

VARIAÇÕES NOS TEORES DE POTÁSSIO, CÁLCIO E MAGNÉSIO EM CAPIM-MARANDU ADUBADO COM DOSES DE NITROGÊNIO E DE ENXOFRE⁽¹⁾

Karina Batista⁽²⁾ & Francisco Antonio Monteiro⁽³⁾

RESUMO

O uso eficiente da pastagem, em sistemas intensivos de produção, é dependente de nutrição balanceada da planta forrageira. Objetivou-se neste trabalho avaliar as variações nos teores de K, Ca e Mg em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, cultivada em Neossolo Quartzarênico, em função de doses de N e de S. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em Piracicaba-SP, no período de dezembro de 2004 a abril de 2005. Adotou-se o delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial fracionado 5 x 5, com 13 combinações das doses de N e S e quatro repetições. Utilizaram-se como unidades experimentais vasos com 3,6 dm³ de solo e cinco plantas de capim-marandu. Foram realizados três cortes nas plantas e, em cada um deles, foram separadas as frações da parte aérea. A adubação com N interferiu nos teores de Ca e de Mg, bem como nas proporções de K, Ca e Mg na parte aérea do capim-marandu. As aplicações conjuntas de N e S influenciaram negativamente o teor de K nas folhas diagnósticas desse capim. A aplicação de N e de S no solo para a implantação do capim-marandu alterou o balanço nutricional em Ca, Mg e K, na planta.

Termos de indexação: *Brachiaria brizantha*, teor de cátion, macronutrientes, proporção entre cátions.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado da primeira autora apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, para obtenção do título de Doutor em Agronomia, na área de concentração de Solos e Nutrição de Plantas. Recebido para publicação em setembro de 2008 e aprovado em novembro de 2009.

⁽²⁾ Pesquisadora Científica APTA-Médio Paranapanema. Rodovia SP 333 Assis-Marília Km 397, Caixa Postal 263, CEP 19800-000 Assis (SP). E-mail: batistakarim@gmail.com

⁽³⁾ Professor Titular do Departamento de Ciência do Solo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP. Caixa Postal 9, CEP 13418-970 Piracicaba (SP). Bolsista CNPq. E-mail: famonte@esalq.usp.br

SUMMARY: ALTERATIONS IN POTASSIUM, CALCIUM AND MAGNESIUM CONCENTRATIONS IN MARANDU PALISADEGRASS FERTILIZED WITH NITROGEN AND SULFUR RATES

An efficient pasture use in intensive production systems depends on the balanced mineral nutrition of the forage plant. Our objective was to evaluate changes in potassium, calcium and magnesium concentrations of Brachiaria brizantha, cv. Marandu grown on an Entisol with nitrogen and sulfur rates. The experiment was carried out in a greenhouse, in Piracicaba, State of São Paulo, from December 2004 to April 2005. A randomized block design was used in a fractionated 5 x 5 factorial design with 13 N and S rate combinations. The experimental units consisted of 3.6 dm³ plastic pots containing five Marandu plants. The grass plants were harvested three times and the shoot and its components separated in each occasion. N fertilization influenced Ca and Mg concentrations as well as the proportions of K, Ca and Mg in the above-ground part of Marandu palisadegrass. The combined fertilization with N and S influenced K concentration negatively in the diagnostic leaves of the grass. Applications of N and S soil prior to Marandu establishment altered the nutritional balance in Ca, Mg and K of the plant.

Index terms: Brachiaria brizantha, cation concentration, cation proportion, macronutrients.

INTRODUÇÃO

A baixa disponibilidade de N tem sido apontada como uma das principais causas da degradação de pastagens. Por outro lado, em se tratando de pastagem com gramínea forrageira, o S tem grande importância, pois esse tipo de planta mostra-se exigente a esse nutriente, principalmente quando o suprimento de N é elevado (Werner, 1986).

Vários pesquisadores (Hoffman, 1992; Faquin et al., 1995; Monteiro et al., 1995; Santos Júnior, 2001; Lavres Junior, 2001; Batista, 2002; Bonfim da Silva, 2005) têm estudado a interferência do fornecimento de nutrientes no teor de outros nos capins, com o intuito de determinar o suprimento adequado de nutrientes para a planta.

Para que se possa fazer uso eficiente da pastagem, em sistemas intensivos de produção, há necessidade de teores adequados de nutrientes na forragem (Hopkins et al., 1994). Quando fertilizantes são fornecidos aos capins, pode ocorrer aumento, em particular, de um nutriente fornecido, mas também pode haver efeitos secundários dessa aplicação, resultando em aumentos ou reduções nos teores de outros nutrientes. Dessa forma, a aplicação de um nutriente pode beneficiar ou prejudicar o teor e a ação de outro (Whitehead, 2000).

A importância do equilíbrio entre os teores de N e S no solo e na planta é refletida no crescimento e no estado nutricional do vegetal. Plantas forrageiras com deficiência de N apresentam baixas respostas à aplicação de S (Santos, 1997). Uma aplicação mínima de N e também de S deve ser realizada para a manutenção da produtividade dessas plantas. Quando

o teor de N nas folhas é baixo, as plantas não metabolizam nutrientes eficientemente e, dessa forma, não usam eficientemente o S (Conley et al., 2002).

A habilidade de uma planta para obter quantidades suficientes de K, Ca e Mg ou outro nutriente para um bom crescimento e desenvolvimento pode depender não apenas do teor e da forma disponível do nutriente no meio de crescimento, mas também de outros fatores que alteram sua absorção. No caso dos cátions, tem sido evidenciada a importância de outros presentes no meio de crescimento para a absorção de determinado cátion pela planta (Bull et al., 1998). Entretanto, pouco se sabe sobre a influência dos ânions, NO₃⁻ e SO₄²⁻, ou de seu equilíbrio sobre esses.

Marschner (1995) relatou que cátions como K⁺ e Ca²⁺ competem efetivamente com o Mg²⁺ e diminuem sua absorção. Andrade et al. (2000) demonstraram que a adubação nitrogenada interfere de forma negativa no teor de K, Ca e Mg em capins, ao mesmo tempo em que salientaram ser necessário cuidar do fornecimento destes, pois aplicações elevadas de K podem interferir na absorção de Ca e Mg pela planta.

A soma total de cátions em uma planta ou em parte dela é pouco variável, mesmo quando ocorre variação no fornecimento individual deles, pois o aumento de um cátion no meio costuma deprimir a absorção de outro – fenômeno chamado de antagonismo (Mengel & Kirkby, 2001).

Nesse contexto, no presente trabalho, objetivou-se avaliar o efeito da adição de doses de N e S nos teores de K, Ca e Mg, bem como o equilíbrio entre esses teores, nos tecidos foliares de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em Piracicaba, SP, no período de dezembro de 2004 a abril de 2005, em casa de vegetação. As mudas da gramínea forrageira *Brachiaria brizantha* cultivar Marandu foram plantadas em vasos de 3,6 dm³ com amostras de um Neossolo Quartzarênico e conduzidas até o final do período experimental. A adição de água desionizada foi feita manualmente, de acordo com a necessidade das plantas.

As amostras de solo, com baixo teor de matéria orgânica e em cultivo com capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*), foram coletadas da camada de 0–20 cm numa propriedade localizada na rodovia Piracicaba-Anhembi, no município de Piracicaba. As coordenadas da área são de 47° 57' 56" longitude oeste e 22° 46' 30" latitude sul, com altitude média de 600 m. Após seco à sombra, o solo foi destorroado e passado em peneira de 2 mm de malha.

A análise inicial do solo, realizada conforme descrito em Raij et al. (1987), apresentou: pH em CaCl₂ = 4,08; matéria orgânica = 11,6 g dm⁻³; P = 5,34 mg dm⁻³; K = 1,75 mmol_c dm⁻³; Ca²⁺ = 4,0 mmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 2,3 mmol_c dm⁻³; Al³⁺ = 4 mmol_c dm⁻³; H + Al = 21,5 mmol_c dm⁻³; S-SO₄²⁻ = 7,3 mg dm⁻³; SB = 8,0 mmol_c dm⁻³; CTC = 29,5 mmol_c dm⁻³; V = 26,8 %; N-total = 0,32 g kg⁻¹; N-NO₃⁻ = 21,6 mg kg⁻¹; e N-NH₄⁺ = 24,5 mg kg⁻¹. De acordo com esses resultados, determinou-se a necessidade de calagem, utilizando 50 % para o V₂ da fórmula de cálculo da necessidade de calagem, de acordo com Werner et al. (1996). Desse modo, a calagem foi feita aplicando-se, em cada vaso, 0,1822 g de CaO e 0,1505 g de MgO. Após a calagem, o solo ficou incubado pelo período de 31 dias. Decorrido esse período, transplantaram-se as mudas e iniciou-se a adição dos tratamentos propriamente ditos.

Foram empregadas cinco doses de N (0, 100, 200, 300 e 400 mg dm⁻³) e cinco doses de S (0, 10, 20, 30 e 40 mg dm⁻³), combinadas em estudo de superfície de resposta baseado na matriz experimental composto central modificado de um fatorial 5² incompleto, fundamentado em Littell & Mott (1975). Assim, utilizaram-se 13 combinações N-S, em mg dm⁻³: 0–0; 0–20; 0–40; 100–10; 100–30; 200–0; 200–20; 200–40; 300–10; 300–30; 400–0; 400–20; e 400–40 (Quadro 1). Os tratamentos foram distribuídos em blocos ao acaso, com quatro repetições.

As mudas do capim-marandu foram obtidas por germinação de sementes em bandejas com areia lavada e transplantadas em número de 15 plântulas por vaso. Uma semana depois do transplante das mudas e aplicação dos nutrientes, em uma única dose (Quadro 1), observou-se a queima dessas mudas em todos os tratamentos, devido à pressão osmótica elevada na solução do solo. Após essa constatação, procedeu-se ao corte das mudas e posterior lixiviação do solo com água desionizada pelo período de 33 dias, coletando-se o lixiviado, após aplicar 2.500 mL de água desionizada em cada vaso.

Após a lixiviação do solo e coleta do excesso de sais que geraram a alta pressão osmótica no solo, novas mudas do capim-marandu foram obtidas por germinação de sementes em bandejas com areia lavada e transplantadas para os vasos. Posteriormente ao período de adaptação das plantas, procedeu-se aos desbastes até ficarem cinco plantas em cada vaso, após o que foram retornadas aos vasos as soluções lixiviadas.

Foram realizados três cortes das plantas: o primeiro aos 38 dias após o transplante das mudas; o segundo, aos 27 dias do primeiro corte; e o terceiro, aos 38 dias do segundo corte. Após o primeiro e o segundo corte,

Quadro 1. Adubação inicial relacionada às combinações de doses de nitrogênio e de enxofre no experimento com capim-marandu

Combinação N-S	Dose		Fonte					
	N	S	NH ₄ NO ₃	CaSO ₄ .2H ₂ O	KH ₂ PO ₄ .H ₂ O	CaH ₂ PO ₄ .H ₂ O	CaCl ₂ .H ₂ O	MgCl ₂ .6H ₂ O
	— mg dm ⁻³ —		g/vaso					
0–0	0	0	0	0	1,8831	1,2756	0,6615	1,5225
0–20	0	20	0	0,387	1,8831	1,2756	0,3307	1,5225
0–40	0	40	0	0,774	1,8831	1,2756	0	1,5225
100–10	100	10	1,0285	0,1935	1,8831	1,2756	0,4961	1,5225
100–30	100	30	1,0285	0,5805	1,8831	1,2756	0,1654	1,5225
200–0	200	0	2,0571	0	1,8831	1,2756	0,6615	1,5225
200–20	200	20	2,0571	0,387	1,8831	1,2756	0,3307	1,5225
200–40	200	40	2,0571	0,774	1,8831	1,2756	0	1,5225
300–10	300	10	3,0857	0,1935	1,8831	1,2756	0,4961	1,5225
300–30	300	30	3,0857	0,5805	1,8831	1,2756	0,1654	1,5225
400–0	400	0	4,1143	0	1,8831	1,2756	0,6615	1,5225
400–20	400	20	4,1143	0,387	1,8831	1,2756	0,3307	1,5225
400–40	400	40	4,1143	0,774	1,8831	1,2756	0	1,5225

repetiu-se a adubação (Quadro 2) na seguinte ordem: cloreto de potássio, sulfato de cálcio, nitrato de amônio, micronutrientes (H_3BO_3 , $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, ZnCl_2 e $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), cloreto de cálcio e cloreto de magnésio. As aplicações de N, de acordo com as doses propostas, foram parceladas em quatro vezes, com intervalo de dois dias entre elas, para evitar variação brusca na pressão osmótica no ambiente radicular. A aplicação de S, seguindo as doses propostas, e as aplicações de KCl e micronutrientes foram realizadas em uma única vez, após cada um dos cortes. Os micronutrientes foram aplicados com as fontes e doses: $\text{H}_3\text{BO}_3 = 5,1$ mg/vaso, $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 9$ mg/vaso, $\text{ZnCl}_2 = 7,2$ mg/vaso e $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 0,9$ mg/vaso.

Com o objetivo de se avaliar o teor de nutrientes nas partes da planta, estas foram separadas em: (a) folhas emergentes, ou seja, as folhas não completamente expandidas; (b) lâminas de folhas recém-expandidas, ou seja, lâminas das duas folhas mais jovens totalmente expandidas, com lígula visível (folhas diagnósticas); (c) lâminas de folhas maduras, ou seja, lâminas das demais folhas totalmente expandidas; e (d) colmos + bainhas: colmos propriamente ditos e as bainhas que foram mantidas a eles circundadas. Todo o material colhido foi colocado para secar em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C, até massa constante, e posteriormente moído em moinho do tipo Wiley.

Após a moagem, as amostras de cada componente da parte aérea de todos os cortes das plantas foram encaminhadas para determinação dos teores de K, Ca e Mg, conforme método descrito por Sarruge & Haag (1974). O K foi determinado pelo método de fotometria de chama, e o Ca e o Mg, pelo método de espectro-fotometria de absorção atômica, após a digestão nítrico-perclórica.

Para o cálculo da soma total dos conteúdos de cátions (STC) da parte aérea, multiplicou-se o teor de

cada um desses nutrientes pela massa de matéria seca de cada componente analisado e, dessa forma, obteve-se o acúmulo de cada um dos nutrientes. A seguir, efetuou-se a soma dos acúmulos calculados e dividiu-se pela matéria seca total da parte aérea, obtendo-se assim o teor médio de cada nutriente na parte aérea. Posteriormente, esse teor foi multiplicado por 1.000 e dividido pelo mol de cada nutriente; para obtenção do teor dos três cátions na matéria seca da parte aérea, efetuou-se a soma dos três teores em $\text{mmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Em seguida obteve-se a percentagem de cada nutriente nesse teor total. As proporções de Ca, Mg e K na matéria seca da parte aérea foram avaliadas nos três cortes do capim-marandu.

Os resultados foram submetidos à análise de variância para as combinações de doses de N e S; adotou-se o nível de 5 % para os testes, bem como para os coeficientes dos modelos matemáticos. Nos casos em que a interação doses de N x doses de S foi significativa, efetuou-se o estudo de regressão polinomial (superfície de resposta) por meio do comando RSREG. Quando essa interação não foi significativa, efetuou-se o estudo de regressão de primeiro e segundo graus pelo uso do comando GLM (SAS, 1996).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Teores de potássio, cálcio e magnésio na parte aérea

Quanto ao teor de K na parte aérea do capim-marandu, não se observou significância para a interação doses de N x doses de S na ocasião do primeiro e segundo cortes ocasiões em que também não foi verificada significância para as doses

Quadro 2. Adubação de manutenção, após cada corte do capim, relacionada às combinações de doses de nitrogênio e de enxofre no experimento com capim-marandu

Combinação N-S	Dose		Fonte				
	N	S	NH_4NO_3	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	KCl	$\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
	— mg dm ⁻³ —		g/vaso				
0-0	0	0	0	0	1,0315	0,6615	0,609
0-20	0	20	0	0,387	1,0315	0,3307	0,609
0-40	0	40	0	0,774	1,0315	0	0,609
100-10	100	10	1,0285	0,1935	1,0315	0,4961	0,609
100-30	100	30	1,0285	0,5805	1,0315	0,1653	0,609
200-0	200	0	2,0571	0	1,0315	0,6615	0,609
200-20	200	20	2,0571	0,387	1,0315	0,3307	0,609
200-40	200	40	2,0571	0,774	1,0315	0	0,609
300-10	300	10	3,0857	0,1935	1,0315	0,4961	0,609
300-30	300	30	3,0857	0,5805	1,0315	0,1653	0,609
400-0	400	0	4,1143	0	1,0315	0,06615	0,609
400-20	400	20	4,1143	0,387	1,0315	0,3307	0,609
400-40	400	40	4,1143	0,774	1,0315	0	0,609

individuais de N e de S. No período do terceiro corte, observou-se significância para as combinações de doses de N e de S, com os resultados ajustando-se ao modelo polinomial de regressão.

O teor mínimo de K na parte aérea do capim, na ocasião do terceiro corte, ocorreu na dose de N de 325 mg dm⁻³, associada à dose de S de 40 mg dm⁻³, com relação entre doses de 8,1:1. De acordo com o modelo polinomial de regressão ($\hat{y} = 30,3221 - 0,130404N + 0,000239N^2 - 0,168000S + 0,004590S^2 - 0,000620NS$; $R^2 = 0,85$), os teores mais baixos de K (1 a 8 g kg⁻¹) foram observados em condições de doses de N maiores que 200 mg dm⁻³, associados às doses de S mais elevadas que 25 mg dm⁻³. Esses teores de K estão abaixo daqueles indicados por Monteiro et al. (1995) para o capim-marandu.

Costa et al. (2008), estudando os efeitos das adubações nitrogenada e potássica no teor de nutrientes do capim-xaraés (*Brachiaria brizantha* cv. Xaraés), observaram que o maior teor de K, na média de três cortes (17,93 g kg⁻¹), ocorreu com a aplicação de N de 78,3 mg dm⁻³, mostrando aumento em relação à não aplicação de N de 11,2 %.

Os nutrientes na matéria seca do capim-marandu, em função de fontes e doses de N, foram estudados por Primavesi et al. (2006), que observaram aumento no teor de K com as doses de N, com variação de 21 a 35 g kg⁻¹.

O teor de Ca na parte aérea do capim-marandu revelou significância para a interação doses de N x doses de S para o primeiro e terceiro cortes. No segundo corte, não se observou significância para essa interação, o que foi observado apenas para as doses individuais de N.

No primeiro corte, a análise estatística revelou um ponto de sela, expresso no modelo $\hat{C}a = 6,1957 + 0,0217N - 0,00002 N^2 - 0,0152S - 0,0007S^2 + 0,00027NS$ ($R^2 = 0,73$), de tal forma que não apontou ponto de máximo ou mínimo, dentro do espaço fatorial, do teor de Ca na parte aérea do capim. No segundo corte, de acordo com o modelo quadrático de regressão ($\hat{y} = 3,0656 + 0,0425N - 0,00008N^2$; $R^2 = 0,64$), a dose de N de 281 mg dm⁻³ proporcionou o teor máximo de Ca (9 g kg⁻¹) na parte aérea do capim.

Para o terceiro corte do capim-marandu, a combinação da dose de N de 143 mg dm⁻³ com S de 29 mg dm⁻³ resultou no mais baixo teor de Ca (4,5 g kg⁻¹) na parte aérea dessa gramínea, conforme o modelo $\hat{C}a = 8,2676 + 0,0113N - 0,00002N^2 - 0,3201S - 0,0071S^2 - 0,0006NS$ ($R^2 = 0,60$). Segundo Costa et al. (2008), o teor de Ca no capim-xaraés que recebeu adubação nitrogenada não apresentou alteração em função das doses de N, em todos os cortes das plantas.

O teor de Mg na parte aérea do capim, tanto no primeiro como no segundo corte, não apresentou significância para a interação doses de N x doses de

S, mas mostrou significância para as doses individuais de N apenas no capim do segundo corte, conforme o modelo $\hat{M}g = 3,0656 + 0,0425N - 0,00008 N^2$ ($R^2 = 0,64$). No terceiro corte, ocorreu significância para a interação doses de N x doses de S, representada pelo modelo $\hat{M}g = 4,0720 - 0,0130N + 0,00003N^2 - 0,0674S + 0,0013S^2 - 0,00009NS$ ($R^2 = 0,68$).

No segundo corte, a dose de N de 266 mg dm⁻³ resultou no teor máximo de Mg (3,4 g kg⁻¹) na parte aérea do capim. No terceiro corte, a combinação de 297 mg dm⁻³ de N com 35 mg dm⁻³ de S resultou no teor mínimo de Mg (0,96 g kg⁻¹) na parte aérea do capim.

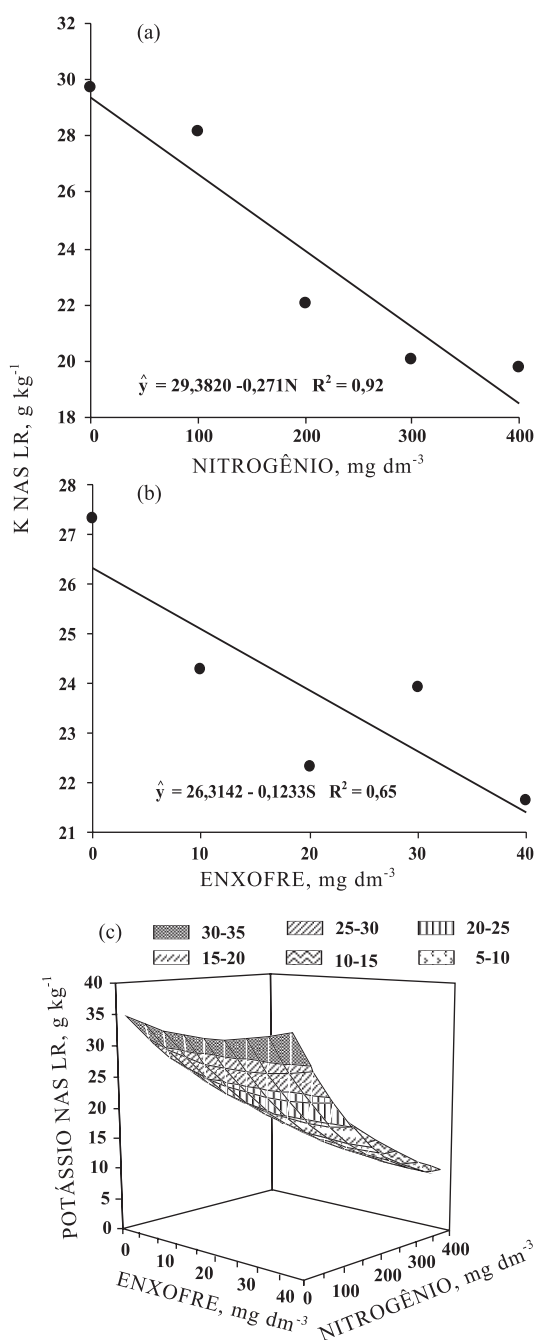
Esses resultados diferem dos observados por Costa et al. (2008), quando estudaram a adubação nitrogenada e potássica no teor de nutrientes do capim-xaraés e não observaram efeitos significativos das doses de N no teor de Mg na parte aérea do capim, em todos os cortes.

Teores de potássio, cálcio e magnésio nas lâminas de folhas recém-expandidas

Quanto ao teor de K nas lâminas de folhas recém-expandidas, não se observou significância para a interação doses de N x doses de S na ocasião do primeiro e segundo cortes, porém foi verificada significância para as doses individuais de N e de S (Figura 1a,b). Na ocasião do terceiro corte observou-se significância para as combinações de doses de N e de S, com os resultados ajustando-se ao modelo polinomial de regressão (Figura 1c).

Nas amostras colhidas no primeiro e segundo cortes, os teores de K em função das doses individuais de N e de S, respectivamente, ajustaram-se ao modelo linear de regressão. Em ambas as ocasiões, tanto o N quanto o S interferiram negativamente no teor de K nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim, pois, à medida que se aumentaram individualmente as doses desses nutrientes, houve redução no teor de K no tecido vegetal. Esse efeito da adubação nitrogenada pode ser explicado pelo efeito de diluição, devido ao rápido crescimento da forragem que recebeu as maiores doses de adubo nitrogenado. Resultados semelhantes foram também observados por Andrade et al. (2000), que, ao estudarem o teor de K nas lâminas foliares do capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) em combinações de doses de N e de K, constataram reduções no teor de K na lâmina foliar desse capim em razão do aumento das doses de N.

Para o primeiro corte, o teor de K nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim variou de 29 a 19 g kg⁻¹, à medida que se aumentaram as doses de N. No segundo corte, o teor de K nessas lâminas variou de 26 a 21 g kg⁻¹ à medida que se elevaram as doses de S. Werner et al. (1996) sugeriram que o teor adequado de K para brotações mais lâminas de folhas recém-expandidas no capim-marandu encontra-se na faixa de 15 a 30 g kg⁻¹.



$$\hat{y} = 35,0477 - 0,0938N + 0,00002N^2 - 0,2230S + 0,0056S^2 - 0,0009NS \quad (R^2 = 0,60)$$

Figura 1. Teor de potássio nas lâminas de folhas recém-expandidas (LR) do capim-marandu em função das doses de nitrogênio (a) e de enxofre (b) no primeiro e segundo cortes, respectivamente, e em função das combinações de doses de nitrogênio e de enxofre no terceiro corte (c).

Ferragine (1998), estudando as combinações de doses de N e de K no capim-braquiária, também observou que o teor de K nas folhas-diagnósticas diminuía com o aumento no suprimento de N.

Batista (2002) observou variação negativa no teor de K nas lâminas de folhas recém-expandidas coletadas

no segundo corte do capim-marandu, em resposta às doses de N em solução nutritiva. Entretanto, para o segundo corte não se observou significância da interação doses de N x doses de S, bem como para as doses individuais desses dois nutrientes.

O teor de Ca nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-marandu não mostrou significância para a interação doses de N x doses de S no material coletado nos três cortes das plantas. Entretanto, respostas significativas foram observadas para as doses individuais de N nas amostras de cada um dos três cortes do capim.

No primeiro corte, os teores de Ca nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-marandu ajustaram-se à equação de regressão linear (Figura 2a), o que evidencia a elevação no teor de Ca nesse tecido vegetal com o aumento na dose de N. Ao comparar o teor de Ca com os de K e Mg nesse tecido vegetal, observou-se efeito contrário da adubação nitrogenada, e isso pode justificar o aumento no teor de Ca. Segundo Marschner (1995), esses três macronutrientes catiônicos competem diretamente uns com os outros, de modo que a absorção de um poderia estar sendo beneficiada pela redução na absorção de outro.

Para o segundo corte da gramínea, na dose de N de 261 mg dm^{-3} obteve-se o teor mais elevado de Ca (10 g kg^{-1}) nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-marandu (Figura 2b), enquanto nas lâminas foliares do terceiro corte (Figura 2c), na dose de N de 237 mg dm^{-3} , observou-se o máximo teor de Ca ($7,4 \text{ g kg}^{-1}$).

Ao estudar o teor de Ca nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-marandu cultivado em solução nutritiva, Batista (2002) encontrou resultados diferentes dos observados neste trabalho, ao constatar que na ocasião do primeiro corte o teor de Ca variou em função das doses de S, ao passo que na ocasião do segundo corte foi significativa a interação doses de N x doses de S.

Quanto ao teor de Mg nas lâminas de folhas recém-expandidas, a interação doses de N x doses de S não foi significativa no material coletado nos três cortes dessa gramínea. Respostas significativas também não foram observadas para as doses individuais de S nas folhas diagnósticas colhidas no primeiro, segundo e terceiro cortes desse capim. Contudo, ocorreram respostas significativas às doses de N por ocasião dos três cortes, com os resultados ajustando-se ao modelo quadrático de regressão no primeiro e segundo cortes e ao modelo linear no terceiro corte (Figura 3).

Na dose de N de 310 mg dm^{-3} , verificou-se o teor máximo de Mg ($8,5 \text{ g kg}^{-1}$) nessas lâminas foliares na ocasião do primeiro corte (Figura 3a), enquanto a dose de N de 192 mg dm^{-3} respondeu pelo máximo teor de Mg ($3,6 \text{ g kg}^{-1}$) na ocasião do segundo corte (Figura 3b). Batista (2002) observou, para o teor de Mg no capim-marandu, resposta significativa às doses

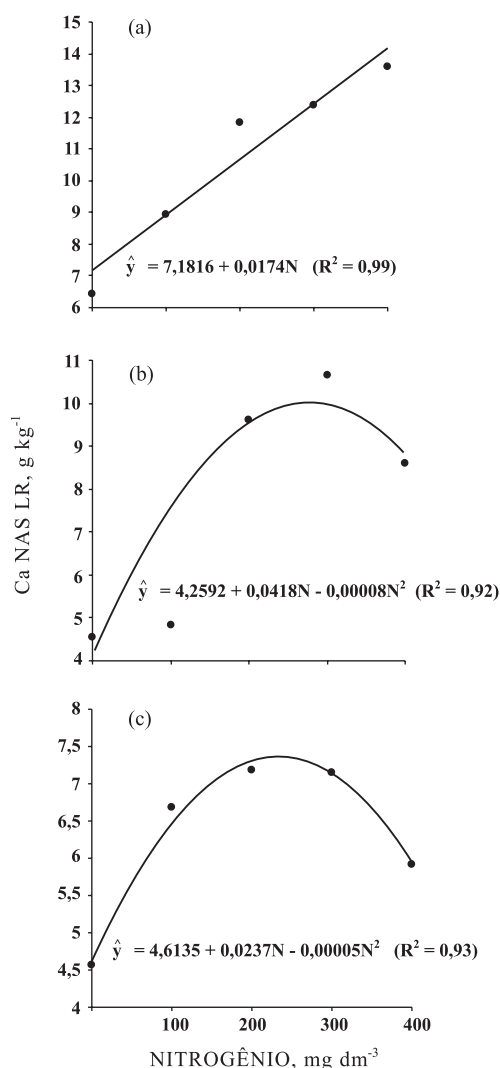


Figura 2. Teor de cálcio nas lâminas de folhas recém-expandidas (LR) do capim-marandu, no primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) cortes, em função das doses de nitrogênio.

de S na ocasião do primeiro corte e às doses de N quando do segundo corte dessa gramínea forrageira.

No terceiro corte, verificou-se efeito negativo das doses de N no teor de Mg, isto é, à medida que se aumentava o fornecimento de N, ocorria redução no teor de Mg nas lâminas de folhas recém-expandidas dessa gramínea (Figura 3c).

Verifica-se que houve diminuição no teor de Mg nas lâminas de folhas recém-expandidas ao longo do ciclo do capim do primeiro para o segundo e, posteriormente, do segundo para o terceiro corte, em função do aumento das doses de N. Como a produção de matéria seca foi incrementada do primeiro para o segundo e do segundo para o terceiro corte, pode-se atribuir a queda no teor de Mg ao efeito de diluição. Esse tipo de resposta também foi observado por Primavesi et al. (2006), estudando os nutrientes na

matéria seca do capim-marandu, em resposta a fontes e doses de N.

Soma total dos teores de cátions (STC) de cálcio, magnésio e potássio na matéria seca da parte aérea

As somas totais dos teores (STC) de Ca, Mg e K na matéria seca da parte aérea apresentaram significância para a interação doses de N x doses de S no capim colhido no primeiro e terceiro cortes, com os resultados ajustando-se ao modelo polinomial de regressão. Isso demonstra que um equilíbrio adequado entre esses pode interferir positiva ou negativamente nas somas totais dos teores de Ca, Mg e K. No segundo corte, observou-se resposta significativa às doses de N.

No primeiro corte, a soma total dos teores (STC) máximos, expressa em mmol_c kg⁻¹, desses três macronutrientes catiônicos (K, Ca e Mg) na parte aérea ocorreria com a combinação de doses de N e de S mais

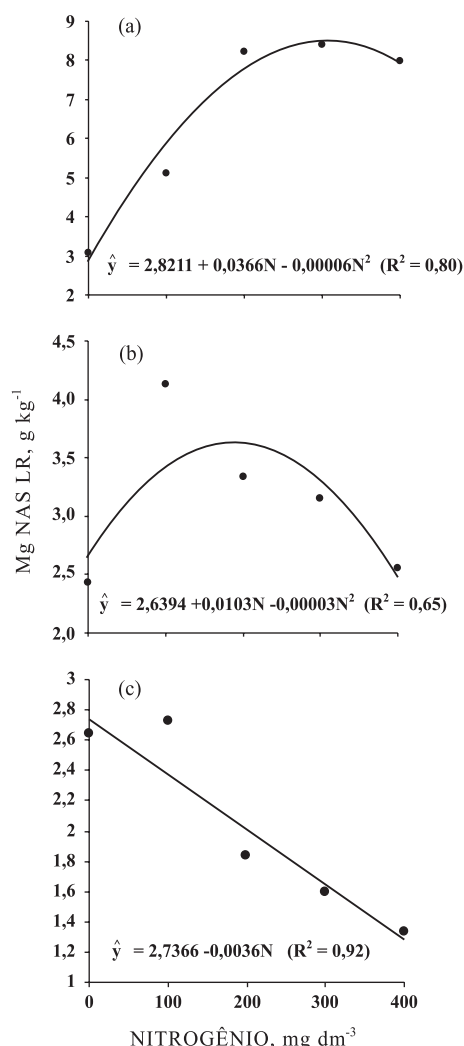


Figura 3. Teor de magnésio nas lâminas de folhas recém-expandidas (LR) do capim-marandu, no primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) cortes, em função das doses de nitrogênio.

elevadas que as máximas estudadas no presente experimento, conforme verificado no modelo $\text{STC} = 669,8567 + 3,5833\text{N} - 0,0056\text{N}^2 - 0,3899\text{S} - 0,0869\text{S}^2 + 0,0265\text{NS}$ ($R^2 = 0,78$). Coutinho et al. (2004) ressaltaram que tem sido mantida constante nas plantas a soma dos três cátions, com teores expressos em $\text{mmol}_c \text{kg}^{-1}$, o qual representa o total de carga positiva absorvida.

Na ocasião do segundo corte, a soma total dos teores de cátions ajustou-se ao modelo quadrático de regressão em relação às doses de N, conforme $\text{STC} = 610,2062 + 3,9076\text{N} - 0,0085\text{N}^2$ ($R^2 = 0,96$), e a soma total dos teores de cátions máximos ($1.059 \text{ mmol}_c \text{kg}^{-1}$) ocorreu na dose de N de 230 mg dm^{-3} . Para o terceiro corte, o modelo polinomial de regressão ($\text{STC} = 1149,4037 + 0,6403\text{N} + 0,00027\text{N}^2 - 38,8304\text{S} + 0,7874\text{S}^2 - 0,0410\text{NS}$; $R^2 = 0,61$) revelou ocorrência de ponto de sela, o que não permite a obtenção dos pontos de máximo ou mínimo teor. Segundo Consolmagno Neto (2006), a soma total dos teores dos três cátions na parte aérea do capim-tanzânia (*Panicum maximum* cv. Tanzânia) variou de 966 a $1.423 \text{ mmol}_c \text{kg}^{-1}$ no primeiro corte e de 930 a

$1.661 \text{ mmol}_c \text{kg}^{-1}$ no segundo, enquanto Lange (2007) observou que a soma total dos teores desses três cátions na parte aérea desse mesmo capim oscilou entre 971 e $1.225 \text{ mmol}_c \text{kg}^{-1}$ no primeiro corte e entre 897 a $1.249 \text{ mmol}_c \text{kg}^{-1}$ no segundo.

Proporções de cálcio, magnésio e potássio na matéria seca da parte aérea

No primeiro corte do capim-marandu, para as proporções de Ca, Mg e K na matéria seca da parte aérea, ficou evidente que o aumento nas doses de N, para qualquer das doses de S, favoreceu o aumento na proporção de Mg em relação às proporções de Ca e de K no tecido vegetal. A combinação entre as doses de N de 300 mg dm^{-3} e de S de 30 mg dm^{-3} (Figura 4) resultou na maior proporção de Mg (54,9 %), em relação às de Ca (37,2 %) e K (7,9 %).

No material colhido no segundo e no terceiro corte, as proporções de Ca, Mg e K na matéria seca da parte aérea apresentaram variações similares, com aumento na proporção de Ca em relação às de K e Mg mediante o incremento nas doses de N, para qualquer das doses de S (Figuras 5 e 6).

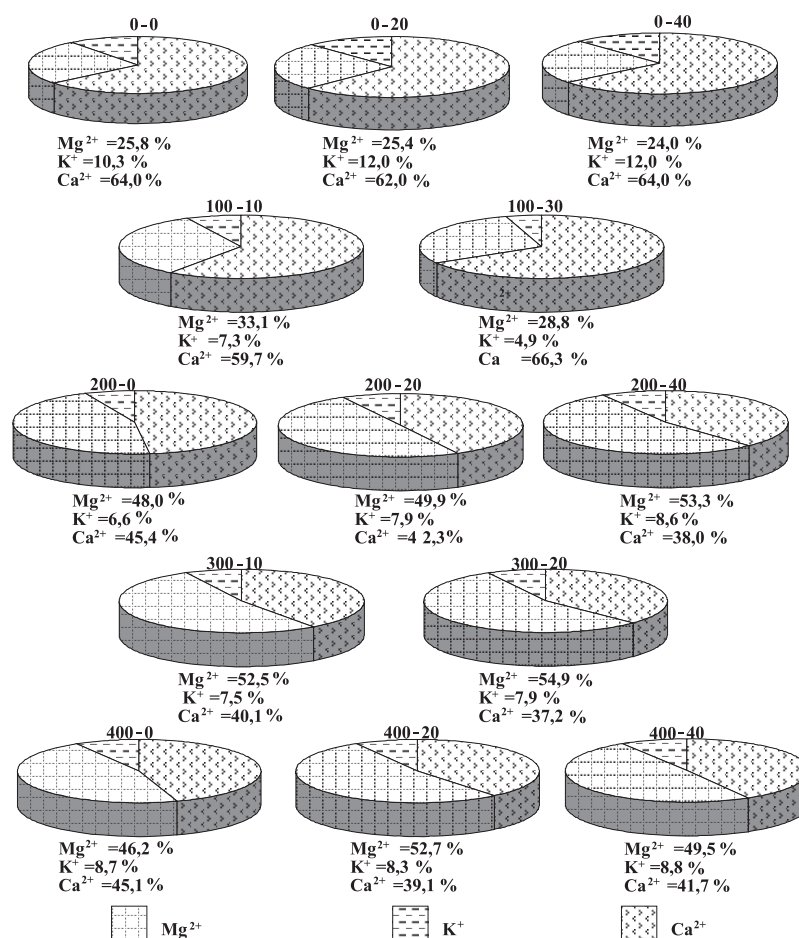


Figura 4. Proporções de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} no teor total ($\text{mmol}_c \text{kg}^{-1}$) desses três macronutrientes na parte aérea do capim-marandu, no primeiro corte, em função das 13 combinações de doses de N e de S.

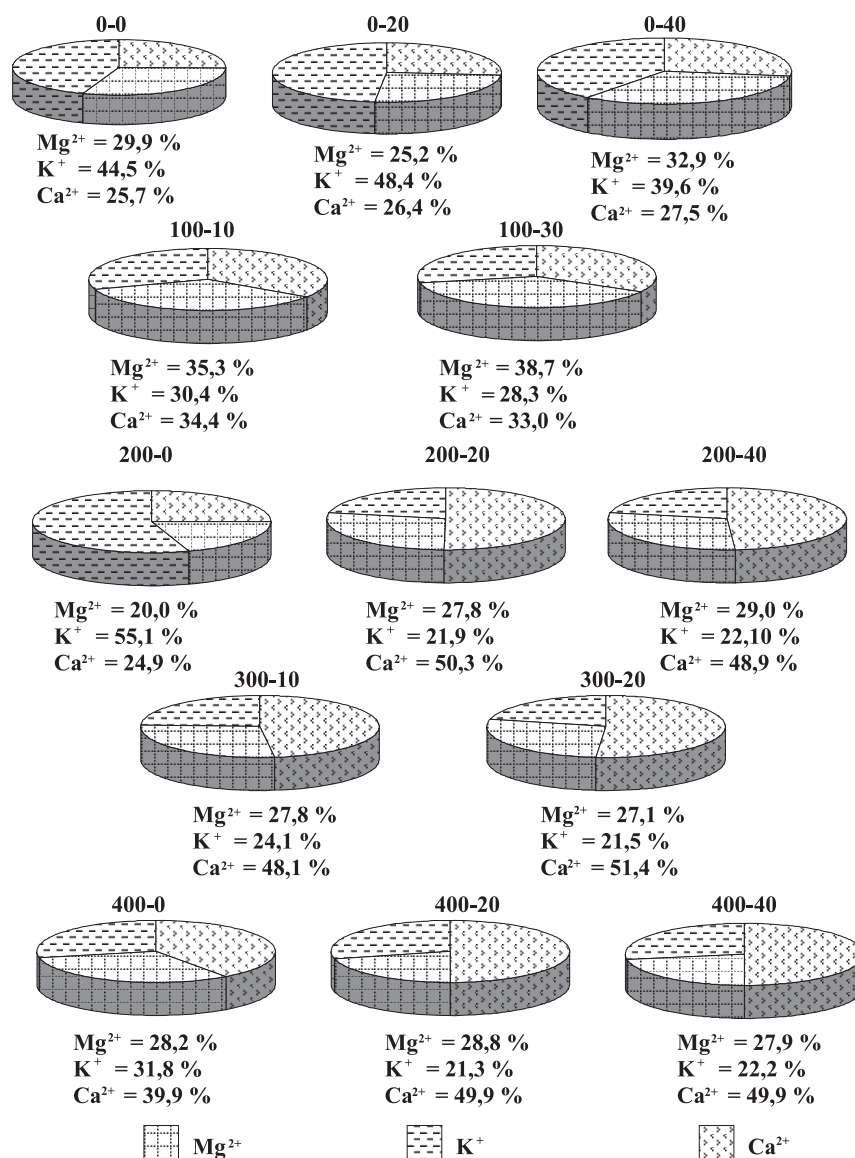


Figura 5. Proporções de K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ no teor total (mmol kg⁻¹) desses três macronutrientes na parte aérea do capim-marandu, no segundo corte, em função das 13 combinações de doses de N e de S.

No segundo corte (Figura 5), observou-se que na dose de N de 300 mg dm⁻³ e de S de 30 mg dm⁻³ houve maior proporção de Ca (51,4 %) em relação às proporções de Mg (27,1 %) e de K (21,5 %). No material vegetal do terceiro corte do capim, verificou-se que na não aplicação de N e na presença de S (40 mg dm⁻³) a proporção de K (60,7 %) era maior que as de Ca (18,4 %) e Mg (20,9 %) (Figura 6). Esses resultados comprovam o que foi relatado por Marschner (1995): cátions como K e Ca competem efetivamente com Mg e diminuem sua absorção.

Consolmagno Neto (2006), analisando as proporções de Ca, Mg e K na matéria seca da parte aérea do capim-tanzânia, em dois cortes, revelou que as percentagens de K no total dos três macronutrientes oscilaram entre

53 e 82 %, enquanto as percentagens de Mg corresponderam a 19 e 22 %.

As proporções de Ca, Mg e K na matéria seca da parte aérea do capim-tanzânia, nos dois crescimentos, também foram analisadas por Lange (2007), o qual observou que 22 e 25 % da soma total dos teores de cátions são atribuídos ao Mg.

Em estudo da absorção de cátions e ânions pelo capim-coastcross (*Cynodon* spp.) adubado com doses de N até 200 kg ha⁻¹ por corte, nas fontes de ureia e nitrato de amônio, Primavesi et al. (2005) verificaram que as doses de N propiciaram aumentos nos teores de K, Ca e Mg no tecido da planta, os quais foram maiores para o teor de K.

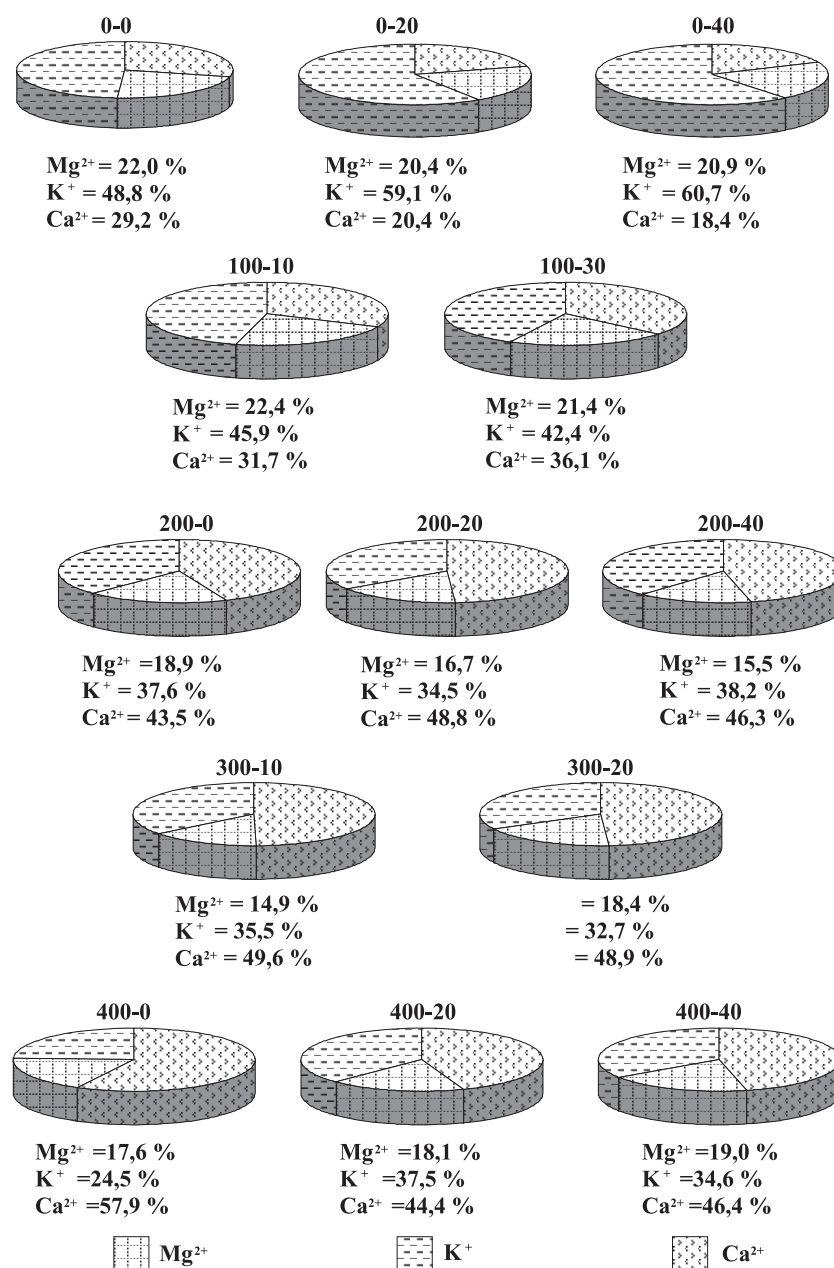


Figura 6. Proporções de potássio K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ no teor total (mmolc kg⁻¹) desses três macronutrientes na parte aérea do capim-marandu, no terceiro corte, em função das 13 combinações de doses de N e de S.

CONCLUSÕES

1. O fornecimento de N na adubação influenciou os teores de Ca e de Mg na parte aérea do capim-marandu.
2. O suprimento de N alterou positivamente as proporções de Ca e de Mg e negativamente a proporção de K na parte aérea do capim-marandu.
3. As adubações com N e com S influenciaram negativamente o teor de K nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-marandu.

LITERATURA CITADA

- ANDRADE, C.S.; FONSECA, D.M.; GOMIDE, J.A.; ALVAREZ V., V.H.; MARTINS, C.E. & SOUZA, D.P.H. Produtividade e valor nutritivo do capim-elefante cv. napier sob doses crescentes de nitrogênio e potássio. R. Bras. Zootec., 29:1589-1595, 2000.
- BATISTA, K. Respostas do capim-marandu a combinações de doses de nitrogênio e enxofre. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2002. 91p. (Tese de Mestrado)

- BONFIM DA SILVA, E.M. Nitrogênio e enxofre na recuperação de pastagem de capim-braquiária em degradação em Neossolo Quartzarênico com expressiva matéria orgânica. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2005. 123p. (Tese de Doutorado)
- BÜLL, L.T.; VILLAS BÔAS, R.L. & NAKAGAWA, J. Variações no balanço catiônico do solo induzidas pela adubação potássica e efeitos na cultura do alho vernalizado. *Sci. Agric.*, 55:157-163, 1998.
- CONSOLMAGNO NETO, D. Combinação de doses de potássio e magnésio na produção e nutrição mineral do capim-tanzânia. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2006. 82p. (Tese de Mestrado)
- CONLEY, M.E.; PAPAROZZI, E.T. & STROUP, W.W. Leaf anatomical and nutrient concentration responses to nitrogen and sulfur applications in poinsettia. *J. Plant Nutr.*, 25:1773-1791, 2002.
- COSTA, K.A.; OLIVEIRA, I.P.; FAQUIN, V.; FIGUEIREDO, F.C.; RODRIGUES, C.R. & NASCIMENTO, P.P. Adubação nitrogenada e potássica na concentração de nutrientes do capim-xaraés. *Ci. An. Bras.*, 9:86-92, 2008.
- COUTINHO, E.L.M.; SILVA, A.R. & MONTEIRO, F.A. Adubação potássica em forrageiras. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 21., Piracicaba, 2004. Anais. Piracicaba, FEALQ, 2004. p.219-277.
- FAQUIN, V.; CURI, N.; MARQUES, J.J.G.S.M.; TEIXEIRA, W.G.; EVANGELISTA, A.R.; SANTOS, D. & CARVALHO, M.M. Limitações nutricionais para gramíneas forrageiras em Cambissolo álico da microrregião Campos da Mantiqueira-MG, Brasil. 2. Nutrição em macro e micronutrientes. *Past. Trop.*, 17:17-22, 1995.
- FERRAGINE, M.D.C. Combinação de doses de nitrogênio e potássio na nutrição mineral de capim-braquiária. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1998. 84p.
- HOFFMANN, C.R. Nutrição mineral e crescimento da braquiária e do colônia, sob influência das aplicações de nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre em Latossolo da região noroeste do Paraná. Lavras, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1992. 204p. (Tese de Mestrado)
- HOPKINS, A.; ADAMSON, A.H. & BOWLING, P.J. Response of permanent and reseeded grassland to fertilizer nitrogen: 2. Effects on concentrations of Ca, Mg, K, Na, S, P, Mn, Zn, Cu, Co and Mo in herbage at a range of sites. *Grass Forage Sci.*, 49:9-20, 1994.
- LANGE, J.L. Suprimento combinado de fósforo e magnésio para a produção e nutrição do capim-tanzânia. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2007. 78p. (Tese de Mestrado)
- LAVRES JUNIOR, J. Combinações de doses de nitrogênio e potássio para o capim-mombaça. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2001. 103p. (Tese de Mestrado)
- LITTELL, R.C. & MOTT G.O. Computer assisted design and analysis of response surface experiments in agronomy. *Soil Crop Sci. Soc. Fla. Proc.*, 34:94-97, 1975.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2.ed. London, Academic Press, 1995. 889p.
- MENGEL, K. & KIRKBY, E. Principles of plant nutrition. 5.ed. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2001. 849p.
- MONTEIRO, F.A.; RAMOS, A.K.B.; CARVALHO, D.D.; ABREU, J.B.R.; DAIWB, J.A.S.; SILVA, J.E.P. & NATALE, W. Cultivo de *Brachiaria brizantha* Stapf. cultivar Marandu em solução nutritiva com omissão de macronutrientes. *Sci. Agric.*, 52:135-141, 1995.
- PRIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L.A.; CANTARELLA, H. & SILVA, A.G. Absorção de cátions e ânions pelo capim-coastcross adubado com ureia e nitrato de amônio. *Pesq. Agropec. Bras.*, 40:247-253, 2005.
- PRIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L.A.; SILVA, A.G. & CANTARELLA, H. Nutrientes na fitomassa de capim-marandu em função de fontes e doses de nitrogênio. *R. Ci.Agrotec.*, 30:562-568, 2006.
- RAIJ, B.van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S. & BATAGLIA, O.C. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 170p.
- SANTOS, A.R. Diagnose nutricional e respostas do capim-braquiária submetido a doses de nitrogênio e enxofre. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1997. 115p.
- SANTOS JUNIOR, J.D.G. Dinâmica de crescimento e nutrição do capim-marandu submetido a doses de nitrogênio. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2001. 79p. (Tese de Mestrado)
- SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. Análises químicas em plantas. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1974. 56p.
- SAS Institute. The SAS-system for Windows: Release 6.08 (software). Cary, 1996.
- WERNER, J.C. Adubação de pastagens. Nova Odessa, Instituto de Zootecnia, 1986. 49p. (IZ. Boletim Técnico, 18)
- WERNER, J.C.; PAULINO, V.T. & CANTARELLA, H. Forrageiras. In: RAIJ, B.van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C., eds. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônomico de Campinas, 1996. p.263-273 (Boletim Técnico, 100)
- WHITEHEAD, D.C. Nutrient elements in grassland soil-plant-animal relationships. New York, CABI Publishing, 2000. 369p.

