

# CRESCIMENTO DA PARTE AÉREA DE PLANTAS CULTIVADAS EM VASO, SUBMETIDAS À IRRIGAÇÃO SUBSUPERFICIAL E A DIFERENTES GRAUS DE COMPACTAÇÃO DE UM LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO DISTRÓFICO<sup>(1)</sup>

Geovani José Silva<sup>(2)</sup>, João Carlos de Souza  
Maia<sup>(3)</sup> & Aloísio Bianchini<sup>(3)</sup>

## RESUMO

A compactação é um processo que pode ocorrer em solos manejados inadequadamente, afetando, direta ou indiretamente, o crescimento e a produção das culturas. Com o objetivo de avaliar o crescimento da parte aérea de plantas, considerando os diferentes graus de compactação subsuperficial, plantas de soja, milho, algodão e *Brachiaria brizantha* foram cultivadas em vasos com material de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, sob condição de fornecimento subsuperficial de água. O experimento foi realizado, sob telado, na Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UFMT, em vasos de PVC rígido de 195 mm de diâmetro interno, adotando-se delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 4 x 5 (quatro espécies, densidades do solo de 1,0; 1,2; 1,4 e 1,5 Mg m<sup>-3</sup> e cinco repetições). O conteúdo de água no sistema solo/vaso foi mantido acima de 60 % da capacidade de campo. Ao fim do experimento, mediu-se a altura das plantas, cortaram-se as plantas rente ao solo e foram determinadas a área foliar, a massa seca de frutificações (algodão, soja e milho) e a massa seca total da parte aérea. A compactação do solo provocou reduções significativas no crescimento da parte aérea do algodoeiro, milho e soja a partir de 1,4 Mg m<sup>-3</sup> e na densidade do solo de 1,5 Mg m<sup>-3</sup>, para *Brachiaria brizantha*. A soja apresentou os maiores incrementos das características avaliadas na densidade do solo de 1,2 Mg m<sup>-3</sup>. A *Brachiaria brizantha* mostrou-se como a espécie de maior tolerância, enquanto o algodoeiro revelou maior susceptibilidade aos efeitos da compactação. Em geral, o modelo quadrático explicou adequadamente o crescimento das plantas de acordo com a compactação.

**Termos de indexação:** densidade do solo, área foliar, crescimento de plantas.

---

<sup>(1)</sup> Enviado para apresentação na XV Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, Universidade Federal de Santa Maria. Recebido para publicação em junho de 2004 e aprovado em janeiro de 2006.

<sup>(2)</sup> Professor da Escola Agrotécnica Federal de Cáceres. Av. dos Ramires, s/n, CEP 78200-000 Cáceres (MT). Bolsista CAPES-PICDTEC. E-mail: gjsilva@cpd.ufmt.br

<sup>(3)</sup> Professor Titular do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária Universidade Federal do Mato Grosso – FAMEV/UFMT. Av. Fernando Corrêa, s/n, Coxipó, CEP 78060-900 Cuiabá (MT). E-mail: jotacl@terra.com.br; bianchi@cpd.ufmt.br

**SUMMARY: SHOOT GROWTH OF PLANTS UNDER SUBSURFACE IRRIGATION AND FOUR DEGREES OF SOIL COMPACTION**

*Compaction is a process that can occur in soils managed inadequately, affecting crop growth and yield directly or indirectly. The shoot development was evaluated as a function of different degrees of subsoil compaction in soybean, corn, cotton, and Brachiaria brizantha plants grown in pots filled with soil material from a dystrophic Dark-Red Latosol, with water supply through subsurface irrigation. The experiment was carried out in screened greenhouse at the School of Agronomy and Veterinary Medicine of UFMT, in rigid PVC pots with 195 mm internal diameter in a completely randomized design in a 4 × 5 factorial scheme (four species and five soil densities - 1.0; 1.2; 1.4; and 1.5 Mg m<sup>-3</sup>). The water content in the soil/pot system was maintained above 60% of its maximum water retention capacity. At the end of the experiment, the plant height was measured and the plants cut at ground level; the leaf area estimated, and cotton, corn and soybean yield and the shoot dry matter evaluated. Soil densities above 1.4 Mg m<sup>-3</sup> led to significant reduction in the development of shoot growth of cotton, corn, and soybean, while in Brachiaria brizantha plants the reduction was verified only at a density of 1.5 Mg m<sup>-3</sup>. Soybean presented the largest increment of the evaluated characteristics at a density of 1.2 Mg m<sup>-3</sup>. Brachiaria brizantha presented higher tolerance to compaction, whereas cotton plants were the most sensitive to effects of soil compaction. In general, the quadratic model adequately explained the growth of the studied plants as a function of soil compaction.*

*Index terms: Soil density, leaf area, plant growth.*

## INTRODUÇÃO

Nos cerrados, grandes áreas são cultivadas com algodão, soja e milho, utilizando-se elevado nível tecnológico, ou são ocupadas por pastagens cultivadas com gramíneas, especialmente as do gênero *Brachiaria*. A intensificação do uso de máquinas e implementos agrícolas, facilitada pelo relevo pouco movimentado (Carvalho Junior et al., 1998), e a elevação do número de animais por unidade de área de pastagem mostram a possibilidade do aumento generalizado da densidade e da redução da macroporosidade do solo, o que pode, segundo Maia (2003), limitar a produtividade das lavouras e aumentar o processo de degradação ambiental.

A compactação dos solos tem sido motivo de preocupações e estudos, especialmente quando se trata da sua ocorrência em solos agrícolas. Derpsch et al. (1991); Tavares Filho & Tessier (1998) e De Maria et al. (1999) relataram que os diferentes sistemas de manejo do solo objetivam favorecer o crescimento e desenvolvimento das culturas; todavia, o desrespeito às condições mais favoráveis ao preparo do solo, bem como o uso excessivo de máquinas cada vez mais pesadas, pode levar a modificações na estrutura do solo causando maior compactação.

Além das causas físicas da compactação, advindas dos procedimentos de preparo de solos, da aplicação de tratamentos culturais e de colheitas

mecanizadas, Sumner (1992) e Carvalho Junior et al. (1998) alertaram para os efeitos de calagem e adubações pesadas que, se feitas de forma incorreta, promovem alterações químicas que podem refletir nas características físicas, químicas, físico-químicas e biológicas do solo.

A compactação é um processo relativamente bem estudado; no entanto, ocorre ainda certa escassez de pesquisas referentes aos solos de cerrado, especialmente em relação à cultura do algodoeiro e da *Brachiaria brizantha*. Verificam-se, ainda, diversos relatos do efeito significativo da compactação sobre o crescimento radicular, não se verificando, porém, os efeitos que seriam esperados, em relação ao crescimento da parte aérea das plantas (Rosolem et al., 1994; Foloni, 1999; Mello, 2000; Silva & Rosolem, 2002). A ausência de efeito da compactação do solo no crescimento da parte aérea das plantas nos experimentos em vasos deve-se à manutenção das condições adequadas de nutrientes e água (Atwell, 1990; Foloni, 1999; Silva, & Rosolem, 2002), fato que pode não acontecer em condições de campo, em que a camada compactada pode afetar a movimentação da solução do solo, especialmente na vertical, acarretando, ocasionalmente, situações de déficit ou de excessos hídricos e, em consequência, a disponibilidade de nutrientes.

Mielniczuk (1996) afirmou ser a espécie *Brachiaria brizantha* capaz de manter sua produção mesmo em solos compactados, beneficiando com seu

sistema radicular, ao ultrapassar as camadas compactadas, as espécies que possuem sistemas radiculares menos agressivos. Entretanto, Camargo & Alleoni (1997) registraram que a *Brachiaria brizantha* adapta-se bem a todo tipo de solo, porém pairam dúvidas sobre sua tolerância à compactação do solo. A camada compactada pode constituir-se obstáculo ao livre crescimento de raízes, modificando a dinâmica da água, restringindo sua disponibilidade, além de reduzir a aeração do solo (Khan et al., 2000).

A densidade da camada compactada capaz de limitar o crescimento das plantas varia conforme a classe de solo, condições de umidade, espécie e ou mesmo do cultivar plantado (Taylor & Henderson, 1959; Silva, et al., 1986; Figueiredo, 1998). Portanto, o diagnóstico, a caracterização e a localização da camada compactada em solos agrícolas são fundamentais para o planejamento e adoção de técnicas modernas de manejo e preparo dos solos (Iaia, 2003), proporcionando alta produtividade aliada à conservação dos recursos naturais. Pesquisas com essa abordagem são necessárias a fim de evitar prejuízos com a redução da produtividade ou com a adoção de medidas para a descompactação.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento da parte aérea de plantas cultivadas em vaso, considerando diferentes graus de compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, sob condição de irrigação subsuperficial.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em telado com cobertura plástica transparente, localizado no viveiro experimental da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade Federal de Mato Grosso, coordenadas de 15° 36' 40,98" S e 56° 3' 53,58" W, na cidade de Cuiabá (MT), no período de janeiro a maio de 2003. A temperatura

do ar, no interior do ambiente semiprotégido, variou de 15,2 a 43,2 °C, registrando 23,7 °C, como média das mínimas, e 34,4 °C, como média das temperaturas máximas, enquanto a umidade relativa do ar variou, no período, de 79,3 a 89,1 %.

Coletaram-se aproximadamente, 2,0 m<sup>3</sup> na camada de 0–20 cm de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico (Alves, 1997), de área pertencente ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Cuiabá (MT). Este solo foi seco ao ar e passado por peneira de 4 mm; em seguida, foram retiradas subamostras para caracterização de seus atributos físicos e químicos (Quadro 1), bem como para a realização de ensaio de Proctor normal, conforme a norma NBR 7182 (ABNT, 1986).

Para elevar o teor de P, adicionou-se termofosfato (Yorim 17,0 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) em dose equivalente a 1.350 kg ha<sup>-1</sup> ao solo peneirado. Após homogeneização e elevação do conteúdo de água do solo até, aproximadamente, a sua capacidade de campo, o solo foi mantido envolvido em lona de polietileno preta, por um período de 15 dias de repouso. Passado esse período, aplicou-se calcário (filler), com vistas em elevar a saturação por bases até 50 % e, da mesma forma, o solo foi mantido em repouso por mais 15 dias.

Em seguida, realizou-se a adubação básica de plantio com N, P e K solúveis e mais dose equivalente a 50 kg ha<sup>-1</sup> de FTE BR-10, de modo que os nutrientes não constituíssem fator limitante para o crescimento e desenvolvimento das culturas. As doses dos nutrientes foram de 65,5 mg dm<sup>-3</sup> de P, 58,1 mg dm<sup>-3</sup> de K e 10 mg dm<sup>-3</sup> de N aplicados no plantio, além de 350 mg dm<sup>-3</sup> de N, aplicados em coberturas aos 15, 35 e 50 dias da semeadura. A correção e a adubação, anteriormente descritas, foram realizadas com base nas recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG (Ribeiro et al., 1999) e Fundação... (2002). Adotou-se, como critério, o atendimento das necessidades da cultura mais exigente. Manteve-se

**Quadro 1. Atributos químicos e físicos da camada de 0–20 cm, do Latossolo Vermelho-Escuro distrófico utilizado no experimento**

pH H <sub>2</sub> O	P	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H + Al	Mat. Org.
	mg dm <sup>-3</sup>		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				g dm <sup>-3</sup>
5,0	0,6	19	0,6	0,3	0,5	5,3	23
Soma de Bases (S)	CTC (pH 7)	Sat. Bases (V)	Sat. Al <sup>3+</sup> (m)	Areia	Silte	Argila	
cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			%				
0,9	6,2	15,3	34,5	56,9	9,0	34,1	

a amostra, corrigida e adubada, em repouso por mais cinco dias, nas mesmas condições descritas anteriormente. Na seqüência, a amostra de solo foi novamente passada por peneira de malha de 4 mm e seu conteúdo de água determinado e corrigido para 20,25 %, ou seja, 75 % da umidade ótima de compactação, definida pelo ensaio de Proctor normal, que era de 27 % para uma densidade do solo de  $1,46 \text{ Mg m}^{-3}$ . Não se adotou o conteúdo de água ótimo determinado pelo ensaio de Proctor normal, uma vez que a maior densidade experimental ( $1,5 \text{ Mg m}^{-3}$ ) era superior à máxima densidade alcançada com esse ensaio ( $1,46 \text{ Mg m}^{-3}$ ) de forma que, ao se adotar carga maior, ocorreria expulsão de solução do solo, fato que se pretendeu evitar. Tendo em vista as densidades experimentais desejadas e os volumes conhecidos dos anéis, calcularam-se as respectivas massas de solo que, depois de pesadas em balança eletrônica Marte A10K com exatidão de 0,1 g, foram acondicionadas em sacos plásticos vedados, por 48 h, para distribuição homogênea da água no solo.

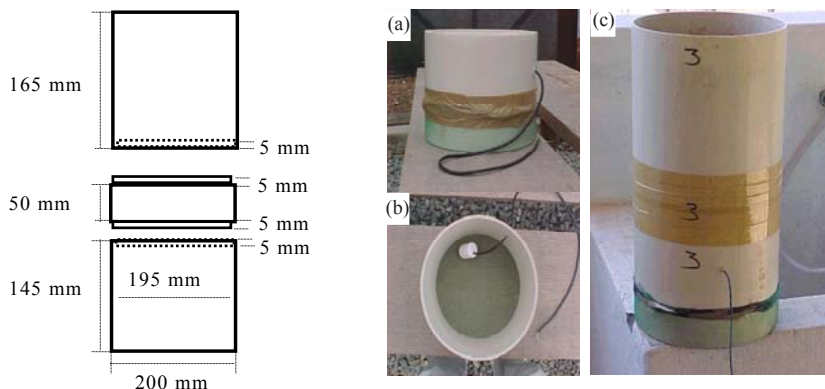
A unidade experimental (Figura 1) foi constituída pela sobreposição e encaixe de três anéis de PVC rígido, com alturas de 165, 60 e 145 mm, para os anéis superior, intermediário e inferior, respectivamente. Montadas, considerando os encaixes e a altura reservada para a aplicação da lâmina de irrigação superficial (20 mm), as unidades experimentais apresentaram, como altura útil, 140 mm, para os anéis superior e inferior. A tela antiafídeos, que fechava a base do vaso, foi afixada com anel de borracha obtido pela secção transversal de câmara de ar de motocicleta e acabamento em fita adesiva. Metade dos anéis inferiores foi munida de sensores (Bloco de Bouyoucos) para monitorar o teor de água abaixo da camada compactada.

Para evitar o crescimento de raízes na região da interface solo/vaso, adotou-se o procedimento

modificado de Alvarenga et al. (1996) e Foloni (1999), revestindo-se as paredes internas dos anéis (superior e central) com uma camada de 2 mm de espessura de caulim umedecido com água e aplicado com pincel.

Preencheram-se os anéis superiores e inferiores com massas de solo predeterminadas, para que apresentassem densidade do solo de  $1,0 \text{ Mg m}^{-3}$ , enquanto os intermediários acomodaram as amostras de massas respectivas às densidades do solo de 1,0, 1,2, 1,4 e  $1,5 \text{ Mg m}^{-3}$ . A massa de solo destinada ao anel intermediário foi integralmente adicionada a este anel, que teve sua capacidade inicial aumentada por um anel de expansão e, pela ação de uma prensa hidráulica adaptada com êmbolo de aço, foi compactada até à acomodação no interior deste anel, obtendo-se as densidades do solo desejadas. Para eliminar o espelhamento provocado pela prensa, escarificou-se levemente a superfície das amostras. Montaram-se os vasos, sobrepondo-se os anéis intermediários, previamente compactados, aos inferiores preenchidos até um pouco acima da base de encaixe, para evitar descontinuidade entre as camadas. Sobre os anéis intermediários acoplaram-se os superiores, que foram preenchidos com amostra de solo até à altura de 140 mm, reservando-se 20 mm para receber a água das irrigações.

Cada vaso recebeu quatro sementes de soja, milho ou algodão dos cultivares BRSM T Pintado, Polato 2602 e CNPA Ita 90, semeadas na profundidade de 1,0 a 1,5 cm. Em cada vaso de *Brachiaria brizantha* cv Marandu, semearam-se 25 sementes na profundidade de 0,5 cm. Todas as sementes foram previamente avaliadas em testes de germinação (Brasil, 1992). As sementes de soja foram tratadas com os fungicidas à base de Metil benzimidazol-2-ilcarbamato e Thiram na dosagem



**Figura 1.** Esquema representativo da unidade experimental utilizada, anel inferior com fundo em tela antiafídeos (a), Detalhe do sensor (bloco de Bouyoucos) (b) e Unidade experimental montada (c) composta por anéis sobrepostos de PVC rígido.

de 50 g de cada ingrediente ativo por 100 kg de sementes. As sementes de algodoeiro foram tratadas com os mesmos fungicidas usados para a soja, mais Caboxim na mesma dosagem. As sementes de milho foram adquiridas com tratamento comercial e as de *Brachiaria brizantha* não receberam tratamento. Os vasos semeados receberam uma camada de cobertura morta de cerca de 0,5 cm de espessura. Desbastes sucessivos foram feitos até restar uma planta por vaso, no caso do milho, duas, para soja e algodão, e cinco, para a *Brachiaria brizantha*, de modo a obter densidade de plantas semelhante à média de densidade de plantio normalmente praticada para as espécies.

O conteúdo de água no sistema solo/vaso foi monitorado e mantido sempre acima de 60 % da capacidade de campo do solo. Esse monitoramento foi feito abaixo da camada compactada por meio de bloco de Bouyoucos previamente instalado no anel inferior e na camada superior, por um dispositivo de hastes metálicas que usa o mesmo princípio de Bouyoucos, construído e calibrado para este fim. Até 35 dias após a semeadura, realizaram-se irrigações superficiais controladas e, a partir daí, o fornecimento de água ao sistema deu-se adicionando água aos pratos que suportavam os vasos, à tarde, drenando-se a água excedente 12 h após. Pretendeu-se, com a irrigação subsuperficial, evitar a manutenção de condições extremamente satisfatórias de umidade, especialmente na camada superior, procurando proporcionar às plantas a necessidade de vencer o obstáculo da camada subsuperficial compactada em busca de água e nutrientes.

Realizou-se também a retirada manual de alguma espécie de planta invasora que tenha aparecido.

Aos 56 dias para a soja, 76 dias para o milho e 97 dias para o algodoeiro e a *Brachiaria brizantha*, quando soja e milho apresentavam-se no estágio de enchimento dos grãos, o algodoeiro já possuía flores e frutificações bem formadas e a *Brachiaria brizantha* ainda não havia florescido, mas havia atingido desenvolvimento vegetativo equivalente ao estágio de 12 semanas após corte de padronização, adotado por Mello (2000), procedeu-se à coleta dos dados relativos à parte aérea. Mediu-se a altura da planta e determinou-se a área foliar por processamento de imagem digital e relação com massa seca de folhas. Para isso, folhas em diferentes estádios de desenvolvimento de plantas escolhidas aleatoriamente em cada espécie foram dispostas sobre superfície branca, plana e delimitada por um par de eixos ortogonais dotados de escala numérica, para serem fotografadas com câmara digital. As imagens digitais foram processadas, usando-se o programa *Scan-pro*, que determinou a área foliar da amostra. Esta amostra foi seca em estufa de circulação forçada e teve sua massa seca

determinada. Estabeleceram-se, então, relações entre área foliar e massa seca de folhas de cada espécie que serviram para determinação da área foliar das plantas. Frutos, hastes e folhas foram secos em estufa de circulação forçada, modelo TE 314/2, a 75 °C, por 72 h, para determinação da massa seca, utilizando-se balança eletrônica modelo Mark 3100, com exatidão de 0,01 g.

O delineamento foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 4 x 5 (quatro espécies, quatro densidades do solo e cinco repetições). Os tratamentos tiveram sua posição inicial definida por sorteio e foram distribuídos em bancada de madeira nivelada, de forma que a superfície superior dos vasos ficou, aproximadamente, 1 m acima do piso. Realizou-se rodízio semanal das posições das unidades experimentais sobre a bancada, para maior aleatorização e buscando-se minimizar possíveis diferenças nas condições do ambiente.

A partir dos dados observados, foram calculados seus valores relativos, tomando-se, como referência, os valores médios obtidos na densidade do solo de 1,0 Mg m<sup>-3</sup>, aos quais se atribuiu equivalência a 100 %, baseando-se em Pereira et al. (2003). Os valores relativos facilitaram e, ou, permitiram a comparação do desempenho das diferentes espécies de acordo com a compactação. Os dados coletados foram submetidos aos testes de normalidade e homocedasticidade, utilizando o software SPSS 10.0 (SPSS, 1999) e foram considerados como tendo distribuição normal e apresentando variâncias homogêneas a 5 %, considerando ser o teste F muito robusto e admitindo terem os dados distribuição apenas aproximada da curva de distribuição normal (Gomes, 1990; Vieira, 1999; Pereira, 1999). Por meio do programa Sisvar 4.6 para Windows (Ferreira, 2000), realizou-se análise de variância e foi feita comparação das médias pelo teste de Tukey a 5 % para espécie e regressão para o efeito quantitativo, ajustando equações de crescimento de acordo com a densidade do solo. Sendo o teste F da variância da regressão significativo a 5 %, selecionaram-se modelos, adotando-se, como critérios, o maior R<sup>2</sup> e a significância de 15 % dos parâmetros da equação.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância dos dados de crescimento da parte aérea das plantas estudadas (Quadro 2), demonstrou efeito altamente significativo dos fatores espécie e densidade do solo. A interação entre estes fatores foi significativa para as características área foliar relativa (AFR) e massa seca relativa aérea total (MSRAT), não havendo, porém, essa interação em relação às características altura relativa (AR) e massa seca relativa de frutificação (MSRF). O coeficiente de variação

relativamente elevado da variável MSRF deveu-se provavelmente, às diferenças entre as espécies, sobretudo em relação ao comportamento fenológico.

A soja não teve sua altura influenciada pelo aumento da compactação e apresentou, na densidade do solo de 1,5 Mg m<sup>-3</sup>, a maior AR (94,81 %) dentre as espécies estudadas, enquanto o algodoeiro apresentou 69,92 % de AR nesta densidade do solo (Figura 2).

O milho e a *Brachiaria brizantha* tiveram crescimentos relativos intermediários, tendo sido observada para estas culturas e a do algodoeiro tendência de incremento em altura até próximo à densidade do solo de 1,2 Mg m<sup>-3</sup>, iniciando, a partir dessa densidade, decréscimo nessa característica, que foi mais acentuado na cultura do algodoeiro. Para a soja, nenhum dos modelos testados explicou, satisfatoriamente, seu crescimento em altura. Estes resultados estão de acordo com os relatados por

Rosolem et al. (1994), para a soja; Lowry et al. (1970) e Coelho et al. (2000), para o algodoeiro, e Gris et al. (2003), que relataram redução na altura de plantas de milho de acordo com a compactação em Latossolo.

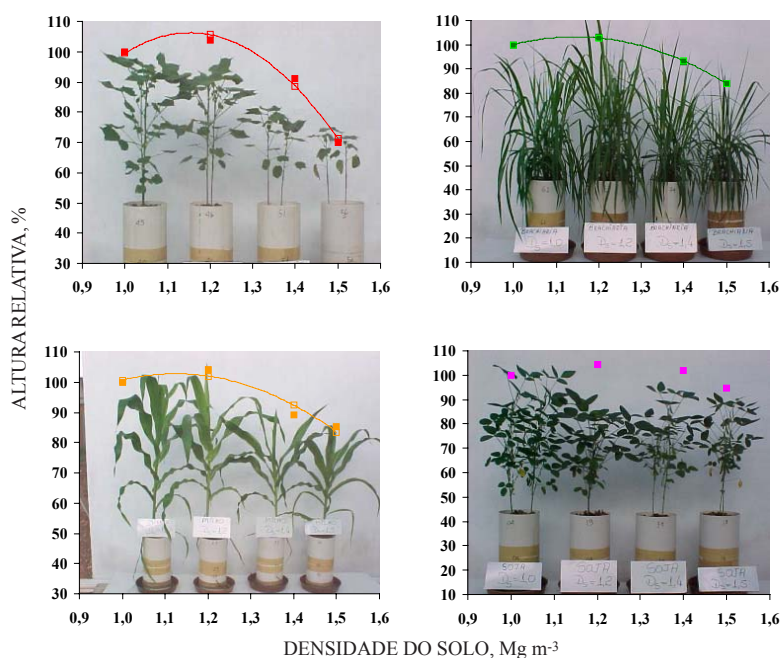
A massa seca relativa de frutificação – MSRF (massa seca de botões florais; flores e frutos) de plantas de algodoeiro soja e milho (*Brachiaria brizantha* não havia florescido, portanto, não foi avaliada em relação a essa variável), a área foliar relativa (AFR) e a massa seca relativa da parte aérea total (MSRAT) observada para as culturas estudadas estão ilustradas na figura 3, com as respectivas linhas de tendências.

Verificou-se que a soja, apesar de ter apresentado a segunda maior redução, tanto em área foliar quanto em produção de massa seca total da parte aérea, foi a planta que sofreu a menor redução na MSRF (22,69 %), quando submetida à densidade do

**Quadro 2. Significância de F na análise de variância dos valores relativos de crescimento da parte aérea de plantas de soja, milho, algodão e *Brachiaria brizantha*, considerando a compactação do solo**

Característica <sup>(1)</sup>	Fonte de variação			CV (%)
	Espécie (E)	Densidade do solo (D)	E*D	
Altura relativa	0,031	0,000	0,144	9,82
Área foliar relativa	0,000	0,000	0,002	13,26
Massa seca relativa de frutificação	0,000	0,000	0,199	28,96
Massa seca relativa aérea total	0,000	0,000	0,003	13,86

<sup>(1)</sup> Valores relativos tomando-se as médias observadas na densidade de 1,0 Mg m<sup>-3</sup> como valor de referência (100 %).



**Figura 2. Altura relativa observada (■) e estimada pelo modelo (□) para plantas de algodão, *Brachiaria brizantha*, milho e soja, considerando a compactação em Latossolo Vermelho-Escuro distrófico.**

solo de  $1,5 \text{ Mg m}^{-3}$  (Figura 3). Deve-se destacar, ainda, que, na densidade do solo de  $1,2 \text{ Mg m}^{-3}$ , a soja apresentou incremento em MSRF de 31,92 % em relação à densidade de referência, enquanto o milho mostrou incremento de apenas 4,17 % e o algodoeiro revelou pequena redução (da ordem de 4,92 % na MSRT) nessa densidade do solo. Verificase que o modelo quadrático ajustou-se bem aos dados observados de massa seca relativa de frutificação, em conformidade com Rosemberg (1964), que também verificou o comportamento quadrático para a produção de milho e algodoeiro com máximos de produção, no que denominara de “*uma leve compactação*”.

Não houve diferenças entre as espécies em termos de área foliar relativa (AFR) na densidade do solo de  $1,2 \text{ Mg m}^{-3}$ . Já na densidade do solo de  $1,4 \text{ Mg m}^{-3}$ , a *Brachiaria brizantha* apresentou maior AFR (99,01 %) e, na densidade do solo de  $1,5 \text{ Mg m}^{-3}$ , *Brachiaria brizantha* com 76,27 % e milho com 70,97 % de AFR superaram os desempenhos de soja e algodoeiro, que obtiveram 48,35 e 39,38 % de AFR. Notou-se maior tolerância das duas gramíneas à compactação do solo, no que se refere à área foliar.

As MSRAT das quatro espécies (Figura 3) não diferiram significativamente na densidade do solo de  $1,2 \text{ Mg m}^{-3}$ . A *Brachiaria brizantha* foi a espécie que apresentou maior MSRAT na densidade do solo de  $1,4 \text{ Mg m}^{-3}$ , enquanto soja e algodoeiro tiveram as maiores reduções de MSRAT. Para o caso do algodoeiro, esta redução foi da ordem de 25,82 % em relação à produção de massa seca relativa aérea total na densidade do solo de referência. Na densidade do solo de  $1,5 \text{ Mg m}^{-3}$ , a redução de 22,67 % na MSRAT de *Brachiaria brizantha* foi a menor observada, portanto, esta espécie se revelou, dentro da faixa de compactação estudada, como a menos sensível às limitações impostas pela elevação do grau de compactação sobre a MSRAT. Nessa densidade do solo ( $1,5 \text{ Mg m}^{-3}$ ), a MSRAT da *Brachiaria brizantha* foi estatisticamente superior à verificada para milho e soja que, por sua vez, diferiram significativamente da MSRAT das plantas de algodoeiro.

Os resultados de MSRAT obtidos neste experimento (Figura 3) estão em desacordo tanto com os obtidos por Rosolem et al. (1994), que não detectaram reduções significativas na produção de matéria seca de soja na densidade de  $1,72 \text{ Mg m}^{-3}$ , quanto com os de Müller et al. (2001), Foloni (1999) e Foloni et al. (2003), que também não encontraram efeito significativo da densidade do solo sobre a produção de massa seca da parte aérea das plantas estudadas.

Cabe ressaltar, entretanto, que diferenças de método, de duração dos experimentos, dos solos e dos cultivares utilizados, dentre outras, tenham proporcionado estas variações. Gemtos & Lellis (1997) relataram reduções no crescimento da parte aérea de algodoeiro, sensivelmente menores que as verificadas no crescimento de raízes, o que, de certa forma, também contradiz os resultados deste experimento. Os resultados de MSRAT já se assemelham aos encontrados por Coelho et al. (2000) que observaram reduções de 78 e 75 % na biomassa da parte aérea de algodoeiro, cultivado em campo em dois anos sucessivos, em condições de camada compactada com densidade do solo de  $1,6$  a  $1,7 \text{ Mg m}^{-3}$ , na profundidade de 0,20 e 0,40 m. Gross et al. (2003) observaram reduções de 32 % no número de perfilhos e tendência de redução significativa na produção de biomassa da parte aérea de *Brachiaria brizantha*, em condições de vaso semelhantes à deste experimento. Gris et al. (2003) registraram reduções na massa seca total da parte aérea de milho cultivado em Latossolo Vermelho distroférico típico compactado.

Os efeitos expressivos da compactação subsuperficial sobre o crescimento aéreo das espécies, principalmente sobre a produção de massa seca total da parte aérea, verificados neste experimento, deveram-se, provavelmente, à substituição do fornecimento superficial de água pela irrigação subsuperficial. Isto permitiu verificar, nitidamente, os efeitos da camada compactada sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas, considerando as alterações impostas na dinâmica e disponibilidade de água (Quadro 3).

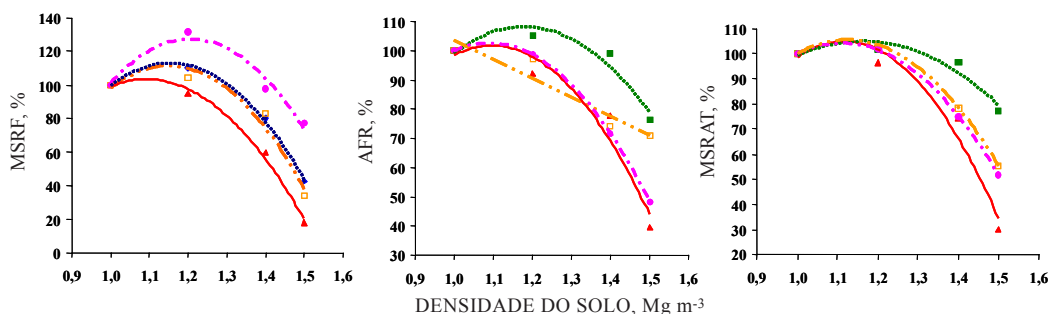


Figura 3. Massa seca relativa de frutificação (MSRF), área foliar relativa (AFR) e massa seca relativa total da parte aérea (MSRAT) de plantas de soja (●), milho (□), algodoeiro (▲) e *Brachiaria brizantha* (■), considerando a compactação em Latossolo Vermelho-Escuro distrófico.

Analisando os resultados apresentados (Quadro 3), verifica-se uma crescente redução do consumo de água no sistema vaso/solo/planta, para todas as espécies, à medida que aumenta a densidade do solo da camada subsuperficial. Fica evidente a interferência de tal camada na dinâmica e disponibilidade de água às plantas. Comparando o consumo de água nos sistemas com densidades do solo de 1,0 e 1,5 Mg m<sup>-3</sup>, nota-se redução do consumo de água nestes últimos de aproximadamente 27 % para milho e soja, 24 % para *Brachiaria brizantha* e 52 % para o algodoeiro.

A afirmação feita anteriormente de que os efeitos expressivos da compactação do solo sobre o crescimento da parte aérea das plantas neste experimento deveram-se à irrigação subsuperficial

é, de certa forma, corroborada por Atwell (1990), Foloni (1999) e Silva & Rosolem (2002), quando relataram ser a manutenção das condições adequadas de umidade e disponibilidade de nutrientes, acima da camada compactada, a causa da reduzida influência da compactação no crescimento da parte aérea de plantas, nos experimentos em vasos.

Em geral, os modelos que melhor se ajustaram aos dados de crescimento da parte aérea foram quadráticos, com pontos de máxima produção situados entre as densidades do solo de 1,09 Mg m<sup>-3</sup> e 1,18 Mg m<sup>-3</sup>, salvo para área foliar em milho cujo modelo foi linear, e para altura relativa em soja, que não teve modelo ajustado (Quadro 4).

**Quadro 3. Número de irrigações e quantidade efetiva de água incorporada ao sistema vaso/solo/planta por meio de irrigação subsuperficial (CA), considerando a densidade da camada subsuperficial compactada e cada espécie**

Espécie	Número de irrigação	Densidade do solo na camada subsuperficial (Mg m <sup>-3</sup> )			
		1,0	1,2	1,4	1,5
----- CA, mm -----					
Algodão	25	779,0	769,3	663,1	371,1
<i>Brachiaria brizantha</i>	25	790,5	769,1	734	601,1
Milho	21	515,6	508,8	411,9	374,6
Soja	14	253,9	245,7	216,4	185,90

**Quadro 4. Modelos ajustados para altura relativa (AR), área foliar relativa (AFR), massa seca relativa de frutificação (MSRF) e produção relativa de massa seca aérea total (PRMSAT) de plantas cultivadas em vasos com Latossolo Vermelho-Escuro distrófico com camada subsuperficial compactada**

Variável	Espécie	Equação <sup>(1)</sup>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	R <sup>2</sup> (%)	Densidade do solo <sup>(2)</sup>
AR (%)	Algodoeiro	$\hat{Y} = -290,13x^2 + 668,93x - 279,31$	0,00	0,00	98,33	1,15
	<i>B. brizantha</i>	$\hat{Y} = -153,75x^2 + 352,04x - 98,21$	0,06	0,08	98,21	1,14
	Milho	$\hat{Y} = -136,88x^2 + 307,78x - 91,74$	0,13	0,09	91,73	1,12
	Soja	--	ns	ns	-	-
AFR (%)	Algodoeiro	$\hat{Y} = -354,93x^2 + 778,76x - 325,57$	0,00	0,00	93,91	1,10
	<i>B. brizantha</i>	$\hat{Y} = -283,98x^2 + 669,52x - 286,5$	0,00	0,00	91,70	1,18
	Milho	$\hat{Y} = -64,92x + 168,29$	0,00	-	89,97	--
	Soja	$\hat{Y} = -321,75x^2 + 701,17x - 279,43$	0,00	0,00	100,00	1,09
MSRF (%)	Algodoeiro	$\hat{Y} = -499,93x^2 + 1091,65x - 492,48$	0,041	0,020	99,41	1,09
	<i>B. brizantha</i>	--	--	--	--	--
	Milho	$\hat{Y} = -595,44x^2 + 1369,13x - 675,46$	0,011	0,000	95,58	1,15
	Soja	$\hat{Y} = -620,93x^2 + 1497,36x - 775,12$	0,006	0,004	95,06	1,20
MSRAT (%)	Algodoeiro	$\hat{Y} = -481,32x^2 + 1074,92x - 495,16$	0,00	0,00	96,49	1,12
	<i>B. brizantha</i>	$\hat{Y} = -223,58x^2 + 519,74x - 196,99$	0,04	0,03	91,98	1,16
	Milho	$\hat{Y} = -355,79x^2 + 800,28x - 344,44$	0,00	0,00	99,99	1,12
	Soja	$\hat{Y} = -348,84x^2 + 774,9x - 325,99$	0,00	0,00	99,99	1,11

<sup>(1)</sup>  $\hat{Y}$ : Respostas (%) estimadas pelos modelos de cada espécie, x: densidade do solo em Mg m<sup>-3</sup>, b<sub>1</sub>: coeficiente de x e, b<sub>2</sub>: coeficiente de x<sup>2</sup>. <sup>(2)</sup> Densidade do solo para produção máxima (Mg m<sup>-3</sup>).



Esta tendência de respostas em função da compactação, ajustadas ao modelo quadrático e inverso foi também verificada por Rosemberg (1964) em trabalho com algodão e milho; Borges et al. (2000) em soja, em que o ponto de máxima produção se deu sob a densidade do solo de  $1,31 \text{ Mg m}^{-3}$  e por Gross et al. (2003) pesquisando *Brachiarias*.

## CONCLUSÕES

1. A densidade do solo de  $1,5 \text{ Mg m}^{-3}$  comprometeu o crescimento da parte aérea das plantas estudadas.

2. A *Brachiaria brizantha* mostrou-se mais tolerante à compactação dentro da faixa de densidade do solo estudada, enquanto o algodoeiro revelou-se como a mais susceptível em todas as características estudadas.

3. A soja apresentou os maiores incrementos no crescimento da parte aérea em relação à densidade do solo de  $1,0 \text{ Mg m}^{-3}$ ; na densidade do solo de  $1,2 \text{ Mg m}^{-3}$ .

4. Verificou-se estreita relação entre compactação e crescimento das plantas estudadas, bem como tendência de respostas inversamente proporcionais das plantas à compactação que se aproxima do modelo quadrático com ótimo crescimento, ocorrendo em densidades do solo próximas a  $1,2 \text{ Mg m}^{-3}$ .

## LITERATURA CITADA

- ALVARENGA, R.C.; COSTA, L.M.; MOURA FILHO, W. & REGAZZI, A.J. Crescimento de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. R. Bras. Ci. Solo, 20:319-326, 1996.
- ALVES, O.A. Perdas de solo e água, agregação e resistência à penetração em função dos sistemas de preparo do solo, num Latossolo Vermelho Escuro distrófico, textura média, fase cerrado, no município de Campo Verde, Estado de Mato Grosso. Cuiabá, Universidade Federal de Mato Grosso, 1997. 116p. (Tese de Mestrado)
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7182/86 Solo: ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986. 10p.
- ATWELL, B.J. The effects of soil compaction on wheat during early tillering. I. Growth, development and root structure. New Phytol., 115:29-35, 1990.
- BORGES, E.V.S.; LOMBARDI NETO, F.; LOMBARDI, M.L.C.O. & BORGES, E.N. Crescimento aéreo e radicular da soja em solos compactados com estirpes de *Bradyrhizobium japonicum*. R. Bras. Ci. Solo, 24:1-9, 2000.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Regras para análise de sementes. Brasília, SNAD/CLAV, 1992. 365p.
- CAMARGO, O.A. & ALLEONI, L.R.F. Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. Piracicaba, Degaspar, 1997. 132p.
- CARVALHO JUNIOR, I.A.; FONTES, L.E.F. & COSTA, L.M. Modificações causadas pelo uso e a formação de camadas compactadas e/ou adensadas, em um Latossolo Vermelho-Escuro textura média na região do cerrado. R. Bras. Ci. Solo, 22:505-514, 1998.
- COELHO, M.B.; MATEOS, L. & VILLALOBOS, F.J. Influence of a loam subsoil layer on growth and yield of irrigated cotton in Southern Spain. Soil Till. Res., 57:129-142, 2000.
- DE MARIA, I.C.; NNABUDE, P.C. & CASTRO, O.M. Long-term tillage and crop rotation effects on soil chemical properties of a Rhodic Ferralsol in Southern Brazil. Soil Till. Res., 51:71-79, 1999.
- DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N. & KÖPKE, U. Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Londrina, IAPAR, 1991. 272p.
- FERREIRA, D.F. Análise estatística por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., São Carlos, 2000. Anais. São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, 2000. p.255-258.
- FIGUEIREDO, L.H.A. Propriedades físicas e mecânicas de um Latossolo Roxo submetido a diferentes sistemas de manejo. Lavras, Universidade Federal de Lavras, MG 1998. 68p. (Tese de Mestrado)
- FOLONI, J.S.S.; CALONEGO, J.C. & LIMA, S.L. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. Pesq. Agropec. Bras., Brasília, 38:947-953, 2003.
- FOLONI, J.S.S. Crescimento radicular de soja (*Glycine max* (L) Merrill) e de cinco adubos verdes em função da compactação do solo. Botucatu, Universidade do Estado de São Paulo, 1999. 73p. (Tese de Mestrado)
- FUNDAÇÃO DE APOIO A PESQUISA AGROPECUÁRIA DO ESTADO DE MATO GROSSO. Boletim de pesquisa de soja: Peneirando o futuro. Rondonópolis, Fundação MT, 2002. 238p.
- GEMTOS, T.A. & LELLIS, T.H. Effects of soil compaction, water and organic matter contents on emergence and initial plant growth of cotton and sugar beet. J. Agr. Eng. Res., 66:134, 1997.
- GOMES, F.P. Curso de estatística experimental. 13.ed. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1990. 468p.
- GRIS, C.F.; GOMES, L.L.; CORRÊA, J.B.D. & MELASIPO, G.M.V. Efeitos da compactação do solo em um Latossolo Vermelho Distroférico típico na cultura do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 29., Ribeirão Preto, 2003. Anais. Ribeirão Preto, Agromidia, 2003. CD-ROM
- GROSS, M.R.; RIBEIRO, G.J.T.; SCHMIDT, P.A.; CORRÊA, J.B.D.; LEITE, G.M.V. & SILVEIRA, T. Comportamento do rendimento de forrageiras em função da compactação em Latossolo Vermelho distroférico típico In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 29., Ribeirão Preto, 2003. Anais. Ribeirão Preto, Agromidia, 2003. CD-ROM

- IAIA, A.M. Avaliação dos efeitos da mecanização e transporte na compactação em dois tipos de solos cultivados com cana de açúcar. Cuiabá, Universidade Federal de Mato Grosso, 2003. 74p. (Tese de Mestrado)
- KHAN, A.R.; CHANDRA, D.; QURAIISHIAND, S. & SINHA, S.R.K. Soil aeration under different soil surface conditions. *J. Agropec. & Crop Sci.*, 185:105-112, 2000.
- LOWRY, F.E.; TAYLOR, H.M. & HUCK, M.G. Growth rate and yield of cotton as influenced by depth and bulk density of soil pans. *Soil Soci. Am. Proc.*, 34:306-309, 1970.
- MAIA, J.C.S. Determinação de esquemas de amostragem para avaliação de parâmetros físicos do solo para uso em agricultura de precisão. Cuiabá, Universidade Federal de Mato Grosso, 2003. 62p. (Relatório de Pesquisa)
- MELLO, D. Efeitos de processos de preparo na compactação do solo sua relação com o crescimento da *Brachiaria brizantha* e do *Andropogon gayanus* e com a disponibilidade de nutrientes num Latossolo Vermelho-Escuro distrófico no município de Campo Verde – MT.Cuiabá, Universidade federal de Mato Grosso, 2000. 105p. (Tese de Mestrado)
- MIELNICZUK, J. Desenvolvimento de raízes, como método de avaliação das práticas de manejo do solo. In: CASTRO FILHO, C. & MUZILLI, O., eds. Manejo integrado de solos em microbacias hidrográficas. Londrina, IAPAR/SBCS, 1996. p.219-224.
- MÜLLER, M.M.L.; CECCON, G. & ROSOLEM, C.A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:531-538, 2001.
- PEREIRA, A. Guia prático de utilização do SPSS: Análise de dados para ciências sociais e psicologia. 2.ed. Lisboa, Edições Silabo, 1999. 194p.
- PEREIRA, W.E.; SIQUEIRA, D.L.; PUIATTI, M.; MARTINEZ, C.A.; SALOMÃO, L.C.C. & CECON, P.R. Growth of citrus rootstocks under aluminium stress in hydroponics. *Sci. Agric.*, 60:31-41, 2003.
- RIBEIRO, A.C.; GUIMRÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 359p.
- ROSEMBERG, N.J. Response of plants to the physical effects of soil compaction. *Adv. Agron.*, 16:181-196, 1964.
- ROSOLEM, C.A.; ALMEIDA, A.C.S. & SACRAMENTO, L.V. Sistema radicular e nutrição da soja em função da compactação do solo. *Bragantia*, 53:259-266, 1994.
- SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. & CAMARGO, O.A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. *R. Bras. Ci. Solo*, 10:91-95, 1986.
- SILVA, R.H. & ROSOLEM, C.A. Crescimento radicular da soja em razão da sucessão de cultivo e da compactação do solo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 37:855-860, 2002.
- SPSS. SPSS for Windows, Release 10.0.0. Chicago, 1999.
- SUMNER, M.E. Uso atual do gesso no mundo em solos ácidos. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2., Uberaba, 1992. Anais. Uberaba, Nagy, 1992. p.7-40.
- TAVARES FILHO, J. & TESSIER, D. Influence des pratiques culturales sur le comportement et les propriétés de sols du Paraná ( Brésil). *Etude Gestion Sols*, 5:61-71, 1998.
- TAYLOR, H.M. & HENDERSON, D.W. Some effects of organic additives on compressibility of Yolo silt loam soil. *Soil Sci.*, 88:101-106, 1959.
- VIEIRA, S. Estatística experimental. 2.ed. São Paulo, Atlas, 1999. 185p.