

---

# CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS E PRODUTIVAS DO CAPIM-MARANDU SOB EFEITOS DE CORRETIVOS DA ACIDEZ, GESSO E COMPACTAÇÃO DO SOLO

---

Douglas Ramos Guelfi, Valdemar Faquin, Marcos André Silva Souza,  
Geraldo César de Oliveira, Salém Gusmão Santoucy e Carla Elisa Alves Bastos

## RESUMO

Com o objetivo de avaliar as características estruturais e produtivas do capim-Marandu (*Urochloa brizantha* cv. Marandu) sob o efeito de corretivos da acidez, gesso e da compactação do solo um experimento foi conduzido em casa de vegetação, utilizando amostras do horizonte B do Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 4×6, com três repetições, sendo quatro tratamentos representados pelas densidades do solo (1,0; 1,20; 1,40 e 1,60Mg·m<sup>-3</sup>) e seis tratamentos de correção (controle sem correção; calcário; silicato de cálcio; gesso; calcário + gesso e silicato de cálcio + gesso). Foram conduzidas cinco plantas do capim-Marandu por vaso realizando-se três cortes da parte aérea a cada 30 dias.

Em cada corte foram avaliados o número de perfilhos, a área foliar e a massa seca de colmos, folhas e da parte aérea. Os resultados mostraram que a correção da acidez do solo é de fundamental importância para o crescimento do sistema radicular e da parte aérea do capim-Marandu. Valores de densidade do solo  $\geq 1,2\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$  reduzem o crescimento radicular e a produção da parte aérea do capim-Marandu. O uso de corretivos ameniza os efeitos da compactação do solo, porém, esse foi o fator mais limitante para o crescimento do capim-Marandu. Dentre os tratamentos de correção, o uso de silicato de cálcio em combinação com o gesso proporciona maior crescimento do sistema radicular e da parte aérea do capim-Marandu.

## Introdução

A atividade pecuária no Brasil, em grande parte, usa a pastagem como recurso alimentar. Dos 45 a 50×10<sup>6</sup>ha de pastagem cultivadas nos cerrados, 80% encontram-se em algum estágio de degradação (Martha Júnior e Vilela, 2002), trazendo grande preocupação, principalmente porque o Brasil, pela grande extensão territorial e pelas condições climáticas favoráveis, apresenta enorme potencial de produção bovina a pasto. Essas pastagens estão implantadas em solos ácidos e de baixa fertilidade natural, condicionando um baixo índice de produção das forrageiras e distanciando-se do seu

verdadeiro potencial produtivo (Silva *et al.*, 2013).

Esse modelo de exploração baseado na ausência de correção do solo e de reposição de nutrientes extraídos pela forrageira, ao longo dos anos condiciona ao início de degradação tornando-se um dos grandes responsáveis pelos baixos índices de sustentabilidade desse ecossistema. O desenvolvimento de pasto em áreas ácidas e de baixa fertilidade com problemas de fixação de nutrientes, em especial o fósforo, condiciona menor aproveitamento dos nutrientes aplicados (Ramos *et al.*, 2009), reduzindo assim a conversão do fertilizante em alimento para o animal (Silva *et al.*, 2011).

Além dos atributos químicos do solo que podem atuar como fatores limitantes para a produção, a compactação do solo é um fator físico de igual importância no processo de degradação das pastagens. De acordo com Lima (2004) a compactação do solo é definida como o decréscimo no volume de solo não saturado quando uma determinada pressão externa é aplicada, a qual pode ser causada pelo tráfego de máquinas e implementos agrícolas ou por animais em condições de pastejo.

Esse processo em áreas de pastagens ocorre devido o manejo inadequado, principalmente com a superlotação de animais. As variáveis

mais utilizadas na avaliação da compactação pelo pisoteio animal e tráfego de máquinas são a densidade do solo e a resistência do solo à penetração. Como tendência geral, estas duas variáveis aumentam com o incremento da intensidade de pastejo e com a redução do período de descanso da pastagem.

Os bovinos, por serem animais de grande porte e pequena área de contato em seu casco, exercem grandes pressões no solo chegando a valores de 350 a 400Kpa (Betteridge *et al.*, 1999). Além da pressão estática, o seu deslocamento pode dobrar o valor da pressão exercida no solo (Nie *et al.*, 2001). As principais consequências desse pro-

---

## PALAVRAS-CHAVE / Calcário / Densidade do Solo / Gesso Agrícola / Silicato de Cálcio / *Urochloa brizantha* /

Recebido: 19/04/2011. Modificado: 07/01/2013. Aceito: 22/10/2013.

**Douglas Ramos Guelfi.** Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade de Brasília, Brasil. Professor, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Brasil. Endereço: Departamento de Ciência do Solo (DCS), UFLA. Caixa Postal 3037, CEP 37200-000, Lavras, MG,

Brasil. e-mail: douglasguelfi@dcs.ufla.br

**Valdemar Faquin.** Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, UFLA, Brasil. Professor, UFLA, Brasil. e-mail: vafaquin@dcs.ufla.br

**Marcos André Silva Souza.** Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, UFLA, Brasil. Professor, Universidade de Rio Verde, Brasil. e-mail: marcosandre@fesurv.br

**Geraldo César de Oliveira.** Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, UFLA, Brasil. Profes-

sor, UFLA, Brasil. e-mail: geraldooliveira@dcs.ufla.br

**Salém Gusmão Santoucy.** Graduada em Agronomia, UFLA, Brasil.

**Carla Elisa Alves Bastos.** Graduada em Agronomia, UFLA, Brasil. Bolsista de iniciação científica da FAPEMIG.

## STRUCTURAL AND PRODUCTIVE CHARACTERISTICS OF MARANDU GRASS UNDER THE EFFECTS OF ACIDITY AMENDMENTS, GYPSUM AND SOIL COMPACTING

Douglas Ramos Guelfi, Valdemar Faquin, Marcos André Silva Souza, Geraldo César de Oliveira, Salém Gusmão Santoucy and Carla Elisa Alves Bastos

### SUMMARY

*This work was designed in order to evaluate the influence of soil amendments, gypsum and soil compacting on the structural and productive characteristics of marandu grass (Urochloa brizantha cv. Marandu). The experiment was conducted in pots in a greenhouse, utilizing samples of the B horizon of dystrophic Dark Red Latosol of clayey texture. The experimental design was completely randomized in a factorial scheme 4×6, with three replicates; that is, four treatments with different soil densities (1.0, 1.20, 1.40 and 1.60Mg·m<sup>-3</sup>) and six treatments related to soil improvement: control with no amendment; gypsum; limestone; calcium silicate; limestone + gypsum; and calcium silicate + gypsum. Five plants of marandu grass were*

*grown per pot, performing three cuts of shoots, every 30 days. The number of tillers, leaf area and the dry mass of stems, leaves and shoots were evaluated in each cut. The results showed that the soil acidity amendment is of fundamental importance for the growth of the root system and shoots of marandu grass. Soil compacting to densities  $\geq 1.2\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$  reduces growth of both roots and shoots of marandu grass. The use of lime diminishes the effects of soil compacting; however, this latter was the most limiting factor for the growth of marandu grass. Among the soil amendment treatments, the use of calcium silicate in combination with the gypsum leads to increased growth of marandu grass roots and shoots.*

## CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES Y PRODUCTIVAS DEL PASTO MARANDU BAJO LOS EFECTOS DE CORRECTIVOS DE LA ACIDEZ, YESO Y COMPACTACIÓN DEL SUELO

Douglas Ramos Guelfi, Valdemar Faquin, Marcos André Silva Souza, Geraldo César de Oliveira, Salém Gusmão Santoucy y Carla Elisa Alves Bastos

### RESUMEN

*Con el objetivo de evaluar las características estructurales y productivas del pasto Marandu (Urochloa brizantha cv. Marandu) bajo el efecto de correctivos de la acidez, yeso y de la compactación del suelo, un experimento fué conducido en casa de vegetación, utilizando muestras del horizonte B del Latosol Arcilloso Rojo distrófico. El delineamiento experimental foi totalmente casualizado en esquema factorial 4×6, con tres repeticiones, siendo cuatro tratamientos representados por las densidades del suelo (1,0; 1,20; 1,40 e 1,60Mg·m<sup>-3</sup>) y seis tratamientos de corrección (control sin corrección; calcáreo; silicato de calcio; yeso; calcáreo + yeso y silicato de calcio + yeso). Fueron conducidas cinco plantas del pasto-Marandu por jarrón realizándose tres cortes de la parte aérea a cada 30 días.*

*En cada corte fueron evaluados el número de hijuelos, el área foliar y la masa seca de tallos, hojas y de la parte aérea. Los resultados muestran que la corrección de la acidez del suelo es de fundamental importancia para el crecimiento del sistema radicular y de la parte aérea del pasto-Marandu. Valores de densidad del suelo  $\geq 1,2\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$  reducen el crecimiento radicular y la producción de la parte aérea del pasto-Marandu. El uso de correctivos ameniza los efectos de la compactación del suelo, sin embargo, ese fue el factor más limitante para o crecimiento del pasto-Marandu. Entre los tratamientos de corrección, el uso de silicato de calcio en combinación con el yeso proporciona mayor crecimiento del sistema radicular y de la parte aérea del pasto-Marandu.*

cesso são o aumento da densidade do solo, redução da porosidade total, escoamento superficial, aumento da resistência mecânica do solo, menor volume de raízes e menor absorção de nutrientes, com consequência no crescimento vegetativo das forrageiras.

A consequência mais danosa da compactação do solo é a restrição da movimentação da água no solo (Medeiros *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2006; Oliveira *et al.*, 2012) e ao crescimento das raízes, diminuindo o volume de solo explorado pelo sistema radicular (Rosolem *et al.*, 2002). Dentre as várias modifica-

ções que a compactação promove no sistema radicular, destaca-se o aumento do diâmetro e a diminuição do comprimento radicular, aumento da tortuosidade e a distribuição irregular no solo (Tavares Filho *et al.*, 1999; Rosolem *et al.*, 2002; Bonelli *et al.*, 2011).

Essas modificações no sistema radicular e na sua distribuição, de maneira geral, prejudicam a absorção dos nutrientes, o crescimento vegetativo e a produção de várias culturas. Entretanto cada espécie apresenta diferentes graus de tolerância à compactação em função dos va-

lores críticos encontrados no solo (Silva *et al.*, 1997; Medeiros *et al.*, 2005).

Dessa forma, medidas preventivas e aliviatórias devem ser adotadas para a redução da compactação. Dentre as medidas adotadas com sucesso destaca-se a adoção de sistemas de manejo mais conservacionista tais como integração lavoura-pecuária e o sistema plantio direto. O cultivo de plantas forrageiras com sistema radicular mais agressivo e de elevada produção de massa seca, podem contribuir para a redução dos efeitos negativos da compactação do solo. Kluthcouski e

Stone (2003) relatam que plantas do gênero *Brachiaria*, principalmente a *B. brizantha* (cv. Marandu), se adaptam muito bem como plantas de cobertura em áreas do ecossistema cerrado. A formação de bioporos após decomposição do sistema radicular de plantas antecessoras beneficia a cultura sucessora, diminuindo assim os efeitos deletérios da compactação do solo (Dexter, 1991; Muller, 2001).

Entretanto pouca atenção é dada ao uso de diferentes corretivos e uso de condicionador de solo integrado a rotação e sucessão de culturas. Atual-

mente a correção do solo é realizada com o uso de calcário que além do efeito neutralizador da acidez do solo fornece cálcio e magnésio. Recentemente, outro corretivo do solo vem sendo utilizado com grande potencial na agricultura, o silicato de cálcio e magnésio, que possui efeito corretivo, fornece cálcio, magnésio e, também, o silício, esse último atuando como elemento benéfico para as culturas, principalmente gramíneas (Epstein, 1999).

Entretanto, a correção da acidez e de seus efeitos pelos corretivos citados restringe-se à camada superficial do solo. Como, de maneira geral, o subsolo dos solos dos cerrados apresenta baixa saturação por bases e alta por alumínio, o crescimento de raízes nessa camada é bastante limitada. Nesse caso, o uso do gesso agrícola ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) como condicionador da sub-superfície tem sido usado como alternativa. Com sua solubilização no solo, o íon sulfato do gesso, formando pares iônicos móveis com as bases do solo, desce no perfil, aumentando a saturação por bases e neutralizando o alumínio tóxico, melhora o ambiente radicular em profundidade (Carvalho e Raij, 1997).

Embora atualmente seja vasta a comprovação dos benefícios da aplicação de corretivos e condicionadores de solos, há carência quanto a sua eficiência e os efeitos benéficos em solos compactados com emprego de diferentes sistemas de manejo. Dessa forma, há necessidade de estudos do uso desses corretivos em solos com problema de ordem física, a fim de caracterizar sua eficiência e melhoria na recuperação da estrutura do solo e crescimento radicular em sistema de sucessão.

Diante do exposto o objetivo do trabalho foi avaliar o uso de corretivos da acidez e gesso na mitigação dos efeitos da compactação do solo no crescimento e produção do capim-Marandu.

## Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo (DCS) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), utilizando amostras do horizonte B do Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa, coletado no campus da UFLA, Lavras, MG, Brasil, sob vegetação natural. Após secas ao ar e peneiradas em malha de 2mm, subamostras foram tomadas para caracterizações físicas e químicas:  $\text{pH}_{\text{água}} = 4,4$ ;  $\text{MO} = 0,3\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;  $\text{K}^+ = 19$ ;  $\text{S} = 10$ ;  $\text{P}_{(\text{Mehlich})} = 0,7\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ;  $\text{Ca}^{2+} = 0,1$ ;  $\text{Mg}^{2+} = 0,1$ ;  $\text{Al} = 0,8$ ;  $\text{H} + \text{Al} = 7,0$ ;  $\text{SB} = 0,3$ ;  $t = 1,1$ ;  $T = 7,3\text{ cmol}_c\cdot\text{dm}^{-3}$ ;  $m = 76\%$ ;  $\text{Fe} = 35$ ;  $\text{Zn} = 1,0$ ;  $\text{Cu} = 1,8$ ;  $\text{Mn} = 10,2\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ;  $\text{areia} = 210$ ;  $\text{silte} = 90$ ;  $\text{argila} = 700\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;  $\text{SiO}_2 = 129,8$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 319,1$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 171,8$ ;  $\text{TiO}_2 = 22,0\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;  $\text{K}_1 = 0,41$ ;  $\text{K}_r = 0,26$ .

O cultivo do capim-Marandu foi conduzido em vasos (colunas) de tubos de PVC de 20cm de diâmetro, compostos por dois anéis: o anel inferior, de 40cm de altura, recebeu o solo sob condições naturais e densidade de  $1,0\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ; o anel superior, com 20cm de altura ocupando um volume de  $6,28\text{dm}^3$ , recebeu os tratamentos de densidades do solo, correção da acidez e gesso.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial  $4 \times 6$ , com três repetições, sendo quatro tratamentos representados pelas densidades do solo (1,0; 1,20; 1,40 e  $1,60\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), e seis relativos à correção do solo: controle sem correção, calcário, silicato de cálcio, gesso, calcário + gesso, e silicato de cálcio + gesso.

O calcário utilizado foi formado pela mistura de carbonato de cálcio e carbonato de magnésio (p.a), na proporção de Ca:Mg de 4:1. A quantidade de calcário aplicada foi estimada pelo método de neutralização do alumínio trocável e da elevação dos teores de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  e o

gesso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  p.a.) foi estimada com base na textura do solo. A dose de silicato de Ca (p.a.) foi determinada considerando-se a equivalência entre o óxido de Ca do silicato e do calcário.

Os tratamentos envolvendo o calcário e o silicato foram misturados ao volume de solo do anel superior para os respectivos vasos e incubados por 45 dias antes da aplicação dos tratamentos de compactação. O tratamento envolvendo apenas o gesso foi aplicado na superfície dos vasos após a compactação do solo e ficaram 30 dias em repouso com umidade na capacidade de campo.

Também, antes da aplicação dos tratamentos de compactação foram misturados nas amostras do anel superior de todos os tratamentos, macro e micronutrientes de acordo com Malavolta (1980), com o uso de fontes p.a.

Para a aplicação dos tratamentos de compactação, a umidade do solo foi corrigida para 15%. Na compactação, foi utilizada uma prensa hidráulica e para evitar deformações ou rompimento do tubo do vaso de PVC pela compressão do solo, o anel de PVC foi acomodado dentro de outro anel metálico (chapa de aço 3/8") de iguais dimensões.

Os vasos foram montados, sobrepondo os anéis superiores, previamente compactados aos inferiores preenchidos até um pouco acima da base de encaixe, para evitar descontinuidade entre as camadas. Para eliminação do espelhamento provocado pela prensa após a compactação do solo, escarificou-se a superfície do solo antes do semeio do capim-Marandu.

Após a aplicação de todos os tratamentos, foram semeadas em cada vaso, cerca de 15 sementes do capim-Marandu desbastando-se para cinco plântulas cerca de 10 dias após a emergência. Irrigações diárias foram realizadas com água deionizada visando manter a umidade do solo na capacidade de campo.

Coberturas nitrogenadas e potássicas também foram realizadas durante o período de crescimento das plantas, de acordo com Malavolta (1980).

Foram realizados três cortes da parte aérea da gramínea cerca de 5cm da superfície dos vasos, em intervalos de 30 dias, para quantificação da massa seca das folhas, caules e total da parte aérea, após secagem em estufa a  $65-70^\circ\text{C}$  até atingirem peso constante. Antes de cada corte, foram avaliados número de perfilhos por planta, área foliar de 12 folhas recém-maduras por vaso, com o uso do Laser Área Meter CI-203.

Para a avaliação do crescimento do sistema radicular do capim-Marandu, após o terceiro corte da parte aérea, os anéis de PVC do vaso foram retirados e as raízes removidas do solo através de jato de água corrente. Após secagem em estufa a  $65-70^\circ\text{C}$  até peso constante foi obtido o peso total da massa seca do sistema radicular de cada vaso.

Para a análise estatística dos dados foi considerado a média dos três cortes para o número de perfilhos e área foliar e o total para a massa seca de caules, folhas e da parte aérea. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e o desdobramento das interações significativas por meio de regressão para o fator densidade utilizando o software SISVAR 4.3 (Ferreira, 2008).

## Resultados e Discussão

A densidade do solo, os corretivos e a interação entre esses fatores influenciaram significativamente ( $P < 0,05$ ) a área foliar, número de perfilhos, massa de seca de raízes e da parte aérea avaliadas no capim-Marandu. Observa-se que a resposta do sistema radicular à aplicação dos corretivos, na média de todos os graus de compactação, seguiu a seguinte ordem crescente: controle < gesso < calcário < calcário + gesso < silicato

<silicato + gesso (Figura 1a).

A Figura 1, cujas equações de regressão aparecem na Tabela I, mostra para todos os corretivos utilizados que o aumento da densidade do solo promoveu reduções lineares e significativas na produção de massa seca de raízes, número de perfilhos, área foliar, massa seca do caule, das folhas e do total da parte aérea. O tratamento controle (sem correção), seguido pelo gesso foram os que apresentaram os menores valores para todas as variáveis avaliadas.

O menor crescimento radicular no solo sem correção (controle; Tabela I e Figura 1), em todos os graus de compactação ocorreu, pois o solo utilizado além de ter pH ácido (4,4), apresenta baixos teores de Ca e Mg ( $0,1 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$ ) e elevada saturação por alumínio (76%).

Neste contexto, ressalta-se a importância do Ca para o desenvolvimento vegetal, principalmente do sistema radicular. Por ele ser um nutriente componente da lamela média da parede celular e, também, requerido para a alongação e divisão celular (Marschner, 1995), com o baixo suprimento de Ca no controle, o crescimento da planta é drasticamente reduzido.

Outra característica química do solo que influencia negativamente o crescimento de plantas é a acidez do solo. Solos com pH ácido, tal como o usado no experimento, além de pobres em Ca, apresentam também, outro fator químico prejudicial: a toxidez por alumínio (Al). O excesso de Al no solo afeta drasticamente o crescimento radicular. As principais causas são a precipitação do P no solo e nos tecidos do vegetal, substituição do Ca na lamela média, tornando as paredes celulares rígidas e, com o seu acúmulo preferencialmente no núcleo, ligando-se aos grupos fosfatos do DNA, reduz a atividade de transcrição e replicação. Dessa maneira, as plantas apre-

sentam como conseqüência, um sistema radicular pequeno e pouco ramificado (Souza *et al.*, 2012). Portanto, a correção da acidez do solo com a conseqüente adição de Ca e Mg em proporções adequadas e neutralização do Al tóxico é de fundamental importância para o crescimento do capim-Marandu, como mostrado na Figura 1a.

Dentre os tratamentos de correção estudados, a aplicação do gesso isoladamente foi o que mostrou menor efeito no crescimento do capim-Marandu. Embora o gesso seja considerado um ótimo condicionador de solo, a sua aplicação não corrige o pH do solo e nem fornece Mg. Mas, o fornecimento de Ca e S e a neutralização de parte do Al tóxico pelo  $\text{SO}_4^{2-}$ , promovem uma amenização das limitações químicas do solo e favorecem o crescimento tanto radicular quanto da parte aérea do capim-Marandu em relação ao solo sem correção (Figura 1a). Sousa *et al.* (2001) em estudo conduzido num

Latossolo Vermelho-Amarelo corrigido com calcário e adubado com macro e micronutrientes avaliaram o efeito do gesso em pastagem de *Brachiaria decumbens* por um período de três anos. Os autores observaram um aumento de 260% na produção de massa seca no tratamento

TABELA I  
EQUAÇÕES DE REGRESSÃO PARA A MASSA SECA DAS RAÍZES, NÚMERO DE PERFILHOS POR PLANTA, ÁREA FOLIAR, MASSA SECA DAS FOLHAS, DE COLMOS E DA PARTE AÉREA E OS VALORES ESTIMADOS DE CADA VARIÁVEL PARA AS DENSIDADES DE 1,0 E 1,60  $\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ , E O PERCENTUAL DE REDUÇÃO DA DENSIDADE 1,60 EM RELAÇÃO 1,0  $\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$

Tratamentos	Equação	R <sup>2</sup>	Densidade ( $\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ )		Redução %
			1,0	1,6	
<b>Massa seca das raízes (g/vaso)</b>					
Testemunha	Y= -28,51x +64,813	0,98 *	36,3	19,2	47
Gesso	Y= -58,67x +118,11	0,92 *	59,4	24,2	59
Calcário	Y= -81,155x +155,42	0,93 *	74,8	26,0	65
Calcário + gesso	Y= -103,36x +204,86	0,97 *	101,5	39,5	61
Silicato	Y= -110,01x +221,01	0,99 *	111,0	45,0	59
Silicato + gesso	Y= -152,33x +285,53	0,99 *	133,2	41,8	68
<b>Número de perfilhos por planta</b>					
Testemunha	Y= -7,67x +34,01	0,89 *	26,0	22,0	15
Calcário	Y= -10,835x +41,22	0,62 *	30,0	24,0	20
Silicato	Y= -16,175x +49,44	0,89 *	33,0	24,0	27
Gesso	Y= -9,655x +37,99	0,74 *	28,0	23,0	18
Calcário + gesso	Y= -10,55x +40,82	0,85 *	30,0	24,0	20
Silicato + gesso	Y= -14,555x +47,69	0,97 *	33,0	24,0	28
<b>Área foliar (<math>\text{cm}^2</math>)</b>					
Testemunha	Y= -17,81x +60,05	0,85 *	42,2	31,5	25
Calcário	Y= -36,42x +94,15	0,89 *	57,7	35,8	38
Silicato	Y= -44,77x +107,90	0,92 *	63,1	36,2	43
Gesso	Y= -25,4x +75,64	0,93 *	50,2	35,0	30
Calcário + gesso	Y= -35,42x +94,14	0,89 *	58,7	37,4	36
Silicato + gesso	Y= -52,97x +122,99	0,85 *	70,0	38,2	45
<b>Massa seca das folhas (g/vaso)</b>					
Testemunha	Y= -31,17x +90,57	0,99 *	59,4	40,6	31
Calcário	Y= -48,1x +121,41	0,95 *	73,3	44,4	39
Silicato	Y= -40,23x +113,66	0,93 *	73,4	49,2	33
Gesso	Y= -50,41x +121,80	0,97 *	71,3	41,1	42
Calcário + gesso	Y= -48,53x +123,18	0,95 *	74,6	45,5	39
Silicato + gesso	Y= -40,10x +114,83	0,91 *	74,7	50,6	32
<b>Massa seca dos colmos (g/vaso)</b>					
Testemunha	Y= -28,09x +56,69	0,94 *	28,6	11,7	59
Calcário	Y= -24,79x +58,75	0,87 *	33,9	19,0	43
Silicato	Y= -31,53x +69,80	0,96 *	38,2	19,3	49
Gesso	Y= -29,58x +61,92	0,91 *	32,3	14,5	55
Calcário + gesso	Y= -26,49x +61,72	0,97 *	35,2	19,3	45
Silicato + gesso	Y= -27,93x +67,01	0,99 *	39,0	22,4	43
<b>Massa seca da parte aérea (g/vaso)</b>					
Testemunha	Y= -59,94x +148,04	0,98 *	88,0	52,1	41
Calcário	Y= -74,63x +182,11	0,99 *	107,7	62,7	42
Silicato	Y= -71,76x +183,46	0,95 *	112,0	69,1	38
Gesso	Y= -78,64x +181,20	0,97 *	102,5	55,3	46
Calcário + gesso	Y= -75,02x +184,90	0,98 *	109,8	64,1	42
Silicato + gesso	Y= -68,04x +181,87	0,97 *	113,8	73,0	36

Significativo a 5% pelo teste F.

com gesso em relação ao sem gesso.

O tratamento de correção que apresentou a maior resposta em todas as variáveis avaliadas no capim-Marandu foi o silicato de Ca, principalmente quando associado ao gesso (Figura 1). O silicato de Ca aplicado no solo,

além de corrigir o pH, reduzir a toxidez por Al e aumentar a disponibilidade de nutrientes, tem em sua composição o  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  que compete pelos sítios de fixação do P no solo, aumentando sua disponibilidade e absorção pelas plantas (Carvalho *et al.*, 2001; Malavolta, 2006), me-

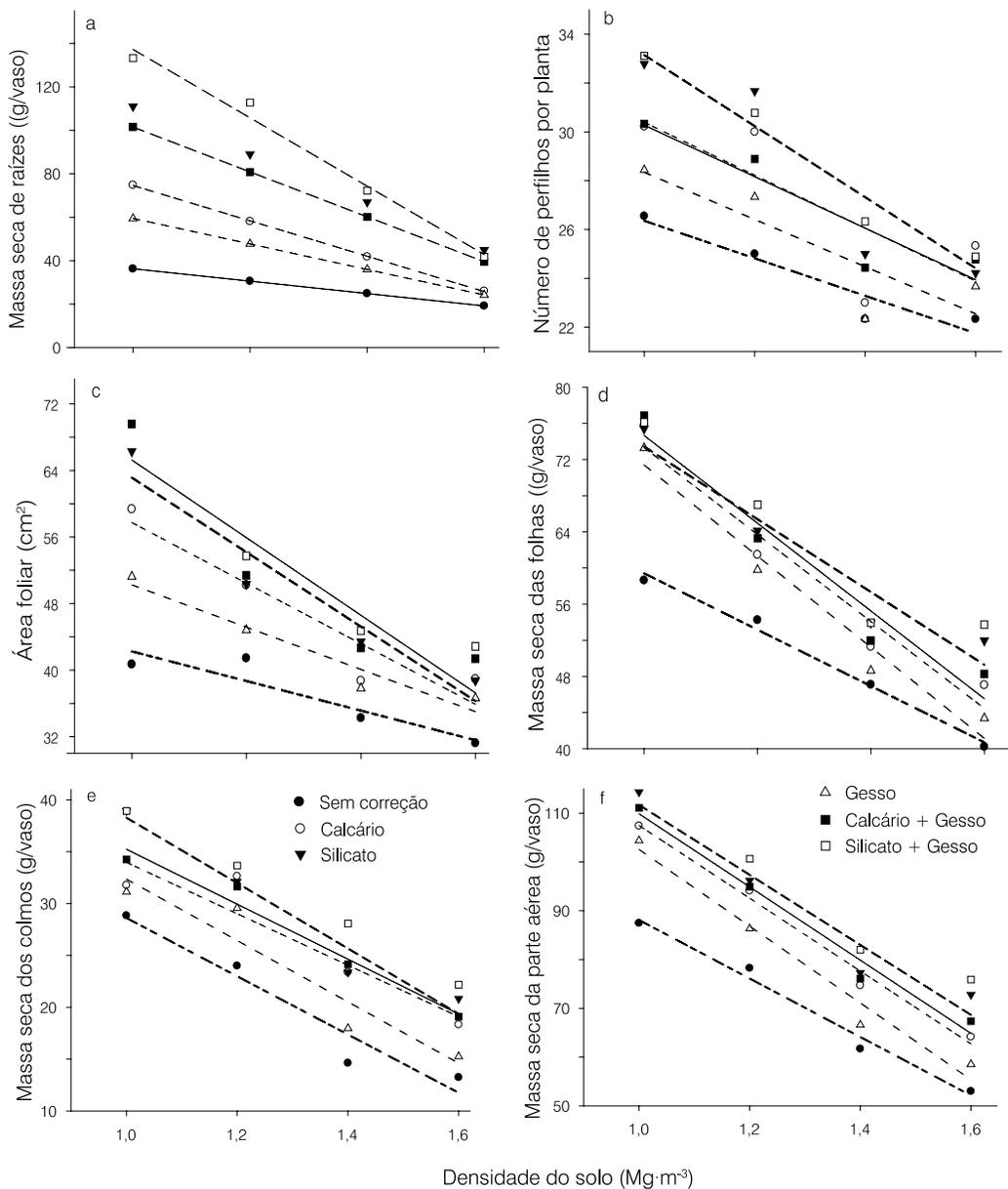


Figura 1. Massa seca das raízes (a), número de perfilhos por planta (b), área foliar (c), massa seca das folhas (d), massa seca dos colmos (e) e da parte aérea (f) do capim-Marandu submetido a diferentes corretivos em função das densidades do solo.

lhorando a eficiência de absorção desse nutriente. Nos tratamentos em que houve a aplicação de calcário isoladamente ou em mistura com o gesso, ocorreu um comportamento intermediário, mas bem superior ao controle.

Para todos os tratamentos de correção, o aumento da densidade do solo promoveu reduções lineares e significativas em todas as variáveis avaliadas no capim-Marandu. (Figura 1). Observa-se que quanto maior a densidade do solo, menor é a resposta das

plantas em crescimento à aplicação dos corretivos. Isso mostra que aumento da densidade tende a anular os benefícios dos corretivos na correção das limitações químicas do solo, tornando-se o fator mais limitante ao crescimento da gramínea.

O perfilhamento foi reduzido com aumento nos valores de densidade do solo, resultado semelhante ao obtido por Bonelli *et al.* (2011). Essa redução no número de perfilho provavelmente as condições adversas ao adequado

crescimento da forrageira, como: disponibilidade de nutrientes, aeração do solo, absorção de água, capacidade fotossintética, mineralização da matéria orgânica e características de acidez do solo.

A Tabela I, além das equações de regressão, mostra também os valores estimados das características de crescimento e produção do capim-Marandu para as densidades 1,0 e 1,60Mg·m<sup>-3</sup>, e o percentual de redução dessas variáveis na densidade 1,6 em relação 1,0, para os dife-

rentes corretivos. Dentre os corretivos, tanto para a densidade 1,0 quanto para a 1,6Mg·m<sup>-3</sup>, o silicato e silicato + gesso foram os que proporcionaram os maiores valores das características estruturais e produtivas do capim-marandu, cujas causas já foram discutidas.

Nesses tratamentos onde ocorreram maior crescimento do sistema radicular do capim-marandu as plantas tiveram maior eficiência na absorção de nutrientes do solo, índice de área foliar (Figura 1c) e massa seca de folhas (Figura 1d), características que indiretamente indicam a capacidade fotossintética da planta. A maior capacidade de absorção de nutrientes (raízes) e de aproveitamento da luz (parte aérea) promoveram maior tolerância aos efeitos adversos da compactação do solo e crescimento da parte aérea do capim-marandu (Figura 1f; Tubeileh *et al.*, 2003).

O índice de área foliar variou no intervalo de 31,5 a 70cm<sup>2</sup> na testemunha na densidade 1,6Mg·m<sup>-3</sup> e no tratamento onde houve a aplicação de silicato de cálcio + gesso e densidade 1,0Mg·m<sup>-3</sup>, mostrando diferença de 45%, respectivamente. Essa diferença no índice de área refletiu positivamente no crescimento da parte aérea. Nesses mesmos tratamentos (testemunha e silicato + gesso nas densidades de 1,6 e 1,0Mg·m<sup>-3</sup>, respectivamente) a massa seca da parte aérea mostrou uma diferença de 36%, ou seja, foi igual a 52,1 e 113,8 g/vaso, respectivamente (Tabela I).

Além da capacidade fotossintética as folhas também são parte importante do pasto, em termos nutricionais e é desejável uma maior proporção das mesmas para melhoria da qualidade nutricional da forrageira a ser pastada (Silva *et al.*, 2013).

Dessa forma, é confirmada a necessidade do correto manejo da acidez em solos cultivados com pastagens, seja na ausência ou presença de

compactação nas camadas do solo para obtenção de maiores produtividades das pastagens. Além disso, ajudam a enfatizar a viabilidade da utilização dos silicatos como corretivos de acidez em combinação ou não com o gesso e reforçam a importância da aplicação do calcário em solos ácidos.

A massa seca de colmos variou entre 11,7 e 39,0 g/vaso e diminuiu com o aumento na densidade do solo (Figura 1e). No caso do manejo de pastagens o ideal é que ocorra uma menor proporção de colmos que possuem maiores quantidades de lignina em sua composição e, portanto, são menos digestíveis e nutritivos para os animais do que as folhas.

A densidade  $1,6\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$  foi altamente limitante ao crescimento da gramínea, promovendo reduções que variaram de 47 a 68% na massa seca de raízes, de 15 a 28% no número de perfilhos, de 25 a 45% na área foliar, de 31 a 42% na massa seca de folhas, de 43 a 59% na massa seca dos colmos e de 36 a 46% na massa seca da parte aérea (Tabela I).

Bonelli *et al.* (2011) também observaram redução linear na massa seca da parte aérea do capim-mombaça devido aos efeitos adversos da compactação do solo.

Com o aumento da densidade do solo há quebra da estrutura e aumento da impedância mecânica, o que dificulta o crescimento radicular. Dessa forma, a planta adapta-se a esse ambiente por meio de alterações no diâmetro e comprimento de suas raízes. Segundo Magalhães *et al.* (2009) quando o sistema radicular encontra resistência mecânica ao seu desenvolvimento pela redução dos poros ou do seu diâmetro, a mesma exerce pressão sobre as partículas para aumentar o tamanho dos poros ou reduz o seu diâmetro para passar através dos poros já existentes. Além dessas modificações em solos compactados, o encharcamento ou déficit hídrico são mais

intensos comprometendo em muito o desenvolvimento radicular das plantas. Nessas condições as raízes podem morrer parcialmente ocorrendo modificações nas reservas de carboidratos, afetando a produção e a sobrevivência das plantas (Reis e Reis, 1991).

Vários trabalhos relatam a redução da massa seca das raízes de plantas com o aumento da densidade do solo. Guimarães *et al.*, (2003) verificaram modificações e redução da massa seca de raízes do feijoeiro em densidade de  $1,4\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Guimarães e Moreira (2001) verificaram reduções na densidade de raízes em 85%, na densidade do solo de  $1,7\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ , em solo arenoso, em arroz de sequeiro.

O efeito negativo da compactação do solo no crescimento vegetativo e na produção de grãos de diversas culturas também tem sido relatado, citando-se Medeiros *et al.* (2005) em arroz, Alves *et al.* (2001) em feijoeiro e Freddi *et al.* (2008) em milho.

Dentre os corretivos, tanto para a densidade 1,0 como para a  $1,6\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$  (Tabela I), o silicato e silicato + gesso foram os que proporcionaram os maiores valores para as características estruturais e produtivas avaliadas. Além dos efeitos já citados do silicato no solo, na parte aérea da planta, o Si melhora a arquitetura do vegetal, tornando as folhas mais eretas, promove elevação dos teores de clorofila e maior capacidade fotossintética. Por meio da deposição de uma camada de sílica amorfa abaixo das células epidérmicas, o Si reduz a transpiração e se torna uma barreira mecânica à infecção de patógenos e dificulta o ataque de insetos (Malavolta, 2006); efeitos esses, em conjunto, contribuem para uma maior produtividade vegetal (Melo, 2005).

Esses resultados encontrados na literatura para diferentes culturas vêm a corroborar os obtidos para o capim-Marandu no presente

trabalho, demonstrando a necessidade de adoção de práticas para amenização ou correção dos problemas através de medidas curativas, preventivas ou aliviatórias, tanto de efeito físico quanto de efeito químico do solo, visando possibilitar condições adequadas ao crescimento e produção vegetal.

#### Conclusões

A correção da acidez do solo é de fundamental importância para o crescimento do sistema radicular do capim-Marandu. Valores de densidade do solo  $\geq 1,2\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$  reduzem o crescimento radicular e a produção da parte aérea do capim-Marandu. O uso de corretivos ameniza os efeitos da compactação do solo, porém, mesmo assim, ela foi o fator mais limitante para o crescimento da planta. Os parâmetros estruturais e produtivos do capim-marandu reduzem linearmente com o aumento na densidade do solo. Dentre os tratamentos de correção, o uso de silicato de cálcio em combinação com o gesso proporciona maior crescimento do sistema radicular e da parte aérea do capim-Marandu.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos e à Fundação de Amparo a Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro.

#### REFERÊNCIAS

- Alves VG, Andrade MJB, Corrêa JBD, Moraes AR, Silva MV (2001) Crescimento e produção de vagens do feijoeiro em diferentes graus de compactação e classes de solos. *Cienc. Agrotecnol.* 25: 1051-1062.
- Betteridge K, Mackay AD, Shepherd G, Barker DJ, Budding PJ, Devantier BP, Costall DA (1999) Effect of cattle and sheep treading on surface configuration of a sedimentary hill soil. *Aust. J. Soil Res.* 37: 743-760.
- Bonelli EA, Bonfim-Silva EM, Cabral CEA, Campos JJ, Scaramuzza WLMP, Polizel

AC (2011) Compactação do solo: Efeitos nas características produtivas e morfológicas dos capins Piatã e Mombaça. *Rev. Bras. Eng. Agric. Amb.* 15: 264-269.

- Carvalho MCS, Rajj Bvan (1997) Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth. *Plant Soil* 192: 37-48.
- Carvalho R, Furtini Neto AE, Santos CD, Fernandes LA, Curi N, Rodrigues DC (2001) Interações silício-fósforo em solos cultivados com eucalipto em casa de vegetação. *Pesq. Agropec. Bras.* 36: 557-565
- Dexter AR (1991) Amelioration of soil by natural processes. *Soil Till. Res.* 20: 87-100.
- Epstein E (1999) Silicon. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Molec. Biol.* 50: 641-664.
- Faquin V (2005) *Nutrição Mineral de Plantas*. UFLA/FAEPE. Lavras, Brasil. 183 pp.
- Ferreira DF (2008) Sisvar: um programa para análises e ensino de estatística. *R. Symp.* 6: 36-41.
- Freddi OS, Centurion JF, Aratani RG, Beutler NA (2008) Compactação do solo e intervalo hídrico ótimo no crescimento da parte aérea e produtividade da cultura do milho. *Irriga* 13: 272-287.
- Guimarães CM, Moreira JAA (2001) Compactação do solo na cultura do arroz de terras altas. *Pesq. Agropec. Bras.* 36: 703-707.
- Guimarães MC, Stone LF, Moreira JAA (2003) Compactação do solo na cultura do feijoeiro: II. Efeito sobre o desenvolvimento radicular e da parte aérea. *Rev. Bras. Eng. Agric. Amb.* 6: 213-218.
- Kluthcouski J, Stone LF (2003) Desempenho de culturas anuais sobre palhada de braquiária. Em Kluthcouski J, Stone LF, Aida H (2003) *Integração Lavoura-Pecuária*. Embrapa Arroz e Feijão. Santo Antônio de Goiás. Brasil. pp. 499-522.
- Lima CLR (2004) *Compressibilidade de Solos versus Intensidade de Tráfego em um Pomar de Laranja e Pisoteio Animal em Pastagem Irrigada*. Tese. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, Brasil. 70 pp.
- Magalhães EM, Oliveira GC, Severiano EC, Costa KAP, Castro MB (2009) Recuperação estrutural e produção de capim-tifton 85 em um argissolo vermelho-amarelo compactado. *Cienc. Anim. Bras.* 10: 68-76.

- Malavolta E (1980) *Elemento de Nutrição de Plantas*. Agronômica Ceres. Piracicaba, Brasil. 251 pp.
- Malavolta E (2006) *Manual de Nutrição Mineral de Plantas*. Ceres. São Paulo, Brasil. 638 pp.
- Marschner H (1995) *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press. Londres, RU. 674 pp.
- Martha Junior GB, Vilela L (2002) *Pastagens no Cerrado: Baixa Produtividade pelo Uso Limitado de Fertilizantes em Pastagens*. Documento 50. Embrapa Cerrados. Planaltina, Brasil. 32 pp.
- Medeiros RD, Soares AA, Guimarães RM (2005) Compactação do solo e manejo da água: 1. Efeitos sobre a absorção de N, P, K, massa seca de raízes e parte aérea de plantas de arroz. *Cienc. Agrotecnol.* 29: 940-947.
- Melo SP (2005) *Silício e Fósforo para Estabelecimento do Capim-Marandu num Latossolo Vermelho-Amarelo*. Tese. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, Brasil. 110 pp.
- Müller MML, Ceccon G, Rosolem CA (2001) Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. *R. Bras. Ciênc. Solo* 25: 531-538.
- Nie ZN, Ward GN, Michael AT (2001) Impact of pugging by dairy cows on pastures and indicators of pugging damage to pasture soil on south-western Victoria. *Aust. J. Soil Res.* 52: 37-43.
- Oliveira PR de, Centurion JF, Centurion, MAPC, Franco HBJ, Pereira, FS, Bárbaro Júnior LS, Rossetti KV (2012) Qualidade física de um Latossolo Vermelho cultivado com soja submetido a níveis de compactação e de irrigação. *Rev. Bras. Ciênc. Solo.* 36: 587-597.
- Ramos SJ, Faquin V, Rodrigues CR, Silva CA, Boldrin PF (2009) Biomass production and phosphorus use of forage grasses fertilized with two phosphorus sources. *R. Bras. Ciênc. Solo* 33: 335-343.
- Reis GG, Rei MGF (1991) Respostas estomáticas e mudanças nos níveis de reservas de plantas intactas e de brotações de *E. camaldulensis* Dehn submetidas à deficiência hídrica no solo. *Arvore* 15: 112-125.
- Rosolem CA, Vale LSR, Grasse HF, Moraes MHde (1994) Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. *R. Bras. Ciênc. Solo* 18: 491-497.
- Rosolem CA, FOLONI JSS, Tiritan CS (2002) Root growth and nutrient accumulation in cover crops as affected by soil compaction. *Soil Till. Res.* 65: 109-115.
- Silva AP, Kay BD, Perfect E (1997) Management versus inherent soil properties effects on bulk density and relative compaction. *Soil Till. Res.* 44: 81-93.
- Silva GJ, Maia JCS, Bianchini A (2006) 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. *R. Bras. Ciênc. Solo* 30: 31-40.
- Silva DRG, Costa KAP, Faquin V, Oliveira IP de, Souza MFde, Souza M (2011) Eficiência nutricional e aproveitamento do nitrogênio pelo capim-marandu de pastagem em estágio moderado de degradação sob doses e fontes de nitrogênio. *Cienc. Agrotecnol.* 35: 242-249.
- Silva DRG, Costa KAP, Faquin V, Oliveira IP, Bernardes TF (2013) Rates and sources of nitrogen in the recovery of the structural and productive characteristics of marandu grass. *Rev. Ciênc. Agron.* 44: 184-191.
- Sousa DMG, Vilela L, Lobato E, Soares WV (2001) Uso de gesso, calcário e adubos para pastagens no cerrado. Circular Técnica 12. Embrapa Cerrados. Planaltina, Brasil. 22 pp.
- Sousa MAS, Faquin V, Guelfi DR, Oliveira GC, Bastos GCA (2012) Macronutrient accumulation in the soybean influenced by prior cultivation of Marandu grass and soil remediation and compaction. *Rev. Ciênc. Agro.* 43: 611-622.
- Tavares Filho J, Ralisch R, Guimarães MF, Medina CC, Balbino LC, Neves CSVJ (1999) Método do perfil cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 23: 393-399.
- Tubeileh A, Groleau RV, Plantureux S, Guckert A (2003) Effect of soil compaction on photosynthesis and carbon partitioning within a maize-soil system. *Soil Till. Res.* 71: 151-161.