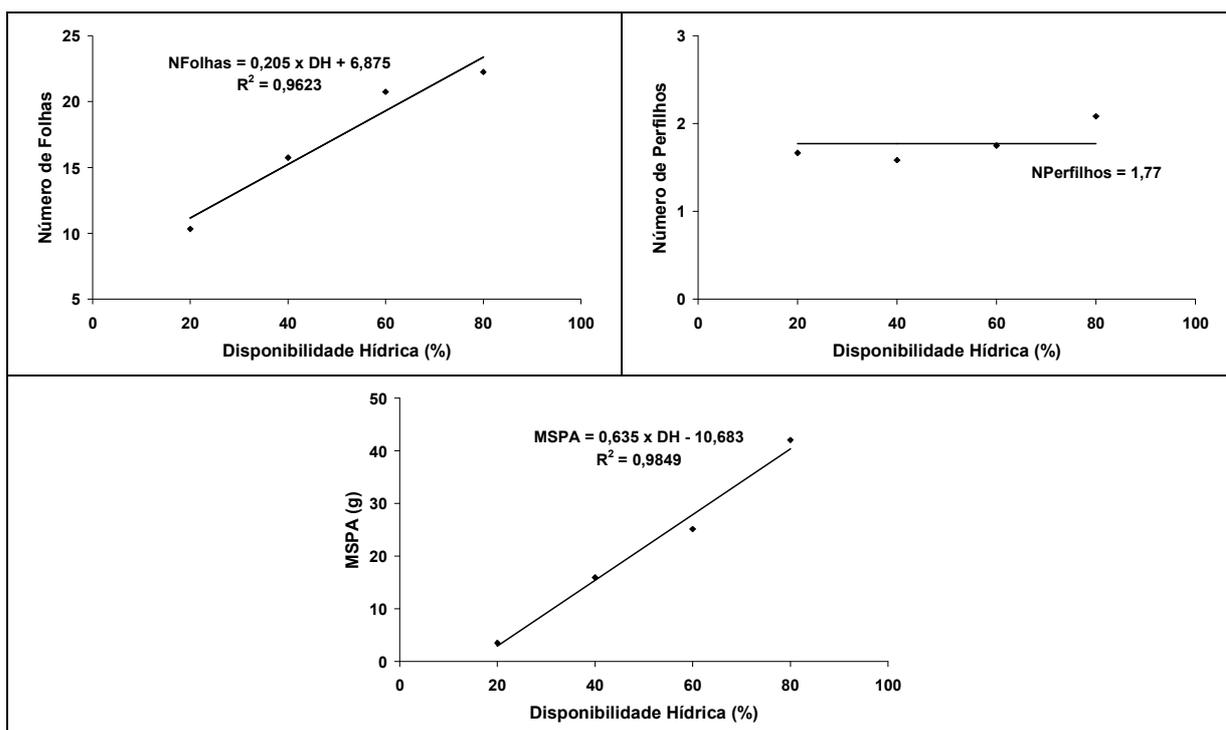
F.V.	G.L.	Q.M.	
		Nº de Folhas	MSPA (g)
TRATAMENTO	1	1004.504167*	9689.850002*
FAJ	2	19.695833 <sup>ns</sup>	74.518045 <sup>ns</sup>
ERRO PURO	44	1030.583333	212.34279

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

<sup>ns</sup> não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

A Figura 1 ilustra a influência da disponibilidade hídrica nas características número de folhas, número de perfilhos e massa seca da parte aérea, onde se observa aumento do número de folhas e massa seca da parte aérea com aumento da disponibilidade hídrica. Nesta figura também é possível observar que o número de perfilhos permanece constante com o aumento da disponibilidade hídrica.

O perfilhamento é influenciado pelo grau de dominância apical, que é regulado por fatores hormonais, ambientais e genéticos. A dominância apical é uma característica herdável e pode ser modificada por fatores ambientais como temperatura do ar, fotoperíodo e umidade do solo (Magalhães *et al.*, 2007). A umidade do solo, por si só, não alterou a quantidade de perfilhos, nos distintos tratamentos (Figura 1), embora outros fatores ambientais, tal como o genético, tenha influenciado na emissão de perfilhos com as cultivares BRS 501 e Ramada, apresentando valores médios de perfilhos superiores aos demais genótipos (Tabela 3).



**FIGURA 1** - Variação do número de folhas, do número de perfilhos e da massa seca da parte aérea (MSPA) de sorgo sacarino, em função da disponibilidade hídrica.

De acordo com Geraskis *et al.* (1975) e Taiz & Zeiger (2002), o déficit hídrico pode aumentar a relação entre raiz e parte aérea das plantas, possivelmente devido ao fato de a parte aérea da planta crescer até que a absorção de água pelas raízes seja limitante e, de modo inverso, o sistema radicular se desenvolver até que sua necessidade em fotoassimilados for igual a quantidade que é produzida na parte aérea. É justamente isso que é demonstrado na Figura 1, onde é possível observar o decréscimo na produção de massa seca de parte aérea e no número de folhas ocasionadas pelo déficit hídrico.

Isso é justificado pelo fato de que quando as plantas cultivadas passam por um processo de déficit ou estresse hídrico logo o seu desenvolvimento e/ou crescimento é afetado. O estresse hídrico é uma situação normal à produção de várias espécies, sendo comum responder negativamente no crescimento e no desenvolvimento mediante uma diminuição da disponibilidade hídrica (Lecoeur & Sinclair, 1996). Donatelli *et al.* (1992) lembram ainda que a tolerância à seca é diferenciada conforme o genótipo.

De acordo com O'toole *et al.* (1984), processos vitais das plantas, tais como fotossíntese, condutância estomática, potencial de água na folha e murchamento da folha podem ser alterados por limitações hídricas.

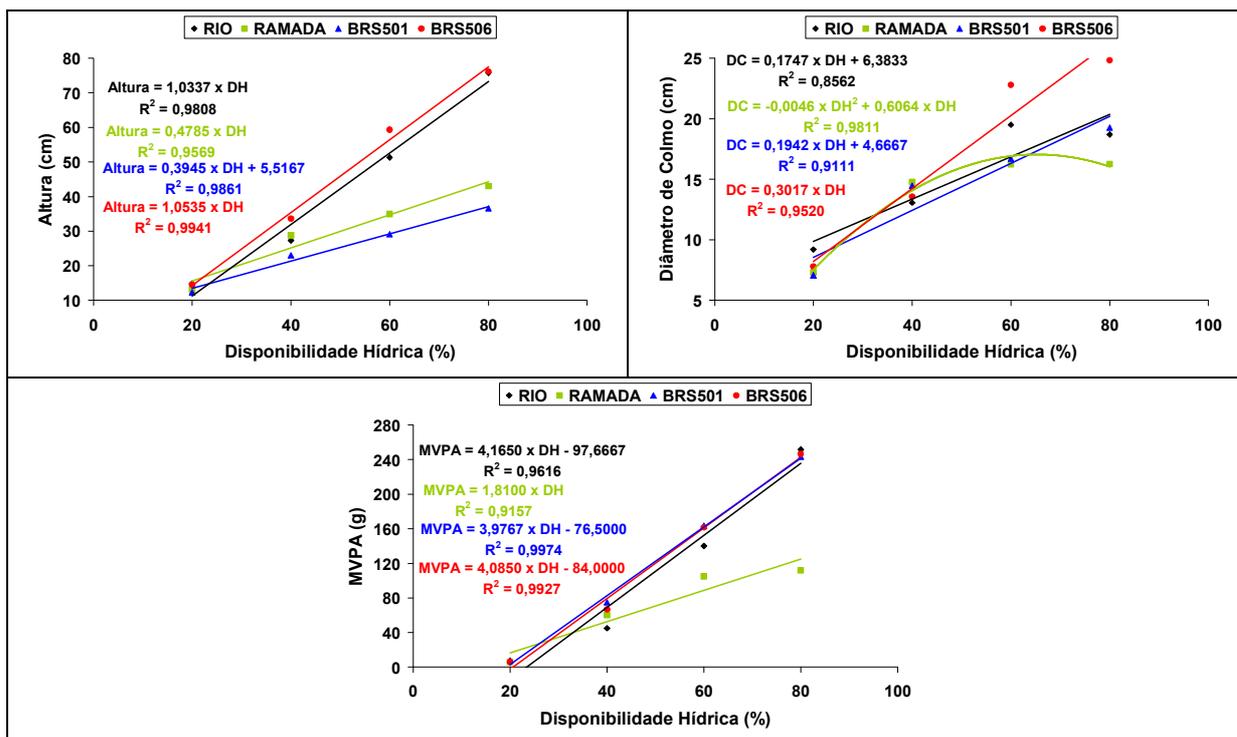
Ainda para as características onde não houve interação entre Genótipo e Tratamento, pela análise de variância apresentada na Tabela 1, é possível observar que as características número de folhas e número de perfilhos foram influenciadas pelos distintos genótipos avaliados. Tais resultados estão apresentados na Tabela 3.

**TABELA 3** – Valores médios de número de folhas, número de perfilhos e massa seca da parte aérea (MSPA) (g)

<b>Cultivar</b>	<b>Nº de Folhas</b>	<b>Nº de Perfilhos</b>	<b>MSPA (g)</b>
Rio	15,00 <sup>b</sup>	1,33 <sup>b</sup>	23,11 <sup>a</sup>
Ramada	19,33 <sup>a</sup>	2,33 <sup>a</sup>	12,12 <sup>a</sup>
BRS 501	21,25 <sup>a</sup>	2,83 <sup>a</sup>	25,06 <sup>a</sup>
BRS 506	12,83 <sup>b</sup>	0,67 <sup>c</sup>	24,05 <sup>a</sup>

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

Para as demais características de parte aérea (altura, diâmetro de colmo e massa verde), observa-se interação entre Genótipo e Ambiente ( $P < 0,05$ ) (Tabela 1), o que leva à análise da influência da disponibilidade hídrica para cada genótipo (Figura 2).



**FIGURA 2** – Variação da altura (cm), do diâmetro de colmo (DC) (cm) e da massa verde da parte aérea (MVPA) (g), em função da disponibilidade hídrica (%).

Nesse sentido, a cultivar BRS 506 é a que apresentou a melhor resposta ao incremento hídrico na altura de planta e diâmetro de colmo, influenciando positivamente na produção de massa verde, que é um caractere importante na produção de caldo para etanol. Comportamento distinto foi observado na cultivar Ramada que apresentou menores rendimentos na produção de massa verde. Importante destacar que a cultivar BRS 501 ainda que tenha apresentado menor resposta ao aumento na irrigação em relação ao diâmetro de colmo e à altura de plantas, mesmo assim exibiu produção de massa verde semelhante às cultivares Rio e BRS 501 (Figura 2).

Para o sistema radicular, a análise de variância é apresentada na Tabela 4, onde se observa que para a característica diâmetro médio de raiz não houve interação entre Genótipo e Ambiente ( $P > 0,05$ ), o que permite a análise das variáveis independentes isoladamente.

Para esta característica, a análise de regressão é apresentada na Tabela 5, uma vez que o Ambiente influenciou ( $P < 0,05$ ) no diâmetro médio de raiz (Tabela 4). A Figura 3 ilustra a influência da disponibilidade hídrica na característica diâmetro médio

de raiz, onde é possível observar seu aumento mediante o aumento da disponibilidade hídrica.

Pela análise de variância apresentada na Tabela 4, é possível observar que a característica diâmetro médio de raiz foi diferente ( $P < 0,05$ ) nos distintos genótipos. Tais resultados estão apresentados na Tabela 6, onde se pode observar a superioridade da cultivar BRS 501.

Segundo Gahoonia & Nielsen (2004) há poucos trabalhos que apresentam medidas de diâmetro médio de raiz, o que pode ser atribuído às dificuldades na avaliação. Entretanto, se sabe que essa característica está associada à absorção de nutrientes.

Para as características da massa seca de raiz (MSR), comprimento de raízes laterais (CRLAT), comprimento de raízes axiais (CRAXI), volume de raízes laterais (VRLAT), volume de raízes axiais (VRAXI) e área radicular específica (ARE), observa-se interação entre Genótipo e Ambiente ( $P < 0,05$ ) (Tabela 4), o que leva à análise da influência da disponibilidade hídrica dentro de cada genótipo (Figura 4).

**TABELA 4** – Resumo da Análise de Variância para as características massa seca de raiz (MSR) (g), diâmetro médio de raiz (DMR) (mm), comprimento de raízes laterais (CRLAT) (m), comprimento de raízes axiais (CRAXI) (m), volume de raízes laterais (cm<sup>3</sup>), volume de raízes axiais (VRAXI) (cm<sup>3</sup>), área radicular específica (ARE) (cm<sup>2</sup>/g) de sorgo sacarino

F.V.	G.L.	Q.M.						
		Massa Seca de Raiz (g)	Diâm. Med. Raiz (mm)	CRLAT (m)	CRAXI (m)	VRLAT (cm <sup>3</sup> )	VRAXI (cm <sup>3</sup> )	ARE (cm <sup>2</sup> /g)
GENÓTIPO	3	14.08709972*	0.01907674*	299143.458*	4633.40179*	184.0395423*	2788.64480*	18016081.72*
TRATAMENTO	3	18.34622192*	0.01680219*	375985.286*	5362.68699*	192.5740344*	3844.32326*	21960451.81*
GENOT*TRAT	9	3.34644512*	0.00249345 <sup>ns</sup>	166253.077*	2085.94904*	85.9329745*	1596.10733*	9019443.26*
RESÍDUO	32	0.3756627	0.00195077	15887.596	308.35955	11.581136	257.51080	1060166.8

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

<sup>ns</sup> não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

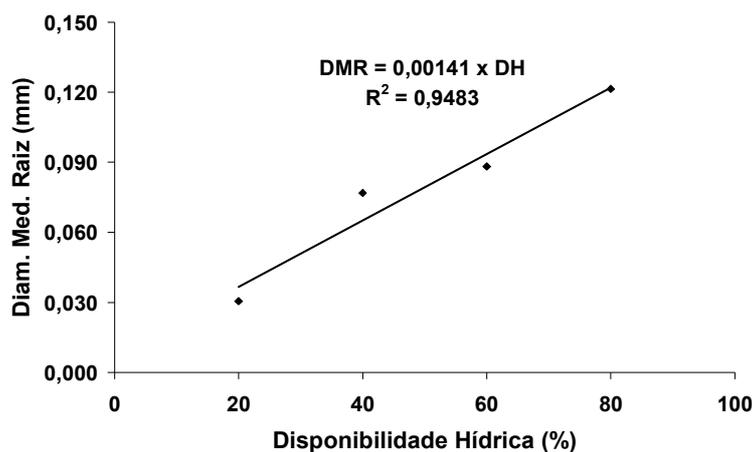
**TABELA 5** – Resumo da Análise de Regressão para a característica diâmetro médio de raiz (DMR) (mm) de sorgo sacarino

F.V.	G.L.	QM
		DMR (mm)
TRATAMENTO	1	0.04779904*
FAJ	2	0.00130376 <sup>ns</sup>
ERRO PURO	44	0.00322945

**TABELA 6** - Valores médios de diâmetro médio de raiz (DMR) (mm) em função dos genótipos de sorgo sacarino

<b>Cultivar</b>	<b>DMR (mm)</b>
BRS 501	0,137 <sup>a</sup>
BRS 506	0,065 <sup>b</sup>
Rio	0,062 <sup>b</sup>
Ramada	0,047 <sup>b</sup>

Médias seguidas pela mesma não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

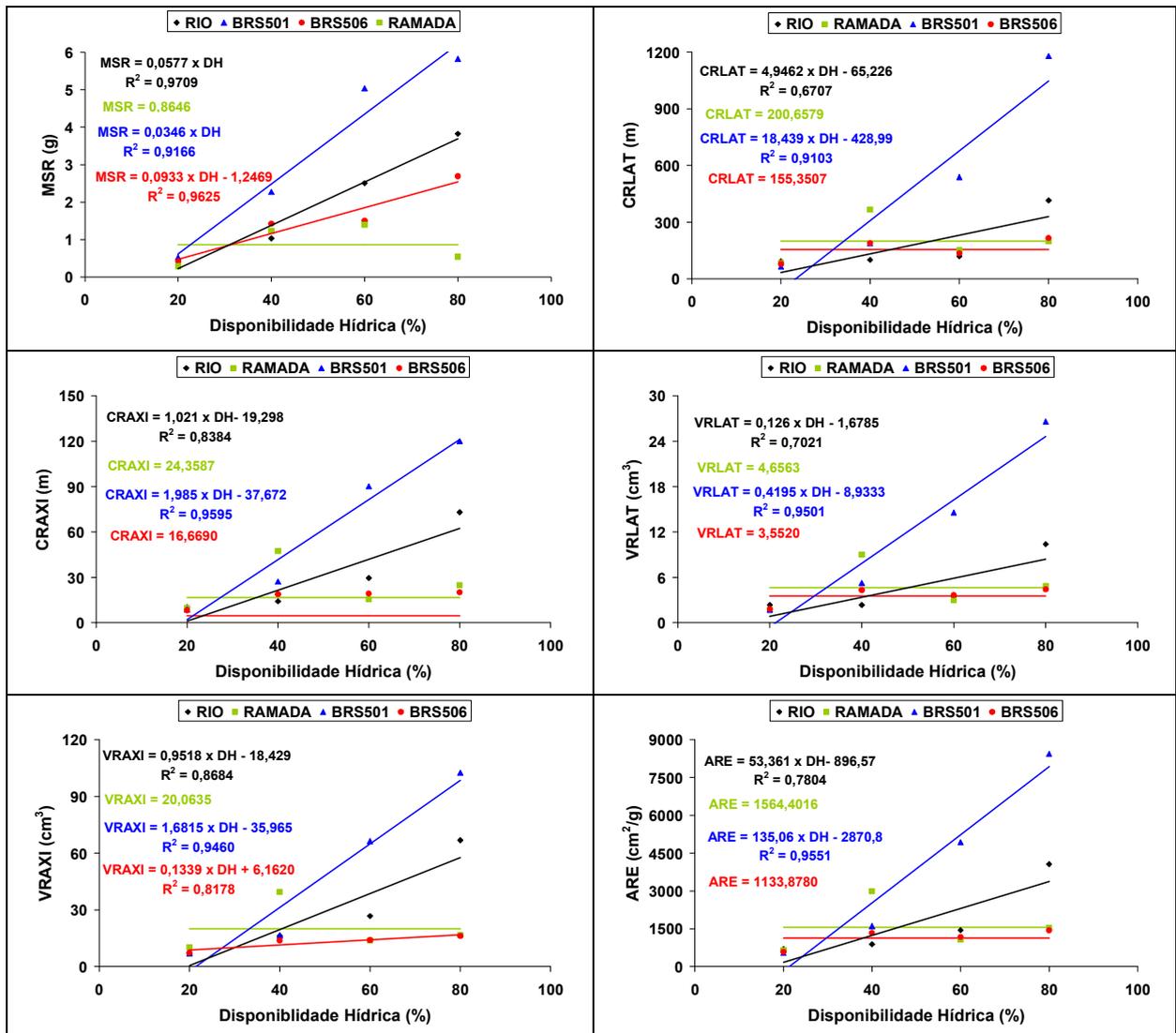


**FIGURA 3** - Variação do diâmetro médio de raiz (mm) em função da disponibilidade hídrica.

O crescimento em área, volume, massa e extensão, além do aumento das ramificações, possivelmente representam estratégias alternativas na exploração do volume do solo e na aquisição dos recursos encontrados pelo sistema radicular (Harper *et al.*, 1991).

Alguns estudos têm demonstrado alterações morfológicas e anatômicas em raízes frente ao incremento hídrico (Jackson, 2008). Além do mais, o crescimento das raízes de sorgo é limitado pela falta de umidade no solo. Um dos fatores mais importantes que afetam o uso de água e a tolerância à seca é um sistema radicular eficiente (Magalhães *et al.*, 2007).

Todavia, a cultivar Ramada mostrou-se insensível a alterações do seu sistema radicular para todas as características avaliadas com o aumento da irrigação, o mesmo acontecendo com a cultivar BRS 506, exceto para a característica massa seca de raiz (Figura 4).



**FIGURA 4** – Variação de massa seca de raiz (MSR), comprimento de raízes laterais (CRLAT), comprimento de raízes axiais (CRAXI), volume de raízes laterais (VRLAT), volume de raízes axiais (VRAXI) e área radicular específica (ARE) em função da disponibilidade hídrica (%).

Para as demais cultivares, houve resposta positiva em relação a todos as características radiculares com o incremento hídrico. Resultado semelhante para as mesmas características em sorgo foi observado com o incremento de adubação fosfatada (Rocha *et al.*, 2010).

Um maior comprimento de raízes laterais e axiais de sorgo pode favorecer a adaptação das plantas pela maior exploração de nutrientes e água no solo, o que não foi observado na cultivar Ramada.

## **5.4 CONCLUSÕES**

O incremento hídrico aumenta o número de folhas e a massa seca da parte aérea dos genótipos, sendo que as cultivares BRS 501 e Ramada apresentam os maiores índices. O mesmo não é observado com o número de perfilhos.

As características altura, diâmetro de colmo e massa verde da parte aérea da planta são influenciadas positivamente pelo aporte hídrico, sendo a cultivar BRS 506 a que apresenta melhores respostas.

Há variação positiva do diâmetro médio de raiz em função da disponibilidade hídrica e a cultivar BRS 501 é a que apresenta as melhores respostas.

As cultivares Rio, BRS 501 e BRS 506 são responsivas ao incremento de água para as características de massa seca de raiz. Para as características comprimento de raízes laterais, comprimento de raízes axiais, volume de raízes laterais, volume de raízes axiais e área radicular específica, apenas as cultivares Rio e BRS 501 respondem positivamente à irrigação.

A utilização da técnica de análise de imagens digitais mostrou-se uma ferramenta promissora para estudos de raízes em sorgo, pois permite discriminar atributos morfológicos em fase precoce da cultura.

## **5.5 AGRADECIMENTOS**

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão da bolsa; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig), pelo apoio financeiro ao projeto.

## **5.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALVARENGA, R. C.; CRUZ, J. C. Manejo de solos e agricultura irrigada. In: RESENDE, M.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; COUTO, L. A cultura do milho irrigado. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. p.70-106. 2003.

BAUHUS, J; MESSIER, C. Evaluation of fine root length and diameter measurements obtained using WINRHIZO image analysis. *Agronomy Journal* 91(1): 142-147. 1999.

BHOM, W. *Methods of studying root systems*. New York: Springer-Verlag, 189p. 1979.

BOUMA, T. J.; NIELSON, K. L.; KOUTSTAAL, B. A. S. Sample preparation and scanning protocol for computerized analysis of root length and diameter. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 218, n.1/2, p. 185-196, 2000.

BOX, J. E.; RAMSEUR, E. L. Minirhizotron wheat root data: comparisons to soil core root data. *Agron. J.* 85: 1058-1060. 1993.

DONATELLI, M.; HAMMER, G. L.; VANDERLIP, R. L. Genotype and water limitation effects on phenology, growth and transpiration efficiency in grain sorghum. *Crop Science*, v.32, n.3, p.781-786, 1992.

EMBRAPA, CENTRO NACIONAL DE MILHO E SORGO. *Boletim agrometeorológico ano agrícola, 2003-2004*. Sete Lagoas, 2004.

FIALHO, E. T.; LIMA, J. A.; OLIVEIRA, V.; SILVA, H. O. Substituição do milho pelo sorgo sem tanino em rações de leitões: digestibilidade dos nutrientes e desempenho animal. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, Sete Lagoas, v. 1, n. 1, p. 105-111, 2002.

GAHOONIA, T. S.; NIELSEN, N. E. Root traits as tools for creating phosphorus efficient crop varieties. *Plant and Soil*, The Hagues, v. 260, p. 47-57, 2004.

GERASKIS, P. A.; GUERRERO, F. P.; WILLIAMS, W. A. Growth, water relations and nutrition of three grassland annuals as affected by drought. *The Journal of Applied Ecology*, v.12, n.1, p.125-135, 1975.

HARPER, J. L.; JONES, M.; SACKVILLE-HAMILTON, N. R. The evolution of roots and the problems of analysing their behaviour. In: ATKINSON, D. (Ed.). Plant root growth: an ecological perspective. Oxford: Blackwell. p. 3-22. 1991.

JACKSON, M. B. Ethylene promoted elongation: an adaptation to submergence stress. *Annals of Botany*, London, v. 101, n. 2, p. 229-248, 2008.

LECOEUR, J.; SINCLAIR, R. T. Field pea transpiration and leaf growth in response to soil water deficits. *Crop Science*, v.36, n.2, p.331-335, 1996.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; RODRIGUES, J. A. S. Cultivo do Sorgo – Aspectos Gerais dos Efeitos Ambientais sobre o Crescimento do Sorgo. *Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de Produção 2. Sete Lagoas. 2007. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Sorgo/CultivodoSorgo/ambientais.htm>. Acesso em: 25/10/2011.*

MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C.; PEREIRA, F. J.; CASTRO, E. M.; PARENTONI, S. N. Avaliação das modificações morfológicas radiculares durante os ciclos de seleção do milho Saracura tolerante a hipoxia. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento N. 15. Embrapa. Sete Lagoas. 23 p. 2007.*

NASCIMENTO, R. Crescimento de plantas de sorgo sob diferentes disponibilidades de água no solo. *Revista Educação Agrícola Superior*, 23: 53-54. 2008.

O'TOOLE, J. C.; TUNER, N. C.; NAMUCO, O. P; DINGKUHN.; GOMES, K. A. Comparison of some crop water stress measurements methods. *Crop Science*, v.24, n.1, p.8-21, 1984.

REDDY, B. V. S.; ASHOK KUMAR, A.; RAMESH, S. Sweet sorghum: a water saving bioenergy crop. International conference on Linkages between Energy and Water Management for Agriculture in Developing Countries, January 29-30, IWMI, ICRISAT Campus, Hyderabad, India. <http://www.icrisat.org/Biopower>. 2007.

ROCHA, M. C. da; MIRANDA, G. V.; VASCONCELOS, M. J. V.; MAGALHAES, P. C.; CARVALHO JÚNIOR, G. A. de; SILVA, L. A.; SOARES, M. O.; CANTÃO, F. R. O.; RODRIGUES, F.; SCHAFFERT, R. E. Caracterização da morfologia radicular de genótipos contrastantes de sorgo em baixo e alto níveis de fósforo. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, Sete Lagoas, v. 9, n. 1, p. 65-78, 2010.

SAS INSTITUTE. SAS/STAT software versão 9.1, Cary. 2003.

SIPOS, B.; RÉCZEY, J.; SOMORAI, Z.; KÁDÁR, Z.; DIENES, D.; RÉCZEY, K. Sweet sorghum as feedstock for ethanol production: enzymatic hydrolysis of steam-pretreated bagasse. *Appl Biochem Biotechnol.* 153:151–62. 2009.

SOARES, M. O. *et al.* Discriminação de linhagens de milho quanto à utilização de nitrogênio, por meio da avaliação de características do sistema radicular. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 08, n. 01, p. 93-103, 2009.

TAIZ, L., ZEIGER, E. *Plant Physiology*. 3. ed. Sunderland: Sinauer Associates. 757p. 2002.

TRACHSEL, S.; MESSMER, R.; STAMO, P.; HUND, A. Mapping of QTLs for lateral and axile root growth of tropical maize. *Theor Appl Genet* 119, p.1413-1424, 2009.