

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**CENTRO DE SAÚDE E TECNOLOGIA RURAL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**  
*Campus DE PATOS*

**AVALIAÇÃO DE SORGO (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) E MILHETO (*Pennisetum glaucum* (L.) R. BROWN) SOB DIFERENTES NÍVEIS DE ÁGUA NO SOLO.**

**DJAIR ALVES DE MELO**

**PATOS-PB**  
**2006**

**DJAIR ALVES DE MELO**

**AVALIAÇÃO DE SORGO (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) E MILHETO (*Pennisetum glaucum* (L.) R. BROWN) SOB DIFERENTES NÍVEIS DE ÁGUA NO SOLO.**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, como requisito necessário para obtenção do grau de Mestre em Zootecnia, área de concentração Sistemas Agrossilvipastoris no Semi-árido.**

**Orientador: Prof. Dr. Jacob Silva Souto**

**Co-Orientador: Prof. Dr. Antonio Amador de Sousa**

**PATOS – PB**

**2006**

FICHA CATALOGADA NA BIBLIOTECA SETORIAL DO  
CAMPUS DE PATOS - UFCG

M528r  
2006  
D

Melo, Djair Alves de

Avaliação de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) e milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) B. R.) sob diferentes níveis de água no solo / Djair Alves de Melo - Patos - PB: CSTR, UFCG, 2006.

48f.: il.

Inclui bibliografia.

Orientador: Jacob Silva Souto

Dissertação (Mestrado em Zootecnia / Sistemas Agrossilvipastoris no Semi-Árido), Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Universidade Federal de Campina Grande.

1 – Gramíneas forrageiras – rendimento e qualidade -Dissertação.  
2 – Sorgo. 3 – Milheto. 4 - Níveis de água. I - Título

CDU: 633.2

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
CENTRO DE SAÚDE E TECNOLOGIA RURAL  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

PROVA DE DEFESA DO TRABALHO DE DISSERTAÇÃO

TÍTULO: "AVALIAÇÃO DE SORGO (*Sorghum bicolor* (L) Moench.) E MILHETO (*Pennisetum glaucum* (L.) R. BROWN) SOB DIFERENTES NÍVEIS DE ÁGUA NO SOLO".


AUTOR: Djair Alves de Melo

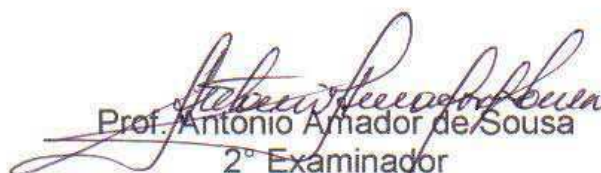
ORIENTADOR: Prof. Jacob Silva Souto

JULGAMENTO

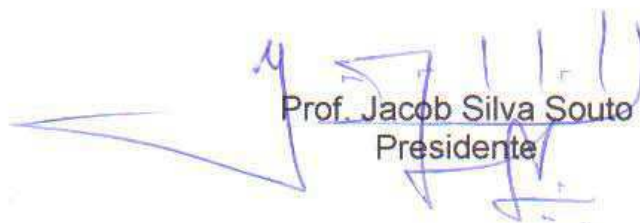
CONCEITO: APROVADO

  
Prof. Jacob Silva Souto  
Presidente

  
Prof.ª Maria Socorro de Sousa Carneiro  
1º Examinador

  
Prof. Antonio Amador de Sousa  
2º Examinador

Patos, 24 de fevereiro de 2006

  
Prof. Jacob Silva Souto  
Presidente

Aos meus pais: Severino Emídio de Melo e Rita Alves de Melo.

Aos meus irmãos: Djanilma Alves de Melo, Djane Alves de Melo, Djalma Alves de Melo.

Aos meus avós paternos: Severino Emídio e Maria Finoca Melo (In Memoriam).

Aos meus avós maternos: Augusto Alves (In Memoriam) e Maria Joaquina

**OFEREÇO!!!!**

À minha maravilhosa esposa Radácia e a minha linda filha Damila que foram a minha fortaleza nos momentos difíceis nesta caminhada, que sempre estiveram ao meu lado confortando-me com amor, compreensão, carinho e paciência.

**DEDICO!!!!**

## AGRADECIMENTOS

A Deus o meu rochedo, o meu forte e o meu libertador nos momentos mais difíceis da minha vida.

À Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), em especial ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, pela oportunidade concedida.

À Capes pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Prof. Dr. Antonio Amador de Sousa, pela orientação e pelo exemplo profissional, pelo grande incentivo e confiança, durante o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Jacob Silva Souto, pelo grande ser humano que é, pelos momentos de conversa que sempre foi uma fonte inesgotável de conhecimento e que sempre me fortalecia com as suas palavras simples de incentivo e orientação que levarei sempre no coração.

Ao Prof. Dr. Aderbal Marcos de Azevedo Silva, pelo apoio e confiança.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia (PPGZ-UFCG), pelos ensinamentos transmitidos.

Aos amigos Iremar S. Andrade, Edílson M. Nunes, Adriano F. Dantas, Ecicleide M. Santos, pessoas adoráveis que sempre estiveram do meu lado dando apoio diretamente ou indiretamente no desenvolvimento deste trabalho.

Aos funcionários do Centro de Saúde e Tecnologia Rural (Senhor Pedro, Biu, Duda, Manoel “Bagaceira”, Marcone, Joselito e M<sup>a</sup> José), pela cooperação durante o desenvolvimento deste trabalho.

Às funcionárias da Biblioteca.

A todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

**A todos muito obrigado!!!!**

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	vii
SUMMARY.....	viii
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	03
2.1 Descrição das espécies.....	03
2.1.1 Sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench).....	03
2.1.2 Milheto ( <i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. Br.).....	05
2.2 Influência do conteúdo de água no solo sobre o desenvolvimento do sorgo e do milheto.....	06
2.3 Respostas do sorgo e do milheto ao estresse hídrico.....	08
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1 Descrição da área de estudo.....	12
3.2 Caracterização física e química do solo.....	12
3.3 Delineamento Experimental .....	14
3.4 Instalação e condução do experimento.....	16
3.4.1 Preparação do solo para semeadura e adubação.....	16
3.4.2 Semeadura e desbaste.....	16
3.4.3 Irrigação.....	17
3.4.4 Coleta do material vegetal.....	18
3.5 Variáveis estudadas.....	19
3.6 Análise estatística.....	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
4.1 Primeiro experimento.....	21
4.1.1 Produção de massa verde da parte aérea.....	21
4.1.2 Produção de massa seca da parte aérea e das raízes.....	23
4.1.3 Eficiência de uso de água das culturas do sorgo e do milheto.....	26
4.1.4 Análise da forragem.....	28
4.2. Segundo experimento.....	31
4.2.1 Produção de massa verde da parte aérea.....	32

<b>4.2.2 Produção de massa seca da parte aérea e das raízes.....</b>	<b>33</b>
<b>4.2.3 Eficiência de uso de água das culturas do sorgo e do milheto.....</b>	<b>36</b>
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>38</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>39</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>45</b>



## RESUMO

**MELO, Djair Alves. Avaliação do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) e do milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) B. R.) sob diferentes níveis de água no solo. Patos: UFCG, 2006. 45p. (Dissertação – Mestrado em Zootecnia).**

Com o objetivo de estudar os efeitos de diferentes conteúdos de água no solo, aplicada via irrigação, sobre o rendimento e qualidade forrageira do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e do milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), desenvolveu-se o presente trabalho em vasos plástico, utilizando solo de textura média, proveniente de uma área de aluvião. Em delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e cinco repetições, foram conduzidos dois ensaios, constituindo dois experimentos. No primeiro, foram aplicados 100% (1T<sub>1</sub>), 75% (1T<sub>2</sub>), 50% (1T<sub>3</sub>) e 25% (1T<sub>4</sub>) de reposição da água consumida no processo evapotranspirativo, e, no segundo, 100% (2T<sub>1</sub>), 80% (2T<sub>2</sub>), 70% (2T<sub>3</sub>) e 60% (2T<sub>4</sub>), sendo que o tratamento com 100% foi usado como referencial para o cálculo da quantidade de água aplicada nos demais tratamentos, em ambos os experimentos. Para avaliar o rendimento, foram estudadas as variáveis de produção de massa verde e massa seca da parte aérea e produção de massa seca das raízes, além da eficiência de uso de água. A avaliação da forragem foi feita com base nos teores (%) de Matéria Seca (MS), Fibras em Detergente Neutro (FDN) e Fibras em Detergente Ácido (FDA). Os resultados mostraram que ambas as culturas responderam sensivelmente ao déficit hídrico no primeiro experimento, com severa redução na produção de massa verde, tendo o sorgo, apresentado tendência de superar o milheto, com exceção do tratamento com conteúdo de água de 50%. A produção de massa seca da parte aérea apresentou acentuada redução quando foi diminuída a disponibilidade de água no solo, com maior diferença no tratamento que recebeu apenas 25% do consumo máximo, equivalendo a 57,9% e 66,6% do rendimento máximo, respectivamente para o sorgo e o milheto. A massa seca das raízes também foi severamente reduzida neste tratamento. O consumo de água tendeu a ser maior na cultura do milheto. A eficiência de uso de água foi incrementada com a redução da disponibilidade de água no solo, sendo que o sorgo foi mais eficiente nos tratamentos extremos (100% e 25%), enquanto o milheto o foi nos tratamentos intermediários (75% e 50%). Na avaliação da forragem, a FDA mostrou os melhores resultados, com redução em seus teores à medida que diminuiu o conteúdo de água disponível no solo, em ambas as culturas. A FDN mostrou a mesma tendência no sorgo, enquanto o teor de MS mostrou efeito inverso, também para o sorgo. No segundo experimento, foram analisadas apenas as variáveis de produção, cuja tendência foi semelhante à do primeiro experimento, com redução de massa verde da parte aérea e massa seca da parte aérea e das raízes, à medida que o suprimento de água foi reduzido de 100% até 60% da demanda máxima, porém com diferença menos acentuada entre os tratamentos. Diante dos resultados, concluiu-se que o sorgo respondeu melhor aos tratamentos nas condições em que foi conduzido o experimento e que o suprimento de água a partir de 70% da demanda máxima proporcionou bons resultados em ambas as culturas, comparado ao suprimento máximo.

Palavras-chave: Manejo de irrigação, déficit hídrico, rendimento de biomassa, qualidade de forragem.

## SUMMARY

MELO, Djair Alves. **Evaluation of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) and millet (*Pennisetum glaucum* (L.) B. R.) under different soil water levels.** Patos: UFCG, 2006. 46p. (Dissertation – M.Sc. in Animal Husbandry).

This investigation was carried out to study the effects of different water contents in the soil, applied by irrigation, on yield and forage quality of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] and millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.]. Sorghum and millet plants developed in medium texture alluvial soil, in 9L plastic container, arranged according to a complete random design with 2x4 treatments (2 species x 4 water levels in the soil), and 5 replications for each treatment, totaling 40 containers for the first experiment, and 40 containers for the second experiment. Water replacement levels were 100% (1T<sub>1</sub>), 75% (1T<sub>2</sub>), 50% (1T<sub>3</sub>), and 25% (1T<sub>4</sub>) in the experiment 1, and 100% (2T<sub>1</sub>), 80% (2T<sub>2</sub>), 70% (2T<sub>3</sub>), 60% (2T<sub>4</sub>) in the experiment 2. The treatment with 100% of water replacement was used as the reference for the calculation of the amount of applied water in the other treatments in both experiments. Data of aboveground fresh and dry matter and root dry matter were collected, as well as data on water use efficiency. Forage evaluation was made by means of percentage of dry matter (DM), neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF). In experiment 1, both species showed severe reduction in fresh biomass production due to soil water deficit. In this case, sorghum tended to produce more than millet, except in treatment with 50% of water replacement. The production of aboveground dry matter presented an accentuated reduction when soil water availability was reduced, especially for the treatment that received 25% of the maximum water consumption, when dry matter production reduced to 57.9% and 66.6% of the maximum yield, respectively for sorghum and millet. Root dry matter was also severely reduced in this treatment. Water consumption tended to be higher for millet than for sorghum plants. Water use efficiency increased with the reduction of soil water availability. In this case, sorghum was more efficient in 100 and 25% water replacement treatments, while millet was more efficient in the 75 and 50% water replacement treatments. ADF contents decreased with the reduction of water availability in the soil for both species. Sorghum NDF showed the same trend, while sorghum DM increased. In experiment 2 only production variables were considered, and showed similar trend of that observed in experiment 1, with reduction of aboveground fresh and dry matter, as well as root dry matter, as the water supply was reduced from 100% to 60% of the maximum demand. However, biomass reduction between treatments was less pronounced than the observed in experiment 1. Sorghum showed a better response to water deficiency, and water supply starting from 70% of the maximum demand provided good results in both species, comparable to the one observed on the 100% water supply treatment.

Key-Words: Irrigation management, soil water deficit, biomass yield, forage quality.

## 1 INTRODUÇÃO

A região semi-árida do nordeste brasileiro é caracterizada pela ocorrência de baixas precipitações, que se distribuem de maneira irregular, concentradas num curto período chuvoso, seguido de um longo período sem chuvas. Esse regime hidrológico característico constitui um dos principais fatores que afetam a produtividade das forrageiras nas atividades agropecuárias dessa região.

O estresse hídrico é típico do período pós-chuva nas regiões tropicais semi-áridas, onde várias culturas, entre as quais o sorgo e o milheto crescem e desenvolvem-se sob depleção do perfil de umidade do solo, determinada pela precipitação antes e durante a estação de crescimento, demanda evaporativa alta e características do solo (Krishnamurthy et al., 1999).

Em muitas regiões do mundo onde o sorgo e o milheto são cultivados a água é o fator limitante para a produção. O conhecimento das relações hídricas que envolvem essas culturas é de fundamental importância para o seu manejo nessas regiões.

No Brasil, o sorgo tem mostrado grande potencial de produção, não somente por sua comprovada capacidade de suportar estresses ambientais, mas, também, por ser mecanizável do plantio à colheita; por apresentar grande amplitude de épocas de plantio e viabilidade de utilização de equipamentos empregados em outras culturas. O plantio do sorgo em regiões e épocas com riscos de, principalmente, déficit hídrico, pode contribuir para o aumento da sustentabilidade da produção de grãos e forragem com redução do ônus para o produtor.

No nordeste brasileiro, as culturas do sorgo e do milheto são bastante utilizadas para consumo animal durante a estação seca, quando invariavelmente sofrem com o estresse

hídrico devido à competição pelo limitado suprimento de água de irrigação onde os produtores preferem outras culturas.

Como contribuição para a solução das questões que envolvem as condições de escassez de água e a necessidade de incrementar a produção de forragem na região, é importante realizar estudos que permitam a exploração de espécies forrageiras que apresentem potencial produtivo em condições de baixa disponibilidade hídrica.

É importante se conhecer os efeitos do déficit hídrico na quantidade e qualidade da forragem produzida por essas espécies, buscando estabelecer parâmetros de resposta com base nas relações hídricas do sistema solo-planta.

Dessa forma, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de verificar a influência da variação de água disponível no solo sobre o rendimento e composição bromatológica de plantas de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.).

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Descrição das espécies

#### 2.1.1 Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)

O sorgo, originário do centro da África e parte da Ásia, tem se tornado uma alternativa para alimentação animal, especialmente em regiões de baixa disponibilidade de água, por apresentar sementes ricas em proteínas, vitaminas, hidrato de carbono e sais minerais, além de produzir plantas com elevado volume de massa verde e que apresentam tolerância à seca e a alta temperatura (Carvalho et al., 2000).

De acordo com Magalhães et al. (2003), o sorgo é uma espécie do tipo C4, de dia curto e com altas taxas fotossintéticas. A grande maioria dos materiais genéticos de sorgo requer temperaturas superiores a 21°C para um bom crescimento e desenvolvimento.

O sorgo é um cereal cultivado na maior parte das regiões tropicais e subtropicais do mundo, constituindo-se como a maior fonte de alimento e de rações da África, Oriente e Oriente Médio, especialmente na Nigéria, Etiópia e Índia (Marchezan, 1987).

Segundo Oliveira (1986), em muitas regiões da África o sorgo faz parte da alimentação básica da população, suprimindo cerca de 70% da ingestão calórica diária. Nos países industrializados cultiva-se, sobretudo, como planta forrageira.

É uma gramínea rústica, cuja altura varia de 0,50 m a 5,0 m. É muito parecido com o milho, sendo que as plantas jovens podem ser diferenciadas pela presença das margens dentadas da folha. O início da floração ocorre de 30 a 40 dias após a germinação, mas a formação da gema floral pode variar de 19 a 70 dias ou mais (House, 1985). É uma planta de clima tropical, cultivada em diversas regiões do mundo até cerca de 1.800 m de altitude, cuja temperatura média gira entre 21 e 30 °C. Atualmente, o sorgo forrageiro já dispõe de certa

tradição entre os agricultores brasileiros e é muito semeado principalmente no sul de Minas Gerais e no Vale do Paraíba, SP.

Segundo Camacho et al. (2002), o sorgo possui tolerância a períodos de estiagem durante seu ciclo vital e produz colheitas de grãos e massa verde, economicamente compensadora, em condições de pluviosidade baixa e em solos de baixa fertilidade. Assim, vem sendo cultivado principalmente em zonas áridas e semi-áridas, tornando-se um alimento básico, por apresentar um elevado potencial de produção, grande versatilidade (silagem, feno e pastejo direto) e potencial de adaptação a regiões mais secas (Neumann et al., 2002).

Com o aumento da demanda e as dificuldades de importação de milho na Região Nordeste, o sorgo vem sendo incentivado com sucesso também nas regiões do semi-árido, onde ocorrem altas temperaturas e precipitações inferiores a 600 mm anuais (Waquil & Viana, 2004).

De modo geral, o sorgo apresenta tipo e comportamento semelhantes ao milheto. Todavia, ao contrário deste, o produtor não pode colher sementes para vender ou usar na propriedade, pois em geral os genótipos disponíveis no comércio são de híbridos, cujas sementes produzem população de plantas atípicas. Na produção de sorgo para forragem existem cultivares adaptados para uso em silagem, pastejo direto, corte verde e feno. Dentre as principais características consideradas na escolha de uma determinada cultivar, destacam-se rendimento de massa verde e valor nutritivo.

O uso do sorgo na alimentação animal é justificado por apresentar características bromatológicas semelhantes às do milho, chegando a apresentar teores mais elevados de proteína bruta em algumas variedades (White et al., 1991), e pelas características agrônômicas, que, entre outras, incluem maior tolerância à seca (Cummins, 1981; Lusk et al., 1984).

### **2.1.2 Milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.)**

De acordo com Mamam et al. (2000), o milheto é originário do Sub-Saara africano, cultivado desde 3.000 a.C., de onde foi levado para a Índia a partir do ano 2.000 a.C., tendo gerado genótipos distintos dos originais africanos. Atualmente é uma das culturas mais cultivadas nos países da África Saheliana e Sudanesa.

É uma gramínea anual de verão, cespitosa, de crescimento ereto, e apresenta excelente produção de perfilhos e vigoroso rebrote após cortes ou pastejos. A estatura do colmo é capaz de superar 3,0 m, podendo atingir 1,5 m entre 50 e 55 dias após a emergência. Apresenta folhas com lâminas largas e inflorescência na forma de panícula longa e contraída (Alcântara & Bufarah, 1986). Em comparação com o milho e o sorgo, requer mais calor para germinar e se estabelecer de maneira uniforme e proveitosa (Fribourg, 1995).

Segundo Guimarães et al. (2005), o milheto é uma gramínea que apresenta grande potencial forrageiro, pelo seu alto valor nutritivo e sua grande versatilidade de utilização.

Para Tabosa et al. (1999), como o milheto é uma gramínea de origem africana adaptada ao semi-árido, possui elevada eficiência de uso de água (dispondo de mecanismos de resistência/tolerância à seca) e apresenta boa aptidão para a produção de forragem.

A cultura do milheto é de fácil instalação e requer poucos insumos, pois a planta tem um sistema radicular profundo e vigoroso, o que a torna eficiente no uso de água e nutriente (Payne, 2000). Por isto, em regiões marginais e áridas da África e Ásia, essa espécie adquire importância como cereal de subsistência humana (Bidinger & Raju, 2000; Bruck et al., 2000). É um cereal de grande importância mundial, sendo considerado uma excelente alternativa para a produção de grãos e forragem (Café et al., 2002).

De acordo com Costa (1992) e Lima et al. (1999) o milheto é uma planta muito apreciada pelo gado, nutritiva e não possui fatores antinutricionais como os cianogênicos.

Na produção de sistemas intensivos a cultura do milho vem sendo muito utilizada destacando-se por suas características de alta produção e boa qualidade alcançadas nos períodos mais quentes do ano (Heringer, 1995).

O sucesso da adaptação do milho no Brasil é devido à sua alta resistência à seca, adaptabilidade a solos de baixa fertilidade, capacidade de produção, excelente forrageira, além de ser uma cultura de fácil instalação e bom desenvolvimento. Apresenta-se como alternativa valiosa na integração agricultura-pecuária, pois é altamente palatável, de grande capacidade de rebrota, e bom valor nutricional (Scaléa, 1999).

Segundo Moreira et al. (2003), por suas características, é uma espécie promissora para as condições do cerrado brasileiro e também pode ser uma alternativa alimentar para as famílias de pequenos produtores da região Nordeste.

## **2.2 Influência do conteúdo de água no solo sobre o desenvolvimento do milho e do milho**

À medida que o solo seca torna-se mais difícil às plantas absorverem água, porque aumenta a força de retenção e diminui a disponibilidade de água no solo para as mesmas (Bergamaschi, 1992). De acordo com Ludlow & Muchow (1990) a redução no conteúdo de água no solo causa significativa variação na distribuição e desenvolvimento radicular, podendo mudar o período de disponibilidade e a quantidade de água disponível para as plantas. Desta forma, nem toda a água que o solo armazena é disponível às plantas (Carlesso, 1995).

A deficiência no conteúdo de água disponível para as culturas é considerada a maior causa de redução na produtividade agrícola em clima tropical. Porém, como existe uma variabilidade na adaptação a essa condição entre espécies e dentro da espécie, deve-se avaliar



o comportamento de diferentes materiais genéticos, em condições de diferentes níveis de água no solo para a recomendação de cultivo (Blum, 1997).

Quando as plantas cultivadas passam por um processo de estresse hídrico o seu crescimento e desenvolvimento é comprometido. O déficit hídrico é uma situação comum à produção de muitas culturas, podendo apresentar um impacto negativo substancial no crescimento e desenvolvimento (Lecoeur & Sinclair, 1996). A tolerância à seca é diferenciada conforme o genótipo (Masojidek et al., 1991; Donatelli et al., 1992), dentro da mesma espécie.

O baixo conteúdo de água disponível para as plantas pode alterar alguns processos vitais, com potencial de água na folha, resistência estomática, fotossíntese, temperatura da cultura e murchamento da folha (O'toole et al., 1984).

Segundo Menezes et al. (2003) a densidade de estômatos eleva-se à medida que a planta passa pelo processo de deficiência hídrica.

A planta de sorgo se adapta a vários ambientes, principalmente sob condições de deficiência hídrica, desfavoráveis à maioria de outros cereais. Essa característica permite que a cultura seja apta para se desenvolver e se expandir em regiões de cultivo com distribuição irregular de chuvas e em sucessão a culturas de verão (Santos et al., 1996).

A cultura do sorgo tem uma boa produção de forragem na região nordeste, por apresentar-se adaptada às temperaturas elevadas e também possuir características xerófilas (Reis, 1992).

Segundo Magalhães et al. (2003) o sorgo tolera um teor de água no solo menor que a maioria dos outros cereais e pode ser cultivado numa ampla faixa de condições de solo em razão da sua resistência à seca, sendo considerado um dos cultivos mais apropriados às regiões semi-áridas.

A produção de sorgo vem se destacando nos últimos anos por apresentar-se bem em regiões onde ocorrem longos períodos de estiagem, limitando a produção de forragens (Rodrigues, 2000).

Para produzir grãos, o sorgo requer cerca de 25 mm de chuva após o plantio, 250 mm durante o crescimento e 25 a 50mm durante a maturidade (Magalhães & Durães, 2003).

O milheto tem se apresentado adequado, por atender essas características, pois tem um sistema radicular que pode alcançar 3,60 m de profundidade (Skerma & Riveros, 1992) e uma grande eficiência na transformação de água em matéria seca.

Segundo Bonamigo (1993) dependendo do período e disponibilidade de água no solo o milheto pode produzir cerca de 20 a 70 t/ha de matéria verde.

### **2.3 Respostas do sorgo e do milheto ao estresse hídrico**

Avaliar a resposta das culturas ao estresse hídrico é importante tanto sob o ponto de vista da tolerância, que leva à seleção de culturas adaptadas a condições limitantes de uso de água, quanto do rendimento, que leva à decisão de quanto e quando irrigar, quando for o caso.

De acordo com Bernardo (1996) é necessário conhecer o comportamento de cada cultura em função das diferentes quantidades de água a ela fornecida, a determinação das fases de desenvolvimento de maior consumo de água e os períodos críticos, quando a falta ou excesso provocaria queda de produção; portanto, o uso da irrigação, quando e quanto aplicar de água inserem-se em uma decisão a ser tomada com base no conhecimento das relações água-solo-planta-atmosfera.

O conhecimento do comportamento de plantas forrageiras que se desenvolvem em condições de déficit hídrico é de fundamental importância para o entendimento dos efeitos

causados por longos períodos de estiagem, possibilitando o uso de práticas de manejo que possam tornar melhor a utilização do pasto durante esse período (Dias Filho et al., 1989).

A resposta das plantas ao déficit hídrico varia qualitativa e quantitativamente (Kumar & Tieszen, 1980) e cada planta em particular apresenta resposta diferenciada ao regime de umidade do solo. Segundo Kramer (1995) o efeito do déficit hídrico sobre a maioria das culturas varia de acordo com sua duração, intensidade e período de ocorrência no ciclo da cultura. Para Doorembos & Kassam (1994), além da magnitude do estresse hídrico e do tempo em que ocorre, o seu efeito sobre o crescimento e o rendimento depende da espécie e da variedade cultivadas.

No crescimento inicial ou nos estádios mais tardios de crescimento das plantas, a diminuição da disponibilidade hídrica não limita apenas a dimensão das folhas individuais, mas também o número de folhas, porque diminui tanto o número como a taxa de crescimento dos ramos, provavelmente em decorrência do menor desenvolvimento do caule (Taiz & Zeiger, 2002). A seca pode, entretanto, estimular as reações adaptativas que capacitam as plantas a sobreviverem em períodos prolongados de deficiência hídrica (Larcher, 2000).

A planta do sorgo tem ampla adaptação geográfica e caracteriza-se pela sua tolerância ao estresse hídrico. Essa característica fisiológica distingue o sorgo do milho. Sob estresse hídrico, o milho encurta seu ciclo e tem sua produtividade extremamente reduzida e o sorgo, neste caso, paralisa seu desenvolvimento aguardando as condições favoráveis de precipitação, condições estas típicas de regiões com veranicos prolongados (Waquil & Viana, 2004).

Para Geraskis et al. (1975), o estresse hídrico pode aumentar a razão raiz/parte aérea das plantas, provavelmente porque 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).

As folhas do sorgo possuem depósitos de substância cerosa na junção da bainha com o limbo, o que leva a planta a perder menos água na transpiração, sendo importante para a economia de água, sobretudo em condições de estresse hídrico (Magalhães & Durães, 2003).

Para muitas culturas o estresse hídrico é uma situação comum durante o estágio de produção, podendo apresentar impactos negativos no crescimento e desenvolvimento das plantas (Lecoeur & Sinclair, 1996).

A cultura do sorgo tem um grande potencial na Região Nordeste, por sua adaptação às elevadas temperaturas (Reis, 1992). Esse diferencial é fundamental em sistemas de produção em regiões propensas à secas e que não disponibilizam de irrigação (Oliveira et al., 2002).

Amaral & Lira (2003), trabalhando com 11 linhagens de sorgo forrageiro submetido a déficit hídrico, observaram que as linhagens apresentaram alta capacidade de resistência ao estresse hídrico na fase inicial de crescimento.

Quando comparado com o milho, o sorgo apresenta uma maior produção quando é submetido a estresse hídrico (raiz explora melhor o perfil do solo), murcha menos e é capaz de se recuperar de murchas prolongadas (Magalhães & Durães, 2003).

O sorgo exibe mecanismos de tolerância à seca e, sob essas condições, produz muito mais matéria orgânica digerível, por hectare, do que o milho (Meeske & Basson, 1995). Plantas de sorgo sob estresse hídrico apresentam uma maior proporção de folhas e uma menor proporção de caule, sendo mais digestível e apresentando uma menor percentagem de lignina (Akin et al., 1994).

Para produção de grãos no oeste da África substituiu-se o milho pelo sorgo e este é substituído por milheto à medida que se intensifica a seca (Burton et al., 1988).

Em regiões semi-áridas quentes como o Sahel no oeste africano e o nordeste indiano, o milheto tem sido o cereal básico da agricultura de subsistência e/ou de baixo custo, por

apresentar tolerância à seca, calor e solos arenosos ácidos, lixiviados, com baixo teor de argila e matéria orgânica (Andrews & Kumar, 1992).

Segundo Bonamigo (1999), por ser uma gramínea de verão, o milho apresenta acentuada tolerância à seca, podendo ser cultivada onde o índice pluviométrico não ultrapassa os 400 mm anuais. Para Pereira Filho et al. (2003) o milho cultivado em solos com baixa fertilidade e pouca umidade, tem mostrado maior produção de fitomassa do que algumas culturas de cobertura.

Para Andrade & Andrade (1982), o milho é uma excelente alternativa para a produção de silagem em regiões com problemas de déficit hídrico.

De acordo com Singh et al. (1983) o milho é considerado um dos cereais mais resistentes à seca, porém a pesquisa a esse respeito, e o conhecimento de suas respostas fisiológicas ao estresse hídrico, tem sido insuficientes. Todavia, os poucos resultados existentes na literatura têm mostrado diferenças fisiológicas entre genótipos sob estresse hídrico, muito embora alguns desses resultados pareçam ser conflitantes.

Em Ananthapur, Índia (211 mm de chuva), o estresse hídrico reduziu severamente a altura das plantas de milho, refletindo nas menores proporções de colmo na forragem (colmo + bainha + lâmina) (Thorne & Carlaw, 1992).

O conhecimento sobre o comportamento de algumas culturas submetidas a estresse hídrico leva-nos a estudos que permitam a exploração de plantas, cujas exigências possam ser atendidas por baixa disponibilidade hídrica (Pedreira et al., 2003).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Descrição da área de estudo**

O experimento foi conduzido em telado de náilon, no Viveiro Florestal do Departamento de Engenharia Florestal/ CSTR/UFCG, Campus de Patos, PB.

A cidade de Patos está localizada na depressão sertaneja, semi-árido paraibano, situando-se geograficamente nas coordenadas 7°01'28"S e 37°16'48"W, com altitude média de 249 m. O clima da região, conforme classificação de Köppen, é do tipo Bsh, quente e seco, com chuvas de inverno. O período mais seco compreende os meses de julho a fevereiro e o mais chuvoso no período de Março a Junho. A pluviosidade média anual é de 675 mm, com distribuição irregular de chuvas e temperaturas médias superiores a 25°C.

#### **3.2 Caracterização física e química do solo**

O solo utilizado foi proveniente de uma área de aluvião (Neossolo Flúvico) da Fazenda Lameirão, localizada no município de Santa Terezinha, PB, semi-árido paraibano, tendo sido cultivada pela última vez no ano de 2001, com a cultura do milho, permanecendo em repouso a partir de então até a data da retirada do solo.

Foram coletadas amostras de solo do horizonte superficial (0 a 20 cm), coincidindo aproximadamente com a camada de aradura, onde se desenvolve a maior parte das raízes. Este solo foi selecionado para o experimento devido ser típico de locais onde se cultiva o sorgo e o milho na região.

Após a coleta, o solo foi seco ao ar, destorroado, homogeneizado e passado em peneira de malha grossa, para então serem retiradas amostras para análise em laboratório, com a

finalidade de caracterizá-lo química e fisicamente. As análises foram realizadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade do Departamento de Engenharia Agrícola e os resultados estão na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos físicos e químicos do solo utilizado no experimento.

Atributos físicos								
Granulometria			Classificação textural			dg	dp	
Areia	Silte	Argila						
g.kg <sup>-1</sup>						g.cm <sup>-3</sup>		
719	70	211	Textura média			1,55	2,70	

Atributos químicos								
pH	P	Ca	Mg	K	Na	H+Al	T	V
CaCl <sub>2</sub> 0,01M	mg.dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						%
5,5	15,8	6,2	1,4	0,48	0,5	1,8	10,3	80

A caracterização física foi realizada determinando-se a composição granulométrica e argila dispersa em água pelo método da pipeta; a densidade do solo, pelo método do anel volumétrico; a densidade das partículas, pelo método do balão volumétrico, todos segundo EMBRAPA (1997).

Na caracterização química, determinaram-se: o pH; potássio e sódio, por fotometria de chama, após extração com HCl 0,05 molL<sup>-1</sup>; cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, por espectrofotometria de absorção atômica, após extração com KCl 1 molL<sup>-1</sup>; a acidez potencial (Al+H), por extração com acetato de cálcio 0,5 molL<sup>-1</sup> a pH 7,0 e fósforo disponível, por colorimetria em presença de ácido ascórbico, depois da extração com solução de Mehlich-1 (EMBRAPA, 1997).

### 3.3 Delineamento experimental

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e cinco repetições, que foram igualmente testados nas culturas do sorgo e do milho.

Os tratamentos foram testados em dois experimentos, onde as quantidades de água aplicadas em 1T<sub>1</sub> e 2T<sub>1</sub> corresponderam à reposição total da água utilizada pelas plantas no processo de evapotranspiração, enquanto nos demais tratamentos, foram aplicadas frações das reposições de 1T<sub>1</sub> e 2T<sub>1</sub>, respectivamente, conforme mostra a Tabela 2. Assim, as plantas se desenvolveram sob diferentes conteúdos de água no solo, na faixa de disponibilidade, definida por Doorembos & Pruitt (1974) como a diferença em termos percentuais entre a água retida à Capacidade de Campo (-33kPa) e a água retida ao Ponto de Murcha Permanente (-1.500 kPa), que correspondem aos valores de 0,33 atm e 15 atm, respectivamente, na curva característica média de retenção de água no solo (Figura 1).

Tabela 2. Definição dos tratamentos utilizados para as duas culturas, de acordo com o delineamento estatístico adotado.

Primeiro experimento				Segundo experimento			
1T <sub>1</sub>	1T <sub>2</sub>	1T <sub>3</sub>	1T <sub>4</sub>	2T <sub>1</sub>	2T <sub>2</sub>	2T <sub>3</sub>	2T <sub>4</sub>
100%=CC	75%	50%	25%	100%=CC	80%	70%	60%



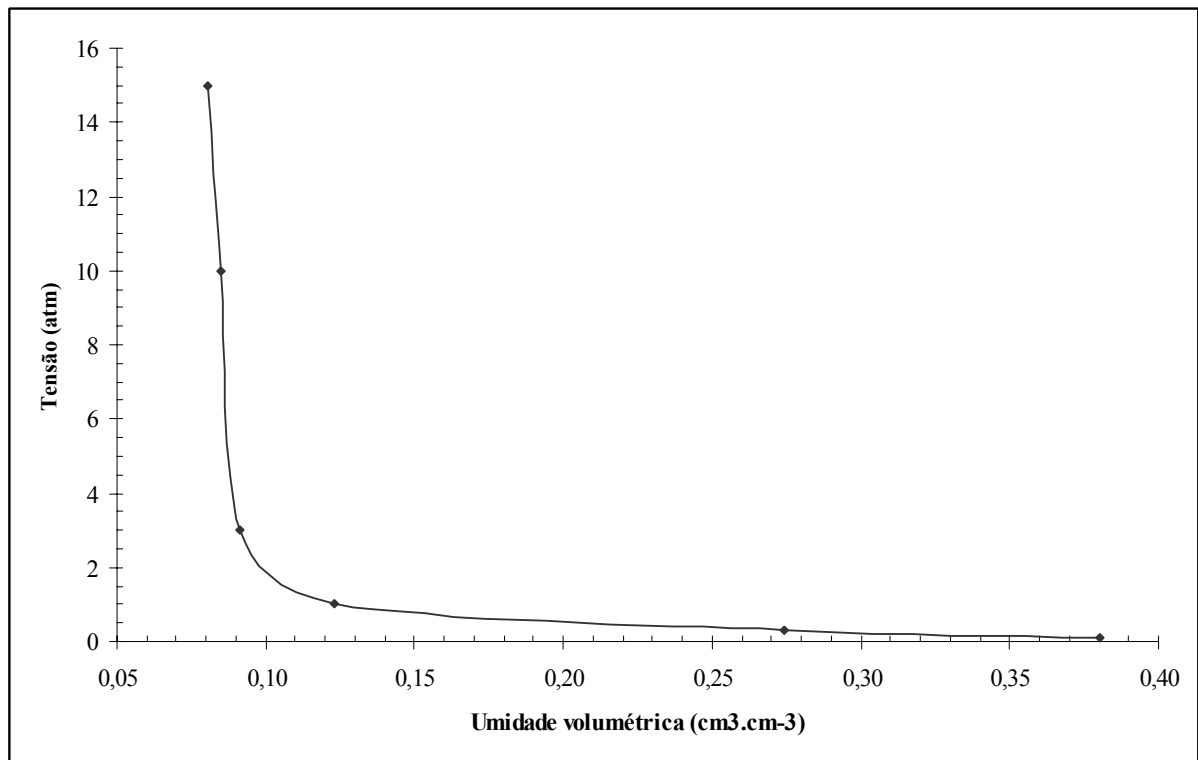


FIGURA 1 – Curva característica média de retenção de água no solo.

Os tratamentos do primeiro experimento tiveram como objetivo testar o estresse hídrico sobre o crescimento e rendimento das culturas, por meio de déficits crescentes de suprimento de água entre os tratamentos, aplicados ao longo do período de crescimento.

No segundo experimento, o objetivo foi avaliar níveis de rendimento próximos ao rendimento máximo, com limitação de suprimento de água. Para isto, procurou-se distribuir os tratamentos no intervalo da faixa de disponibilidade mais próximo à Capacidade de Campo, tendo como base os resultados do primeiro experimento.

O primeiro experimento foi executado no período de 30 de abril a 14 de junho de 2005 e, o segundo, no período de 17 de agosto a 01 de outubro de 2005. Apenas no primeiro experimento usou-se uma cobertura de plástico transparente ao nível do teto da estufa, como proteção contra eventuais precipitações.

### **3.4 Instalação e condução do experimento**

#### **3.4.1 Preparação do solo para semeadura e adubação**

De acordo com o delineamento experimental, em ambas as fases foram utilizados 40 vasos plásticos, distribuídos sobre bancadas de madeira, onde permaneceram durante a condução do experimento. Em cada um deles foram colocados 9 kg de solo mais 11,7 g de  $P_2O_5$ . Esta adubação foi realizada com base no resultado da análise química (Tabela 1) e seguindo orientação de adubação de manutenção do Laboratório de Solos e Água do Centro de Saúde e Tecnologia Rural/UFCG. A adubação nitrogenada foi parcelada em duas aplicações, sendo uma na semeadura e outra 20 dias após a germinação, utilizando-se 0,41 g de uréia por vaso, em solução (5ml).

Em ambos os experimentos, antes da semeadura foi realizada a primeira irrigação, com o objetivo de elevar o teor de água no solo até o ponto de capacidade de campo, aplicando-se água até provocar uma pequena percolação em todas as parcelas (vasos).

#### **3.4.2 Semeadura e desbaste**

A semeadura foi realizada colocando-se cinco sementes por vaso, bem distribuídas, a cerca de 1,0 cm de profundidade, das variedades IPA-457-42 de sorgo e IPA-BULK 1BF de milho.

No desbaste, realizado uma semana após a germinação, foram eliminadas as plantas menores e mais fracas, sendo que no primeiro experimento foram deixadas duas plantas por vaso e, no segundo, três plantas por vaso. Neste caso, o objetivo foi obter resultados mais homogêneos entre as parcelas, no caso de alguma planta ser perdida.

### 3.4.3 Irrigação

A irrigação foi realizada manualmente, sempre pela manhã, repondo-se o total ou fração da água consumida pelas plantas, de acordo com cada tratamento. Pelo arranjo mostrado no delineamento experimental, 1T<sub>1</sub> (primeiro experimento) e 2T<sub>1</sub> (segundo experimento) foram iguais em termos de conteúdo de água restabelecido no solo após cada irrigação (100% da Capacidade de Campo), sendo a base de cálculo para a aplicação de água nos demais tratamentos. Entretanto, para atender o objetivo de cada experimento, foram estabelecidos turnos de rega diferentes para os mesmos. Desta forma, para 1T<sub>1</sub> e, por consequência, para 1T<sub>2</sub>, 1T<sub>3</sub>, e 1T<sub>4</sub>, foram estabelecidos turnos de rega de três dias na primeira metade do período de crescimento e de dois dias na segunda. Estes intervalos foram suficientes para se observar, visualmente, o déficit hídrico sofrido pelas plantas do tratamento 1T<sub>1</sub>, quando se iniciava a murcha das folhas. Esta observação foi também usada como base para a redução do turno de rega na segunda metade do período, à medida que aumentaram as exigências hídricas das culturas. Nos demais tratamentos, este déficit aumentou com a redução da fração de reposição, definida na Tabela 2.

No segundo experimento, a rega foi feita diariamente, uma vez que o objetivo foi manter o suprimento de água com reposições diárias do total consumido no tratamento 2T<sub>1</sub> e das frações preestabelecidas para os demais tratamentos, de acordo com a Tabela 2.

Para garantir 100% de reposição de água disponível em todas as irrigações, as parcelas com este tratamento foram instaladas para funcionar como lisímetros de drenagem nas duas culturas (Figura 2).

Para evitar perdas de nutrientes por lixiviação, principalmente o nitrogênio aplicado, a fração percolada (eluente) em 1T<sub>1</sub> e 2T<sub>1</sub> era coletada e devolvida à respectiva parcela junto à água de irrigação da aplicação seguinte.



FIGURA 2 – Visualização dos coletores da água percolada (embaixo da bancada) instalados nos vasos que funcionaram como lisímetros de drenagem (tratamento  $1T_1/2T_1$ ).

Assim, a quantidade de água repostada nestes tratamentos, em cada irrigação, foi sempre a diferença entre a quantidade fornecida e a fração percolada, funcionando como controle. Os demais tratamentos receberam, ao longo de todo o experimento, as respectivas porcentagens, calculadas com base em  $1T_1$ , no primeiro experimento, e  $2T_1$ , no segundo.

Em ambos os experimentos, o início dos tratamentos ocorreu no 13º dia após a semeadura, quando as plantas apresentavam entre 3 e 4 folhas. Este período foi considerado como fase de estabelecimento das plantas.

#### **3.4.4 Coleta do material vegetal**

Ao final de cada experimento, foi feito o corte raso de ambas as culturas, no mesmo dia, separando-se a parte aérea das raízes ao nível do solo. Para a coleta das raízes foi utilizado o meio de lavagem a jato de água sobre uma peneira para desprender o solo do sistema radicular, como mostra a Figura 3. Em seguida as mesmas foram acondicionadas em sacos de papel para secagem em estufa.



FIGURA 3 – Visualização da separação do solo do sistema radicular.

### 3.5 Variáveis estudadas

Para avaliar as respostas das culturas aos diferentes volumes de água aplicados no primeiro experimento foram consideradas como variáveis a serem estudadas: pesos de massa verde e massa seca da parte aérea das plantas; peso de massa seca das raízes; Matéria Seca (MS); Fibra em Detergente Neutro (FDN) e Fibra em Detergente Ácido (FDA). No segundo experimento foram suprimidas as análises de MS, FDN e FDA, avaliando-se apenas as variáveis de produção, já que o objetivo foi avaliar o rendimento das culturas com limitação de suprimento de água, cujos conteúdos aplicados nos tratamentos foram calculados com base nos resultados do primeiro experimento.

O peso de massa verde da parte aérea (toda a planta) foi obtido logo após o corte, quando todo o material foi colocado em sacos de papel e pesado, por tratamento e repetição. Em seguida, o mesmo material foi colocado na estufa para secagem a 65°C por 72 horas, quando foi novamente pesado para obtenção da massa seca. O mesmo procedimento de

secagem foi adotado para obtenção da massa seca das raízes. A pesagem foi feita em balança digital de 0,01g de precisão.

As determinações de MS, FDN e FDA foram feitas de acordo com metodologia de Van Soest (1994), a partir de amostras do material da parte aérea seco em estufa a 105°C e moído em moinho estacionário do tipo “Willey” com peneira de 1 mm. Todas as determinações foram feitas, em duplicata, no Laboratório de Nutrição Animal do CSTR/UFCG, Campus de Patos, PB.

### **3.6 Análise estatística**

Os dados obtidos para as duas fases foram submetidos à análise de variância, pelo teste F, conforme esquema de experimento inteiramente ao acaso, e, para a comparação de médias, utilizou-se o teste de Tukey (GOMES, 1987). As análises foram feitas utilizando o programa estatístico SISVAR da Universidade Federal de Lavras.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Conforme descrito na metodologia, o estudo compreendeu dois experimentos. Os resultados do primeiro experimento refletem as respostas das culturas a diferentes conteúdos de água no solo, numa escala crescente de déficits hídricos, previamente definidos na amplitude do intervalo de disponibilidade. Já no segundo experimento, os resultados indicam as respostas das culturas, em termos de rendimento, a conteúdos de água no solo numa faixa mais próxima à Capacidade de Campo.

Considerando esta diferenciação entre os dois experimentos, optou-se por realizar a discussão separadamente.

### **4.1 Primeiro experimento**

Os dados apresentados a seguir foram obtidos com a aplicação dos tratamentos 1T<sub>1</sub>, 1T<sub>2</sub>, 1T<sub>3</sub> e 1T<sub>4</sub>, que correspondem, respectivamente, à reposição de 100% da demanda evapotranspirométrica e adição das frações 75%, 50% e 25% dessa quantidade, no período de crescimento das culturas do sorgo e do milho.

As análises de variância dos dados para todas as variáveis estudadas encontram-se nas Tabelas 1, 2, 3, 4, 5 e 6 do Anexo A.

#### **4.1.1 Produção de massa verde da parte aérea**

A Tabela 3 contém os valores médios da produção de massa verde da parte aérea do sorgo e do milho, por tratamento, e comparação de médias.

Tabela 3. Valores médios da produção de massa verde da parte aérea do sorgo e do milho no primeiro experimento, obtida por vaso, aos 45 dias após a germinação, sob diferentes conteúdos de água no solo.

Tratamentos	Sorgo	Milho
	g	
1T <sub>1</sub> (100%)	173,60 a*	146,00 a
1T <sub>2</sub> (75%)	156,80 a	148,00 a
1T <sub>3</sub> (50%)	93,00 b	99,60 b
1T <sub>4</sub> (25%)	48,40 c	41,20 c
CV %	11,71	13,27

\*Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Depreende-se da Tabela 3 redução na produção de massa verde da parte aérea do sorgo e do milho à medida que diminuiu a quantidade de água aplicada ao solo, com exceção de 1T<sub>2</sub>, quando comparada à testemunha. Por outro lado, ocorreu efeito significativo, igualmente, entre os tratamentos 1T<sub>2</sub>, 1T<sub>3</sub> e 1T<sub>4</sub>, que tiveram aplicação de 75%, 50% e 25% da quantidade aplicada em 1T<sub>1</sub> (100%), respectivamente.

O efeito significativo verificado entre os tratamentos 1T<sub>3</sub> e 1T<sub>4</sub>, e, principalmente, destes em relação à 1T<sub>1</sub> e 1T<sub>2</sub>, mostra que as culturas estudadas responderam sensivelmente aos estresses hídricos, com drástica redução da produção de massa verde, nas condições estudadas.

A maior produção de massa verde de sorgo foi obtida no tratamento 1T<sub>1</sub> e, a menor, no tratamento 1T<sub>4</sub>, que representam os dois extremos em disponibilidade de água neste experimento.

Desta forma, as respostas das culturas aos maiores conteúdos de água no solo (75% e 100%), mostram uma tendência de maior aproveitamento da água disponível para produção de massa verde do sorgo e do milho.

Comparando a produção média das duas culturas, nota-se que o sorgo apresentou valores em geral superiores aos do milho.



A diminuição da massa verde pode ser atribuída à redução da lâmina foliar, ocorrida no presente estudo, confirmando que a expansão foliar está ligada diretamente aos efeitos do estresse hídrico Lea et al. (1992), uma vez que as células só crescem quando estão túrgidas (Felippe, 1985).

#### 4.1.2 Produção de massa seca da parte aérea e das raízes

Os valores médios de produção de matéria seca e comparação de médias para as culturas estudadas encontram-se discriminadas por tratamentos na Tabela 4. Nesta tabela, observa-se que os dados seguem a tendência observada anteriormente para a produção de massa verde, principalmente nos tratamentos 1T<sub>3</sub> e 1T<sub>4</sub>, que mostram efeito significativo entre si.

De acordo com Fribourg (1995), o milho se desenvolve bem em solos arenosos e pouco compactados, onde pode ser mais produtivo que o sorgo.

Tabela 4. Valores médios da produção de massa seca da parte aérea do sorgo e do milho no primeiro experimento, obtida por vaso, aos 45 dias após a germinação, sob diferentes conteúdos de água no solo.

Tratamentos	g	
	Sorgo	Milho
1T <sub>1</sub> (100%)	15,20 a*	16,80 ab
1T <sub>2</sub> (75%)	15,20 a	19,20 a
1T <sub>3</sub> (50%)	11,00 b	12,80 b
1T <sub>4</sub> (25%)	6,40 c	5,60 c
CV %	11,98	17,35

\*Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

As menores produções de massa seca obtidas pelas plantas de sorgo e milho nesses tratamentos, que receberam, respectivamente, 50% e 25% da quantidade de água aplicada em 1T<sub>1</sub> (100%), mostram que estas espécies, apesar de, na literatura, serem consideradas bastante

resistentes à seca, tiveram uma redução de 27,6% e 57,9%, respectivamente, na produção de sorgo e de 23,81% e 66,6%, respectivamente, na de milho.

Os dados de produção de massa seca obtidos para ambas as culturas, mostraram que o estresse hídrico tornou-se severo quando as plantas foram submetidas ao tratamento que recebeu a menor quantidade de água nas irrigações, ou seja, 25% da quantidade aplicada em 1T<sub>1</sub>. Para Oliveira et al. (2002), sendo o sorgo tolerante a temperaturas elevadas e também por possuir características xerófilas, é importante se conhecer os níveis adequados de água no solo em regiões sujeitas à seca e que não disponham de irrigação, como o semi-árido da Paraíba.

As médias iguais para 1T<sub>1</sub> e 1T<sub>2</sub> no sorgo, corroboram com a afirmativa de Masojidek et al (1991), os quais relataram que o sorgo possui características fisiológicas que permitem paralisar o crescimento ou diminuir as atividades metabólicas durante o estresse hídrico, para reiniciar o crescimento quando a água se tornar disponível.

Na Tabela 5 são mostrados os dados de produção média de massa seca de raízes de sorgo e milho, submetidos aos diferentes níveis de água no solo.

Tabela 5. Valores médios da produção de massa seca de raízes de sorgo e milho no primeiro experimento, obtida por vaso, aos 45 dias após a germinação, sob diferentes conteúdos de água no solo.

Tratamentos	g	
	Sorgo	Milho
1T <sub>1</sub> (100%)	5,20 ab*	8,60 a
1T <sub>2</sub> (75%)	6,40 a	4,80 ab
1T <sub>3</sub> (50%)	4,00 ab	2,80 b
1T <sub>4</sub> (25%)	2,20 b	1,60 b
CV %	36,47	49,53

\*Médias seguidas pelas mesmas letras, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

Observa-se na Tabela 5 que o tratamento 1T<sub>4</sub> (25% da reposição total) sofreu uma redução de 65,62% no peso da massa seca das raízes em relação ao tratamento 1T<sub>2</sub> (75% da reposição total), sendo estatisticamente diferente ( $P < 0,05$ ).

Para o milho, os dados visualizados na Tabela 5 mostram que, à medida que aumentou o estresse hídrico, ocorreu uma diminuição significativa na produção de massa seca de raiz, chegando ao nível de 81,4% no tratamento que recebeu a menor quantidade de água (1T<sub>4</sub>). Essa redução drástica na produção de matéria seca das raízes de milho, bem como semelhante comportamento da matéria seca da parte aérea, não está de acordo com afirmações de outros autores (Dias Netto, 1998, Geraldo et al., 2002, Moreira et al., 2003), os quais confirmaram ser o milho uma espécie resistente ao estresse hídrico.

Por outro lado, isto pode estar associado ao processo utilizado para a coleta das raízes, em que o sistema radicular das plantas foi separado do solo por meio de lavagem com jato de água sobre uma peneira, cuja operação deve ter provocado perda de um grande número de raízes finas através da malha da peneira. Esta hipótese pode ser reforçada pelos altos coeficientes de variação apresentados (36,47% para o milho e 49,53 no milho).

No entanto, como não se verificou na literatura levantada, nenhum trabalho nos moldes do que ora está sendo apresentado, é aconselhado que outros experimentos sejam conduzidos nas condições deste, para se verificar a repetibilidade dos dados obtidos no presente trabalho.

Doorenbos & Kassan (1994), recomendaram estudos regionalizados sobre a relação entre queda de rendimento relativo e o déficit de evapotranspiração relativa, com teste dos fatores de resposta, já que as condições de produção durante o ciclo da cultura dependem do local e da variedade utilizada.

### 4.1.3 Eficiência de uso de água das culturas do sorgo e do milho

Durante todo o experimento, o consumo de água por parte do sorgo foi sempre inferior ao do milho, resultando num consumo total também inferior, conforme se verifica na Figura 4a.

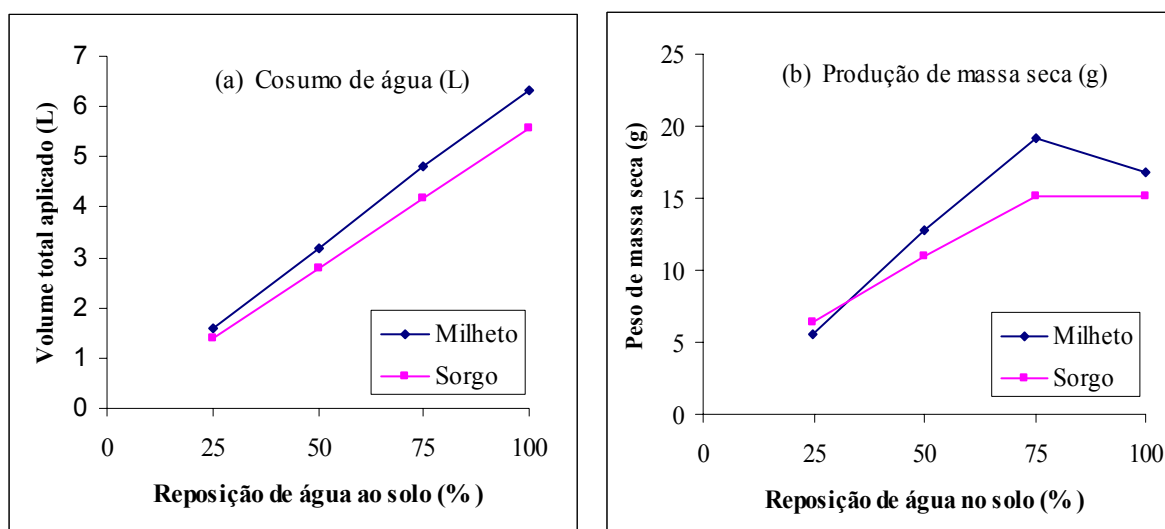


FIGURA 4. Consumo de água (a) e produção de massa seca (b) de plantas de sorgo e milho no primeiro experimento, aos 45 dias após a germinação, para diferentes conteúdos de água no solo.

O maior consumo de água pelas plantas do milho (Figura 4a) explica o maior acúmulo de matéria seca em relação ao sorgo, menos para o tratamento que sofreu o maior estresse hídrico (1T<sub>4</sub>), onde o peso de matéria seca foi inferior ao do sorgo (Figura 4b).

Na Figura 5 visualizam-se as respostas das plantas de sorgo e milho aos tratamentos aplicados, em termos de eficiência de uso de água. As unidades utilizadas para expressar os resultados (g/kg) indicam a relação entre a produção de matéria seca e a quantidade de água aplicada.

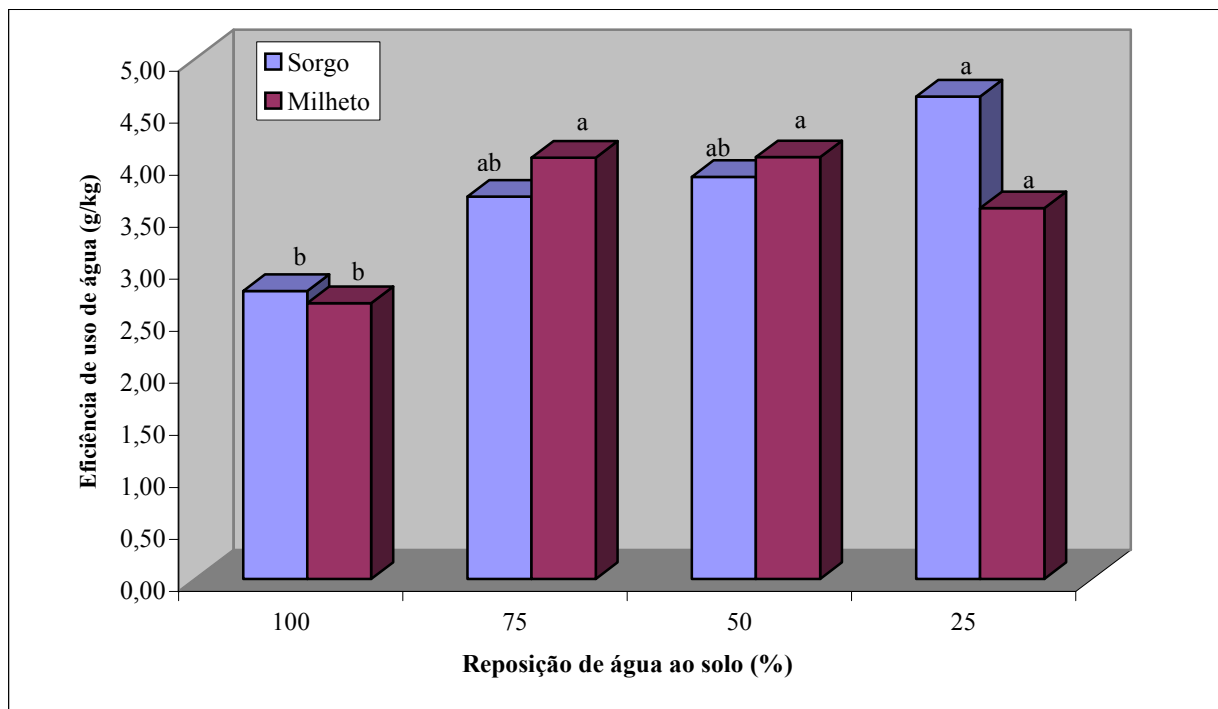


FIGURA 5. Eficiência média de uso de água em termos de grama de massa seca produzida por quilograma de água utilizado pelas plantas de sorgo e milheto no primeiro experimento, aos 45 dias após a germinação, para diferentes conteúdos de água no solo. Letras iguais sobre barras de uma mesma cultura no histograma indicam que as médias não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Pela visualização do gráfico observa-se que a eficiência de uso de água foi incrementada com o estresse hídrico a que as plantas foram submetidas, especialmente as de sorgo. Verifica-se, portanto, um efeito inverso ao que ocorreu com a produção de matéria seca (Tabela 4), onde a mesma diminuiu à medida que aumentou o estresse hídrico. Estes resultados estão de acordo com outros autores (Mastrorili et al., 1999; Sasani et al., 2004).

A eficiência de uso de água é um parâmetro importante para se conhecer a capacidade de uma espécie em se adaptar a um determinado ambiente e, ao mesmo tempo, constitui um excelente meio de avaliação de produção de plantas no semi-árido (Coelho & Oliveira Jr., 1990).

De acordo com Tabosa et al. (2002) a variável eficiência de uso de água passa a ser um subsídio fundamental para a seleção de novos materiais de sorgo forrageiro para o semi-

árido, se associada a variável produção. No presente estudo, verificou-se que a reposição total do consumo de água (1T<sub>1</sub>) gerou o pior resultado em termos de eficiência de uso de água. Por outro lado, os tratamentos intermediários (1T<sub>2</sub> e 1T<sub>3</sub>), com reposição de 75% e 50% do total do consumo, parecem apresentar uma boa relação em termos de eficiência de uso de água associada à variável produção (Figura 5 e Tabela 4), levando em conta a questão da limitação de água.

A redução no conteúdo de água no solo fornecido as plantas acarreta distúrbio de alguns processos fisiológicos, enquanto outros não são relativamente afetados. Quando as plantas são submetidas a condições de estresse hídrico, respondem a esse processo com respostas fisiológicas que indiretamente podem conservar água do solo como se fosse um reservatório para períodos posteriores (Santos & Carlesso, 1998).

#### **4.1.4 Análise da forragem**

Os dados referentes aos teores médios MS, FDN e FDA, determinados para as plantas de sorgo e milho, em função dos níveis de água utilizados no primeiro experimento, apresentam-se na Tabela 6.

Os dados mostram que ocorreu efeito de tratamentos ( $P < 0,05$ ) para o sorgo em todas as variáveis, enquanto que no milho, apenas o FDA mostrou efeito de tratamento ( $P < 0,05$ ).

O percentual de matéria seca das plantas de sorgo aumentou com a redução da quantidade de água aplicada ao solo, de modo que o maior rendimento (11,81%) foi obtido com reposição de 25% do total e, o menor (8,15%), com 100% de reposição. Já para os valores de FDN e FDA, verifica-se o inverso, ou seja, seus teores decresceram com o conteúdo de água no solo. No caso do milho, verifica-se a mesma tendência, embora não tenham ocorrido diferenças significativas.

Tabela 6. Percentuais médios para as variáveis Matéria Seca (MS), Fibra em Detergente Neutro (FDN) e Fibra em Detergente Ácido (FDA) do sorgo e do milho, obtidos aos 45 dias após a germinação, no primeiro experimento.

Tratamentos	Sorgo			Milho		
	MS	FDN	FDA	MS	FDN	FDA
	%			%		
1T <sub>1</sub> (100%)	8,15 b*	66,35 a	39,37 a	10,68 a	68,17 a	41,31 a
1T <sub>2</sub> (75%)	8,84 b	64,14 a	33,92 b	11,91 a	62,91 a	34,41 b
1T <sub>3</sub> (50%)	10,90 a	63,59 a	31,13 b	11,81 a	62,57 a	32,22 b
1T <sub>4</sub> (25%)	11,81 a	57,37 b	26,45 c	12,04 a	63,97 a	31,07 b
CV%	10,25	4,03	5,89	16,37	9,17	7,08

\*Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Os dados de FDN mostraram uma tendência de redução à medida que diminuiu a quantidade de água aplicada ao solo, principalmente no caso do sorgo, onde essa tendência se define melhor com efeito significativo ( $P < 0,05$ ) entre 1T<sub>4</sub> e os demais tratamentos. Em ambas as culturas, o maior valor de FDN foi alcançado no tratamento 1T<sub>1</sub>.

O teor mais baixo de FDN para o sorgo foi verificado no tratamento onde se aplicou estresse hídrico, com somente 25% da reposição total (57,37%), que diferiu estatisticamente dos demais tratamentos ( $P < 0,05$ ), sendo que o maior teor (66,34%) foi atingido quando as plantas receberam 100% de reposição de água ao solo. Estes resultados estão de acordo com os valores encontrados em trabalhos realizados por Gontijo Neto et al. (2000), onde o FDN variou de 51,6% a 67,4% com o sorgo dentro do período estudado.

Já para o milho, não houve diferenças significativas entre os tratamentos no que concerne aos teores de FDN. Alguns autores relatam que as plantas submetidas a estresse hídrico apresentam menor teor de parede celular (Wilson, 1983; Halim et al., 1989).

No presente trabalho, embora não tenha sido verificada diferença estatística entre os tratamentos para FDN no milho, verificou-se que houve tendência de os materiais submetidos a estresse hídrico apresentarem redução nos teores de FDN.

São poucas as informações contidas na literatura sobre a relação entre o estresse hídrico, e a proporção de tecidos e a espessura da parede celular. Segundo Wilson & Mertens (1980), é esperado que as plantas sob déficit hídrico apresentem maior produção de tecidos estruturais e paredes celulares mais espessas, apesar de que trabalhos realizados por estes autores, com gramíneas forrageiras, não tenham evidenciado tal afirmação.

Os teores médios de FDA são os que melhor explicam as diferenças entre tratamentos. Nas plantas de sorgo, 1T<sub>1</sub> e 1T<sub>4</sub> diferiram entre si ( $P < 0,05$ ) e de 1T<sub>2</sub> e 1T<sub>3</sub>, que não diferiram entre si. Este resultado indica uma boa correlação ( $R^2 = 0,9865$ ) entre a variável estudada e o teor de água aplicado no solo, conforme se pode observar na Figura 6.

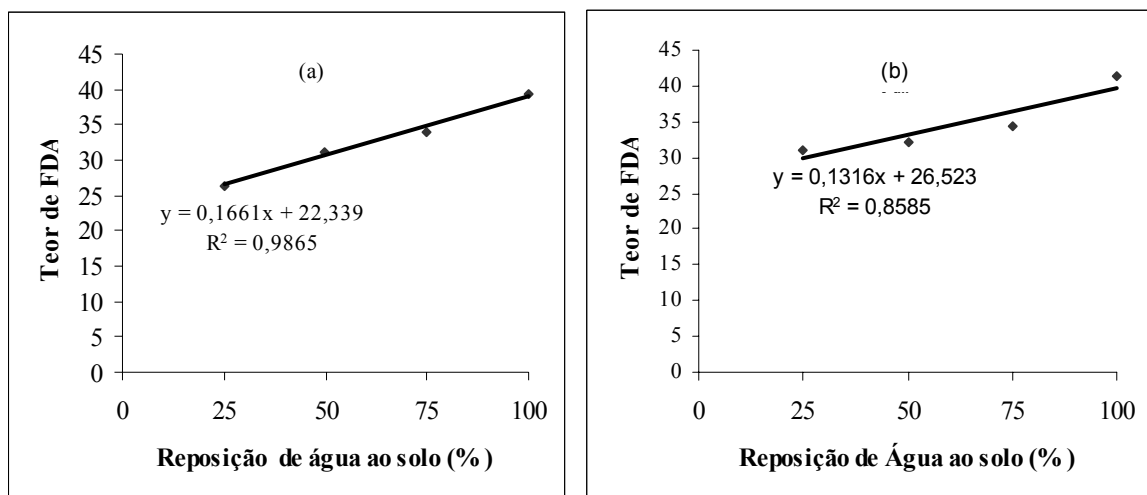


FIGURA 6. Curvas ajustadas para a relação entre teor de FDA e teor de água no solo, obtidas para plantas de sorgo (a) e milho (b) aos 45 dias após a germinação, sob diferentes conteúdos de água no solo, no primeiro experimento.

Analisando os valores de FDA para o milho, verifica-se que apenas 1T<sub>1</sub> diferiu significativamente dos demais tratamentos ( $P < 0,05$ ). Os resultados também indicam correlação ( $R^2 = 0,8585$ ), embora em menor grau que o sorgo, conforme mostra a Figura 6.



Sasani et al. (2004) analisaram o efeito do estresse hídrico na qualidade de forragem do milho separadamente no caule e nas folhas e verificaram que o teor de FDA decresceu no caule, enquanto nas folhas não houve efeito. No caso do presente trabalho, como esta separação não foi feita, não é possível se fazer a mesma análise, mas, como os valores encontrados representam a média para todo o material da parte aérea, é possível que algum efeito tenha sido atenuado e vice-versa.

Resposta das culturas à variação de níveis hídricos tem sido propósito de pesquisas científicas, buscando o aumento na eficiência do uso de água pelas plantas, com vistas à otimização de práticas de manejo, bem como ao maior entendimento dos efeitos do estresse hídrico no crescimento e na produção de matéria seca (Gomide et al., 1998).

## **4.2 Segundo experimento**

Neste item são apresentados e discutidos os dados obtidos com a aplicação dos tratamentos  $2T_1$ ,  $2T_2$ ,  $2T_3$  e  $2T_4$ , que correspondem, respectivamente, à reposição total de água ao solo (100%) e os níveis de 80%, 70% e 60% da reposição total, para as culturas do sorgo e do milho.

As análises de variância dos dados para todas as variáveis estudadas encontram-se nas tabelas 1, 2 e 3 (Anexo B).

#### 4.2.1 Produção de massa verde da parte aérea

Na Tabela 7 encontram-se os valores médios da produção de massa verde da parte aérea do sorgo e do milho, por tratamento, e comparação de médias, no segundo experimento.

Tabela 7. Valores médios da produção de massa verde da parte aérea do sorgo e do milho no segundo experimento, obtida por vaso, aos 45 dias após a germinação, sob diferentes conteúdos de água no solo.

Tratamentos	Sorgo	Milho
	g	
2T <sub>1</sub> (100%)	268,0 a*	168,6 a
2T <sub>2</sub> (80%)	230,0 b	161,4 ab
2T <sub>3</sub> (70%)	185,2 c	145,4 ab
2T <sub>4</sub> (60%)	157,2 c	125,0 b
CV %	8,6	13,35

\*Médias seguidas pelas mesmas letras, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

De maneira semelhante ao que ocorreu no primeiro experimento, verificou-se redução na produção de massa verde da parte aérea do sorgo e do milho à medida que diminuiu a quantidade de água aplicada ao solo. No caso do sorgo, houve efeito significativo entre os tratamentos ( $P < 0,05$ ), com a redução do conteúdo de água no solo, até o nível de 70% da reposição total; só não houve efeito significativo entre os tratamentos que receberam 70% e 60% da reposição total.

Para o milho, verificou-se que a redução não foi significativa entre os tratamentos até o nível de 70% da reposição total de água ao solo, da mesma forma que entre os tratamentos que receberam 80%, 70% e 60%, o que resultou em efeito significativo ( $P < 0,05$ ) apenas entre os tratamentos extremos, ou seja, entre 100% e 60% de reposição.

A produção do sorgo no segundo experimento parece bem superior àquela obtida no primeiro, a tomar como base a produção máxima. Isto pode ser explicado pelo fato de a massa

verde calculada neste experimento ter como base 3 plantas por parcela, enquanto no primeiro foram apenas 2 plantas. Em termos proporcionais, o incremento foi de apenas 2,92%. Por outro lado, este incremento pode indicar um maior uso de água pelas plantas, visto que neste experimento a reposição de água ao solo foi realizada diariamente, o que corrobora com a afirmativa de que as células só crescem quando estão túrgidas (Felippe, 1985).

#### 4.2.2 Produção de massa seca da parte aérea e das raízes

A Tabela 8 mostra os valores médios de produção de matéria seca e comparação de médias para as culturas estudadas em cada tratamento.

Observando a Tabela 8, notou-se a mesma tendência verificada na produção de massa verde, com destaque para o milho, que apresentou o mesmo efeito entre os tratamentos.

No caso do sorgo, nenhum tratamento contíguo foi estatisticamente diferente. Isto mostra uma redução gradual e contínua do peso de massa seca, ajustando-se a reduções menores da disponibilidade de água no solo, comparado aos tratamentos do primeiro experimento.

Tabela 8. Valores médios da produção de massa seca da parte aérea do sorgo e do milho no segundo experimento, obtida por vaso, aos 45 dias após a germinação, sob diferentes conteúdos de água no solo.

Tratamentos	g	
	Sorgo	Milho
2T <sub>1</sub> (100%)	32,8 a *	30,4 a
2T <sub>2</sub> (80%)	29,6 ab	28,6 ab
2T <sub>3</sub> (70%)	24,6 bc	27,6 ab
2T <sub>4</sub> (60%)	21,0 c	22,4 b
CV %	15,33	17,35

\*Médias seguidas pelas mesmas letras, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

Visando as condições para obtenção de maiores produções de massa seca, em termos de fornecimento de água ao solo, pode-se dizer, com segurança estatística, que é satisfatória a produção do sorgo a partir da umidade equivalente a 80% de reposição de água no solo, enquanto que o milheto o é a partir dos 70%, nas condições estudadas.

Ao se comparar os tratamentos extremos neste segundo experimento, verificou-se que as plantas de sorgo e milheto que se desenvolveram com suprimento de 60% de reposição, atingiram, respectivamente, 64,02% e 73,68% da produção de matéria seca obtida com o suprimento de 100%. Estes resultados são importantes diante das condições de semi-árido, em que a quantidade de água é uma das limitações mais sérias ao lado da qualidade, além da necessidade imperiosa de formação de forragem plantada.

Os resultados também se ajustam à hipótese de que as culturas responderam diferentemente nos dois experimentos. No primeiro, o estresse ficou caracterizado pela redução do suprimento de água ao longo de toda a faixa de disponibilidade e ao turno de rega de até três dias no início de crescimento, enquanto que no segundo, a rega foi realizada diariamente, e com taxa menor de redução do suprimento de água entre os tratamentos, cujo amplitude representa apenas 40% de redução da quantidade aplicada para satisfazer as condições de Capacidade de Campo.

Os dados de produção média de matéria seca de raízes de sorgo e milho, submetidos aos diferentes níveis de água no solo, encontram-se na Tabela 9.

Tabela 9. Valores médios da produção de massa seca de raízes de sorgo e milho no segundo experimento, obtida por vaso, aos 45 dias após a germinação, sob diferentes conteúdos de água no solo.

Tratamentos	g	
	Sorgo	Milho
2T <sub>1</sub> (100%)	9,6 a *	12,8 a
2T <sub>2</sub> (80%)	8,8 a	4,4 b
2T <sub>3</sub> (70%)	5,4 b	4,0 b
2T <sub>4</sub> (60%)	4,2 b	3,8 b
CV %	19,78	58,57

\*Médias seguidas pelas mesmas letras, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

Para o sorgo, as respostas aos tratamentos aplicados acompanham a tendência da produção de massa verde e massa seca. A mesma tendência se verificou no caso do milho, sendo que o tratamento em que se manteve o conteúdo máximo de água disponível no solo apresentou um valor muito elevado em relação aos demais tratamentos.

A elevada produção de massa seca de raízes de milho atingida no tratamento em que se manteve o conteúdo máximo de água disponível no solo, em relação aos demais tratamentos, apresentou-se como um dado surpreendente. Entretanto, isto é comparável ao que ocorreu no primeiro experimento, onde a produção no mesmo tratamento superou em 79,17% a do tratamento que recebeu 75% de reposição e, em 207,14%, a que recebeu apenas 50%.

É importante, contudo, observar o alto CV% verificado para esta variável, causa provável dessa discrepância. Como no experimento anterior, existe a condição do processo utilizado para a coleta das raízes, o qual deve ter provocado perda de um grande número de raízes finas através da malha da peneira, ressaltando-se que, neste experimento, o problema parece persistir mais para o milho.

#### 4.2.3 Eficiência de uso de água das culturas do sorgo e do milho

Como no experimento anterior, o consumo de água por parte do sorgo foi sempre inferior ao do milho durante todo o experimento, resultando num consumo total também inferior, conforme se verifica na Figura 7a. Esta tendência se verifica na produção de matéria seca para os tratamentos em que se aplicaram 60% e 70% da disponibilidade total de água no solo. Já nos outros tratamentos, a situação se inverte.

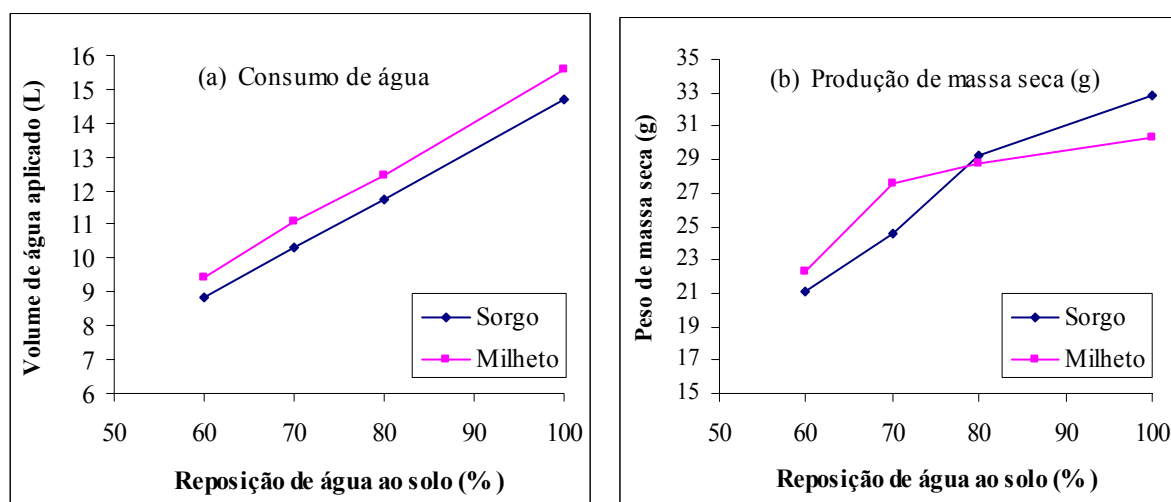


FIGURA 7. Consumo de água (a) e produção de massa seca (b) de plantas de sorgo e milho no segundo experimento, aos 45 dias após a germinação, para diferentes conteúdos de água no solo.

As menores taxas de incremento de matéria seca de  $2T_2$  para  $2T_1$  no sorgo e de  $2T_3$  para  $2T_1$  no milho indicam semelhante redução da eficiência de uso de água (Figura 8).

Na Figura 8, onde visualizam-se as respostas das plantas de sorgo e milho aos tratamentos aplicados, em termos de eficiência de uso de água, as unidades utilizadas para expressar os resultados (g/kg) indicam apenas a relação entre produção de matéria seca e quantidade de água aplicada.

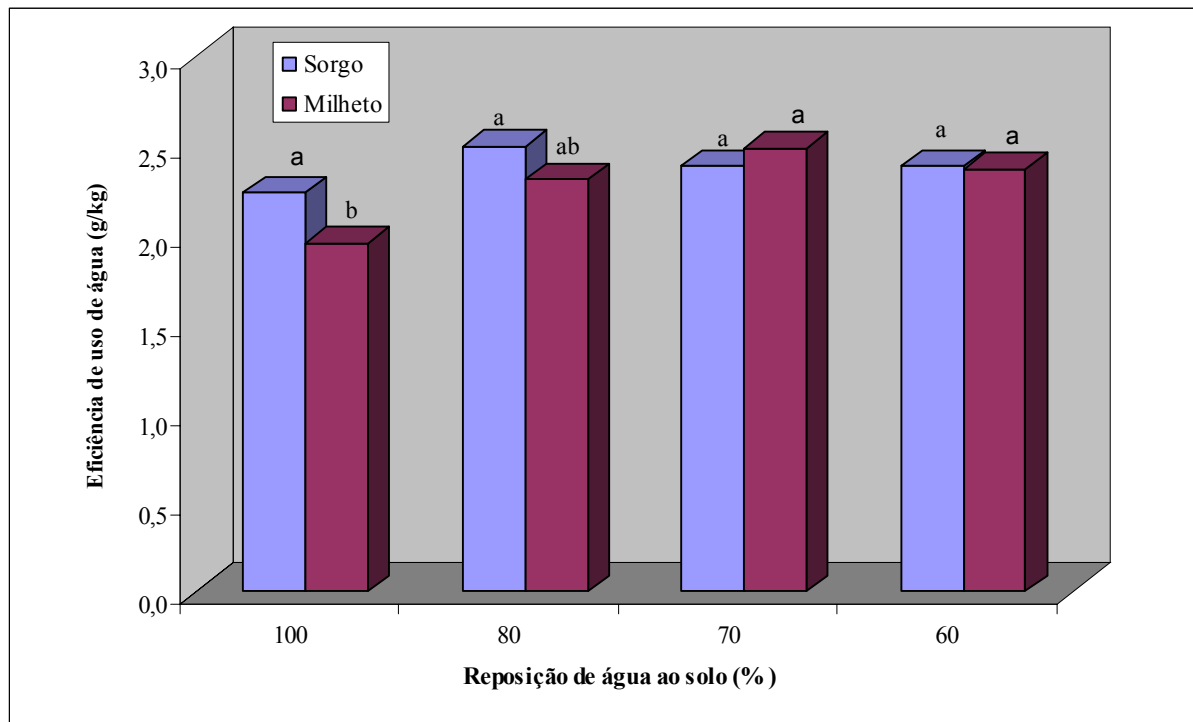


FIGURA 8. Eficiência média de uso de água em termos de grama de massa seca produzida por quilograma de água utilizado pelas plantas de sorgo e milheto no segundo experimento, aos 45 dias após a germinação, para diferentes conteúdos de água no solo. Letras iguais sobre barras de uma mesma cultura no histograma indicam que as médias não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

De acordo com a Figura 8, apenas o milheto apresentou efeito significativo para eficiência de uso de água, sendo que o tratamento  $2T_1$  diferiu de  $2T_3$  e  $2T_4$ .

Ao se comparar com o resultado do experimento anterior, verifica-se que a taxa de incremento para a eficiência de uso de água foi menos acentuada, o que se explica diante do fato de que neste experimento se está avaliando respostas das culturas à variação de suprimento no intervalo compreendido entre 60% e 100% de reposição de água na faixa de disponibilidade. Já o primeiro experimento, o objetivo foi avaliar as respostas das culturas à variação de umidade na amplitude da faixa de disponibilidade, onde ocorreram fortes estresses hídricos. Contudo, os dados não discordam de outros autores (Mastrorili et al., 1999; Sasani et al., 2004), como se afirmou no experimento anterior.

## 5 CONCLUSÕES

Nas condições estudadas, a cultura do sorgo mostrou tendência a responder melhor aos tratamentos nos dois experimentos, em todas as variáveis estudadas.

Apesar de indicadas na literatura como plantas que se adaptam bem às condições de suprimento limitado de água, foi verificado que o estresse hídrico severo durante todo o período de crescimento afetou sensivelmente o rendimento de forragem das culturas do sorgo e do milho.

O estresse hídrico ocasionou redução nos teores de fibra (FDA e FDN) da massa forrageira do sorgo e do milho.

Os rendimentos obtidos para as culturas do sorgo e do milho quando o suprimento de água foi mantido acima de 70% do consumo máximo são bons, comparados aos seus rendimentos máximos, indicando que estas culturas podem produzir satisfatoriamente sob déficit moderado em condições de irrigação.

O procedimento utilizado neste trabalho para separar as raízes do solo ao final do experimento, mostrou-se inadequado, à medida que pode ter influenciado os resultados, não permitindo boas inferências, principalmente para a cultura do milho.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKIN, D.E.; KIMBALL, B.A.; MAUNEY, J.R.; LA MORTE, R.L.; HENDREY, G.R.; LEWIN, K.; NAGY, J.; GATES, R.N. Influence of enhanced CO<sub>2</sub> concentration and irrigation on Sudan grass digestibility. **Agric. For. Meteorol.** v.70, n.1-4, p.279–287, 1994.
- ALCANTARA, P.B.; BUFARAH, G. **Plantas forrageiras: gramíneas e leguminosas**. 3.ed. São Paulo: Nobel, 1986. 162p.
- AMARAL, S.R.; LIRA, M.A. Comportamento de linhagens de sorgo forrageiro submetidas a déficit hídrico sob condição controlada. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.38, n.8, p.973-979, 2003.
- ANDRADE, J.B.de; ANDRADE, P. Produção de silagem do milheto (*Pennisetum americanum* (L) K. Schum). **Boletim de Indústria Animal**, v.39, n.2, p. 155-165, 1982.
- ANDREW, C.S.; FERGUS, I.F. Techniques in plant nutrition and the soil fertility survey. In: CSIRO. (ed). **Some concepts and methods in sub-tropical pasture research**. Farnham Royal Commonwealth Agricultural Bureaux, cap. 16, p.85-173, 1964. (Bulletin, 47).
- ANDREWS, D.J.; KUMAR, K.A. Pearl millet for food, feed, and forage. **Advances in Agronomy**, v.48, p.89-139, 1992.
- BERGAMASCHI, H. Desenvolvimento de déficit hídrico em culturas. In: BERGAMASCHI, H. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: UFRGS, Ed. Universidade, 1992. p.25-32.
- BERNADO, S. **Manual de Irrigação**. 6.ed. Viçosa: UFV/Imprensa Universitária, 1996. 596p.
- BIDINGER, F.R.; RAJU, D.S. Response to selection for increase individual grain mass in pearl millet. **Crop Science**, v.40, n.1, p.68-71, 2000.
- BLUM, A. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. In: BELHASSEN, E. (Ed.). **Drought tolerance in higher plants**. Genetical, physiological and molecular biological analysis. Dordrecht: Kluwer Academic, 1997. p.57-70.
- BONAMIGO, L.A. O plantio direto no cerrado do Mato Grosso do Sul. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PLANTIO DIRETO EM SISTEMAS SUSTENTÁVEIS, 1993, Castr PR. **Anais...** Castro: Fundação ABC, 1993. p.13-16.
- BONAMIGO, L.A. Cultura do milheto no Brasil. Implantação e desenvolvimento no cerrado. In: WORKSHOP INTERNACIONAL DE MILHETO, 1999, Brasília, DF. **Anais...** Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. p.31-65.
- BRUCK, H.; PAYNE, W.A.; SATTELMACHER, B. Effects of phosphorus and water supply on yield, transpirational water-use efficiency, and carbon isotope discrimination of pearl millet. **Crop Science**, v.40, n.1, p.120-125, 2000.
- BURTON, G.W.; KVIEN, C.S.; MAW, B.W. Effect of drought stress on productivity of trichomeless pearl millet. **Crop Science**, v.28, n.5, p.809-811, 1988.
- CAFÉ, M.B.; STRINGHINI, J.H.; FRANÇA, A.F.S. Utilização do milheto na alimentação animal. In: **SIMPÓSIO SOBRE INGREDIENTES NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL**, 2. Uberlândia: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, p.5-38, 2002.

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

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

CARVALHO, L.F.; MEDEIROS FILHO, S.; ROSSETTI, A.G.; TEÓFILO, E.A. Condicionamento osmótico em sementes de sorgo. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 22, n.1, p.185-192, 2000.

COÊLHO, K.J.F.; OLIVEIRA JR., J.O.L. de. Efeito da deficiência hídrica no solo sobre a eficiência no uso de água e a produção de matéria seca de dois cultivares de milho (*Zea mays*) **Agropecuária Técnica**, v.1/2, n. 11, p. 24-40, 1990.

COSTA, N.L. Estabelecimento, formação e manejo de pastagem de milheto. **Lavoura Arrozeira**, v.45, n.405, p.7-72, 1992.

CUMMINS, D.G. Yield and quality changes with maturity of silage type sorghum fodder. **Agronomy Journal**, v.73, n.3, p.988-990, 1981.

DIAS FILHO, M.B.; CORSI, M.; CUSATO, S. Resposta morfológica de *Panicum maximum* Jacq. cv. Tobiã ao estresse hídrico. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.24, n.7, p.893-898, 1989.

DIAS NETTO, A.M. **A cultura do milheto**. Sete Lagoas: EMBRAPA/ Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, 1998. (Comunicado Técnico, 11).

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.

DOORENBOS, J., PRUITT, W.O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1974, 194p. (Irrigation and Drainage Paper 24).

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. GHEYI, H.R.; SOUZA, A.A.; DAMASCENO, F.A.V.; MEDEIROS, J.F. (Tradutores) Campina Grande: UFPB, 1994. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FELIPPE, G.M. Etileno. In: FERRI, M.G. (Ed.) **Fisiologia vegetal**. 2.ed. São Paulo: EPU, v.2, p.163-192, 1985.

FRIBOURG, H.A. Summer annual grasses. In: BARNES, R.F.; MILLER, D.A.; NELSON, C.J. **Forages: an introduction to grassland agriculture**. 5.ed. Ames: Iowa State University Press, 1995. v.1, cap.37, p.463-472.

GERALDO, J.; OLIVEIRA, L.D.; PEREIRA, M.B. Estádios de desenvolvimento, produção de massa seca e teores de N de folhas na floração, em cultivares de milheto pérola (*Pennisetum glaucum* (L) R, Brow). **Agronomia**, v.36, n.1/2, p.7-10, 2002.

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.

GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: Nobel, 1987. 467 p.

- GOMIDE, R.L.; MAGALHÃES, P.C.; WAQUIL, J.M.; FERREIRA, W.P. Avaliação do estresse hídrico em cultivares de milho e sorgo por meio de um gradiente contínuo de irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MILHO E SORGO, 22, 1998, Recife. **Anais...** Recife: Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária/Embrapa-CNPMS, 1998. p. 4 CD-ROM.
- GONTIJO NETO, M.M.; OBEID, J.A.; PEREIRA, O.G. Avaliação de características agrônomicas de cinco híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37, 2000, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2000. (CD Room).
- GUIMARÃES, R.I.; GONÇALVES, L.C.; RODRIGUES, J.A.S. Matéria seca, proteína bruta, nitrogênio amoniacal e pH das silagens de três genótipos de milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) em diferentes períodos de fermentação. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.4, n.2, p.251-258, 2005.
- HALIM, R.A.; BUXTON, D.R.; HATTENDORF, M.J. Water stress effects on alfalfa forage quality after adjustment for maturity differences. **Agronomy Journal**, v.81, n.2, p.189-194, 1989.
- HERINGER, I. **Efeitos de níveis de nitrogênio sobre a dinâmica de uma pastagem de milheto (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke) sob pastejo**. Santa Maria, 1995. 133p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Santa Maria.
- HOUSE, L. R. The sorghum plant: growth stages and morphology. In: \_\_\_\_\_. **A guide to sorghum breeding**. 2.ed. Patancheru: Internacional Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, 1985. sec.2, p.11–25.
- KRAMER, P.J. **Plant and soil water relationships. A modern synthesis**. New Delhi: McGraw-hill, 1995. 482p.
- KRISHNAMURTHY, L.; JOHANSEN, C.; SETHI, S.C. Investigation of factors determining genotypic differences in seed yield of non-irrigated and irrigated chickpeas using a physiological model of yield determination. **J. Agron. Crop Sci.**, v.183, n.1, p.9–17, 1999.
- KUMAR, D.; TIESZEN, L.L. Photosynthesis in *Coffea arabica*: effects of light and temperature. **Experimental Agriculture**, v.16, n.1, p.13-19, 1980.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RiMa Artes e Textos, 2000. 531p.
- LEA, P.J.; AL-SULAITI, A.; PALMER, S. I. Absorção e metabolismo de nitrogênio sob estresse hídrico. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ESTRESSE AMBIENTAL: O MILHO EM PERSPECTIVA, 1992, Belo Horizonte. **Resumos...** Belo Horizonte: EMBRAPA-CNPMS, 1992. p.26-27.
- 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.
- LIMA, M.L.; CASTRO, F.G.F.; TAMASSIA, L.F.M. Culturas não convencionais girassol e milheto. In: SIMPÓSIO SOBRE BOVINOS, 7, 1999, Piracicaba. Alimentação suplementar: **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1999. p.178-195.
- LUDLOW, M.M.; MUCHOW, R.C. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. **Advance in Agronomy**, São Diego, v.43, p.107-153, 1990.
- LUSK, J.W.; KARAU, P.K.; BALOGU, D.O. Brow hybrid sorghum or corn silage for milk production. **J. Dairy Sci.**, v.67, n.8, p.1739-1744, 1984.

- MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M. **Ecofisiologia da Produção de Sorgo**. Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2003. 4p. (Comunicado Técnico, 87).
- MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M.; RODRIGUES, J.A.S. **Ecofisiologia da produção de sorgo**. Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2003. 4p. (Comunicado Técnico, 86).
- MAMAM, N.; MASON, S.C.; SIRIFI, S. Influence of variety and management level on pearl millet production in Niger: I. Grain yield and dry matter accumulation. **African Crop Science Journal**, v.8, n.1, p.25-34, 2000.
- MARCHEZAN, E. Resultados do Ensaio Nacional do Sorgo em Santa Maria, RS. Reunião Técnica Anual do Sorgo, XVI, 1987. **Anais...** Pelotas-RS, 1987.
- 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**, v.96, n.1, p.198-207, 1991.
- MASTRORILI, M; KATERJI, N.; RANA, G. Productivity and water-use efficiency of sweet sorghum as affected by soil water deficit occurring at different vegetative growth stages. **European journal of Agronomy**, v.11, p.207-215, 1999.
- MEESKE, R.; BASSON, H.M. Maize and forage sorghum as silage crops under drought conditions. **Afr. J. Range For. Sci.**, v.12, n.2, p.133-134, 1995.
- MENEZES, N.L. de; SILVA, D.C.; PINNA, G.F.M. In: APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO -GUERREIRO, S.M. (Ed.). **Anatomia Vegetal**. Viçosa: UFV. 2003. 438p.
- MOREIRA, L.B.; MALHEIROS, M.G.; CRUZ, B.B.G. Efeito da população de plantas sobre as características morfológicas e agrônômicas de milho pérola. **Agronomia**, v.37, n.1, p.05-09, 2003.
- NEUMANN, M.; RESTLE, J.; ALVES FILHO, D.C.; BRONDANI, I.L.; MENEZES, L.F.G. Resposta econômica da terminação de novilhos em confinamento, alimentados com silagens de diferentes híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench). **Ciência Rural**, v. 32, n.5, p. 849-854, 2002.
- OLIVEIRA, F. M. Consumo humano do sorgo na propriedade agrícola. **Informe Agropecuário**, n. 144, p.11-13, 1986.
- OLIVEIRA, J.S.; FERREIRA, R.P.; CRUZ, C.D.; PEREIRA, A.V.; BOTREL, M.A.; VON PINHO, R.G.; RODRIGUES, J.A. S.; LOPES, F.C.F.; MIRANDA, J.E.C. Adaptabilidade e estabilidade em cultivares de sorgo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.2, p.883-889, 2002. Suplemento.
- 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.
- PAYNE, W.A. Optimizing crop use in sparse stands of pearl millet. **Agronomy Journal**, v.92, n.5, p.808-814, 2000.
- PEDREIRA, M.S.; REIS, R.A.; BERCHIELLI, T.T.; MOREIRA, A.L.; COAN, R.M. Características agrônômicas e composição química de oito híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.5, p.1083-1092, 2003.
- PEREIRA FILHO, I.A; FERREIRA, A.S.; COELHO, A.M. **Manejo da cultura do milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2003. 17p.. (Comunicado Técnico, 29).

- REIS, O.V. **Seleção de linhagens de sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) tolerantes ao estresse hídrico em fase de plântula**. 1992. 150p. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1992.
- RODRIGUES, J.A.S. Utilização de forragem fresca de sorgo (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*) sob condições de corte e pastejo. In: SIMPÓSIO DE FORAGICULTURA E PASTAGEM - TEMAS EM EVIDÊNCIA, Lavras, MG. **Anais...**Lavras: UFLA, 2000. p.179-236.
- SANTOS, F.G.; COSTA, E.F.; RODRIGUES, J.A.S.; LEITE, C.E.P.; SCHAFFERT, R.E. Avaliação do comportamento de genótipos de sorgo para resistência à seca. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 21., Londrina, 1996. **Resumos...** Londrina: IAPAR, 1996. p.32.
- SANTOS, R.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. **R. Bras. Eng. Agric. Ambiental**, v.2, n.3, p.287-294, 1998.
- SASANI, S.; JAHANSOOZ, M.R.; AHMADA, A. The effects of deficit irrigation on Water use efficiency, ield, and quality of forage pearl millet. **In: FISCHER, T. et al.** (eds). New directions for a diverse plant. Proceeding for the 4th Internacional crop science congress. Brinshane, Australi, 2004. p.1-5.
- SCALÉA, M. A cultura do milheto e seu uso no plantio direto no cerrado. In: WORKSHOP INTERNACIONAL DE MILHETO. FARIAS NETO, A. L.; AMABILE, R. F.; MARTINS NETO, D. A.; YAMASHITA, T.; GOCHO, H. (Editores). **Anais...** Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. p.75-82.
- SINGH, P.; KANEMASU, E.T.; SINGH, P. Yield and water relations of pearl millet genotypes under irrigated and no irrigated conditions. **Agronomy Journal**, v.75, n.6, p.886-890, 1983.
- SKERMAN, P.J.; RIVEROS, F. **Gramíneas tropicales**. Roma: FAO, 1992. p.627-635.
- TABOSA, J.N.; AZEVEDO NETO, A.D.; REIS, O.V.; FARIAS,I.;TAVARES, J.J.; LIRA, M.A. Forage millet evaluation on harvest stage in the semi-arid region of Pernambuco State of Brazil. **In: Internacional pearl millet Workshop, Brasilia. Anais dos IPMW**. Embrapa, 1999. p.208-212.
- TABOSA, J.N.; REIS, O.V.; BRITO, A.R.M.B. Comportamento de cultivares de sorgo forrageiro em diferentes ambientes agroecológicos dos estados de Pernambuco e Alagoas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.1, n.2, p.47-58, 2002.
- TAIZ, L., ZEIGER, E. **Plant Physiology**. 3.ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2002. 757p.
- THORNE, P.J.; CARLAW, P.M. Stover quality in pearl millet. **Tropical Agriculture**, v.69, n.2, p.191-193, 1992.
- VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994. 476p.
- WAQUIL, J.M.; VIANA, P.A. **Ocorrência e controle de pragas na cultura do sorgo nas regiões Alta Mogiana de São Paulo e Triângulo Mineiro**. Sete Lagoas: EMBRAPA: Milho e Sorgo, 2004. 14p. (Circular Técnica, 49).
- WHITE, J.S.; BOLSEN, K.K.; POSLER,G. Forage sorghum dry matter disappearance as influenced by plant part proportion. **Anim. Feed Sci. Techn.**, v.33, n.3/4, p.313-322, 1991.
- WILSON, J.R.; MERTENS, D.R. Cell wall accessibility and cell structure limitations to microbial digestions of four forage species. **Aust. J. Plant Physiol.**, v.7, p.207-209, 1980.

WILSON, J.R. Effects of water stress on *in vitro* dry matter digestibility and chemical composition of herbage of tropical pasture species. **Austr. J. Agric. Res.**, v.34, n.4, p.377-390, 1983.

## **ANEXOS**

Tabelas referentes às análises de variância para massa verde da parte aérea, massa seca da parte aérea, massa seca das raízes, MS, FDA e FDN do primeiro experimento (A) e para massa verde da parte aérea, massa seca da parte aérea e massa seca das raízes do segundo experimento (B), para o sorgo e o milho.

Tabela A1. Análise de variância e teste F dos dados de produção de massa verde da parte aérea do sorgo e do milho, no primeiro experimento, obtida aos 45 dias após a germinação, sob diferentes conteúdos de água no solo.

FV	GL	SORGO			MILHETO		
		SQ	QM	Fc	SQ	QM	Fc
Trat	3	50329,750	16776,58	87,893	37874,200	12624,733	60,689
Rep	4	2034,700	508,67	2,665	224,425	224,425	1,079
Res	12	2290,500	190,87		2496,300	208,025	
Total	19		54654,95			300,95	
CV (%)			11,71		41268,200	13,27	

Tabela A2. Análise de variância e teste F dos dados de produção de massa seca da parte aérea do sorgo e do milho, no primeiro experimento, obtida aos 45 dias após a germinação, sob diferentes conteúdos de água no solo.

FV	GL	SORGO			MILHETO		
		SQ	QM	Fc	SQ	QM	Fc
Trat	3	264,150	88,050	42,951	531,200	177,066	31,80
Rep	4	12,200	3,050	1,488	34,800	8,700	1,563
Res	12	24,600	2,050		66,800	5,566	
Total	19	300,950			632,800		
CV (%)			11,98			17,35	

Tabela A3. Análise de variância e teste F dos dados de produção de massa seca da raiz do sorgo e do milho, no primeiro experimento, obtida aos 45 dias após a germinação, sob diferentes conteúdos de água no solo.

FV	GL	SORGO			MILHETO		
		SQ	QM	Fc	SQ	QM	Fc
Trat	3	48,150	16,050	6,095	140,950	46,983	9,671
Rep	4	17,200	4,300	1,633	21,700	5,425	1,117
Res	12	31,600	2,633		58,300	4,858	
Total	19	96,950			220,950		
CV (%)			36,47			49,53	



Tabela A4. Análise de variância e teste F dos dados de laboratório referentes aos teores de MS do sorgo e do milho, no primeiro experimento, obtidos aos 45 dias após a germinação, sob diferentes conteúdos de água no solo.

FV	GL	SORGO			MILHETO		
		SQ	QM	Fc	SQ	QM	Fc
Trat	3	44,055	14,685	14,180	5,933	1,977	0,548
Rep	4	3,980	0,995	0,961	20,438	5,109	1,415
Res	12	3,980	1,035		43,331	3,610	
Total	19	60,464			69,703		
CV %				10,25		16,37	

Tabela A5. Análise de variância e teste F dos dados de laboratório referentes aos teores de FDN do sorgo e do milho, no primeiro experimento, obtidos aos 45 dias após a germinação, sob diferentes conteúdos de água no solo.

FV	GL	MILHETO			SORGO		
		SQ	QM	Fc	SQ	QM	Fc
Trat	3	222,311	74,103	11,560	99,890	33,296	0,954
Rep	4	2,865	0,716	0,112	178,192	44,548	1,276
Res	12	76,924	6,410		418,833	34,902	
Total	19	302,100			696,916		
CV (%)				4,03		9,17	

Tabela A6. Análise de variância e teste F dos dados de laboratório referente aos teores de FDA do sorgo e do milho, no primeiro experimento, obtidos aos 45 dias após a germinação, sob diferentes conteúdos de água no solo.

FV	GL	MILHETO			SORGO		
		SQ	QM	Fc	SQ	QM	Fc
Trat	3	436,874	145,624	39,270	105,121	105,121	17,351
Rep		4,515	1,128	0,304	6,853	6,853	1,131
Res	16	44,499	3,708		6,058	6,058	
Total	19	485,889			415,479		
CV (%)				5,89		7,08	

Tabela B1. Análise de variância e teste F dos dados de produção de massa verde da parte aérea do sorgo e do milho, no segundo experimento, obtida aos 45 dias após a germinação, sob diferentes conteúdos de água no solo.

FV	GL	SORGO			MILHETO		
		SQ	QM	Fc	SQ	QM	Fc
Trat	3	35808.550	11936.183	36.500	6112.80	2037,60	6,026
Res	16	3924.200	327.0166		5410.40	338.15	
Total	19	44635.750			11523.200		
CV (%)			8,60			11,55	

Tabela B2. Análise de variância e teste F dos dados de produção de massa seca da parte aérea do sorgo e do milho, no segundo experimento, obtida aos 45 dias após a germinação, sob diferentes conteúdos de água no solo.

FV	GL	SORGO			MILHETO		
		SQ	QM	Fc	SQ	QM	Fc
Trat	3	410,800	136,933	7,988	176,950	58,983	5,118
Rep	4	123,500	30,875	1,801	24,500	6,125	0,531
Res	12	205,700	17,141		138,300	11,525	
Total	19	740,00			339,750		
CV (%)				15,33		12,46	

Tabela B3. Análise de variância e teste F dos dados de produção de massa seca da raiz do sorgo e do milho e do sorgo, no segundo experimento, obtida aos 45 dias após a germinação, sob diferentes conteúdos de água no solo.

FV	GL	SORGO			MILHETO		
		SQ	QM	Fc	SQ	QM	Fc
Trat	3	102,000	34,000	17,739	286,950	95,650	7,138
Rep	4	7,000	1,750	0,913	56,000	14,000	1,045
Res	12	23,000	1,916		160,800	13,400	
Total	19	132,00			503,750		
CV (%)			19,78			58,57	

