

JOSEANE OLIVEIRA DA SILVA

**INFLUÊNCIA DA CAPACIDADE DE TROCA CATIONICA RADICULAR
DE GRAMÍNEAS E LEGUMINOSAS FORRAGEIRAS NA ABSORÇÃO
DE CÁTIOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2003**

JOSEANE OLIVEIRA DA SILVA

**INFLUÊNCIA DA CAPACIDADE DE TROCA CATIONICA RADICULAR
DE GRAMÍNEAS E LEGUMINOSAS FORRAGEIRAS NA ABSORÇÃO
DE CÁTIOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 03 de novembro de 2003

Ivo Ribeiro da Silva

Nairam Félix de Barros
(Conselheiro)

Hermínia Emília Pietro Martinez

Victor Hugo Alvarez Venegas

Reinaldo Bertola Cantarutti
(Orientador)

A Deus,
À minha família, em especial à minha mãe,
Ao meu noivo,
Aos meus amigos,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado forças para enfrentar todas as dificuldades e por estar sempre presente em minha vida.

Aos meus pais, Clarice e José e meus irmãos Tácio e Taciano, pelo incansável incentivo e por acreditarem em meu potencial.

A Felizardo, pela compreensão, pela ajuda nos momentos mais difíceis, pelo amor, enfim, por tudo.

À coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao meu orientador Prof. Reinaldo Bertola Cantarutti, pela amizade, pelos ensinamentos e pela orientação durante a realização deste curso, principalmente na etapa final deste trabalho.

Aos professores Júlio César Lima Neves e Nairam Félix de Barros, pelas valiosas sugestões.

Aos professores Ivo Ribeiro da Silva, Hermínia Emília P. Martinez e Víctor Hugo Alvarez Venegas, pelas críticas e sugestões.

Aos funcionários do Departamento de Solos, que contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao professor Anacleto pelos ensinamentos e pela experiência que contribuíram para que meu objetivo fosse alcançado.

A Enilton e D. Ilda pela amizade, pelo apoio e por terem me acolhido na chegada em Viçosa.

À minha grande e eterna amiga Alice, pelo apoio nos momentos difíceis.

A Edivaldo Pinheiro pela amizade, incentivo e apoio.

Às amigas Fabrícia (Tia Fau), Ane (Ane-mal), pelos momentos felizes e de muitas risadas em Viçosa.

A Dani, Nice, Carol e Luana, pela amizade, pelo convívio e pelos bolinhos de chuva aos domingos.

A Alexandre Paiva, pela amizade e ajuda na fase final deste trabalho.

A todos os colegas do curso, pelo companheirismo.

A todos que, embora não mencionados, contribuíram para a realização deste trabalho.

Meu muito obrigada!!!

BIOGRAFIA

JOSEANE OLIVEIRA DA SILVA, filha de José Carlos Mascarenhas da Silva e Clarice Oliveira da Silva, nasceu em 23 de outubro de 1978, na cidade de Santo Antônio de Jesus - Bahia.

Em outubro de 1996, ingressou para a Graduação no curso de Agronomia, pela Universidade Federal da Bahia, sendo bolsista de Iniciação Científica de 1998 a 2001, colando grau em setembro de 2001.

Foi admitida em agosto de 2001 no curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas, na Universidade Federal de Viçosa-MG, submetendo-se à defesa de tese em 03 de novembro de 2003.

CONTEÚDO

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
3. MATERIAL E MÉTODOS	3
3.1. . Determinação preliminar da CTC radicular de gramíneas e leguminosas	6
3.2. Cinética de absorção de cátions por gramíneas e leguminosas com CTC distintas	7
3.3. Absorção de cátions por gramíneas e leguminosas com diferente CTC radicular consorciadas	9
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
4.1. Capacidade de troca catiônica das raízes de gramíneas e leguminosas	11
4.2. Cinética de absorção de cátions por leguminosas e gramíneas forrageiras com diferente CTC radicular distintas	13
4.3. Absorção de cátions por gramíneas e leguminosas consorciadas	20
5. CONCLUSÕES	27
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28
APÊNDICE	31

RESUMO

SILVA, JOSEANE OLIVEIRA DA, Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2003. **Influência da capacidade de troca catiônica radicular de gramíneas e leguminosas forrageiras na absorção de cátions.** Orientador: Reinaldo Bertola Cantarutti. Conselheiros: Júlio César Lima Neves e Nairam Félix de Barros.

A capacidade de troca catiônica (CTC) das raízes é um dos fatores que determina a diferença entre as espécies vegetais quanto a absorção de nutrientes catiônicos. Para uma determinada concentração de cátions, raízes com alta CTC adsorvem relativamente mais Ca^{2+} e Mg^{2+} e menos cátions monovalentes, como K^+ , e o inverso ocorre com raízes com menor CTC. Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da CTC radicular de gramíneas e leguminosas sobre a absorção de NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} por meio dos parâmetros da cinética de absorção e por meio da absorção competitiva entre gramíneas e leguminosa consorciadas. Com base na CTC radicular, previamente determinadas, foram selecionadas as gramíneas *Brachiaria brizantha* (13,85 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), Braquiária híbrida cv. Mulato (11,23) e *Panicum maximum* cv. Tanzânia (12,03) e as leguminosas *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão (31,91), *Arachis pintoii* cv. Belmonte (34,96) e *Leucaena leucocephala* (28,84 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$). O primeiro experimento foi realizado na câmara de crescimento com fotoperíodo de 12 horas e temperatura em torno de 20 °C, em que a absorção de NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} foi avaliada por meio da depleção de suas concentrações na solução nutritiva durante 24 horas. Os tratamentos

consistiram das seis espécies (três gramíneas e três leguminosas), dispostos em desenho de blocos casualizados com três repetições. No segundo experimento, conduzido em casa-de-vegetação, os tratamentos resultaram da combinação fatorial entre três gramíneas (*Brachiaria brizantha*, Braquiária híbrida cv. Mulato e *Panicum maximum* cv. Tanzânia) e duas leguminosas (*Arachis pintoii* cv. Belmonte e *Leucaena leucocephala*), sendo distribuídos em delineamento inteiramente casualizados com três repetições. Tendo-se como referência a quantidade de cátions removida do espaço livre de Donnan de raízes frescas, por meio de HCl 0,01 mol L⁻¹, observou-se que o uso de raízes secas e moídas é eficiente para caracterizar a CTC radicular. As leguminosas apresentaram, em média, CTC radicular significativamente maior. Os parâmetros das cinéticas de absorção, estabelecidas simultaneamente, não foram efetivos para discriminar a absorção de NH₄⁺, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺, de acordo com a CTC radicular. No cultivo consorciado o *Arachis pintoii* mostrou-se o mais competitivo pelo K quando em consorciação com a *B. brizantha*.

ABSTRACT

SILVA, JOSEANE OLIVEIRA DA, Federal University of Viçosa, November of 2003. **Influence of the root cation exchange capacity of grasses and leguminous forages in the cations absorption.** Advisor: Reinaldo Bertola Cantarutti. Committee Members: Júlio César Lima Neves and Nairam Félix de Barros.

The cations exchange capacity (CEC) is one of those factors responsible by different absorption of cations nutrients by vegetable species. For a given cations concentration, roots with high CEC uptake relatively more Ca^{2+} and Mg^{2+} and less monovalents cations, like K^+ , otherwise happens with roots of lower CEC. This research evaluated the influence of root grasses and legumes CEC on the absorption of NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} using absorption kinetics parameter and the competitive absorption between intercropped grasses and legumes. By root CEC previously established was selected the grasses *Brachiaria brizantha* (13,85 cmolc kg^{-1}), Braquiária híbrida cv. Mulatto (11,23) and *Panicum maximum* cv. Tanzania (12,03) and the legumes *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão (31,91), *Arachis pintoi* cv. Belmonte (34,96) and *Leucaena leucocephala* (28,84 cmolc kg^{-1}). The first experiment was accomplished in the growth camera, with photoperiod of 12 hours and temperature around 20 °C. The NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} absorption was evaluated through depletion in your concentrations in the nutritious solution at the 24 hours. In this experiment, the treatments were compounded by six species (three grasses and three legumes), disposed in randomized blocks

design with three repetitions. An second experiment was carried out in greenhouse. The treatments were composed by factorial combination between three grasses (*Brachiaria brizantha*, Braquiária hybrid cv. Mulatto and *Panicum maximum* cv. Tanzania) and two leguminous (*Arachis pintoii* cv. Belmonte and *Leucaena leucocephala*), being distributed entirely randomized layout with three repetitions. The results showed that the procedure of determination CEC with dry and crushed roots was equivalent at the cations removed of the Donnan's space by HCl 0,01 mol L⁻¹. The CEC of the root legumes were statistically bigger that of the root grasses. The parameters of the kinetics of absorption ,simultaneous establishment, weren't effective to discriminate the absorption of NH₄⁺, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ the according to root CEC. In the intercropped grasses and legumes, the *Arachis pintoii* showed the most competitive by K instead of intercropped with *B. brizantha*.

1. INTRODUÇÃO

A competição por nutrientes é um dos fatores determinantes da compatibilidade entre gramíneas e leguminosas e fator preponderante na manutenção de seus consórcios. As gramíneas parecem ser mais eficientes na absorção de cátions monovalentes e as leguminosas de cátions divalentes, o que tem sido atribuído às diferenças na capacidade de troca catiônica (CTC) das raízes (Gray et al, 1953).

A CTC radicular é caracterizada pelo conjunto de cargas negativas, presentes na parede celular e na face externa da membrana plasmática, originada, principalmente, da dissociação dos grupos carboxílicos dos ácidos D-galacturônicos das moléculas de pectina, bem como da celulose e hemicelulose da parede celular (Haynes, 1980).

Embora Devaux em 1916 tenha descoberto a propriedade da CTC do sistema radicular, sua influência na capacidade de absorção de cátions pelas plantas, principalmente naquelas cultivadas, foram mais freqüentes nas décadas de 60 e 70. Desde então, poucos trabalhos têm focado esta questão, embora mais recentemente a CTC radicular tenha sido relacionada à tolerância das plantas ao alumínio.

Fundamentando-se na hipótese de que plantas com maior CTC radicular são mais eficientes na absorção de cátions divalentes, este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da CTC radicular de gramíneas e leguminosas forrageiras consorciadas sobre a absorção de NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} .

2. REVISÃO DE LITERATURA

As raízes possuem cargas negativas que conferem capacidade de troca de cátions (CTC). Essas cargas estão localizadas, principalmente no espaço livre de Donnan ou apoplasto, correspondendo à parte do tecido radicular onde os íons são trocados rapidamente com a solução do solo. A CTC radicular foi constatada pela primeira vez por Devaux (1916), sendo atribuída a pectoses na parede dos pêlos radiculares.

Para caracterizar o espaço livre de Donnan, primeiramente, tem que se considerar que a parede celular é constituída por celulose e uma matriz com ampla variedade de polissacarídeos e outros compostos (hemiceluloses, pectinas e proteínas) (Haynes, 1980). Aceita que o espaço livre de Donnan das raízes é eletrostaticamente ativo, devido a pontos de cargas negativas expostas por grupos carboxílicos livres de substâncias pécticas associadas com celulose, hemicelulose e lignina, que agem como trocadores de cátions (Gray et al, 1953; Pitman, 1965).

Keller & Deuel (1957), citados por Haynes (1980), relataram que 70-90 % da CTC das raízes devem-se aos grupos carboxílicos livres das pectinas. De acordo com Drover (1972), a celulose e as proteínas contribuem com 10 a 30 % da CTC das raízes não atribuída às substâncias pécticas. Essas substâncias são macromoléculas complexas, contendo predominantemente ligações α -1,4-D-ácido galacturônico, que podem ser extensivamente ramificadas (Blamey et al., 1990). De acordo com Crooke & Knight (1962), 10% do peso seco, da parede celular, era composto de ácido urônico. Posteriormente, Pitman (1965) constatou que os sítios de troca presentes na

parede celular dependem não somente da pectina, mas também dos ácidos urônicos.

Plantas de cevada cultivada durante 12 dias, apresentaram redução da CTC com a idade, o que pode ser atribuído às alterações durante o crescimento secundário da parede celular, causadas pela diminuição de pectatos e acúmulo de lignina (Helmy & Elgabaly, 1958). Segundo estes autores, as substâncias pécticas constituem cerca de 50% do material da parede celular em tecidos jovens, mas reduzem para 0,5 a 1,5% nos tecidos maduros. Assim, as contribuições relativas da pectina, celulose e proteínas para a CTC das raízes variam com a espécie e, sobretudo, com a idade da planta.

Asher & Ozanne (1961) constataram CTC radicular de 25,6 e 6,3 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ de matéria seca para trevo subterrâneo (*Trifolium subterraneum* var. Dwalganup) e trigo (*Triticum vulgare* Vill. Var. Bungulla), respectivamente, evidenciando as diferenças interespecíficas.

Além das variações entre espécies, ou linhagens e idade da planta, a CTC radicular também é influenciada pela disponibilidade de N no substrato (Castellane & Fontes, 1983). De acordo com estes autores, modificações químicas e morfológicas nas raízes, induzidas pela adubação nitrogenada aumentam a CTC radicular, o que influencia, segundo McLean et al. (1956), a competitividade das plantas pelo potássio, cálcio e magnésio.

Blaser & Brady (1950), combinando as doses 0,56 e 112 kg ha^{-1} de N com 0,84 e 168 kg ha^{-1} de K_2O em pasto consorciado contendo de “trevo ladino” (5 %), “timothygrass” (*Phleum pratense*) 60 %, de “Kentucky bluegrass” (*Poa pratensis*) 20%, de “quackgrass” 10%, observaram que as doses 56 e 112 kg ha^{-1} de N favoreceram a remoção de maiores quantidades de K pelas gramíneas. Isto foi atribuído ao efeito da adubação nitrogenada no desenvolvimento das gramíneas. Drake et al. (1951) atribuíram a degradação de pastagens ao aumento de espécies indesejáveis na competição por nutrientes entre espécies.

A CTC da raiz também é influenciada por substâncias inibidoras e promotoras de crescimento, sendo que estas promovem a divisão e alongamento celular e novas formações radiculares (Helmy & Elgabaly, 1958).

Além da expansão da superfície radicular, pêlos radiculares e raízes jovens são revestidos com uma camada de mucilagem (Jenny, 1966), polissacarídeo altamente hidratado, carregado negativamente (Campbell & Rovira, 1974; Dayan et al., 1977), podendo exercer alguma seletividade na absorção de íons pelas plantas.

A CTC determina a distribuição relativa dos íons mono e divalentes na composição mineral das plantas. Isto significa que, para uma determinada concentração de cátions, raízes com alta CTC adsorvem relativamente mais Ca^{2+} e Mg^{2+} e menos cátions monovalentes como K^+ , e o inverso ocorre com raízes de baixa CTC (Gray et al., 1953). Segundo estes autores, isto se explica pela maior energia de ligação das raízes de alta CTC com cátions divalentes, enquanto que as raízes de menor CTC têm maior energia de ligação com cátions monovalentes. McLean & Baker (1953) determinaram ser a energia de ligação de Ca com raízes de alfafa de 6.474,82 J e de K 2.808,96 J e 6.913,72 J e 2,791,98 J com raízes de soja, respectivamente. Além do mais, transportadores de íons presentes na membrana plasmática também contribuem para a absorção de íons.

Há evidências de que a CTC das raízes determina a proporção de absorção de cátions por gramíneas e leguminosas em consorciação. O conhecimento desta característica possibilita combinar gramíneas e leguminosas mais compatíveis sob aspecto nutricional, sobretudo em condições de baixa fertilidade (Drake et al., 1951), e compensar determinadas incompatibilidades mediante o manejo estratégico da fertilização.

Drake et al. (1951) constataram que “smooth brome grass” (*Bromus inermis*) foi uma das gramíneas mais compatíveis, tanto com a alfafa como com o trevo ladino (*Trifolium repens*), enquanto a “orchard grass” e “Kentucky bluegrass” (*Poa pratensis*) foram menos compatíveis. Resultado semelhante foi encontrado por Gray et al. (1953), ao avaliarem a absorção diferencial de cátions por plantas com diferentes CTC radicular, cultivadas sob diferentes doses de K^+ , e concluíram que a absorção do K^+ variou de forma linear com a CTC radicular. “Smooth brome grass” (*Bromus inermis*) com 24 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e “bentgrass” com 16 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de CTC radicular foram às gramíneas, respectivamente, mais e menos compatíveis com “trevo ladino” (*Trifolium*

repens; CTC de 43 cmol_c kg⁻¹). McLeod (1965) observou, por meio do teor de K⁺ na parte aérea da alfafa que a sua competição pelo nutriente, quando consorciada com “bromegrass” (*Bromus spp*), “orchardgrass” e “timothygrass” (*Phleum pratense*) em casa-de-vegetação, diminuiu com as adições de doses crescentes de K (67, 135 e 270 kg ha⁻¹ de K₂O).

Klein & Horst (2003) ressaltam que a maior repercussão dos estudos da CTC radicular se deu nas décadas de 50 e 60, pelo fato de que muitas pesquisas investigaram, entre outros fatores, a magnitude da CTC para um grande número de plantas agrícolas. Mais recentemente, no entanto, tem-se dado ênfase à influência da CTC sobre a tolerância de espécies ao Al (Blamey et al., 1992; Yang & Goulart, 2000; Klein & Horst, 2003).

Diante do exposto, é evidente a importância da CTC radicular para a absorção de íons pelas plantas. Considerando-se a falta de trabalhos mais recentes, a retomada destes estudos poderá trazer novas contribuições. Constatou-se, por exemplo, que há necessidade de padronizar o método de determinação da CTC radicular, de determinar indicadores da influência da CTC sobre a competição nutricional, assim como de acumular conhecimento que subsidie o manejo da adubação de pastagens consorciadas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Determinação preliminar da CTC radicular de gramíneas e leguminosas

Com o objetivo de selecionar gramíneas e leguminosas contrastantes quanto à CTC radicular, para serem usados nos experimentos posteriores, foram utilizadas as gramíneas forrageiras: *Brachiaria humidicola*, *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria brizantha* cv. Toledo, *Brachiaria* híbrida¹ cv. Mulato e *Panicum maximum* cv. Tanzânia e as leguminosas forrageiras *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão, *Arachis pintoii* cv. Belmonte, *Leucaena leucocephala* e *Desmodium ovalifolium* cv. Itabela. Sementes das gramíneas e leguminosas foram germinadas em bandejas plásticas contendo areia lavada, à exceção do *A. pintoii* que foi multiplicado a partir do enraizamento de segmentos de estolões. Após a germinação e o enraizamento, as plantas receberam solução de Steiner modificada, diluída com as concentrações de 15 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de NH_4^+ ; 45 de NO_3^- ; 5,0 de H_2PO_4^- ; 17,5 de SO_4^{2-} ; 35 de K^+ ; 22,5 de Ca^{+2} ; 10 de Mg^{+2} e 0,23 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de B; $1,5 \times 10^{-3}$ de Cu; 0,18 de Mn; $2,5 \times 10^{-3}$ de Mo; $7,5 \times 10^{-3}$ de Zn e 0,225 de Fe, até que atingiram a altura de 5 a 10 cm. A partir daí, elas foram transplantadas para floreiras com dimensões de 50 cm x 19 cm x 18 cm, contendo 8 L da mesma solução.

Após 30 dias, coletaram-se as plantas, destacando-se as raízes que foram secadas em estufa a 65° C, com circulação forçada de ar por 48 horas, sendo então trituradas e passadas em peneira de 0,841 mm (20 mesh).

¹ Produto da hibridação natural entre *Brachiaria ruziziensis* CIAT 44-6 e *B. brizantha* cv. Marandú, realizado pelo Centro Internacional de Agricultura Tropical, Colômbia.

A CTC radicular foi determinada segundo Crooke (1964). O método consistiu em saturar a CTC de 200 e 100 mg de raízes de gramíneas e leguminosas, respectivamente, com H^+ usando 200 ml de HCl 0,01 mol L⁻¹. A mistura foi agitada por 5 minutos e depois posta para decantar. Em seguida, a mistura foi filtrada, restando-se as raízes no papel de filtro, lavando-se o excesso do ácido com água destilada. Os íons H^+ adsorvidos às cargas negativas das raízes foram removidos com 200 mL de uma solução de KCl 1 mol L⁻¹ pH 7,0. A quantidade de H^+ adsorvido foi determinada por titulação da solução de KCl com KOH 0,01 mol L⁻¹ até o pH retornar a 7,0. A CTC radicular (CTC_{MS}) foi expressa em cmol_c kg⁻¹, com base na matéria seca (MS).

3.2. Cinética de absorção de cátions por gramíneas e leguminosas com CTC distintas

De acordo com a CTC radicular determinada anteriormente, foram selecionadas as gramíneas *Brachiaria híbrida* cv. Mulato, *Panicum maximum* cv. Tanzânia e *Brachiaria brizantha* com CTC de 13,50; 14,45 e 14,55 cmol_c kg⁻¹, respectivamente, e as leguminosas *Leucaena leucocephala*, *Arachis pintoi* cv. Belmonte e *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão com 29,70; 32,70 e 35,60 cmol_c kg⁻¹ de CTC, respectivamente.

Inicialmente, as sementes foram germinadas e o material vegetativo do *A. pintoi* foi enraizado em bandejas plásticas contendo areia lavada em casa de vegetação. As plântulas foram irrigadas com solução nutritiva de Hoagland & Arnon, (Martinez, 2002), composta por 1 mmol L⁻¹ de NH_4^+ ; 14 de NO_3^- ; 1 de $H_2PO_4^-$; 2 de SO_4^{2-} ; 6 de K^+ ; 4 de Ca^{+2} ; 2 de Mg^{+2} e 46 μ mol L⁻¹ de B; 0,3 de Cu; 12,6 de Mn; 0,1 de Mo; 1,3 de Zn e 90 de Fe. Decorrido quinze dias, as plântulas foram transferidas para vasos plásticos com capacidade para 10 L, contendo a mesma solução com pH 5,5 \pm 0,2, corrigido com HCl ou NaOH 0,5 mol L⁻¹, com aeração contínua e renovação a cada 5 dias. Após aproximadamente 30 dias, as três plantas de cada espécie foram selecionadas quanto à uniformidade de tamanho e utilizadas para determinação da CTC radicular segundo o método descrito anteriormente. As plantas que possuem o

mesmo estágio de desenvolvimento foram usadas no experimento de cinética de absorção de cátions.

Os tratamentos consistiram de seis espécies forrageiras (três gramíneas e três leguminosas), dispostos em blocos casualizados, com três repetições.

As plantas foram transferidas para vasos plásticos com 10 L da solução de Hoagland & Arnon (Martinez, 2002), com um quarto de sua concentração e levadas para aclimação por 48 horas em câmara de crescimento, com fotoperíodo de 12 horas e temperatura em torno de 20° C.

Após a aclimação, as plantas foram imediatamente transferidas para recipientes contendo água destilada, onde permaneceram por mais 48 horas sem o suprimento de nutrientes. Posteriormente, a água destilada foi substituída pela solução de Andrews (Novais et al., 1991), modificada e diluída, com as seguintes concentrações: 50 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de NH_4^+ ; 50 de NO_3^- ; 25 de H_2PO_4^- ; 225 de SO_4^{2-} ; 100 de K^+ ; 200 de Ca^{+2} ; 200 de Mg^{+2} e 0,46 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de B; 0,03 de Cu; 0,46 de Mn; 0,01 de Mo; 0,08 de Zn 1,79 de Fe, onde as plantas permaneceram por 1 hora para estabelecer-se o estado de equilíbrio.

Ao fim desse tempo, três plantas de cada espécie foram individualmente transferidas para vasos contendo um litro da solução de Andrews. Ao serem transferidas, as raízes das plantas foram secas com papel toalha. A partir da transferência das plantas, iniciou-se a retirada de alíquotas de 5 mL da solução de cada vaso. Nas primeiras 4 horas, as retiradas foram a cada 30 minutos e nas 4 horas seguintes, a cada hora. Ainda foram retiradas alíquotas 10, 12 e 24 horas após a transferência. As alíquotas foram imediatamente resfriadas para posterior dosagem do NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} . Foram tomados os pesos dos vasos com a solução nutritiva e a planta antes e ao final do ensaio para estimar, por diferença, a perda de água por evapotranspiração.

O NH_4^+ foi determinado por espectrofotometria de absorção molecular, conforme método descrito por Kempers & Zweers (1986), o K^+ , por espectrofotometria de emissão de chama e o Ca^{2+} e Mg^{2+} por espectrofotometria de absorção atômica.

Ao final do período, as plantas foram colhidas, sendo que as raízes foram secas em papel toalha para então determinar de seu peso de matéria fresca. Em seguida, foi determinado a CTC radicular das raízes frescas (CTC_{mf})

segundo o método descrito por Crooke (1964). Determinaram-se ainda as quantidades de NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ deslocados pela solução de HCl $0,1 \text{ mol L}^{-1}$, durante o processo de determinação da CTC por este método. A CTC radicular também foi estimada pela soma das quantidades molares destes, denominando-a de CTC_{sc} .

Após determinação da CTC das raízes frescas, elas foram secas em estufa a 65°C , com circulação forçada de ar por 48 horas, para quantificação da MS.

A partir das concentrações e do volume de solução nos vasos, considerando-se a perda por evapotranspiração, foram estimadas quantidades de NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} remanescentes na solução a cada amostragem.

A partir das concentrações dos cátions na solução, determinou-se a cinética de absorção pela equação de Michaelis-Menten, obtendo-se o influxo máximo (I_{max}) e a constante de afinidade (K_m) pelo método gráfico-matemático utilizando o software Cinética (Ruiz & Fernandes Filho, 1992). A concentração mínima dos cátions estudados em que o influxo líquido foi zero (C_{min}), foi caracterizada pela concentração na solução na última amostragem (24 h).

Os dados foram submetidos à análise de variância, ajustando-se equações de regressão para descrever as variações nas quantidades dos cátions na solução nutritiva de acordo com o tempo. Os parâmetros cinéticos de absorção foram utilizados para comparar as espécies empregando-se os contrastes ortogonais pelo teste t a 5% de probabilidade.

3.3. Absorção de cátions por gramíneas e leguminosas com diferente CTC radicular consorciadas

As plantas foram crescidas em solução nutritiva em casa de vegetação, conforme descrito anteriormente. Decorridos 30 dias, as plantas foram selecionadas quanto à uniformidade de desenvolvimento e, três plantas de cada espécie foram coletadas e separadas em raiz e parte aérea, para posterior caracterização química. Em vasos contendo 10 L da solução de

Hoagland & Arnon (Martinez, 2002), foram cultivadas uma planta de gramínea e uma planta de leguminosa, combinando-se as espécies duas a duas. Assim, os tratamentos corresponderam à combinação fatorial entre três gramíneas e duas leguminosas, sendo distribuídos em delineamento inteiramente casualizados, com três repetições.

A solução nutritiva foi continuamente arejada e o pH ajustado a $5,5 \pm 0,2$, sendo renovada a cada cinco dias. Transcorridos 45 dias, as plantas foram colhidas e separadas em raiz e parte aérea. As raízes foram lavadas e secas em papel toalha, determinando-se o peso da matéria fresca. Todo material vegetal foi colocado para secar a 65°C em estufa com circulação forçada de ar por 48 horas. Determinou-se o peso da matéria seca a qual foi moída e passada por peneira de 0,841 mm (20 mesh). As três plantas coletadas para a caracterização química inicial foram submetidas ao mesmo procedimento.

Todo material vegetal foi submetido à digestão nítrico-perclórica, para então se fazer a determinação das concentrações de K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , sendo o K^+ dosado por espectrofotometria de emissão de chama e o Ca^{2+} e o Mg^{2+} por espectrofotometria de absorção atômica. O N total foi dosado pelo método Kjeldahl.

Com base nos teores dos nutrientes e no peso da matéria seca, obtiveram-se as quantidades dos nutrientes na biomassa vegetal. As quantidades líquidas absorvidas dos nutrientes, durante o cultivo, foram estimadas pela diferença entre as quantidades na biomassa final e na inicial, que foram estimadas a partir das plantas selecionadas para caracterização química. Estimaram-se as taxas de absorção (mg g^{-1}) dos nutrientes por meio da razão entre a quantidade líquida absorvida do nutriente (mg) e a massa de raiz (g).

Os dados foram submetidos à análise de variância e as comparações entre os tratamentos foram feitas pelo teste de Tukey a 5%.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Capacidade de troca catiônica das raízes de gramíneas e leguminosas

Os maiores valores médios da CTC radicular foram das leguminosas, diferindo estatisticamente das gramíneas (Quadro 1), confirmando as observações de Drake et al. (1951), Gray et al. (1953), Mehlich (1953), Smith & Wallace (1955), McLean et al. (1956), Helmy & Elgabaly (1958), Asher & Ozanne (1961), Heintze (1961), Crooke & Knight (1962), Crooke (1964), Wahid et al. (1974), Ramos (1976), Wacquand (1977), Haynes (1980), Ferreira (1982) e Castellane & Fontes (1983). Estudando a relação entre a CTC radicular e a absorção de nutrientes Ramos (1976), por exemplo, observou que a CTC radicular das leguminosas forrageiras *Glycine wightii*, *Stylosanthes guianensis*, *Calopogonium mucunoides* e *Centrosema pubescens* (CTC de 62,0; 48,5; 48,0 e 41,0 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, respectivamente) foi maior que aquela das gramíneas *Melinis minutiflora*, *Panicum maximum*, *Hyparrhenia rufa* e *Cenchrus ciliaris*, (CTC de 18,5; 18,0; 17,5 e 8,8 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, respectivamente). Entre as leguminosas, houve maior variação na CTC radicular, sendo que a *A. pintoii* apresentou o maior valor (Quadro 1). Adicionalmente, além de menor, a CTC radicular das três gramíneas apresentou menor variação interespecífica.

A capacidade de troca catiônica, determinada com raízes frescas (CTC_{mf}), foi inferior àquela determinada com as raízes secas moídas (Quadro 1). O maior coeficiente de variação evidencia, ainda, a maior variabilidade nesta determinação. Iyengar & Rao (1971), ao contrário, encontraram pouca

diferença entre a CTC de raízes secas e frescas de diferentes variedades de *Coffea arabica* e *C. canephora*. Embora a CTC_{mf} , tenha-se correlacionado com a CTC determinada com a raiz seca ($r = 0,78$; $p < 0,05$), as menores CTC_{mf} sugerem que tenha ocorrido a absorção de H^+ durante o processo de saturação das raízes frescas. Corroborando com esta hipótese, observou-se que a soma dos cátions NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} removidos do espaço livre de Donnan (CTC_{sc}) (Quadro 1) durante a determinação da CTC_{mf} , correlacionou-se positivamente ($r = 0,85$; $p < 0,05$) com CTC das raízes secas. O coeficiente angular da regressão $CTC_{ms} = 0,074 + 0,911CTC_{sc}$, demonstra que a CTC determinada com raízes secas e moídas representa, de fato, a quantidade de cargas negativas no espaço livre de Donnan.

A CTC radicular da *A. pintoii*, determinada tanto com a raiz fresca como seca, foi estatisticamente superior à das outras leguminosas, no entanto para a CTC_{sc} isso se verificou (Quadro 1) Apesar do maior valor verificado para a *B. brizantha*, não houve diferenças estatisticamente significativas entre a CTC das gramíneas (Quadro 1).

QUADRO 1- Capacidade de troca catiônica radicular de leguminosas e gramíneas forrageiras, expressa com base na matéria seca, determinada com raízes frescas e intactas (CTC_{mf}), raízes secas e moída (CTC_{ms}) e estimada pela soma dos cátions NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ (CTC_{sc}) excluídos da raiz durante a determinação da CTC_{mf} e a significância dos respectivos contrastes (C)

Forrageira	C	CTC_{mf}	CTC_{ms}	CTC_{sc}
			$cmol_c\ kg^{-1}$	
<i>Arachis pintoii</i> (Ap)		20,77	34,96	39,84
<i>Leucaena leucocephala</i> (LI)		9,61	28,84	27,42
<i>Stylosanthes guianensis</i> (Sg)		14,48	31,94	35,84
Média		14,95	31,91	34,36
	C1	*	*	ns
	C2	*	ns	ns
<i>Brachiaria brizantha</i> (Bb)		5,69	13,85	18,12
Brachiaria híbrida (Bh)		7,18	11,23	15,43
<i>Panicum maximum</i> (Pm)		7,40	12,03	15,63
Média		6,75	12,37	16,39
	C3	ns	ns	ns
	C4	ns	ns	ns
	C5	*	*	*
C.V. (%)		16,43	8,00	23,88

C1 = 2Ap – (LI + Sg); C2 = LI – Sg; C3 = 2Bb – (Bh + Pm); C4 = Bh – Pm; C5 = (Ap + LI + Sg) – (Bb + Bh + Pm)
ns e *, não significativo e significativo a 5% pelo teste t, respectivamente.

4.2. Cinética de absorção de cátions por leguminosas e gramíneas forrageiras com diferente CTC radicular distintas

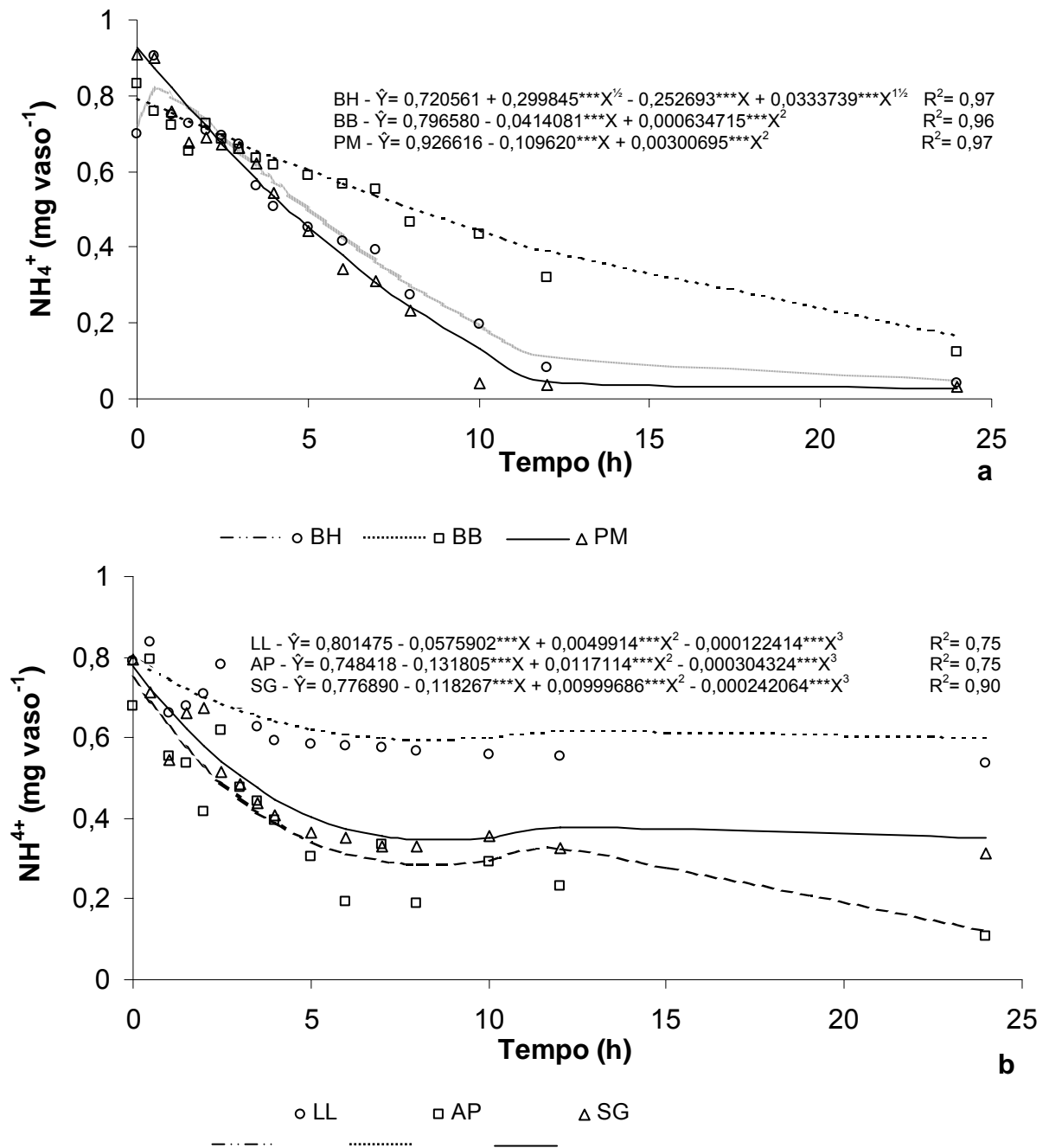
Houve aumento nas quantidades de NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} na solução nutritiva durante as primeiras horas de condução do ensaio de cinética (Figuras 1, 2, 3 e 4). Esse aumento indica um aparente fluxo dos cátions e pode ser atribuído ao não estabelecimento do equilíbrio entre o sistema de absorção das plantas e a solução, sugerindo que o contato prévio de uma hora com a solução não foi suficiente para atingir-se o estado estacionário. Apesar disto, com o tempo ocorreu redução significativa, e com diferente intensidade, entre as espécies nas quantidades de cátions na solução, caracterizando absorção diferencial.

Para a *B. híbrida* e *P. maximum*, a quantidade de NH_4^+ na solução tendeu a estabilizar-se a partir das 12 horas, enquanto que, com a *B. brizantha* isso não se verificou (Figura 1). As leguminosas *A. pintoii* e *S. guianensis* proporcionaram maior redução nas quantidades do NH_4^+ do que a *L. leucocephala*. Nos vasos com *L. leucocephala* e *S. guianensis*, o conteúdo de NH_4^+ tendeu a estabilizar-se a partir das 4 e 10 h, respectivamente. No entanto, para *A. pintoii* esta tendência foi menos evidente. Quanto ao K^+ , as gramíneas promoveram depleção mais intensa e contínua da solução do que as leguminosas (Figura 2), porém sem evidenciar a tendência de estabilização. Com as leguminosas *L. leucocephala* e *S. guianensis* a tendência de estabilização no conteúdo de K^+ na solução foi mais evidente e ocorreu a partir de 12 h, o que, novamente, não foi verificado com o *A. pintoii*.

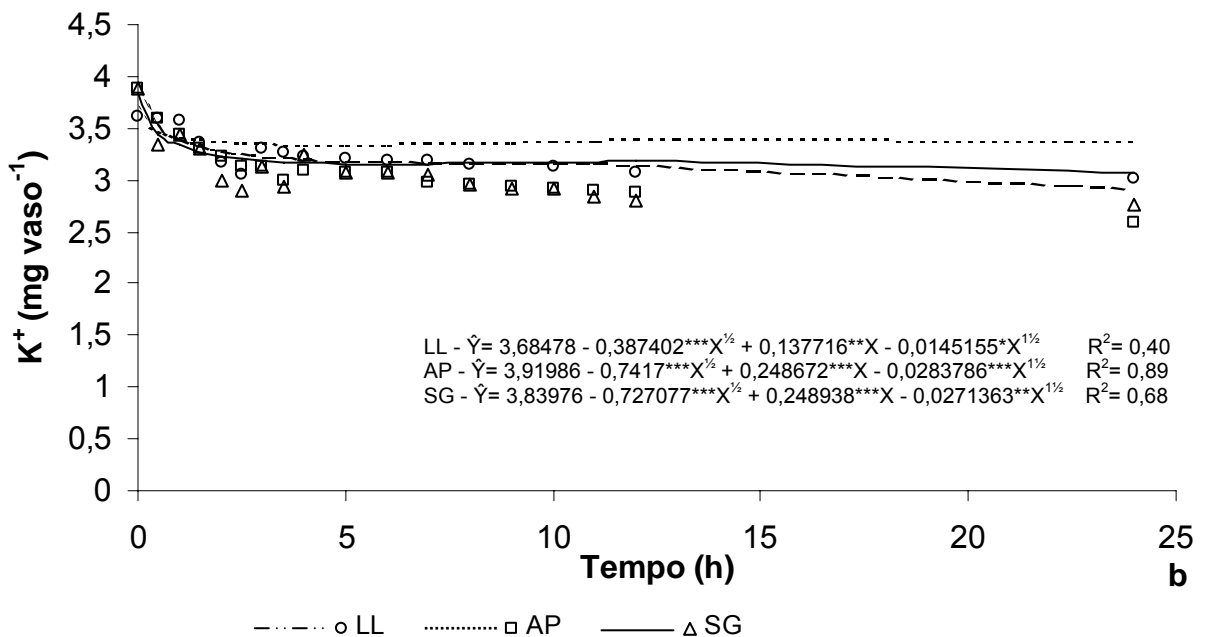
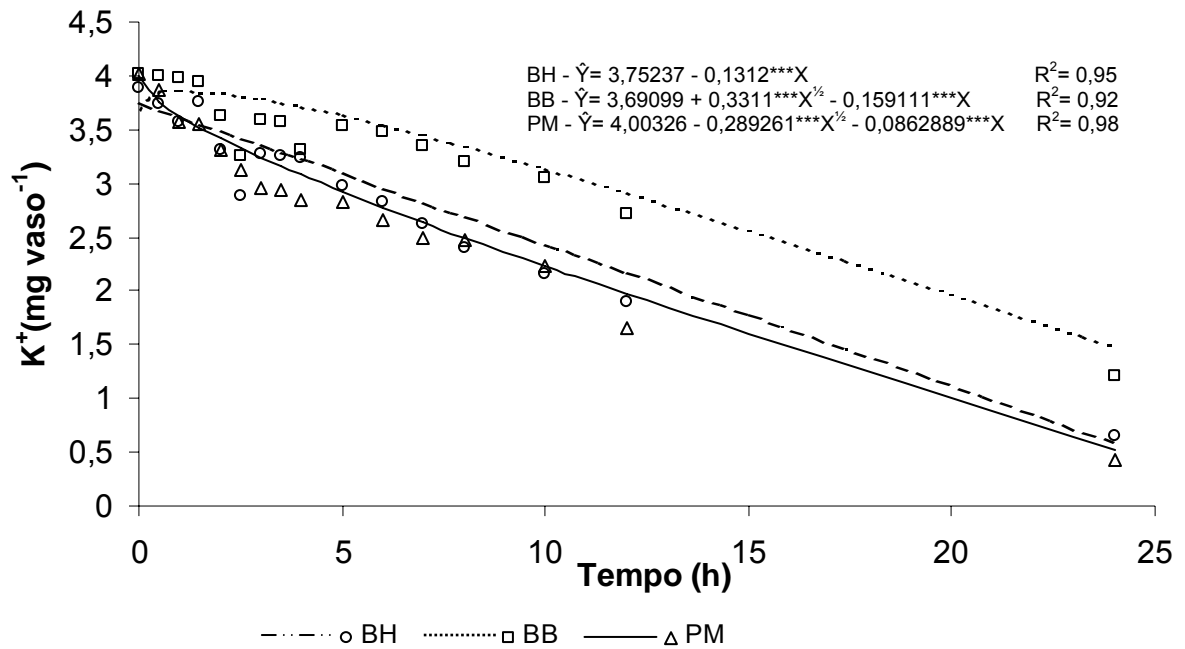
A redução nas quantidades do Ca^{2+} na solução foi menos intensa, tanto na presença das gramíneas como das leguminosas, com exceção da *L. leucocephala* (Figura 3). Para o Mg^{2+} esta redução foi pouco evidente com tendência de estabilização à partir das 10 h tanto na presença das gramíneas como das leguminosas (Figura 4).

As variações nas concentrações dos cátions, na solução nutritiva, possibilitaram o ajuste de equações da cinética de absorção, cujos parâmetros são apresentados no Quadro 2. Os coeficientes de variações indicam grande variabilidade, sobretudo para influxo máximo (I_{max}) e constante de

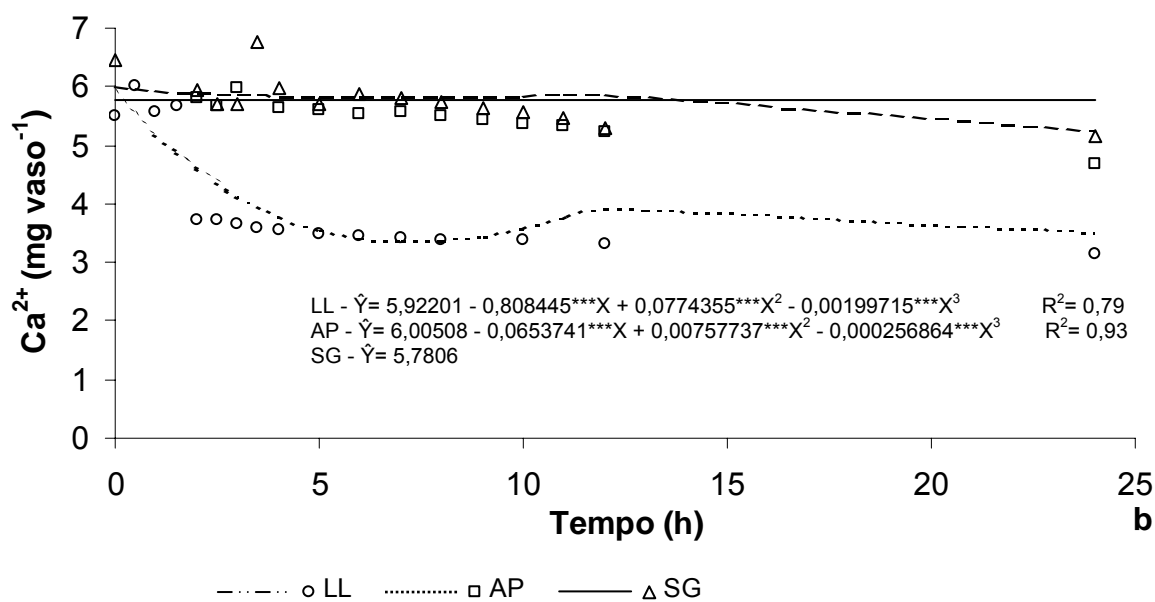
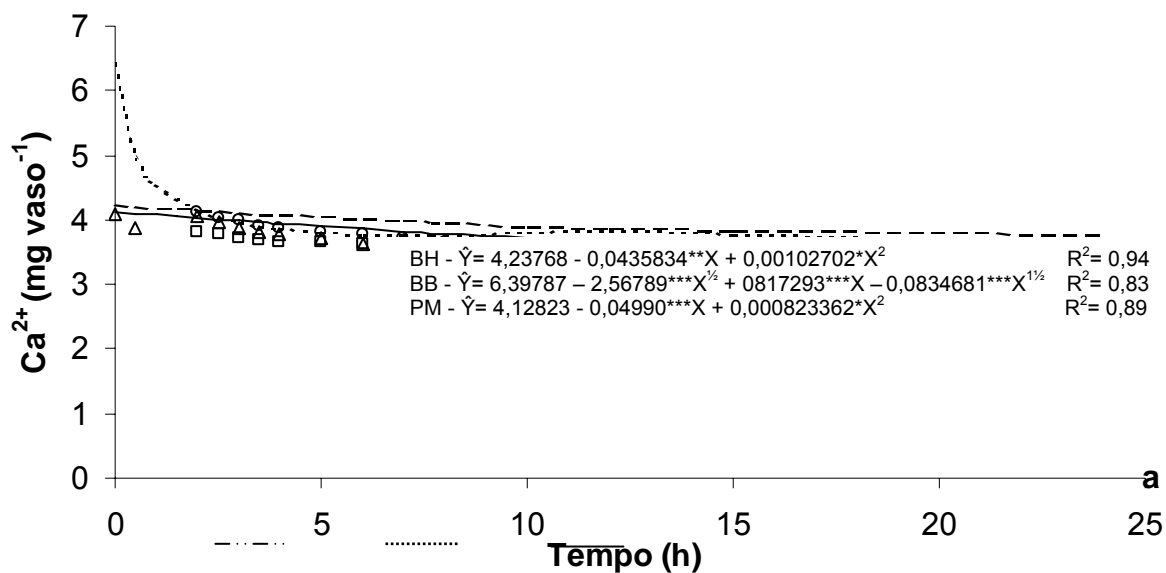
afinidade (Km), o que, em parte, pode ser atribuído ao fato de ter-se estabelecido simultaneamente a cinética para NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ .



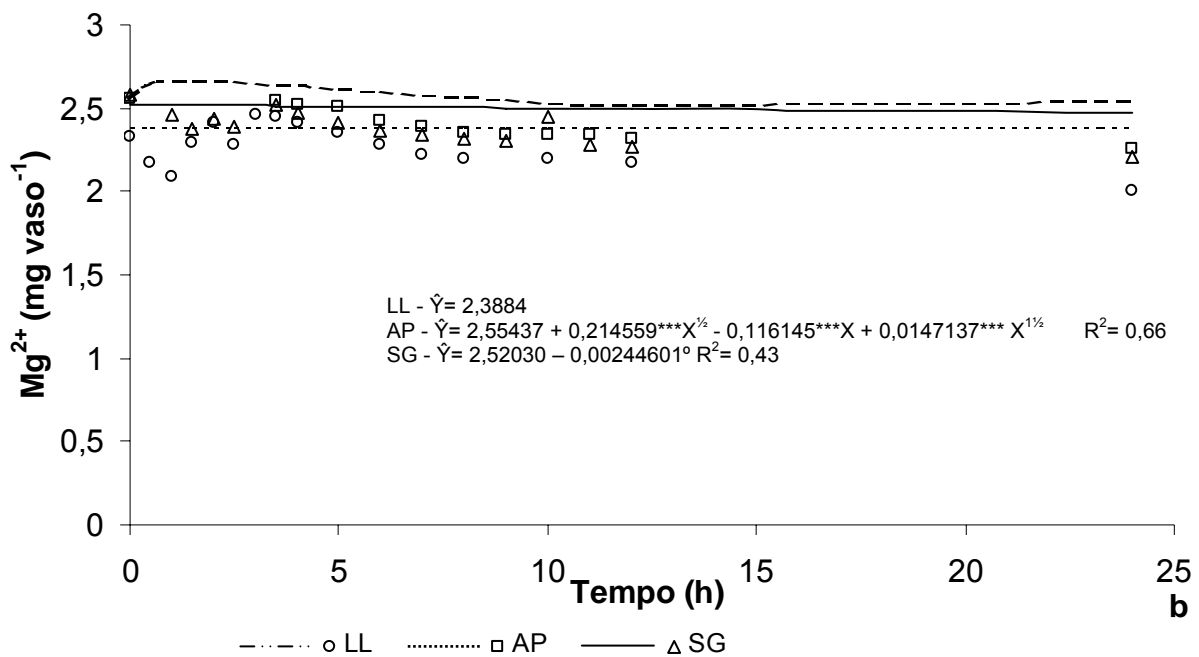
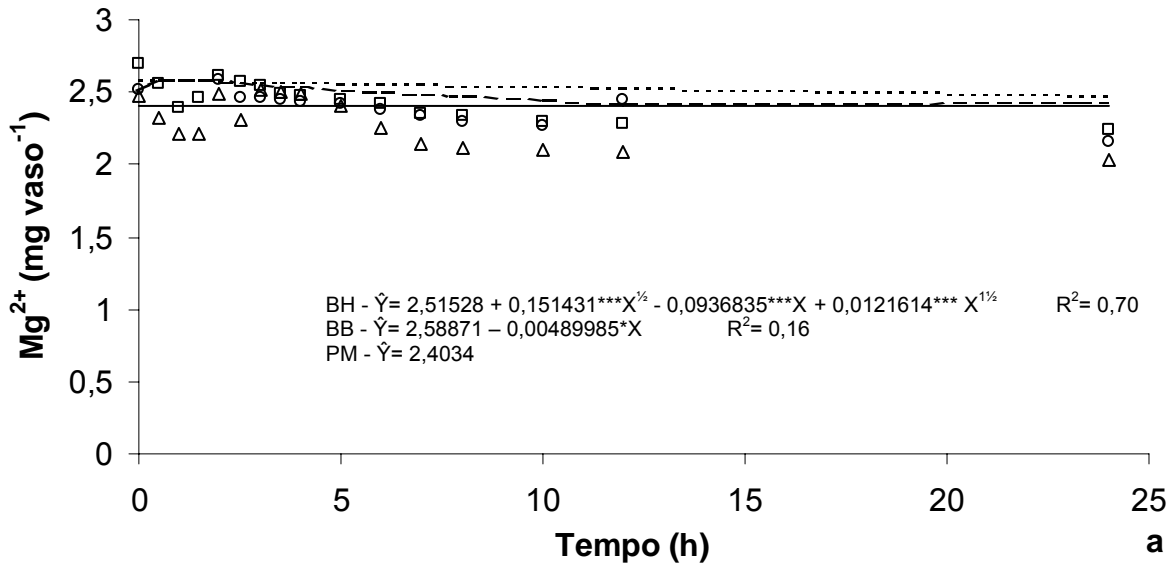
FIGURAS 1. Variação na quantidade de NH_4^+ na solução nutritiva na presença das gramíneas (a) B. híbrida – BH; B. brizantha – BB e P. maximum e das leguminosas (b) L. leucocephala – LL; A. pinto – AP e S. guianensis – SG durante o período de 24 h para estabelecimento da cinética de absorção.



FIGURAS 2. Variação na quantidade de K^+ na solução nutritiva na presença das gramíneas (a) B. híbrida – BH; B. brizantha – BB e P. maximum e das leguminosas (b) L. leucocephala – LL; A. pintoi – AP e S. guianensis – SG durante o período de 24 h para estabelecimento da cinética de absorção.



FIGURAS 3. Variação na quantidade de Ca^{2+} na solução nutritiva na presença das gramíneas (a) *B. híbrida* – BH; *B. brizantha* – BB e *P. maximum* e das leguminosas (b) *L. leucocephala* – LL; *A. pintoi* – AP e *S. guianensis* – SG durante o período de 24 h para estabelecimento da cinética de absorção.



FIGURAS 4. Variação na quantidade de Mg^{2+} na solução nutritiva na presença das gramíneas (a) *B. híbrida* – BH; *B. brizantha* – BB e *P. maximum* e das leguminosas (b) *L. leucocephala* – LL; *A. pintoi* – AP e *S. guianensis* – SG durante o período de 24 h para estabelecimento da cinética de absorção.

QUADRO 2. Valores de I_{max} (μmol g⁻¹ h⁻¹), K_m (μmol L⁻¹) e C_{min} (μmol L⁻¹) estimados para descrever a cinética de absorção de NH₄⁺, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ por gramíneas e leguminosas forrageiras em solução nutritiva por um período de 24 horas e a significância dos respectivos contrastes (C)

Forrageira	C	NH ₄ ⁺			K ⁺			Ca ²⁺			Mg ²⁺		
		I _{max} ¹	K _m ¹	C _{min} ²	I _{max}	K _m	C _{min}	I _{max}	K _m	C _{min}	I _{max}	K _m	C _{min}
<i>Leucaena leucocephala</i> (LI)		6,93	64,88	43,03	6,55	189,42	86,79	28,94	443,96	88,29	12,74	289,12	93,75
<i>Arachis pintoi</i> (Ap)		56,95	37,25	- ³	42,93	257,97	74,84	7,23	141,05	131,29	5,80	112,24	105,97
<i>Stylosanthes guianensis</i> (Sg)		62,33	40,66	25,05	121,09	187,83	79,32	63,20	237,66	143,95	30,63	105,09	103,12
Média		42,07	47,59	25,59	56,85	211,74	80,31	33,12	274,22	121,17	16,39	168,81	100,94
	C1	ns	ns		ns	ns		*	*		*	ns	
	C2	ns	*		*	ns		*	*		*	*	
Brachiaria híbrida (Bh)		11,89	21,50	3,49	10,31	29,88	18,94	4,79	107,14	94,53	6,68	104,05	- ³
<i>Brachiaria brizantha</i> (Bb)		20,85	52,86	- ³	1,40	7,60	- ³	17,41	100,68	90,70	10,36	168,21	- ³
<i>Panicum maximum</i> (Pm)		17,45	23,91	2,65	24,29	49,89	12,53	5,48	88,22	85,41	30,98	310,11	- ³
Média		16,73	32,75	6,22	12,00	29,12	15,73	9,22	98,68	90,21	16,00	194,12	
	C3	ns	*		ns	ns		ns	ns		ns	ns	
	C4	ns	ns		ns	ns		ns	ns		*	*	
	C5	ns	*		*	*		*	*		ns	ns	
	C.V. (%)	93,83	25,86	36,58	72,79	38,84	45,11	40,22	10,85	3,59	45,38	33,71	3,64

C1 = 2Ap – (LI + Sg); C2 = LI – Sg; C3 = 2Bb – (Bh + Pm); C4 = Bh – Pm; C5 = (Ap + LI + Sg) – (Bb + Bh + Pm)

ns e *, não significativo e significativo a 5% pelo teste t, respectivamente.

¹ Estimado pelo método gráfico-matemático utilizando o software Cinética (Ruiz & Fernandes Filho, 1992); ² Estimado pela concentração na solução ao final (24 h) do estabelecimento da cinética. ³ Não foi possível estimar.

Embora não se tenha verificado diferença significativa entre gramíneas e leguminosas, estas tenderam a apresentar maiores I_{max} para NH_4^+ e K^+ (Quadro 2). A *B. brizantha*, apesar de não ter diferido estatisticamente das demais gramíneas, tendeu a apresentar maior I_{max} para NH_4^+ e o menor para K^+ . O K_m para o NH_4^+ e, sobretudo para o K^+ , foi significativamente maior para as leguminosas. Assim, apesar de não diferirem significativamente quanto ao influxo, as gramíneas com menor CTC apresentaram maior afinidade pelos cátions monovalentes, sobretudo o K^+ . Associada a esta tendência de menores valores de K_m , para os cátions monovalentes, observa-se a tendência de menor valor de C_{min} , o que, aparentemente, seria coerente com a maior afinidade do sistema radicular das gramíneas por estes cátions.

Entre as leguminosas não houve diferenças significativas quanto ao I_{max} de NH_4^+ . Embora não tenha havido diferença significativa o *A. pintoi*, com maior CTC apresentou o menor K_m para NH_4^+ . Entre as leguminosas com menor CTC o *S. guianensis* apresentou valor de K_m para NH_4^+ significativamente maior (Quadro 2). Comportamento semelhante foi observado entre as gramíneas, no entanto, o K_m para o NH_4^+ foi significativamente maior para *B. brizantha*, com maior CTC.

Não houve distinção entre gramíneas e leguminosas quanto aos parâmetros cinéticos para Mg^{2+} , no entanto, as leguminosas apresentaram valores de I_{max} e K_m significativamente maiores (Quadro 2). Os menores valores de K_m das gramíneas para Ca^{2+} , combinado com menores valores de C_{min} , caracterizariam maior afinidade com cátions divalentes. Tais evidências contradizem as indicações de que, devido a menor CTC, as gramíneas têm menor preferência por cátions divalentes. Wacquant (1977) trabalhando com radículas de 20 espécies de gramíneas com CTC entre 7,6 e 16,7 $cmol_c\ Kg^{-1}\ MS$ constatou que a proporção de Ca^{2+} e Mg^{2+} absorvido aumentou com o aumento da CTC, enquanto que a de K^+ e Na^+ diminuiu. Do mesmo modo, Ramos (1976), constatou que a quantidade de potássio absorvido pelas gramíneas com menor CTC foi maior que as leguminosas com maior CTC.

O *A. pintoi* apresentou entre as leguminosas, o menor I_{max} , tanto para Ca^{2+} como para Mg^{2+} e o menor K_m para Ca^{2+} . Tais resultados não implicam que maior CTC resulte em maior I_{max} de Ca^{2+} e Mg^{2+} . Isso pode ser atribuído

à presença das proteínas carreadoras para esses elementos, presentes na membrana plasmática da célula da raiz e não as cargas negativas presentes no espaço livre de Donnan.

Constatou-se, de modo geral, correlação positiva e significativa ($p < 0,05$) entre a CTC_{sc} radicular e os parâmetros das cinéticas de absorção de NH_4^+ , Ca^{2+} e K^+ (Quadro 3). Verificaram-se maiores correlações com os parâmetros para o K^+ , enquanto que para o Mg^{2+} não houve correlações significativas. Entende-se que o I_{max} ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$) pode ser empregado para inferir sobre a capacidade potencial de absorção dos cátions pelas diferentes espécies, o que pode ser complementada pela interpretação do parâmetro C_{min} ($\mu\text{mol L}^{-1}$). Em analogia aos sistemas enzimáticos, o K_m ($\mu\text{mol L}^{-1}$) caracteriza a afinidade do sistema de absorção radicular das espécies com os referidos cátions. Assim, esperar-se-ia que a correlação entre K_m e CTC fosse positiva para os cátions monovalentes e negativa para os cátions divalentes, o que não se constatou nas condições deste estudo (Quadro 3). Diante do exposto, pode-se observar que, CTC radicular que caracteriza cargas negativas presentes na parede celular e K_m que caracteriza presença de transportadores na membrana plasmática são parâmetros completamente distintos.

QUADRO 3. Coeficiente de correlação entre a CTC_{sc} e os parâmetros I_{max} , K_m e C_{min} da cinética de absorção de cátions

Cátion	I_{max}	K_m	C_{min}
NH_4^+	0,51*	0,28 ^{ns}	0,40*
K^+	0,61**	0,80**	0,57**
Ca^{2+}	0,51*	0,43*	0,72**
Mg^{2+}	0,08 ^{ns}	-0,27 ^{ns}	0,11 ^{ns}

^{ns}, *, ** não significativo, e significativo a 5 e 1 % de probabilidade respectivamente.

4.3 - Absorção de cátions por gramíneas e leguminosas consorciadas

As gramíneas apresentaram maior produção de raízes do que as leguminosas (Quadro 4), verificando-se uniformidade nas combinações com as

leguminosas. Observaram-se diferenças significativas entre as quantidades de raízes das gramíneas, sendo que o *P. maximum* apresentou maior massa radicular, independente da leguminosa consorciada. Entre as leguminosas, a *L. leucocephala* produziu mais massa de raiz.

QUADRO 4. Matéria seca de raízes das gramíneas e das leguminosas quando cultivadas consorciadas por 45 dias

Leguminosas	Gramíneas			Média
	<i>B. brizantha</i>	B. híbrida	<i>P. maximum</i>	
	-----g planta ⁻¹ -----			
	Raízes das gramíneas			
<i>Leucaena leucocephala</i>	11,19 aA	15,99 bA	20,50 cA	15,89 A
<i>Arachis pintoii</i>	11,06 aA	14,83 aA	19,64 bA	18,18 A
Média	11,13 a	15,41 b	20,07 c	
	Raízes das leguminosas			
Leucaena	0,99 aA	0,65 bA	0,72 abA	0,79 A
leucocephala				
<i>Arachis pintoii</i>	0,38 aB	0,47 aA	0,46 aB	0,43 B
Média	0,68 a	0,56 a	0,59 a	

Para gramíneas e leguminosas, as médias seguidas de letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas iguais na coluna não diferem entre si estatisticamente pelo teste Tukey (5% e probabilidade) e teste de F (5% de probabilidade), respectivamente.

Ao contrário das gramíneas, observa-se grande desuniformidade entre as massas de raízes das leguminosas nas consorciações.

A absorção líquida de N-total, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ foi maior nas gramíneas, o que é atribuído ao maior crescimento destas plantas (Quadros 5 e 6). Considerando que as concentrações dos nutrientes na solução nutritiva não foram limitantes e que a grande diferença entre as massas de raízes (Quadro 4), é pouco provável que as leguminosas tenham exercido influência sobre a absorção líquida pelas gramíneas. Assim, a variação na absorção líquida de N-total e de K⁺ (Quadro 5) e de Ca²⁺ e de Mg²⁺ (Quadro 6) pelas gramíneas, nas duas consorciações foram seguramente devido às variações na quantidade de raízes. No entanto, os resultados sugerem que a absorção, sobretudo de Ca e Mg, pelas leguminosas, também foi pouco afetada pelas gramíneas

associadas. As absorções de N e K pela *L. leucocephala* foram significativamente maiores do que a do *A. pintoii*, nas consorciações com *B. brizantha* e o *P. maximum* (Quadro 5), o que pode estar relacionado à maior quantidade de raiz da *L. leucocephala* (Quadro 4).

Em razão das diferenças nas massas de raízes, a taxa de absorção expressa pela quantidade dos nutrientes absorvidos por unidade de massa de raiz (Quadros 7 e 8) é mais adequada para explicar as diferenças de eficiência de absorção entre as espécies e as influências exercidas quando consorciadas.

Em termos médios, não houve diferenças expressivas entre gramíneas e leguminosas quanto a eficiência de absorção do N-total, embora as gramíneas tenham se mostradas mais eficientes na absorção do K^+ (Quadro 7), o que pode estar relacionado à menor CTC radicular das gramíneas. Drake et al. (1951) verificaram que as dicotiledôneas apresentam teor mais elevado de cátions bivalentes, como Ca^{2+} e Mg^{2+} , e menores teores de cátions monovalentes, ao contrário do que acontece com as monocotiledôneas. Apesar da maior absorção líquida de Ca^{2+} pelas gramíneas (Quadro 6), as leguminosas destacaram-se, em média, pela maior eficiência de absorção do Ca^{2+} (Quadro 8). Isto estaria relacionado à maior CTC radicular das leguminosas, embora não tenha se verificado para o Mg^{2+} .

Não houve influência significativa das gramíneas sobre a taxa de absorção do N-total e do K^+ pela *L. leucocephala* e *A. pintoii*. Quanto ao nitrogênio, ressalta-se que a solução utilizada no ensaio contém predominantemente NO_3^- , o que pode justificar a irrelevância da CTC radicular para a absorção deste nutriente. Apesar do mesmo ter sido verificado para o K^+ , observa-se tendência de maior eficiência de sua absorção pelas leguminosas em consorciação com a *B. brizantha*, sobretudo pelo *A. pintoii*, embora tenha sido a leguminosa com maior CTC ($34,96 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) (Quadro 7).

Entre as gramíneas, o *P. maximum* apresentou a maior eficiência de absorção de Ca^{2+} e Mg^{2+} , independente da leguminosa associada (Quadro 8). Em termos médios, o *A. pintoii* também foi mais eficiente na absorção de Ca^{2+} e Mg^{2+} , com a tendência de apresentar maior eficiência de absorção de Ca^{2+} quando consorciado com a *B. brizantha*, que apresenta a maior CTC ($13,85 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$).

QUADRO 5. Quantidades líquidas de nitrogênio e potássio absorvidas pelas gramíneas e pelas leguminosas cultivadas em consorciação, em solução nutritiva por 45 dias

Leguminosas	Gramíneas			Média
	<i>B. brizantha</i>	B. híbrida	<i>P. maximum</i>	
	mg g ⁻¹			
	N - gramíneas			
<i>Leucaena leucocephala</i>	1.108,67 cA	1.987,25 bA	2.986,20 aA	2.027,37
<i>Arachis pintoii</i>	1.147,06 bA	1.764,92 bA	2.934,35 aA	1.948,77
Média	1.127,86	1.876,08	2.960,27	
	N - leguminosas			
<i>Leucaena leucocephala</i>	139,01 aA	111,35 aA	118,47 aA	122,94
<i>Arachis pintoii</i>	52,54 bB	67,64 aA	34,10 bB	51,42
Média	95,77	89,49	76,28	
	K - gramíneas			
<i>Leucaena leucocephala</i>	1.284,88 bA	1.938,18 abA	2.744,13 aA	1.989,06
<i>Arachis pintoii</i>	1.154,50 bA	1.622,22 bA	2.720,32 aA	1.832,34
Média	1.219,69	1.780,20	2.732,22	
	K - leguminosas			
<i>Leucaena leucocephala</i>	85,33 aA	60,32 aA	58,41 aA	68,02
<i>Arachis pintoii</i>	39,99 bB	42,79 aA	23,65 bB	35,47
Média	62,66	51,55	41,03	

Para gramíneas e leguminosas, as médias seguidas de letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas iguais na coluna não diferem entre si estatisticamente pelo teste Tukey (5% e probabilidade) e teste de F (5% de probabilidade), respectivamente.

QUADRO 6. Quantidades líquidas de cálcio e magnésio absorvidas pelas gramíneas e pelas leguminosas cultivadas em consorciação, em solução nutritiva por 45 dias

Leguminosas	Gramíneas			Média
	<i>B. brizantha</i>	B. híbrida	<i>P. maximum</i>	
	-----mg g ⁻¹ -----			
	Ca - gramíneas			
<i>Leucaena leucocephala</i>	125,75	196,09	498,73	273,52
<i>Arachis pintoi</i>	134,43	181,43	446,09	253,98
Média	130,09	188,76	472,41	
	Ca - leguminosas			
<i>Leucaena leucocephala</i>	25,55	17,05	20,44	21,01
<i>Arachis pintoi</i>	17,57	15,80	12,22	15,19
Média	21,56	16,42	16,33	
	Mg - gramíneas			
<i>Leucaena leucocephala</i>	139,53	258,69	423,79	274,00
<i>Arachis pintoi</i>	128,77	236,63	404,17	256,52
Média	134,15	247,66	413,98	
	Mg - leguminosas			
<i>Leucaena leucocephala</i>	9,32	10,82	10,16	9,93
<i>Arachis pintoi</i>	5,51	9,23	7,27	7,33
Média	7,41	10,02	8,71	

Para gramíneas e leguminosas, as médias seguidas de letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas iguais na coluna não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey (5 % de probabilidade) e teste de F (5 % de probabilidade), respectivamente.

QUADRO 7. Taxa de absorção¹ de nitrogênio e potássio pelas gramíneas e leguminosas cultivadas consorciadas em solução nutritiva por 45 dias

Leguminosas	Gramíneas			Média
	<i>B. brizantha</i>	B. híbrida	<i>P. maximum</i>	
	mg g ⁻¹			
	N - gramíneas			
<i>Leucaena leucocephala</i>	98,79 aA	124,99 abA	146,88 bA	123,56 A
<i>Arachis pintoii</i>	104,57 aA	120,52 abA	148,70 bA	124,59 A
Média	101,68 a	122,75 a	147,80 b	
	N - leguminosas			
<i>Leucaena leucocephala</i>	139,16 aA	172,89 aA	175,35 aA	162,47 A
<i>Arachis pintoii</i>	155,32 aA	144,02 aA	106,05 aA	135,13 A
Média	147,24 a	158,46 a	140,70 a	
	K - gramíneas			
<i>Leucaena leucocephala</i>	114,89 aA	121,70 aA	134,92 aA	123,84 A
<i>Arachis pintoii</i>	103,69 aA	111,27 aA	138,02 aA	117,66 A
Média	109,29 a	116,49 a	136,47 a	
	K - leguminosas			
<i>Leucaena leucocephala</i>	85,45 aA	92,69 aA	88,04 aA	88,72 A
<i>Arachis pintoii</i>	115,70 aA	91,26 aA	75,02 aA	93,99 A
Média	100,57 a	91,97 a	81,53 a	

¹ Estimada pela razão entre a massa dos nutrientes acumulada na planta e a massa de raiz. Para gramíneas e leguminosas, as médias seguidas de letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas iguais na coluna não diferem entre si estatisticamente pelo teste Tukey (5% e probabilidade) e teste de F (5% de probabilidade), respectivamente.

QUADRO 8. Taxa de absorção de cálcio e magnésio absorvidos pelas gramíneas e pelas leguminosas, quando cultivadas consorciadas em solução nutritiva por 45 dias

Leguminosas	Gramíneas			Média
	<i>B. brizantha</i>	B. híbrida	<i>P. maximum</i>	
	-----mg g ⁻¹ -----			
	Ca - gramíneas			
<i>Leucaena leucocephala</i>	11,20 aA	12,30 aA	24,44 bA	15,98 A
<i>Arachis pintoi</i>	12,42 aA	12,31 aA	22,67 bA	15,80 A
Média	11,81 a	12,30 a	23,55 b	
	Ca - leguminosas			
<i>Leucaena leucocephala</i>	25,77 aA	24,16 aA	30,93 aA	26,41 A
<i>Arachis pintoi</i>	49,44 aA	35,25 aA	40,44 aA	41,70 B
Média	37,60 a	29,71 a	35,68 a	
	Mg - gramíneas			
<i>Leucaena leucocephala</i>	12,44 aA	16,23 aA	20,55 bA	16,41 A
<i>Arachis pintoi</i>	11,68 aA	16,11 bA	20,47 cA	16,09 A
Média	12,06 a	16,17 b	20,51 c	
	Mg - leguminosas			
<i>Leucaena leucocephala</i>	9,41 aA	14,25 aA	15,90 aA	13,19 A
<i>Arachis pintoi</i>	16,91 aA	21,68 aA	22,65 aA	20,41 B
Média	13,16 a	18,44 a	18,79 a	

¹ Estimada pela razão entre a massa dos nutrientes acumulada na planta e a massa de raiz.

Para gramíneas e leguminosas, as médias seguidas de letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas iguais na coluna não diferem entre si estatisticamente pelo teste Tukey (5% e probabilidade) e teste de F (5% de probabilidade), respectivamente.

5 - CONCLUSÕES

Na realização deste trabalho, verificou-se que:

- O procedimento de determinação da CTC radicular, com raízes secas e moídas, é eficiente para caracterizar as cargas negativas no espaço livre de Donnan;
- o estabelecimento simultâneo das cinéticas não foi efetivo para discriminar a absorção destes cátions, de acordo com a CTC radicular;
- a combinação de menores valores da constante de afinidade (K_m) e C_{min} indicam a maior afinidade das gramíneas pelo K^+ e NH_4^+ ;
- a absorção líquida dos cátions, tanto para as gramíneas como para as leguminosas, relacionou-se com a massa radicular;
- as gramíneas absorveram mais K^+ e as leguminosas mais Ca^{2+} e Mg^{2+} por unidade de massa radicular;
- a elevada concentração dos cátions, da solução nutritiva, restringiu a expressão da competição nutricional entre as espécies; e
- o *Arachis pinto* mostrou-se o mais competitivo pelo K quando em consorciação com a *B. brizantha*.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHER, C. J. & OZANNE, P.G. The cation exchange capacity of plant roots and its relationship to the uptake of insoluble nutrients. **Austr. J. Agric. Res.**, 12:755-766, 1961.
- BLAMEY, F. P. C., EDMEADES, D. C. & WHEELER, D. M. Role of root cation-exchange capacity in differential aluminum tolerance of *Lotus* species. **J. Plant Nutr.**, 13:p.729-744, 1990.
- BLAMEY, F. P. C., ROBINSON, N. J. & ASHER, C. J. Interspecific differences in aluminium tolerance in relation to root cation-exchange capacity. **Plant Soil**, 146:77-82, 1992.
- BLASER, R. E. & BRADY, N. C. Nutrient competition in plant associations. **Agron. J.**, 42:128-135, 1950.
- CAMPBELL, R. & ROVIRA, A. D. The study of the rhizosphere by scanning electron microscopy. **Soil Biol. Biochem.**, 5:p.747-752, 1974.
- CASTELLANE, P. D. & FONTES, L. A. Alguns aspectos sobre a capacidade de troca catiônica radicular. **Seiva**, 43:16-28, 1983.
- CROOKE, W. M. & KNIGHT, A. H. An evaluation of published data on the mineral composition of plants in the light of the cation-exchange capacities of their roots. **Soil Sci.**, 93:365-373, 1962.
- CROOKE, W. M. The measurement of the cation-exchange capacity of plant roots. **Plant Soil**, 21:43-49, 1964.
- DAYAN, E., BANIN, A. & HENIS, Y. Studies on the mucilaginous layer of barley (*Hordeum vulgare*) roots. **Plant Soil**, 47:171-191, 1977.

- DEVAUX, H. Action rapide des solutions salines sur les plantes vivantes: Deplacement reversible d'une partie des substances basiques contenues dans la plante. **Compt. Rend. Academie des Sciences**, Paris, 162:561-563, 1916.
- DRAKE, M., VENGRIS, J. & COLBY, W. G. Cation-exchange capacity of plant roots. **Soil Sci.**, 72:139-147, 1951.
- DROVER, D. P. Cation exchange in plant roots. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, 3:393-397, 1972.
- FERREIRA, J. Q. **Influência da capacidade de troca catiônica radicular de gramíneas e leguminosas consorciadas na absorção do potássio, cálcio e magnésio.** Jaboticabal, SP, Universidade Estadual Paulista, 1982. 44p. (Dissertação de Mestrado).
- GRAY, B., DRAKE, M. & COLBY, W. G. Potassium competition im grass-legume associations as a function of root cation exchange capacity. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, 17:235-239, 1953.
- HAYNES, R. J. Ion exchange properties of roots and ionic interactions within the root apoplasm: their role in ion accumulation by plants. **The Bot. Rev.**, 46:75-99, 1980.
- HEINTZE, S. G. Studies on cation-exchange capacities of roots. **Plant Soil**, 13:365-383, 1961.
- HELMY, A. K. & ELGABALY, M. M. Exchange capacity of plant roots: some factors affecting the cation exchange capacity. **Plant Soil**, 10:93-100, 1958.
- IYENGAR, B. R. V. & RAO, W. K. M. Cation exchange capacity of coffee roots. **Indian Coffee**, 35:520-521, 1971.
- KEMPERS, A. J. & ZWEERS, A. Ammonium determination in soil extracts by the salicylate methods. **Comm. Soil. Sci. Plant Anal.**, 17:715-723, 1986.
- KLEIN, M. & HORST, W. J. Wall material isolated from roots of plant species differing in Al resistance. Disponível em: < [http:// www.ipe.uni-hannover.de/publication/klein_poster1.pdf](http://www.ipe.uni-hannover.de/publication/klein_poster1.pdf). Acesso em 15 de ago.2003.
- JENNY, H. Pathways of ions from soil into root according to diffusion models. **Plant Soil**, 25:265-289, 1966.
- MCLEOD, L. B. Effect of nitrogen and potassium on the yield, botanical composition, and competition for nutrients in three alfafa-grass associations. **Agron. J.**, 57:129-134, 1965.
- MARTINEZ, H. E. P. **O uso do cultivo hidropônico de plantas em pesquisa.** Viçosa, UFV, 2002. 61p (Cadernos didáticos 1).

- MCLEAN, E. O. & BAKER, F. E. Cationic activities in systems of plant roots. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, 17:100-102, 1953.
- MCLEAN, E. O., ADAMS, D. & FRANKLIN, R. E. Cation-exchange capacity of plant roots as related to their nitrogen contents. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, 20:345-347, 1956.
- MEHLICH, A. Factors affecting adsorption of cations by plant roots. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, 17:231-234. 1953.
- NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L. & BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J. et al. **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília-DF: EMBRAPA-SEA, 1991. p. 189-254.
- PITMAN, M. G. The location of the donnan free space in disks of beetroot tissue. **Aust. J. Biol. Sci.**, 18:547-553, 1965.
- RAMOS, G. M. **Influência da capacidade de troca catiônica das raízes, sobre a competição entre gramíneas e leguminosas consorciadas**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1976. 38p. (Dissertação de Mestrado)
- RUIZ, H. A. & FERNANDES FILHO, E. I. Cinética: software para estimar as constantes $V_{m\acute{a}x}$ e K_m da equação de Michaelis-Menten. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS., Piracicaba. Anais de simpósios. Campinas: Fundação Cargill, 1992. p.124-125. (Série Técnico-Científica).
- SMITH, R. L. & WALLACE, A. Influence of nitrogen fertilization, cation concentration, and root cation-exchange capacity on calcium and potassium uptake by plants. **Soil Sci.**, 82:165- 172, 1955.
- WACQUANT, J. P. Physico-chemical selectivity for cations and CEC of grass roots. **Plant Soil**, 47:257-261, 1977.
- WAHID, P. A., KAMALA, C. B. & PILLAI, N. G. Inter-relationships among root CEC, yield and mono-and divalent cations in coconut (*cocos Nucifera L.*). **Plant Soil**, 40:607-617. 1974.
- YANG, W. Q. & GOULART, B. L. Mycorrhizal infection reduces short-term aluminium uptake and increases root cation exchange capacity of highbush blueberry plants. **HortScience.**, 35:1083-1086, 2000.

APÊNDICE

QUADRO 1A. Peso de matéria fresca da raiz de gramíneas e leguminosas cultivadas em solução nutritiva para estabelecimento da cinética. Valores de três repetições

FORRAGEIRAS	R1	R2	R3	R1	R2	R3
	----- g vaso ⁻¹ -----					
L. leucocephala	3,15	6,32	8,64	0,38	0,81	1,08
<i>A. pintoi</i>	3,00	1,42	2,51	0,35	0,17	0,29
S. guianensis	0,61	0,95	0,61	0,08	0,12	0,10
B. híbrida	4,73	3,78	7,50	0,39	0,34	0,46
B. brizantha	7,21	6,15	2,76	0,43	0,59	0,21
<i>P. maximum</i>	3,72	6,40	4,51	0,33	0,49	0,30

QUADRO 2A. Valores médios da concentração de NH_4^+ (mg L^{-1}) na solução nutritiva em função do tempo (h) na presença de gramíneas e leguminosas

TEMPO	FORRAGEIRAS					
	<i>L. leucocephala</i>	<i>A. pintoi</i>	S. guianensis	B. híbrida	B. brizantha	<i>P. maximum</i>
	----- mg L ⁻¹ -----					
0	0,7908	0,7750	0,7946	0,6990	0,8333	0,9074
0,5	0,8368	0,7894	0,7184	0,9081	0,7632	0,9054
1,0	0,6680	0,5540	0,5493	0,7578	0,7550	0,7539
1,5	0,6904	0,5399	0,6488	0,7406	0,6640	0,6980
2,0	0,7554	0,4290	0,6876	0,7254	0,7445	0,7049
2,5	0,7744	0,7440	0,5310	0,7139	0,7037	0,6932
3,0	0,7066	0,5049	0,4732	0,6953	0,6801	0,6881
3,5	0,6513	0,6193	0,4628	0,5831	0,6587	0,6464
4,0	0,6205	0,3819	0,4227	0,5290	0,6452	0,5677
5,0	0,6177	0,3828	0,3819	0,4764	0,6221	0,4659
6,0	0,6159	- ¹	0,3733	0,4397	0,6008	0,3643
7,0	0,6127	0,3572	0,3544	0,4223	0,5898	0,3348
8,0	0,6103	0,2226	0,3522	0,2969	0,4853	0,2495
10	0,6079	0,2140	0,3192	0,2140	0,4353	0,0470
12	0,6078	0,1299	0,3089	0,0901	0,3516	0,0409
24	0,6024	0,0652	0,3071	0,0489	0,1753	0,0371

¹ Média eliminada.

QUADRO 3A. Valores médios da concentração de K⁺ (mg L⁻¹) na solução nutritiva em função do tempo (h) na presença de gramíneas e leguminosas

TEMPO	FORRAGEIRAS					
	<i>L. leucocephala</i>	<i>A. pintoii</i>	S. guianensis	B. híbrida	B. brizantha	<i>P. maximum</i>
	----- mg L ⁻¹ -----					
0	3,618	3,884	3,884	3,884	4,017	3,884
0,5	3,618	3,485	3,352	3,751	4,017	3,884
1,0	3,618	3,485	3,485	3,618	4,017	3,485
1,5	3,418	3,352	3,352	3,781	4,017	3,485
2,0	3,232	3,138	3,055	3,387	3,719	3,387
2,5	3,146	3,292	2,972	3,055	2,231	3,055
3,0	3,412	3,231	3,231	3,396	3,727	3,065
3,5	3,396	3,231	3,065	3,396	3,727	3,068
4,0	3,384	3,236	3,396	3,411	3,725	3,071
5,0	3,379	3,240	3,231	3,148	3,727	2,983
6,0	3,392	3,250	3,251	3,006	3,693	2,834
7,0	3,402	3,175	3,259	2,798	3,572	2,673
8,0	3,393	3,175	3,175	2,589	3,446	2,673
10	3,401	3,176	3,173	2,338	3,321	2,421
12	3,368	3,169	3,077	2,070	2,986	1,820
24	3,385	2,919	3,093	0,738	1,363	0,489

QUADRO 4A. Valores médios da concentração de Ca^{2+} (mg L^{-1}) na solução nutritiva em função do tempo (h) na presença de gramíneas e leguminosas

FORRAGEIRAS						
TEMPO	<i>L. leucocephala</i>	<i>A. pintoi</i>	S.	B. híbrida	B.	<i>P. maximum</i>
			guianensis		brizantha	
	----- mg L ⁻¹ -----					
0	5,485	6,274	6,461	4,042	3,922	4,077
0,5	6,061	7,981	8,018	5,536	5,52	4,341
1,0	5,634	8,016	8,152	6,221	6,170	5,976
1,5	5,776	7,277	7,725	6,250	6,122	5,773
2,0	3,820	5,945	6,081	3,996	4,223	4,151
2,5	3,814	5,830	5,846	4,136	3,902	4,079
3,0	3,768	5,841	5,910	4,126	3,843	4,017
3,5	3,744	7,306	7,015	4,063	3,836	3,963
4,0	3,734	5,905	6,250	4,051	3,835	3,948
5,0	3,678	5,890	5,991	4,020	3,839	3,916
6,0	3,668	5,880	6,203	4,004	3,835	3,853
7,0	3,655	5,932	6,156	3,991	3,829	3,857
8,0	3,638	5,899	6,133	3,942	3,828	3,843
10	3,656	5,842	6,030	3,924	3,827	3,650
12	3,610	5,746	5,813	3,898	3,769	3,743
24	3,531	5,251	5,758	3,781	3,628	3,416

QUADRO 5A. Valores médios da concentração de Mg^{2+} ($mg L^{-1}$) na solução nutritiva em função do tempo (h) na presença de gramíneas e leguminosas

TEMPO	FORRAGEIRAS					
	<i>L. leucocephala</i>	<i>A. pintoii</i>	S. guianensis	B. híbrida	B. brizantha	<i>P. maximum</i>
	----- mg L ⁻¹ -----					
0	2,325	2,504	2,581	2,538	2,536	2,429
0,5	2,178	2,405	2,290	2,424	2,464	2,336
1,0	2,114	2,394	2,392	2,344	2,442	2,234
1,5	2,234	2,442	2,368	2,320	2,448	2,290
2,0	2,435	2,551	2,491	2,641	2,680	2,553
2,5	2,348	2,531	2,450	2,533	2,644	2,373
3,0	2,531	2,756	2,755	2,545	2,626	2,631
3,5	2,530	2,740	2,668	2,547	2,589	2,621
4,0	2,511	2,635	2,648	2,547	2,596	2,623
5,0	2,479	2,638	2,618	2,546	2,586	2,571
6,0	2,416	2,576	2,505	2,532	2,565	2,398
7,0	2,375	2,543	2,498	2,433	2,520	2,295
8,0	2,369	2,523	2,489	2,469	2,516	2,283
10	2,381	2,541	2,488	2,438	2,496	2,291
12	2,383	2,560	2,496	2,467	2,492	2,299
24	2,250	2,543	2,475	2,433	2,517	2,295

QUADRO 6A. Valores médios do conteúdo de NH_4^+ (mg vaso^{-1}) na solução nutritiva em função do tempo (h) na presença de gramíneas e leguminosas

TEMPO	FORRAGEIRAS					
	<i>L. leucocephala</i>	<i>A. pintoi</i>	S. guianensis	B. híbrida	B. brizantha	<i>P. maximum</i>
	----- mg vaso ⁻¹ -----					
0	0,7908	0,7750	0,7946	0,6990	0,8333	0,9074
0,5	0,8320	0,7850	0,7145	0,9029	0,7589	0,9001
1,0	0,6604	0,5478	0,5126	0,7491	0,7201	0,7452
1,5	0,6787	0,5309	0,6382	0,7278	0,6527	0,6858
2,0	0,7382	0,4194	0,6726	0,7087	0,7276	0,6885
2,5	0,8035	0,7233	0,4886	0,6934	0,6836	0,6731
3,0	0,6825	0,4880	0,4576	0,6712	0,6568	0,6642
3,5	0,6253	0,5933	0,4451	0,5596	0,6325	0,6201
4,0	0,5923	0,3649	0,4042	0,5046	0,6158	0,5413
5,0	0,5856	0,3634	0,3629	0,4514	0,5899	0,4412
6,0	0,5799	- ¹	0,3525	0,4137	0,5658	0,3426
7,0	0,5731	0,3348	0,3326	0,3945	0,5517	0,3126
8,0	0,5670	0,2074	0,3284	0,2758	0,4651	0,2314
10	0,5600	0,1967	0,2939	0,1968	0,4353	0,0432
12	0,5552	0,1180	0,2807	0,0821	0,3210	0,0372
24	0,5373	0,1436	0,2741	0,0425	0,1228	0,0329

¹ Média eliminada.

QUADRO 7A. Valores médios do conteúdo de K⁺ (mg vaso⁻¹) na solução nutritiva em função do tempo (h) na presença de gramíneas e leguminosas

TEMPO	FORRAGEIRAS					
	<i>L. leucocephala</i>	<i>A. pintoi</i>	S. guianensis	B. híbrida	B. brizantha	<i>P. maximum</i>
	----- mg vaso ⁻¹ -----					
0	3,618	3,884	3,884	3,884	4,017	3,884
0,5	3,598	3,466	3,334	3,729	3,994	3,862
1,0	3,577	3,446	3,447	3,576	3,971	3,445
1,5	3,360	3,296	3,297	3,686	3,948	3,424
2,0	3,159	3,267	2,988	3,309	3,634	3,308
2,5	3,057	3,136	2,891	2,967	3,249	2,966
3,0	3,296	3,125	3,125	3,279	3,598	3,959
3,5	3,261	3,105	2,945	3,259	3,577	2,944
4,0	3,231	3,093	3,248	3,244	3,313	3,322
5,0	3,204	3,076	3,071	2,983	3,531	2,825
6,0	3,195	3,066	3,070	2,828	3,475	2,662
7,0	3,182	2,976	3,059	2,614	3,338	2,496
8,0	3,153	2,956	2,961	2,402	3,198	2,478
10	3,134	2,918	2,922	2,151	3,055	2,225
12	3,077	2,873	2,797	1,888	2,723	1,658
24	3,019	2,592	2,762	0,656	1,211	0,434

QUADRO 8A. Valores médios do conteúdo de Ca^{2+} (mg vaso^{-1}) na solução nutritiva em função do tempo (h) na presença de gramíneas e leguminosas

TEMPO	FORRAGEIRAS					
	<i>L. leucocephala</i>	<i>A. pintoi</i>	S. guianensis	B. híbrida	B. brizantha	<i>P. maximum</i>
	----- mg vaso ⁻¹ -----					
0	5,485	6,274	6,461	4,042	3,922	4,077
0,5	6,026	7,937	7,974	5,504	5,488	4,316
1,0	5,570	7,926	8,066	6,149	6,100	5,906
1,5	5,677	7,155	7,598	6,142	6,018	5,673
2,0	3,733	5,812	5,948	4,126	3,905	4,055
2,5	3,705	5,667	5,687	4,017	3,791	3,961
3,0	3,639	5,979	5,716	3,983	3,712	3,877
3,5	3,594	7,024	6,746	3,899	3,683	3,802
4,0	3,564	5,642	5,976	3,864	3,660	3,765
5,0	3,487	5,592	5,694	3,8083	3,640	3,718
6,0	3,454	5,546	5,858	3,767	3,611	3,623
7,0	3,418	5,559	5,806	3,729	3,581	3,602
8,0	3,380	5,491	5,720	3,657	3,556	3,563
10	3,368	5,367	5,552	3,608	3,524	3,548
12	3,297	5,208	5,283	3,553	3,442	3,409
24	3,150	4,662	5,140	3,358	3,235	3,029

QUADRO 9A. Valores médios do conteúdo de Mg^{2+} ($mg\ vaso^{-1}$) na solução nutritiva em função do tempo (h) na presença de gramíneas e leguminosas

FORRAGEIRAS						
TEMPO	<i>L. leucocephala</i>	<i>A. pintoii</i>	S.	B. híbrida	B.	<i>P. maximum</i>
			guianensis		brizantha	
	----- mg vaso ⁻¹ -----					
0	2,325	2,504	2,581	2,538	2,536	2,429
0,5	2,166	2,392	2,278	2,410	2,449	2,322
1,0	2,091	2,368	2,366	2,317	2,415	2,209
1,5	2,197	2,402	2,329	2,279	2,406	2,216
2,0	2,379	2,495	2,437	2,581	2,619	2,494
2,5	2,282	2,461	2,383	2,460	2,569	2,304
3,0	2,445	2,664	2,665	2,455	2,537	2,540
3,5	2,429	2,601	2,566	2,445	2,486	2,515
4,0	2,397	2,518	2,533	2,429	2,478	2,502
5,0	2,350	2,504	2,488	2,413	2,452	2,435
6,0	2,276	2,430	2,366	2,383	2,422	2,255
7,0	2,221	2,383	2,345	2,273	2,356	2,143
8,0	2,201	2,349	2,322	2,291	2,337	2,117
10	2,194	2,335	2,448	2,273	2,299	2,106
12	2,177	2,320	2,269	2,249	2,276	2,094
24	2,007	2,258	2,209	2,161	2,243	2,035

QUADRO 10A. Quadrados médios da análise de variância dos conteúdos de NH_4^+ , em leguminosas e gramíneas forrageiras em função do tempo cultivadas em solução nutritiva

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS
		L. leucocephala
Tempo (T)	15	0,01472094**
Resíduo	28	0,0007792614
CV(%)	4,195	
		A. pintoi
Tempo (T)	16	0,0895591**
Resíduo	22	0,01007737
CV(%)	23,903	
		S. guianensis
Tempo (T)	15	0,05800378**
Resíduo	25	0,00174184
CV(%)	8,342	
		B. híbrida
Tempo (T)	15	0,1941138**
Resíduo	30	0,002273424
CV(%)	9,146	
		B. brizantha
Tempo (T)	15	0,08555526**
Resíduo	30	0,004009337
CV(%)	10,464	
		P. maximum
Tempo (T)	15	0,2584016**
Resíduo	28	0,003832541
CV(%)	12,460	

** significativo a 1 % pelo teste F.

QUADRO 11A. Quadrados médios da análise de variância dos conteúdos de K⁺, em leguminosas e gramíneas forrageiras em função do tempo cultivadas em solução nutritiva

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS
		L. leucocephala
Tempo (T)	15	0,04622667**
Resíduo	30	0,01221208
CV(%)	3,245	
		A. pintoi
Tempo (T)	17	0,1316683**
Resíduo	31	0,02070630
CV(%)	4,417	
		S. guianensis
Tempo (T)	17	0,1227731**
Resíduo	32	0,02378851
CV(%)	4,756	
		B. híbrida
Tempo (T)	15	1,888459**
Resíduo	27	0,05025115
CV(%)	7,476	
		B. brizantha
Tempo (T)	15	1,153969**
Resíduo	30	0,02758889
CV(%)	4,768	
		P. maximum
Tempo (T)	15	1,997370**
Resíduo	24	0,01234061
CV(%)	3,908	

** significativo a 1 % pelo teste F.

QUADRO 12A. Quadrados médios da análise de variância dos conteúdos de Ca^{2+} , em leguminosas e gramíneas forrageiras em função do tempo cultivadas em solução nutritiva

	GL	QUADRADOS MÉDIOS
		L. leucocephala
Tempo (T)	15	2,565080**
Resíduo	30	0,01854611
CV(%)	3,241	
		A. pintoi
Tempo (T)	12	0,09512659**
Resíduo	24	0,004825169
CV(%)	1,194	
		S. guianensis
Tempo (T)	14	0,2855698**
Resíduo	28	0,02525651
CV(%)	2,599	
		B. híbrida
Tempo (T)	11	0,04336439**
Resíduo	22	0,01202727
CV(%)	2,734	
		B. brizantha
Tempo (T)	11	0,06398567**
Resíduo	22	0,007872150
CV(%)	2,301	
		P. maximum
Tempo (T)	13	0,1105624**
Resíduo	23	0,009494941
CV(%)	2,512	

** significativo a 1 % pelo teste F.

QUADRO 13A. Quadrados médios da análise de variância dos conteúdos de Mg²⁺, em leguminosas e gramíneas forrageiras em função do tempo cultivadas em solução nutritiva

	GL	QUADRADOS MÉDIOS
		L. leucocephala
Tempo (T)	15	0,0347909**
Resíduo	24	0,004606884
CV(%)	2,878	
		A. pintoi
Tempo (T)	11	0,007034591**
Resíduo	19	0,0005816881
CV(%)	0,938	
		<i>S. guianensis</i>
Tempo (T)	15	0,008218224*
Resíduo	24	0,002039658
CV(%)	1,803	
		B. híbrida
Tempo (T)	12	0,01017088**
Resíduo	20	0,001441958
CV(%)	1,512	
		<i>B. brizantha</i>
Tempo (T)	15	0,01188696*
Resíduo	23	0,005051431
CV(%)	2,768	
		<i>P. maximum</i>
Tempo (T)	15	0,04620585**
Resíduo	25	0,006684966
CV(%)	3,429	

** significativo a 1 % pelo teste F.

QUADRO 14A. Quadrados médios da análise de variância dos parâmetros da cinética de absorção (Imax e Km) de NH_4^+ e K^+ em função das espécies

FV	GL	QUADRADO MÉDIO					
		NH_4^+			K^+		
		Imax	Km	Cmin	Imax	Km	Cmin
Espécies	5	10674,22**	836,0182**	727,2017**	6081,744**	32476,17**	3181,775*
Resíduo	12	1869,073	107,9815	33,90117	628,2313	2188,974	663,6072
CV(%)		93,83	25,86	36,58	72,8	38,84	45,11

** e * significativo a 1 e 5 % respectivamente pelo teste F.

QUADRO 15A. Quadrados médios da análise de variância dos parâmetros da cinética de absorção (Imax e Km) de Ca^{2+} e Mg^{2+} em função das espécies

FV	GL	QUADRADO MÉDIO					
		Ca^{2+}			Mg^{2+}		
		Imax	Km	Cmin	Imax	Km	Cmin
Espécies	5	1529,998**	56573,22**	1909,525**	402,8419**	26960,58**	75,35542**
Resíduo	12	72,58642	409,6956	14,41317	54,07725	3743,495	13,45158
CV(%)		40,23	10,85	3,59	45,38	33,715	3,64

** significativo a 1 % respectivamente pelo teste F.

QUADRO 16A. Quadrados médios da análise de variância da quantidade líquida absorvida de NH_4^+ e K^+ pelas leguminosas em função do desdobramento do efeito das leguminosas dentro das gramíneas cultivadas por 45 dias em solução nutritiva

FV	GL	QUADRADO MÉDIO	
		NH_4^+	K^+
Gramíneas	5	259,6045 ^{ns}	407,9944ns
L X G1 ¹	1	10084,89**	2842,126**
L X G2 ²	1	2865,494 ^{ns}	460,9020ns
L X G3 ³	1	8831,031**	1307,99*
Resíduo	12	747,5139	238,3375
CV(%)		30,090	28,428

^{ns}, ** e * não significativo e significativo a 1 e 5% respectivamente pelo teste F. ¹ *B. brizantha*, ² *B. híbrida* e ³ *P. maximum*.

QUADRO 17A. Quadrados médios da análise de variância da quantidade líquida absorvida de Ca^{2+} e Mg^{2+} pelas leguminosas em função do desdobramento do efeito das leguminosas dentro das gramíneas cultivadas por 45 dias em solução nutritiva

FV	GL	QUADRADO MÉDIO	
		Ca^{2+}	Mg^{2+}
Gramíneas	2	43,87801 ^{ns}	12,94959 ^{ns}
L X G1 ¹	1	87,40448 ^{ns}	15,13432 ^{ns}
L X G2 ²	1	2,348879 ^{ns}	3,797329 ^{ns}
L X G3 ³	1	24,35063 ^{ns}	3,977487 ^{ns}
Resíduo	12	38,26496	7,694213
CV(%)		31,913	29,474

^{ns} não significativo pelo teste F. ¹ *B. brizantha*, ² B. híbrida e ³ *P. maximum*.

QUADRO 18A. Quadrados médios da análise de variância da quantidade líquida absorvida de NH_4^+ e K^+ pelas gramíneas em função do desdobramento do efeito das gramíneas dentro das leguminosas cultivadas por 45 dias em solução nutritiva

FV	GL	QUADRADO MÉDIO	
		NH_4^+	K^+
Leguminosas	1	27796,29ns	110517,9ns
G X L1 ¹	2	2647447,0**	1602882,0**
G X L2 ²	2	2471868,0**	1938187,0**
Resíduo	12	91526,0	141499,8
CV (%)		15,217	19,687

^{ns}, ** não significativo e significativo a 5% respectivamente pelo teste F.

¹*L.leucocephala* e ² *A. pintoii*.

QUADRO 19A. Quadrados médios da análise de variância da quantidade líquida absorvida de Ca^{2+} e Mg^{2+} pelas gramíneas em função do desdobramento do efeito das gramíneas dentro das leguminosas cultivadas por 45 dias em solução nutritiva

FV	GL	QUADRADO MÉDIO	
		Ca^{2+}	Mg^{2+}
Leguminosas	1	1718,017 ^{ns}	1374,781 ^{ns}
G X L ¹	2	117823,6**	61127,50**
G X L ²	2	84690,52**	57777,00**
Resíduo	12	3013,810	3173,871
CV (%)		20,814	21,238

^{ns}, ** não significativo e significativo a 1% respectivamente pelo teste F.

¹*L.leucocephala* e ² *A. pintoii*.

QUADRO 20A. Quadrados médios da análise de variância da eficiência de absorção de NH_4^+ e K^+ pelas leguminosas em função do desdobramento do efeito das leguminosas dentro das gramíneas cultivadas por 45 dias em solução nutritiva

FV	GL	QUADRADO MÉDIO	
		NH_4^+	N- NH_4^+
Gramíneas	2	483,8990 ^{ns}	545,6852 ^{ns}
L X G1 ¹	1	391,7965 ^{ns}	1372,909 ^{ns}
L X G2 ²	1	1250,117 ^{ns}	3,051280 ^{ns}
L X G3 ³	1	7203,457 ^{ns}	254,0809 ^{ns}
Resíduo	12	1980,812	895,6496
CV(%)		29,910	32,757

^{ns} não significativo pelo teste F. ¹ *B. brizantha*, ² B. híbrida e ³ *P. maximum*.

QUADRO 21A. Quadrados médios da análise de variância da eficiência de absorção de Ca^{2+} e Mg^{2+} pelas leguminosas em função do desdobramento do efeito das leguminosas dentro das gramíneas cultivadas por 45 dias em solução nutritiva

FV	GL	QUADRADO MÉDIO	
		Ca^{2+}	Mg^{2+}
Gramíneas	2	101,7094 ^{ns}	59,75601 ^{ns}
L X G1 ¹	1	840,5105 ^{ns}	84,36761 ^{ns}
L X G2 ²	1	184,5038 ^{ns}	105,7160 ^{ns}
L X G3 ³	1	135,6548 ^{ns}	50,18184 ^{ns}
Resíduo	12	189,5718	28,16731
CV(%)		40,104	31,589

^{ns} não significativo pelo teste F. ¹ *B. brizantha*, ² *B. híbrida* e ³ *P. maximum*.

QUADRO 22A. Quadrados médios da análise de variância da eficiência de absorção de NH_4^+ e K^+ pelas gramíneas em função do desdobramento do efeito das gramíneas dentro das leguminosas cultivadas por 45 dias em solução nutritiva

FV	GL	QUADRADO MÉDIO	
		NH_4^+	K^+
Leguminosas	1	4,875615 ^{ns}	171,4853 ^{ns}
G X L1 ¹	2	1739,285*	311,2226 ^{ns}
G X L2 ²	2	1497,718*	975,7272 ^{ns}
Resíduo	12	255,0567	510,0988
CV (%)		12,872	18,704

^{ns}, * não significativo e significativo a 1% respectivamente pelo teste F.

¹*L.leucocephala* e ² *A. pintoi*.

QUADRO 23A. Quadrados médios da análise de variância da eficiência de absorção de Ca^{2+} e Mg^{2+} pelas gramíneas em função do desdobramento do efeito das gramíneas dentro das leguminosas cultivadas por 45 dias em solução nutritiva

FV	GL	QUADRADO MÉDIO	
		Ca^{2+}	Mg^{2+}
Leguminosas	1	0,1442969 ^{ns}	0,4549263 ^{ns}
G X L ¹	2	161,8514 ^{**}	49,29532 ^{**}
G X L ²	2	106,1992 ^{**}	58,05338 ^{**}
Resíduo	12	8,021306	3,916140
CV (%)		17,823	12,180

^{ns}, ^{**} não significativo e significativo a 5% respectivamente pelo teste F.

¹*L.leucocephala* e ² *A. pintoj*.