

## Calagem e Adubação de Pastagens

Newton de Lucena Costa; Valdinei Tadeu Paulino; Antônio Neri Azevedo Rodrigues; Cláudio Ramalho Townsend; João Avelar Magalhães

### 1. Introdução

As principais unidades de mapeamento que ocorrem em Rondônia, de acordo com o levantamento de solos efetuado pela Embrapa (1983), estão representadas pelos Latossolos Amarelo e Vermelho-Amarelo álicos, que ocorrem em mais de 40% da área do Estado, e pelos Podzólicos Vermelho-Amarelo álicos distróficos em mais de 20%, seguindo-se com menor frequência Podzólicos eutróficos e Terra Roxa Estruturada, que representam cerca de 10% da superfície do Estado. O restante é representado por Areias Quartzosas, Gley Pouco Úmico, Cambissolos, Plintissolos, Aluviais distróficos, Hidromórficos e Afloramentos Rochosos (Tabela 1).

**Tabela 1.** Extensão e percentagem das unidades de mapeamento dos solos de Rondônia.

Unidades de Mapeamento	Área (km <sup>2</sup> )	%	Fertilidade
Latossolo Amarelo álico	19.393	7,98	Baixa
Latossolo Vermelho-Escuro álico	4.844	2,03	Baixa
Latossolo Vermelho-Amarelo álico	76.268	31,30	Baixa
Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	8.629	3,55	Baixa
Terra Roxa Estruturada	1.973	0,81	Alta
Podzólico Vermelho-Escuro eutrófico	25.496	10,49	Alta
Podzólico Vermelho-Amarelo álico distróficos	50.432	20,78	Média
Planossolo eutrófico	1.237	0,55	Média
Cambissolo álico	8.305	3,41	Baixa
Plintissolo álico	10.383	4,26	Baixa
Gley Húmico álico	25	0,01	Baixa
Gley Pouco Húmico álico	8.106	3,34	Baixa
Solos Hidromórficos	2.276	0,94	Baixa
Areias Quartzosas Hidromórficas	230	0,09	Baixa
Areias Quartzosas álicas	14.943	6,15	Baixa
Solos Aluviais álicos	260	0,11	Baixa
Solos Aluviais distróficos	2.696	1,46	Baixa
Solos Litólicos arenosos	3.520	1,10	Baixa
Solos Litólicos distróficos	2.484	1,02	Baixa
Afloramentos de rochas	301	0,13	--
Águas Internas	1.153	0,49	--

Fonte: Embrapa (1983).

No Estado foram identificados 186.422 km<sup>2</sup> de solos aptos para lavouras; 8.626 km<sup>2</sup> podem ser indicados para o estabelecimento de pastagens cultivadas e 6.549 km<sup>2</sup> podem ser utilizados para silvicultura e pastagens naturais. Identificaram-se ainda 41.427 km<sup>2</sup> de solos que não apresentam aptidão agrícola. Em 161.689 km<sup>2</sup> (66,53%) os solos têm como principal limitação a fertilidade natural, enquanto que em 79.138 km<sup>2</sup> (32,63%) são considerados solos de média a alta fertilidade. Uma

área de 15.173 km<sup>2</sup> de solo classificado como Areias Quartzosas deve ser considerada como reserva ecológica, pois corresponde a um ecossistema extremamente frágil, passível de desequilíbrios irreversíveis caso sejam desmatados (Jorge & Souza Lima, 1988).

## 2. Nutrientes Limitantes

Trabalhos realizados em Rondônia, com o objetivo de avaliar os efeitos da adição ou omissão de macro e micronutrientes na produção de diversas gramíneas (*B. decumbens*, *B. brizantha* cv. Marandu, *B. humidicola*, *H. rufa*, *P. maximum* cv. Centenário e *P. atratum* cv. Pojuca) e leguminosas forrageiras (*S. guianensis*, *C. pubescens* e *D. ovalifolium*), consistentemente demonstraram que o P foi o nutriente mais limitante, cuja ausência na adubação completa proporcionou drásticas reduções no rendimento de forragem. Os efeitos de K, S, calagem e micronutrientes foram menos acentuados (Tabela 2). Contudo, a aplicação de níveis mais altos de P (150 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha) implicou em sintomas de deficiência de K, sugerindo que, nesses casos, a adubação potássica possa ser necessária (Serrão et al., 1979). Da mesma forma, Italiano et al. (1982) e Azevedo & Souza (1982) não evidenciaram efeitos significativos da aplicação de K, S, calcário e micronutrientes na produção de MS de *P. maximum*. A calagem pode ser desnecessária nas condições de pastagens cultivadas, em áreas de floresta, face às modificações químicas prolongadas impostas aos seus solos pela queima.

**Tabela 2.** Produção relativa (%) de forragem de gramíneas e leguminosas com adubação completa menos um nutriente e sem adubação, em áreas de pastagens de Rondônia.

Adubação	<i>Brachiaria decumbens</i>	<i>Brachiaria brizantha</i>	<i>Brachiaria humidicola</i>	<i>Hyparrhenia rufa</i>	<i>Panicum maximum</i>	<i>Paspalum atratum</i>	Leguminosas
Completo (C)*	100	100	100	100	100	100	100
C - P	47	48	56	45	16	22	55
C - K	70	42	74	84	59	54	60
C - S	62	68	84	53	37	44	77
C - Calcário	75	70	95	72	63	75	79
C - FTE BR-12	73	77	92	67	96	90	59
Testemunha	54	17	70	44	15	20	46

Fontes: Costa et al. (1989c,f; 1997a; 1998a; 2002b,c,d; 2004b), Costa & Paulino (2001), Gonçalves et al. (1990a,b); Townsend et al. (2003).

\* Completo = P + K + S + Calcário + FTE BR-12.

P = 100 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha (superfosfato triplo).

K = 100 kg de K<sub>2</sub>O/ha (cloreto de potássio).

S = 50 kg de S/ha (enxofre elementar).

Calcário = 1.000 kg de calcário dolomítico/ha (PRNT = 100%).

FTE BR-12 = 30 kg/ha (mistura comercial de micronutrientes).

A remoção de nutrientes, via produtos animais, é relativamente pequena, quando comparada ao estoque disponível no ecossistema de pastagem. Salinas (1987) constatou que para uma produção de 504 kg de peso vivo/ha/ano, os nutrientes mais exportados foram o Ca (5,56 kg/ha/ano); P (3,28 kg/ha/ano) e o K (1,11 kg/ha/ano), enquanto que a retirada do S (0,76 kg/ha/ano) e do Mg (0,22 kg/ha/ano) foram de baixa magnitude. Logo, a adoção de práticas de manejo que envolva a utilização de germoplasma forrageiro com baixo requerimento nutricional, além de sistemas e pressões de pastejo compatíveis com a manutenção do equilíbrio do sistema solo-planta-animal, pode ser considerada como a chave para assegurar a produtividade das pastagens cultivadas, por longos períodos de tempo, nas áreas de floresta da região Amazônica.

### 3. Fertilidade do Solo

Em Rondônia, cerca de 66% de seus solos apresentam um complexo de infertilidade, caracterizado por baixa capacidade de troca de cátions (CTC); baixa disponibilidade de P; elevada acidez e alta saturação de alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ). O processo de acidificação do solo consiste na remoção dos cátions adsorvidos no complexo sortivo e sua substituição por outros com cargas de mesmo sinal, notadamente o hidrogênio ( $\text{H}^+$ ) e o  $\text{Al}^{3+}$ .

As componentes da acidez do solo são representadas pela acidez ativa e acidez potencial. A acidez ativa é a concentração de íons  $\text{H}^+$  presentes na solução do solo, em um dado momento, sendo determinada por meio de sua atividade através do índice de pH. Os íons  $\text{H}^+$  são liberados por diversas substâncias, tais como: húmus ou matéria orgânica (MO), argilas silicatadas, óxidos hidratados de ferro e  $\text{Al}^{3+}$ , sais solúveis e dióxido de carbono. A concentração de  $\text{H}^+$ , na solução do solo, não afeta diretamente o desenvolvimento vegetal, exceto em caso extremos (Quaggio, 1986; Salinas, 1987; Faquin, 1994).

A acidez potencial é definida como o conjunto de substâncias que liberam e mantêm altos níveis de  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$  na solução do solo e, conseqüentemente, dificultam a manutenção do pH naqueles valores ideais para o crescimento das plantas forrageiras. A acidez potencial deve ser corrigida, sendo a indicadora da quantidade de calcário que um solo deve receber por área (Quaggio, 1986; Faquin, 1994).

#### 3.1. Alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ )

Devido às interações do íon  $\text{Al}^{3+}$  com o meio ambiente, a manifestação de seu efeito tóxico fica condicionado aos diversos componentes ativos do solo. O pH afeta a solubilidade do  $\text{Al}^{3+}$  na solução do solo; na faixa de pH 5,5 a 7,5 o  $\text{Al}^{3+}$  é precipitado apresentando baixa ou nenhuma solubilidade; com pH inferior a 5,5 e acima de 7,5 a sua solubilidade aumenta rapidamente. Em pH inferior a 5,5 compostos de  $\text{Al}^{3+}$ , ferro e manganês tornam-se solúveis, sendo em parte, responsáveis pela fixação do P, retirando-o da solução do solo e, conseqüentemente, induzindo a uma redução em sua disponibilidade, além de afetar a sua absorção e translocação pelas plantas. Kerridge et al. (1971) constatou que o  $\text{Al}^{3+}$  foi consideravelmente mais tóxico para as plantas em pH 4,5 que em pH 4,0, sugerindo que um produto hidrolítico de  $\text{Al}^{3+}$ , ao invés de sua forma solúvel seria o responsável pela inibição do crescimento radicular.

Os efeitos primários da toxidez de  $\text{Al}^{3+}$  caracterizam-se por injúrias no sistema radicular, o qual fica com crescimento reduzido, tornando-se as raízes escuras, deformadas e intumescidas. McCormick & Borden (1972), através de microfotografias, mostraram claramente o precipitado de fosfato de  $\text{Al}^{3+}$  ocorrendo na raiz como glóbulos dispersos na camada contínua, ao longo da superfície da raiz, na região intercelular das células epidérmicas e corticais e na membrana citoplasmática da região próxima à coifa. O  $\text{Al}^{3+}$  ao inibir a divisão celular dos tecidos meristemáticos, reduz a elongação e penetração das raízes no solo e, conseqüentemente, reduz os pontos de absorção de água e nutrientes. O  $\text{Al}^{3+}$  inativa o mecanismo de absorção de  $\text{Ca}^{++}$  e tende a acumular-se nas raízes, impedindo a absorção e translocação do  $\text{Ca}^{++}$  e P para a parte aérea da planta, induzindo suas deficiências. Nas células, a ação deletéria do  $\text{Al}^{3+}$  pode provocar a ruptura da parede celular da epiderme das raízes (Salinas, 1987).

### 3.2. Cálcio ( $\text{Ca}^{++}$ )

O  $\text{Ca}^{++}$  ocorre em vários minerais primários do solo ligado aos silicatos de alumínio, fosfatos de  $\text{Ca}^{++}$  e carbonatos. O conteúdo de  $\text{Ca}^{++}$  no solo é variável, sendo afetado pelo material de origem e pelo grau de intemperismo do solo. Grande parte do  $\text{Ca}^{++}$  está adsorvida aos colóides orgânicos ou inorgânicos do solo. O  $\text{Ca}^{++}$  trocável tem efetiva participação na estrutura do solo, promovendo a floculação das argilas e melhorando a estabilidade dos agregados, além de promover o aumento da população de microrganismos, o que acelera a decomposição da MO, fornecendo material cimentante para a formação dos agregados (Mengel & Kirkby, 1982; Salinas, 1987). Os solos minerais podem conter altos teores de  $\text{Ca}^{++}$  em solução e sítios de troca bem supridos do nutriente, de forma a garantir a demanda das plantas forrageiras, contudo seu maior efeito deve-se ao aumento do pH e a melhoria da estrutura do solo.

Na planta é absorvido como  $\text{Ca}^{++}$  e transportado da raiz para a parte aérea sem depender do fornecimento de energia. A maior proporção do  $\text{Ca}^{++}$  da planta é insolúvel em água, ocorrendo como pectato, oxalato e adsorvido às proteínas. O pectato de  $\text{Ca}^{++}$  atua na constituição da lamela média da parede celular. A amilase é a única metaloenzima que contém  $\text{Ca}^{++}$ , embora algumas enzimas relacionadas ao metabolismo do P sejam ativadas pelo  $\text{Ca}^{++}$ . Nas folhas, cerca de 60% do  $\text{Ca}^{++}$  está nos cloroplastos, onde é necessário para a fosforilação fotossintética. A deficiência do  $\text{Ca}^{++}$  reduz o desenvolvimento radicular, afetando sua divisão celular e sua capacidade de absorção de nutrientes, podendo inclusive perder íons previamente absorvidos. Mengel & Kirkby (1982) constataram reduções no crescimento dos tecidos meristemáticos. A deficiência é observada primeiramente nas gemas apicais e folhas jovens que se apresentam deformadas e cloróticas, ocorrendo necrose marginal em estágios avançados. Os tecidos afetados tornam-se flácidos pela dissolução das paredes celulares. Na planta, a redução do teor de  $\text{Ca}^{++}$  é maior nos colmos, comparativamente às folhas. Nas gramíneas forrageiras observa-se redução no afilamento, colmos com pequena alongação e maior número de folhas secas. Em *H. rufa* pode ocorrer um avermelhamento intenso, murcha e secamento das folhas (Werner & Mattos, 1972).

### 3.3. Magnésio ( $\text{Mg}^{++}$ )

O teor de  $\text{Mg}^{++}$  dos solos arenosos está em torno de 0,05%, enquanto que nos argilosos pode atingir 0,5%, pois o  $\text{Mg}^{++}$  faz parte de minerais ferromagnesianos como biotita, serpentina e olivina. Contudo, pode ocorrer em minerais secundários de argila (clorita, vermiculita, illita e montmorilonita). O  $\text{Mg}^{++}$  pode apresentar-se nas formas trocável, não-trocável e solúvel, as quais estão em equilíbrio. O  $\text{Mg}^{++}$  trocável representa cerca de 5% do total e constitui de 4 a 20% da CTC do solo, enquanto que o Ca representa em torno de 80% e o K cerca de 4% da CTC (Mengel & Kirkby, 1982; Salinas, 1987). As perdas de  $\text{Mg}^{++}$  por lixiviação, notadamente nos solos altamente intemperizados ou nos arenosos, é alta, podendo variar entre 2 e 30 kg/ha/ano.

A absorção do  $\text{Mg}^{++}$  depende do nível de K no substrato. A deficiência de  $\text{Mg}^{++}$  pode ser induzida por um excesso de K na adubação, o que implicaria num efeito semelhante ao do alto teor de  $\text{Mg}^{++}$  no solo, aumentando a relação K/ $\text{Mg}^{++}$ . Na planta, a maior concentração do  $\text{Mg}^{++}$  ocorre na clorofila, que é uma porfirina magnésiana, onde o  $\text{Mg}^{++}$  corresponde a 2,7% de seu peso molecular, representando

cerca de 10% do teor total de  $Mg^{++}$  da folha. O  $Mg^{++}$  participa do metabolismo do fosfato, na respiração celular e na ativação de vários sistemas enzimáticos, sendo requerido para manter a integridade dos ribossomos e a estabilidade estrutural dos ácidos nucléicos e da membrana celular (Malavolta, 1980; Salinas, 1987). Sua concentração na MS das plantas varia de 0,05 até 0,7%.

## 4. Calagem

A calagem é uma das práticas agrícolas mais importantes em solos ácidos, pois além dos efeitos físicos (melhoria da estrutura dos solos argilosos, maior aeração e circulação da água), biológicos (melhoria da ação e desenvolvimento das minhocas e aumento da atividade de bactérias fixadoras de N e de outros microrganismos), condiciona várias transformações químicas no solo, significativas para o pleno desenvolvimento das plantas forrageiras, como:

1. diminuição da concentração de íons  $H^+$ ;
2. aumento da concentração dos íons  $OH^-$ ;
3. diminuição da solubilidade do Al, Fe e manganês (Mn) e, conseqüentemente, de suas toxicidades;
4. aumento da disponibilidade dos fosfatos e molibdatos;
5. aumento da eficiência dos fertilizantes;
6. aumento dos teores de Ca e Mg;
7. diminuição da disponibilidade de boro (B), Mn, K, cobre (Cu) e zinco (Zn) em alguns solos;
8. aumento das cargas dependentes do pH e, conseqüentemente, da CTC do solo;
9. aumento da percentagem de saturação de bases; e
10. aumento da liberação do N e S, pela decomposição da MO.

Os materiais usualmente utilizados para a calagem são os óxidos, carbonatos e silicatos de Ca e Mg. A presença apenas de nutrientes, como o Ca e Mg, não qualifica o material como calcário, pois além destes, o ânion que o acompanha deve ser capaz de reduzir a atividade do íon  $H^+$ . Deste modo, o gesso ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) contém Ca, mas o ânion  $SO_4$  que o acompanha não pode neutralizar o íon  $H^+$ ; logo, o gesso não deve ser considerado como material para a neutralização da acidez, mas como fonte de Ca e S (Fageria, 1989).

A qualidade do calcário é medida por sua composição química (teores de  $CaCO_3$ . $MgCO_3$ ); valor neutralizante (capacidade de deslocar íons  $H^+$  dos sítios de troca do complexo coloidal do solo); grau de finura (quanto mais fino maior será a superfície de contato e, portanto maior valor neutralizante); equivalente efetivo em  $CaCO_3$  (valor neutralizante x fator de finura); solubilidade (normalmente proporcional ao grau de finura e ao teor de Mg) e teor de umidade (superior a 10% dificulta a sua distribuição). A avaliação da reatividade é obtida levando-se em consideração a composição granulométrica, enquanto que o poder de neutralização é expresso em equivalente  $CaCO_3$  (correspondente ao índice 100), os quais definem o poder relativo de neutralização total (PRNT). Deste modo, uma tonelada de calcário com PRNT = 70% apresenta o mesmo efeito de correção de 700 kg de  $CaCO_3$ , puro e

finamente moído. Um calcário com PRNT inferior a 45% dificilmente produzirá efeitos corretivos no mesmo ano de aplicação, sendo o ideal a utilização de calcários com PRNT superior a 70%. Em função dos teores de Ca e Mg, os calcários podem ser classificados em dolomítico (25 a 30% de CaO e 13 a 20% de MgO); magnesiano (31 a 39% de CaO e 6 a 12% de MgO) e Calcítico (40 a 45% de CaO e 1 a 5% de MgO).

O calcário deve ser aplicado a lanço, de modo mais uniforme possível e incorporado ao solo, preferencialmente, no final do período chuvoso anterior ao plantio. Quando a recomendação for inferior a 3 t/ha, sugere-se fazer uma única aplicação, seguida da incorporação com arado ou grade pesada. Para doses maiores, aplicar metade antes da primeira aração ou gradagem e a outra parte antes da segunda gradagem. O cálculo da necessidade de calcário (NC) é realizado em função dos resultados da análise química do solo, através da fórmula:

$$NC = \frac{(V_2 - V_1) \times T}{100}$$

onde,

S = soma de bases trocáveis (Ca + Mg + K) em  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ ;

T = capacidade de troca de cátions do solo (S + H + Al);

V<sub>2</sub> = percentagem de saturação por bases recomendada;

V<sub>1</sub> = percentagem de saturação por bases atual do solo, onde

$$V_1 = \frac{(100 \times S)}{T}$$

As doses obtidas referem-se a calcário com PRNT de 100%. Quando o PRNT do calcário disponível for diferente de 100%, dever-se corrigir a dose recomendada, utilizando-se a fórmula:

$$\text{Dose aplicada (t/ha)} = \frac{\text{dose recomendada} \times 100}{\text{PRNT do calcário}}$$

Em Rondônia, Paulino et al. (1994), avaliando os efeitos da calagem em um Latossolo Amarelo (LA), textura argilosa, cultivado com *B. brizantha* cv. Marandu, constataram valores de pH de 4,3; 4,6 e 5,1; teores de Ca + Mg de 1,0; 1,7 e 2,6  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ ; teores de P de 1,0; 1,7 e 2,6 mg/kg e, teores de Al de 2,9; 2,4 e 1,7  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ , respectivamente com a aplicação de 0; 1,0 e 2,0 t de calcário dolomítico/ha. Utilizando o mesmo solo, cultivado com *B. humidicola*, Gonçalves et al. (1986) verificaram que a aplicação de até 6,0 t/ha de calcário dolomítico não foi suficiente para neutralizar o Al, embora tenha promovido incrementos de 528% nos teores de Ca; 833% nos teores de Mg e, 189% nos teores de P. Já, para o Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), textura argilosa, fase cerrado, a aplicação de apenas 800 kg/ha de calcário dolomítico neutralizou todo o Al trocável, além de aumentar a disponibilidade de Ca, Mg e P (Tabela 3). No entanto, para os rendimentos de MS da gramínea, as doses de máxima eficiência técnica (DMET) foram estimadas em 600 e 400 kg de calcário/ha, respectivamente para o LA e LVA.

**Tabela 3.** Efeito da calagem sobre as características químicas de dois solos de Rondônia.

Calcário (t/ha)	Latossolo Amarelo						Latossolo Vermelho-Amarelo					
	pH	Al <sup>+++</sup> Cmolc/dm <sup>3</sup>	Ca <sup>++</sup> Cmolc/dm <sup>3</sup>	Mg <sup>++</sup> Cmolc/dm <sup>3</sup>	P mg/kg	K mg/kg	pH	Al <sup>+++</sup> cmolc/dm <sup>3</sup>	Ca <sup>++</sup> cmolc/dm <sup>3</sup>	Mg <sup>++</sup> cmolc/dm <sup>3</sup>	P mg/kg	K mg/kg
0	4,2	3,5	0,7	0,3	1,9	57	4,2	0,3	1,8	1,2	2,2	84
0,2	4,2	2,5	0,8	0,4	1,3	61	4,3	0,2	2,0	1,2	3,2	90
0,4	4,3	2,4	1,0	0,7	1,5	60	4,4	0,2	2,3	1,3	2,8	90
0,6	4,3	2,2	1,2	0,9	3,2	60	4,5	0,1	2,3	1,4	4,7	90
0,8	4,4	1,9	1,3	0,9	4,0	61	4,5	0,0	2,7	1,5	3,7	95
1,0	4,7	1,5	1,6	1,2	2,8	63	4,5	0,0	2,9	1,7	5,0	105
2,0	5,1	1,5	2,3	1,8	4,3	57	4,6	0,0	3,3	1,8	4,6	84
4,0	5,6	1,2	3,7	2,0	4,0	57	4,6	0,0	3,8	2,2	4,5	85
6,0	5,8	1,2	4,4	2,8	5,5	58	4,8	0,0	4,2	2,7	6,5	84

Fonte: Gonçalves et al. (1986).

#### 4.1. Calagem x produtividade e qualidade da forragem

A calagem, ao reduzir ou eliminar a acidez do solo, fornecer nutrientes como o Ca e Mg, além de aumentar a disponibilidade de outros nutrientes (P, K, N, S e Mo), propicia condições favoráveis para o crescimento das plantas forrageiras, com reflexos positivos em sua composição química. Para pastagens de *B. humidicola*, cultivadas em um Latossolo Amarelo, textura média, fase floresta, Costa et al. (1989a) constataram um incremento de 3,4 kg de MS/corte para cada kg de calcário dolomítico aplicado (PRNT = 100%). Com a aplicação de até 1.200 kg de calcário/ha, a relação foi linear, sendo descrita pela equação  $Y = 1.400 + 3,403 X$  ( $r^2 = 0,91^*$ ). Para *L. leucocephala* cv. Cunningham, estabelecida em solos sob vegetação de cerrados, Costa et al. (1992) constataram que a aplicação de 4,0 t/ha de calcário proporcionava um incremento de 30% nos rendimentos de MS, comparativamente a aplicação de 2,0 t/ha. Para pastagens de *A. gyanus* cv. Planaltina, a calagem incrementou significativamente os rendimentos de MS, teores de P, Ca e Mg, contudo reduziu os de PB. A DMET para a produção de forragem foi estimada em 1.030 kg/ha de calcário dolomítico (PRNT = 100%). Os níveis críticos internos de Ca e Mg, relacionados com 90% do rendimento máximo de forragem, foram de 0,45 e 0,41% respectivamente (Costa et al., 2004)(Tabela 4). Em pastagens de *B. brizantha* cv. Marandu, Costa et al. (2003r) estimaram a DMET em 1.830 kg/ha de calcário dolomítico (PRNT = 100%), sendo os níveis críticos internos de Ca e Mg, relacionados com 80% do rendimento máximo de forragem, de 4,92 e 3,98 g/kg, respectivamente (Tabela 5). Para *Galactia striata*, Paulino et al. (2003) constataram incrementos significativos na produção de MS, teores de N e nodulação, à medida que a saturação por bases foi aumentada de 22 para 35 ou 70% (Tabela 6).

**Tabela 4.** Rendimento de matéria seca (MS), teores de proteína bruta, fósforo, cálcio e magnésio de *B. brizantha* cv. Marandu, em função da calagem.

Calcário (kg/ha)	MS (t/ha) <sup>1</sup>	Proteína Bruta %	Fósforo			Cálcio		Magnésio
			----- g/kg -----			----- g/kg -----		
0	2,31 e	8,13 d	1,31 d	3,73 d	2,75 d			
500	3,97 d	8,48 cd	1,39 c	4,07 cd	3,90 bc			
1.000	5,81 c	8,97 c	1,45 b	4,93 b	4,33 a			
1.500	7,65 b	9,58 b	1,59 a	5,43 a	4,02 ab			
2.000	9,49 a	10,47 a	1,40 bc	4,27 c	3,58 c			

- Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si (P > 0,05) pelo teste de Tukey.

<sup>1</sup> Totais de três cortes. Fonte: Costa et al. (2003r).

**Tabela 5.** Rendimento de matéria seca (MS), teores de proteína bruta, fósforo, cálcio e magnésio (%) de *Andropogon gayanus* cv. Planaltina, em função da calagem.

Calcário (kg/ha)	MS (t/ha)	Proteína Bruta	Fósforo	Cálcio	Magnésio
0	9,17 c	8,26 a	0,124 b	0,39 b	0,28 c
300	16,83 b	7,59 b	0,129 b	0,41 b	0,36 b
600	17,69 b	7,44 b	0,146 a	0,51 a	0,44 a
900	21,11 a	7,10 b	0,132 b	0,52 a	0,34 b
1200	23,06 a	7,00 b	0,128 b	0,54 a	0,31 b

- Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ( P > 0,05) pelo teste de Tukey.

Fonte: Costa et al. (2004).

**Tabela 6.** Rendimento de matéria seca (MS), teor de nitrogênio e peso seco de nódulos de *Galactia striata*, em função da calagem.

Tratamentos	MS (g/vaso)	Nitrogênio (%)	Nódulos (mg/vaso)
Sem calagem	7,05 c	1,83 b	195 c
Calagem para saturação por bases à 35%	9,45 b	1,58 c	250 b
Calagem para saturação por bases à 70%	11,29 a	2,44 a	282 a

- Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ( P > 0,05) pelo teste de Tukey.

Fonte: Paulino et al. (2003).

## 5. Fósforo (P)

Em Rondônia, uma grande proporção de seus solos apresenta elevada acidez, baixa disponibilidade de P e uma alta saturação de alumínio. Em alguns casos, a capacidade de fixação de P é alta e sua absorção pelas plantas é baixa, tornando-se necessário a aplicação de doses relativamente altas, de modo a satisfazer os requerimentos nutricionais das plantas forrageiras. No processo tradicional de formação e utilização de pastagens cultivadas, após a queima da floresta, grande quantidade de nutrientes são adicionados ao solo através das cinzas, aumentando sua fertilidade e, conseqüentemente a produtividade das pastagens cultivadas. Contudo, com o decorrer do tempo observa-se uma gradual redução nos rendimentos de forragem, com reflexos altamente significativos e negativos nos índices de desempenho zootécnico dos rebanhos. A baixa disponibilidade de P tem sido identificada como a principal causa para a instabilidade das pastagens cultivadas na Amazônia. O alto requerimento de P pelas gramíneas e leguminosas cultivadas, associadas com perdas pela erosão, retirada pelos animais sob pastejo e a competição que as plantas invasoras exercem, resulta na queda de produtividade e, a conseqüente degradação das pastagens. Em geral, para produzir 10 t de MS/ha, uma pastagem extrai cerca de 400 kg/ha de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O. Apesar da reciclagem destes nutrientes, através dos excrementos animais (fezes e urina) e resíduos vegetais, a exportação pode ser elevada, requerendo adições de fertilizantes para a manutenção de níveis compatíveis com as exigências nutricionais das plantas forrageiras.

O P na solução do solo é chamado de fator intensidade, enquanto que as frações lábeis de P orgânico e inorgânico são chamadas de fator quantidade. O P lábil é a porção prontamente disponível do fator quantidade e apresenta alta taxa de dissociação, repondo, dessa forma, rapidamente, o P na solução do solo (fator capacidade). A



exaustão do P lábil faz com que parte do P não-lábil torne-se lábil, porém em taxas mais lentas, dependendo da mineralogia, matéria orgânica, temperatura e umidade do solo. A manutenção da concentração de P na solução, para uma adequada nutrição das plantas forrageiras, depende da habilidade do P lábil em repor o P na solução do solo absorvido pelas plantas. A relação entre os fatores quantidade e intensidade é chamado fator de capacidade, que expressa a capacidade relativa do solo em tamponar as variações do P na solução do solo e, quanto maior o fator capacidade, maior a habilidade do solo em tamponar o P da solução (Salinas, 1987).

O P, sob a forma de fosfato orgânico, encontra-se no citoplasma e núcleo celulares dos tecidos jovens, os quais apresentam intenso metabolismo. É um nutriente indispensável à fotossíntese, síntese das ligações ricas em energia, síntese e degradação dos carboidratos, além de desempenhar importante papel na respiração celular, tendo influência no armazenamento, transporte e utilização da energia produzida no processo fotossintético (Gomide, 1975). Participa de importantes reações na biossíntese de proteínas, sendo constituinte de coenzimas que participam nas reações de transaminação (Comastri Filho, 1977). Nas gramíneas, o principal efeito do P consiste no aumento da produção de forragem, pois atua positivamente no desenvolvimento radicular, no crescimento e na divisão celular; contudo, os teores de PB e de outros nutrientes (K, Ca e Mg), geralmente, são pouco afetados. Nas leguminosas, além de maximizar os rendimentos de forragem, devido ao melhor desenvolvimento radicular, favorecimento da nodulação e aumento da eficiência dos processos metabólicos, observa-se um incremento do teor de N da parte aérea, o que pode se refletir em melhor desempenho animal, já que, em geral, verifica-se uma maior percentagem de leguminosas na dieta selecionada pelos animais.

O conteúdo total de P nos solos tropicais é bastante variável - desde 200 até 600 mg/kg. No entanto, os níveis de P disponível para o estabelecimento e crescimento das plantas forrageiras são muito baixos (< 5 mg/kg, Bray II). Isto se deve ao fato de que a maior parte do P presente no solo está na forma orgânica e em combinação com óxidos de Fe e Al, os quais apresentam baixa solubilidade, aumentando consideravelmente a capacidade de fixação do P, especialmente quando se utilizam fontes mais solúveis (Fenster & León, 1978). A disponibilidade de P é máxima entre valores de pH 5,5 a 7,0. Quanto maior o teor de argila do solo, menor será a disponibilidade de P a curto prazo, em decorrência de sua maior fixação. Solos com alto percentual de argila caolinítica (tipo 1:1) retêm mais P que solos com argilas do tipo 2:1 (montmorilonita).

A movimentação do P até as raízes é feita por difusão, mecanismo que é afetado pelo teor de umidade do solo, logo, à medida que este aumenta até níveis ótimos, o P torna-se mais disponível para as plantas. Em um Latossolo Amarelo, textura argilosa, fase floresta, na ausência de calagem, Costa et al. (1989e) constataram um incremento de 0,0623 mg de P disponível/kg de solo, para cada kg de P/ha adicionado. Com a aplicação de até 132 kg de P/ha, a relação foi linear, sendo descrita pela equação  $Y = 2,63 + 0,0623 X$  ( $r^2 = 0,97^{**}$ ). Para um Podzólico Vermelho-Amarelo, textura média, a aplicação de 1 kg de P/ha resultou num acréscimo de 0,105 mg de P/kg de solo (Costa, 1996).

As plantas forrageiras apresentam grandes variações quanto aos seus requerimentos por P. A identificação daquelas espécies menos exigentes ou mais eficientes na absorção de P pode ser uma alternativa para assegurar a produtividade das pastagens cultivadas, por longos períodos de tempo. Segundo Salinas (1987), as

principais características que determinam a tolerância a baixos níveis de P ou a maior eficiência em sua absorção e utilização seriam a extensão do sistema radicular; a exudação de substâncias que alteram o pH da rizosfera; a colonização das raízes por micorrizas arbusculares; as maiores taxas de absorção e translocação do P e, a tolerância as altas concentrações de alumínio presentes no solo. Em Rondônia, Costa (1989), avaliando o efeito da adubação fosfatada (0, 50 e 100 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha), em oito gramíneas forrageiras, observou que *A. gayanus* cv. Planaltina, *P. maximum* cvs. Comum e Tobiata e *B. humidicola* foram as que apresentaram maior eficiência de absorção de P e, conseqüentemente, na produção de forragem (Tabela 7). Para cinco genótipos de *A. gayanus*, Costa & Townsend (1996) constataram diferenças significativas na absorção de P. Para todos os genótipos avaliados, a eficiência de utilização de P foi inversamente proporcional às doses aplicadas (Tabela 8).

**Tabela 7.** Absorção de P (kg/ha) de gramíneas forrageiras tropicais, em função da adubação fosfatada.

Gramíneas	Doses de P (kg/ha)		
	0	50	100
<i>A. gayanus</i> cv. Planaltina	7,84 b	11,91 a	15,70 a
<i>B. humidicola</i>	8,91 a	9,82 bc	14,16 b
<i>B. decumbens</i>	4,34 d	6,75 e	9,30 de
<i>B. ruziense</i>	3,15 d	6,27 e	8,91 e
<i>P. maximum</i> cv. Comum	7,80 b	9,55 c	12,78 c
<i>P. maximum</i> cv. Tobiata	9,52 a	10,76 b	13,05 bc
<i>S. sphacelata</i> cv. Nandi	5,87 c	7,53 d	9,79 de
<i>S. sphacelata</i> cv. Kazungula	5,20 c	7,77 d	9,98 d

- Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si ( $P > 0,05$ ) pelo teste de Tukey.  
Fonte: Costa (1989).

**Tabela 8.** Absorção e eficiência de utilização de P de genótipos de *A. gayanus*, em função da adubação fosfatada.

Genótipos	Doses de P (kg/ha)					
	0			50		
	Absorção de P (kg/ha) <sup>1</sup>			Eficiência de Utilização (kg MS/kg P) <sup>2</sup>		
<i>A. gayanus</i> cv. Planaltina	11,37 b	15,27 b	21,43 c	813 a	730 b	658 b
<i>A. gayanus</i> CPAC-3083	6,88 e	9,03 d	14,83 e	878 a	787 b	625 c
<i>A. gayanus</i> CPAC-3084	10,52 d	13,20 c	17,20 d	781 a	704 b	671 b
<i>A. gayanus</i> CPAC-3085	11,92 c	18,47 a	23,40 b	909 a	741 b	709 b
<i>A. gayanus</i> CPAC-3086	13,63 a	18,63 a	25,14 a	854 a	800 ab	724 b
<i>A. gayanus</i> CPAC-3087	10,34 d	9,17 d	12,61 f	577 b	769 a	694 ab

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si ( $P > 0,05$ ) pelo teste de Tukey

<sup>2</sup> Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si ( $P > 0,05$ ) pelo teste de Tukey  
Fonte: Costa & Townsend (1996)

O conhecimento dos níveis críticos internos (NCI) é muito importante, visando a diagnosticar o estado nutricional ou o estabelecimento da necessidade de adubação fosfatada. O NCI indica o teor de P no tecido vegetal abaixo do qual há probabilidade de respostas significativas à adição do nutriente ao solo. Para as condições edáficas de Rondônia foram determinados os NCI para as principais gramíneas e leguminosas forrageiras utilizadas na formação e/ou recuperação de pastagens (Tabela 9).

**Tabela 9.** Níveis críticos internos de fósforo de gramíneas e leguminosas forrageiras.

Espécies	Nível Crítico Interno (%)	Dose de P Aplicada (mg/kg)
<b>Gramíneas</b>		
<i>A. gayanus</i> cv. Planaltina	0,135	28,9
<i>B. brizantha</i> cv. Marandu	0,171	55,9
<i>B. brizantha</i> cv. Xaraés	0,127	56,4
<i>B. decumbens</i>	0,147	69,1
<i>B. dictyoneura</i>	0,139	47,8
<i>B. humidicola</i>	0,140	27,4
<i>P. atratum</i> cv. Pojuca	0,153	54,8
<i>P. maximum</i> cv. Centenário	0,178	81,2
<i>P. maximum</i> cv. Massai	0,227	85,0
<i>P. maximum</i> cv. Mombaça	0,278	105,5
<i>P. maximum</i> cv. Tobiata	0,238	94,6
<i>P. purpureum</i> cv. Cameroon	0,197	88,2
<b>Leguminosas</b>		
<i>A. angustissima</i>	0,169	63,8
<i>A. pinto</i> cv. Amarillo	0,200	74,0
<i>C. acutifolium</i> CIAT-5277	0,158	71,6
<i>C. cajan</i>	0,331	118,5
<i>D. ovalifolium</i>	0,169	67,3
<i>L. leucocephala</i>	0,387	139,5
<i>P. phaseoloides</i>	0,171	74,0

Fontes: Costa (1996a); Costa et al. (2003a,b,c,d,e,f,g,m,t,u,v); Costa et al. (2004a).

A determinação dos níveis adequados para a adubação fosfatada de pastagens, tem sido objetivo de diversos experimentos conduzidos em Rondônia. Para pastagens de *B. humidicola* e *A. gayanus* cv. Planaltina, estabelecidas em solos sob cerrados, foram obtidos incrementos na produção de MS de 32,7 e 87,5%, respectivamente, com a aplicação de 100 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha (Costa et al., 1989a; 1990b). Em um Latossolo Amarelo, textura média, fase floresta, Costa et al. (2003a,b,c,e,f) estimaram em 112; 169; 141; 127 e 176 mg de P/dm<sup>3</sup>, respectivamente para *B. brizantha* cv. Xaraés, *P. maximum* cv. Massai, *P. phaseoloides*, *D. ovalifolium* e *P. purpureum* cv. Cameroon, as DMET.

Para a adubação de pastagens de *A. gayanus* cv. Planaltina, *B. decumbens*, *B. dictyoneura*, *B. humidicola* e *Hyparrhenia rufa*, Costa et al. (1989f) e Gonçalves et al. (1990a,b) sugerem como alternativa viável, doses entre 50 e 80 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, a qual pode ser realizada, a lanço, após o rebaixamento da vegetação, através da roçagem ou pela utilização de altas pressões de pastejo. Para *C. cajan*, a aplicação de 50 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha resultou num incremento de 38,3% na produção de forragem comestível, além de promover efeitos positivos em sua qualidade, notadamente nos conteúdos de N e P, como decorrência de sua melhor nodulação (Costa et al., 1990a). Para *A. angustissima*, Costa & Paulino (1999a) constataram acréscimos nos rendimentos de MS de 150 e 228%, respectivamente para a aplicação de 50 e 100 kg de P/ha. Em pastagens de *B. brizantha*, Costa et al. (2003g) estimaram em 221,7 kg de P<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/ha a DMET e o NCI, relacionado com 80% do rendimento máximo de forragem, em 1,71 g de P/kg (Tabela 10).

**Tabela 10.** Rendimento de matéria seca (MS), eficiência de utilização de fósforo (EUP), teores e quantidades absorvidas de nitrogênio e fósforo de *B. brizantha* cv. Marandu, em função da adubação fosfatada.

Níveis de P kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha	MS <sup>1</sup> t/ha	EUP kg MS/g P	Nitrogênio		Fósforo	
			g/kg	kg/ha	g/kg	kg/ha
0	4,38 f	0,93 a	14,76 a	64,6 e	1,07 f	4,69 f
50	7,13 e	0,80 a	15,70 a	111,9 d	1,25 e	8,91 e
100	9,28 d	0,69 b	15,31 a	142,1 c	1,44 d	13,36 d
150	11,70 c	0,64 b	15,73 a	184,0 b	1,56 c	18,25 c
200	13,22 b	0,59 b	14,98 a	198,0 a	1,68 b	22,21 b
250	13,79 ab	0,57 b	14,70 a	202,7 a	1,73 ab	23,85 b
300	14,67 a	0,55 b	14,33 a	210,3 a	1,76 a	25,81 a

- Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ( $P > 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

<sup>1</sup> Total de três cortes.

Fonte: Costa et al. (2003g)

## 5.1. Fosfatos naturais

A utilização de fosfatos de rocha, como fonte de P, surge como uma alternativa tecnicamente viável, considerando-se que sua eficiência agrônômica, notadamente as taxas de dissolução, são estimuladas pela acidez do solo. Ademais, geralmente, estes apresentam menor custo unitário e maior efeito residual. Recomenda-se o uso combinado de fontes de P com alta e baixa solubilidade. Deste modo, a fonte mais solúvel forneceria, no curto prazo, o P necessário para o rápido crescimento inicial, período crítico de competição com as plantas invasoras. A fonte menos solúvel (fosfato de rocha) liberaria o P paulatinamente, possibilitando maior persistência da pastagem.

A eficiência agrônômica dos fosfatos naturais depende, principalmente de suas características físicas e químicas e, sobretudo, da sua solubilidade. Todos os fosfatos naturais brasileiros são apatíticos, ou sejam, há uma predominância de fosfatos de cálcio. O teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total dos concentrados fosfáticos varia de 23 a 40%, contudo, a solubilidade, avaliada por extratores tradicionais, é muito baixa, quando comparada com a dos superfosfatos, termofosfatos e mesmo com a de alguns fosfatos naturais estrangeiros. Para que o P seja liberado da apatita torna-se necessário a reação entre o fosfato aplicado e o solo. A liberação de P é proporcional à intensidade dessa reação e, por isso, é conveniente proporcionar o máximo de contacto entre as partículas do fosfato natural e o solo (Sanzonowicz & Goedert, 1985). Deste modo, assumem grande importância o grau de moagem do fosfato, o modo de aplicação e a sua incorporação ao solo. Para fontes de baixa solubilidade recomenda-se a aplicação sob a forma de pó, o qual deve ser incorporado para se obter o máximo contacto com as partículas do solo (Costa, 1999).

A eficiência da utilização de fosfatos naturais está diretamente relacionada à capacidade da planta em absorver P do solo e utilizá-lo mais eficientemente em seu metabolismo. Em geral, a resposta das diversas espécies forrageiras depende da sua velocidade de crescimento, da sua exigência em P e da sua capacidade em desenvolver seu sistema radicular, principalmente em condições adversas do solo (Sanzonowicz & Goedert, 1985). A resposta diferenciada à fertilização fosfatada determina o manejo mais adequado para cada planta forrageira. Em

condições de elevada acidez, *P. maximum* cv. Makueni tem baixo desenvolvimento, mesmo em níveis elevados de P. Já, *A. gayanus* cv. Planaltina apresenta excelente adaptação aos solos ácidos, apesar de responder significativamente à calagem. Deste modo, *P. maximum* é uma espécie mais exigente em nutrientes, sendo recomendada para solos com baixa acidez e bem supridos em P. Uma fonte de P de baixa solubilidade, potencialmente, não seria eficiente para esta espécie, ocorrendo o inverso quanto ao *A. gayanus* (Salinas, 1987; Costa, 1999).

Em Rondônia, para pastagens de *P. maximum*, o uso tanto do superfosfato triplo (SFT) como do superfosfato simples, aplicados isoladamente ou combinados entre si, e/ou em combinação com fosfato de rocha parcialmente acidulado, mostraram-se eficazes no aumento da produtividade de forragem da pastagem, ficando a escolha das fontes na dependência de seus custos. A relação 1:1, entre a fonte mais e menos solúvel, mostrou-se mais efetiva em comparação com 1:2 e 2:1. A utilização do hiperfosfato não mostrou grande eficiência, mesmo sendo superior ao tratamento testemunha (Gonçalves & Costa, 1996).

Para pastagens de *A. gayanus* cv. Planaltina, *B. brizantha* cv. Marandu e *P. atratum* cv. Pojuca, a aplicação de 200 kg/ha de  $P_2O_5$ , sob a forma de SFT ou termofosfato de Yoorin (TY) ( $P_2O_5$  total = 18,0%;  $P_2O_5$  solúvel em ácido cítrico = 16,5%) resultou em maiores rendimentos de forragem e quantidades absorvidas de P, enquanto que para os fosfatos naturais de Patos de Minas (FNPM) ( $P_2O_5$  total = 24%;  $P_2O_5$  solúvel em ácido cítrico = 3,8%) e Olinda (FNO) ( $P_2O_5$  total = 26%;  $P_2O_5$  solúvel em ácido cítrico = 5,3%) não se observou efeito significativo de doses (100 ou 200 kg de  $P_2O_5$ /ha). O SFT e o TY foram as fontes que apresentaram maiores índices de eficiência agrônômica, seguindo-se os FNO e Araxá (FNA) ( $P_2O_5$  total = 36%;  $P_2O_5$  solúvel em ácido cítrico = 4,5%), ficando o de Patos de Minas com a menor eficiência agrônômica (Costa, 1996a; Costa et al., 1993, 2003d).

Para *A. angustissima* e *L. leucocephala*, a utilização de 100 kg de  $P_2O_5$ /ha, sob a forma de FNA ou FNO proporcionou incrementos superiores a 100% no rendimento de MS, número e peso de nódulos (Costa & Paulino, 1993; 1999a). Da mesma forma, Costa et al. (2002a), em pastagens de *B. humidicola*, verificaram que a fertilização fosfatada, independentemente da fonte utilizada, incrementou significativamente os rendimentos de forragem da gramínea, contudo não afetou os teores de P. O SFT e o TY foram as fontes mais eficientes, seguindo-se os FNA e FNO, ficando o FNPM com a menor eficiência agrônômica (Tabela 11).

**Tabela 11.** Rendimento de matéria seca (MS), teores e quantidades absorvidas de fósforo de *Brachiaria humidicola* e Índice de Eficiência Agronômica, em função da aplicação de fontes e doses de fósforo.

Fontes de Fósforo	Doses (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha)	MS (t/ha) <sup>1</sup>	Fósforo		IEA <sup>2</sup> (%)
			g/kg	kg/ha	
Testemunha	0	6,13 e	1,10 a	6,74 g	--
Superfosfato triplo	100	11,08 b	1,34 a	14,85 bc	100
	200	15,29 a	1,30 a	19,88 a	100
Termofosfato Yoorin	100	10,22 bc	1,25 a	12,78 cd	82
	200	13,88 a	1,17 a	16,24 b	85
Fosfato Natural Patos de Minas	100	7,44 de	1,25 a	9,30 fg	26
	200	8,75 bcd	1,21 a	10,59 def	29
Fosfato Natural de Olinda	100	7,50 de	1,33 a	9,98 def	30
	200	9,21 bcd	1,28 a	11,79 def	34
Fosfato Natural de Araxá	100	8,10 cde	1,19 a	9,64 efg	43
	200	10,28 bc	1,22 a	12,54 cd	45

- Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si ( $P > 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

<sup>1</sup> Totais de oito cortes.

<sup>2</sup> IEA =  $(Y_2 - Y_1) / (Y_3 - Y_1) \times 100$ , onde  $Y_1$  = produção da testemunha;  $Y_2$  = produção da fonte testada na dose  $a$  e,  $Y_3$  = produção da fonte referência (superfosfato triplo) na dose  $a$ .

Fonte: Costa et al. (2002a)

## 5.2. Micorrizas arbusculares (MA)

As MA são associações simbióticas entre as raízes da maioria das plantas superiores e certos fungos de solo, sendo caracterizada pelo íntimo contacto entre os simbiontes, pela perfeita integração morfológica e funcional, além da troca simultânea de metabólitos e nutrientes. A colonização das raízes por MA resulta em modificações na fisiologia, bioquímica e nutrição mineral da planta hospedeira, especialmente no favorecimento da absorção, translocação e utilização de nutrientes e água. Em geral, os efeitos das MA sobre o crescimento das plantas se manifestam pela atuação de um ou vários mecanismos, tais como: aumento da superfície de absorção de nutrientes; maior longevidade das raízes absorventes; melhor utilização de formas de nutrientes pouco disponíveis para as plantas não colonizadas; alterações na relação água-solo-planta; redução dos efeitos adversos do pH e da toxidez de alumínio; aumento na nodulação e capacidade de fixação de N atmosférico; melhor desenvolvimento de bactérias solubilizadoras de P na micorrizosfera e aumento na produção de fitohormônios (Lopes et al. 1983; Zambolim & Siqueira, 1985).

Nos solos de baixa fertilidade natural, notadamente naqueles deficientes em P, as associações com MA apresentam efeitos benéficos mais acentuados (Costa et al., 1989b,d; 1995a,b). Rhodes & Gerdemann (1975) observaram que plantas colonizadas absorviam <sup>32</sup>P colocado até 8 cm de distância da superfície da raiz, devido as hifas externas do fungo funcionarem como extensão do sistema radicular, podendo absorver nutrientes além da zona dos pêlos radiculares e da zona de depleção (1 a 2 mm) que se desenvolve ao redor das raízes. Cress et al. (1979) verificaram que as raízes colonizadas por MA possuíam um sistema de absorção de P altamente eficiente, caracterizado por alto valor V<sub>max</sub> (velocidade máxima de absorção) e baixo K<sub>m</sub> (constante de Michaelis-Menten = concentração de P na qual se obtém a metade de V<sub>max</sub>), para plantas crescendo em baixos níveis de P

disponível. Howeler et al. (1982) relacionando a produção de MS obtida pela mandioca com o P disponível no solo, observaram níveis críticos de 190 e 15 mg/kg de P (Bray II), respectivamente para plantas não inoculadas e inoculadas por MA. Costa & Paulino (1989, 1991) demonstraram que a inoculação de *Scutellospora heterogama* e *Gigaspora margarita* em *A. gyanus* cv. Planaltina e, *S. heterogama* em *Stylosanthes capitata* cv. Capica, proporcionou rendimentos de MS semelhantes ou superiores aos obtidos com a aplicação de 50 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, na ausência de inoculação. Ademais, as absorções de N e P foram incrementadas com a inoculação de MA (Tabela 12).

**Tabela 12.** Rendimento de matéria seca (MS) e quantidades absorvidas de fósforo e nitrogênio de *A. gyanus* cv. Planaltina e *S. capitata* cv. Capica, em função da adubação fosfatada e da inoculação de micorrizas arbusculares.

Tratamentos	<i>A. gyanus</i>			<i>S. capitata</i>		
	MS (g/vaso)	Fósforo (mg/vaso)	Nitrogênio (mg/vaso)	MS (g/vaso)	Fósforo (mg/vaso)	Nitrogênio (mg/vaso)
Testemunha	3,92 c	4,98 c	65,8 d	4,23 d	4,94 e	109,1 c
<i>Acaulospora muricata</i>	6,05 b	10,83 b	113,1 c	6,48 c	10,82 d	325,3 a
<i>Gigaspora margarita</i>	7,14 a	11,49 a	156,3 a	8,56 b	13,78 c	241,1 b
<i>Scutellospora heterogama</i>	6,81 ab	11,58 a	139,6 b	9,85 a	16,74 b	330,0 a
50 kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha	5,83 b	10,61 b	105,5 c	10,89 a	20,26 a	338,7 a

- Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si (P > 0,05) pelo teste de Tukey.  
Fonte: Costa & Paulino (1989, 1991).

Os efeitos positivos da micorrização sobre o crescimento e absorção de P em gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais estão amplamente documentados (Costa, 1996b; Costa et al., 1989d, 1990c). No entanto, as respostas estão condicionadas às interrelações entre características do solo, espécies de plantas forrageiras e de fungos micorrízicos. Costa & Paulino (1990), avaliando os efeitos da inoculação de *Gigaspora margarita*, em seis gramíneas e 11 leguminosas forrageiras, verificaram acréscimos superiores a 100% nos rendimentos de MS e na absorção de P, sendo as espécies mais responsivas *L. leucocephala*, *D. ovalifolium* CIAT-350, *P. phaseoloides* CIAT-9900, *A. gyanus* cv. Planaltina e *P. guenoarum* FCAP-43. Costa & Paulino (1991, 1997, 1999b) verificaram que as espécies de MA mais efetivas, em termos de produção de MS e absorção de P, foram *Scutellospora heterogama*, *Gigaspora margarita* e *Glomus macrocarpum* para *A. gyanus* cv. Planaltina e, *Acaulospora muricata* para *B. brizantha* cv. Marandu e *B. humidicola* (Tabela 13). Costa et al. (1997b) Costa & Paulino (1999e) selecionaram *A. muricata* e *E. colombiana* e, *G. margarita*, *S. heterogama* e *A. muricata*, respectivamente para inoculação em *A. angustissima* e *P. phaseoloides*, como as espécies de MA mais eficientes, em termos de produção de MS, absorção de P e peso seco de nódulos (Tabela 14).

**Tabela 13.** Rendimento de matéria seca (MS) e quantidades absorvidas de P de gramíneas forrageiras, em função da inoculação de micorrizas arbusculares.

Tratamentos	<i>A. gyanus</i>		<i>B. brizantha</i>		<i>B. humidicola</i>	
	MS (g/vaso)	P (mg/vaso)	MS (g/vaso)	P (mg/vaso)	MS (g/vaso)	P (mg/vaso)
Testemunha	2,76 f	2,65 e	1,37 f	1,26 f	2,49 f	2,71 e
<i>Acaulospora laevis</i>	6,24 bcd	7,49 bc	4,93 bc	4,83 cd	6,91 b	8,36 a
<i>A. muricata</i>	5,13 de	6,25 cd	6,20 a	7,38 a	7,12 a	8,76 a
<i>Gigaspora margarita</i>	7,28 ab	8,59 ab	5,11 bc	5,98 bc	5,41 c	6,87 b
<i>Glomus etunicatum</i>	6,10 bcd	7,75 bc	4,68 cd	5,62 cd	4,01 d	5,01 c
<i>G. mossae</i>	4,69 e	5,21 d	3,82 de	4,32 e	4,17 d	4,92 c
<i>G. fasciculatum</i>	5,95 cde	7,79 abc	3,05 e	3,54 e	3,75 e	4,24 d
<i>G. macrocarpum</i>	7,03 abc	8,64 ab	4,29 cd	4,59 de	4,09 d	4,66 cd
<i>Scutellospora heterogama</i>	8,33 a	9,66 a	5,77 ab	7,15 ab	6,80 b	8,77 a

- Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ( $P > 0,05$ ) pelo teste de Tukey.  
Fonte: Costa & Paulino (1991, 1997, 1999b).

**Tabela 14.** Rendimento de matéria seca (MS), quantidades absorvidas de P e peso seco de nódulos de leguminosas forrageiras, em função da inoculação de micorrizas arbusculares.

Tratamentos	<i>A. angustissima</i>			<i>P. phaseoloides</i>		
	MS (g/vaso)	P (mg/vaso)	Nódulos (mg/vaso)	MS (g/vaso)	P (mg/vaso)	Nódulos (mg/vaso)
Testemunha	4,08 f	5,8 f	0,75 g	3,55 e	3,85 f	0,54
<i>Acaulospora laevis</i>	7,37 cde	13,6 de	1,09 f	8,05 b	13,68 b	0,97
<i>A. muricata</i>	14,44 ab	25,1 abc	1,71 a	9,12 ab	13,92 b	1,12
<i>Entrophosphora colombiana</i>	15,87 a	26,9 a	1,61 ab	---	---	---
<i>Gigaspora margarita</i>	8,59 cd	15,4 cd	1,21 de	10,72 a	16,08 a	1,87
<i>G. gigantea</i>	9,22 c	17,9 c	1,27 de	---	---	---
<i>Glomus etunicatum</i>	7,35 cde	14,5 cde	1,18 def	5,40 d	9,18 e	1,40
<i>G. fasciculatum</i>	5,49 ef	11,2 e	1,37 cd	7,72 bc	11,58 c	1,27
<i>G. mosseae</i>	6,14 e	11,8 de	1,01 ef	4,91 d	6,87	1,32
<i>G. macrocarpum</i>	6,89 de	12,9 de	1,26 de	6,25 cd	10,05 d	1,21
<i>Scutellospora heterogama</i>	12,16 b	22,6 b	1,48 bc	9,67 a	13,54 b	1,99

- Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ( $P > 0,05$ ) pelo teste de Tukey.  
Fonte: Costa et al. (1997b), Costa & Paulino (1997, 1999e).

O melhoramento da fertilidade do solo através da aplicação de fosfatos naturais potencializam os efeitos das MA. Segundo Barea et al. (1975) as plantas colonizadas, por apresentarem menores valores de  $K_m$ , são capazes de baixar o nível de P na solução para valores inferiores aos do produto de solubilidade de compostos pouco solúveis. Deste modo, as MA ao aumentarem a absorção de P solúvel, estimulam a dissociação química do fosfato para manter o seu equilíbrio na solução do solo (Barea & Ázcon-Aguilar, 1983).

Para *P. phaseoloides*, Costa et al. (2003h) constataram incrementos de 158 e 42% nos rendimentos de MS das plantas inoculadas com *G. margarita* e fertilizadas com 50 kg de  $P_2O_5/ha$ , comparativamente àquelas apenas inoculadas com MA ou fertilizada com fosfato de rocha. Costa & Paulino (1999c,d; 2001) verificaram que a inoculação de MA, simultaneamente com a aplicação de fosfato de rocha, promoveu acréscimos médios de 55,4 e 32,8% nos rendimentos de MS, respectivamente, para



*A. gyanus* e *Sesbania sesban*, em comparação com a aplicação isolada do fosfato de rocha. Da mesma forma, a absorção de P e N foram potencializadas com a aplicação conjunta de MA e fosfato de rocha (Tabela 15).

**Tabela 15.** Rendimento de matéria seca (MS) e quantidades absorvidas de fósforo e nitrogênio de *A. gyanus* cv. Planaltina e *S. sesban*, em função da adubação fosfatada e da inoculação de micorrizas arbusculares.

Tratamentos	<i>A. gyanus</i>			<i>S. sesban</i>		
	MS (g/vaso)	Fósforo (mg/vaso)	Nitrogênio (mg/vaso)	MS (g/vaso)	Fósforo (mg/vaso)	Nitrogênio (mg/vaso)
Testemunha	3,44 d	1,10 d	55,66 d	13,51 d	1,81 d	40,35 d
Micorriza (M)	7,12 c	1,37 c	98,26 c	18,42 c	2,74 c	59,57 c
Fosfato (F <sub>1</sub> )	9,68 bc	1,40 c	137,45 b	17,88 c	2,70 c	60,98 c
Fosfato (F <sub>2</sub> )	12,06 b	1,48 c	157,99 b	20,11 bc	3,12 b	62,50 c
M + Fosfato (F <sub>1</sub> )	15,67 ab	1,62 b	217,81 a	23,40 b	4,05 a	78,48 b
M + Fosfato (F <sub>2</sub> )	18,11 a	1,77 a	235,43 a	27,06 a	4,60 a	82,23 a

- Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ( $P > 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

- F<sub>1</sub> = 100 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha; F<sub>2</sub> = 200 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha.

Fonte: Costa & Paulino (1999c,d; 2001).

### 5.3. Ciclagem

A reciclagem do P está relacionada com sua estabilidade (baixa solubilidade) e sua baixa mobilidade nos solos, sendo relativamente imóvel e não apresentando formas gasosas. A remoção de P pelo corte e/ou pastejo constitui a principal fonte de remoção do sistema, contudo em pastagens bem manejadas seu retorno através dos resíduos orgânicos e excreções animais resulta num ciclo relativamente fechado. Os Oxissolos e Ultissolos, por apresentarem alto grau de intemperismo, possuem baixas quantidades de P disponível, sendo que cerca de 60 a 80% encontra-se sob a forma orgânica, além de apresentarem alta capacidade de fixação de P.

Os íons HPO<sub>4</sub> que são liberados pela mineralização do P orgânico ou pelo fertilizantes fosfatados são fixados em formas pouco disponíveis ou indisponíveis para as plantas (Spain & Salinas, 1985; Salinas, 1987). Devido ao baixo conteúdo de Ca e baixo pH, o P mineral forma fosfatos de ferro e alumínio, relativamente insolúveis ou solúveis sob condições anaeróbicas (solos reduzidos). Os dois principais processos de fixação de P no solo são: 1. precipitação com o alumínio trocável. Ao aplicar adubos fosfatados os cátions básicos neles contidos dispersam o alumínio trocável das argilas, o qual se hidroliza e reage com os íons HPO<sub>4</sub> formando fosfatos de alumínio insolúveis; 2. adsorção do P nas partículas de sesquióxidos. Quanto maior o conteúdo de óxidos de ferro e alumínio, maior será a capacidade de fixação de P (Salinas, 1987; Costa et al., 2000c).

**Entradas de P no sistema:** a principal fonte de P para as pastagens é a mineralização da MO do solo. O conteúdo inicial de P orgânico, P total, teor de umidade dos resíduos orgânicos, temperatura e o tempo, são os fatores que determinam o grau de mineralização líquida do P contido nos resíduos orgânicos e animais. Cerca de 3 a 30% do P orgânico contido nas fezes de ovelhas e 2 a 5% do P contido nos resíduos orgânicos animais e vegetais podem ser mineralizados. Em média, cerca de 77% do P da liteira e 79% do P contido nas raízes mortas, tornam-se disponíveis para o crescimento das plantas no ano seguinte à sua deposição. Segundo Guilherme et al.

(1995), a MO do solo contém, em média, 0,5% de P e, para cada 1% de MO solo haverá a mineralização de 1 a 4 kg de P/ha. Do total de P contido na parte aérea da planta, 60 a 80% é solúvel em água e a maioria é inorgânico. Em geral, somente a longo prazo o retorno de P através do esterco animal afetará de forma significativa a sua reciclagem, como consequência da distribuição irregular das fezes e sua baixa mobilidade (Spain & Salinas, 1985). A ocorrência de insetos coprófagos e minhocas aumentam a velocidade de mineralização das fezes através de seu enterrio ao solo. A adição de P através da atmosfera (poeira) ou pelas chuvas é pequena, sendo relatados valores entre 0,04 a 0,6 kg de P/ha/ano. Fato semelhante ocorre com os processos de intemperismo dos minerais primários do solo (Salinas, 1987).

**Saídas de P do sistema:** em solos aráveis e bem drenados as perdas de P por lixiviação ou volatilização são mínimas, sendo estimada em 0,3 kg de P/ha. Não há evidências de perdas gasosas de P, mesmo sob condições anaeróbicas. Cerca de 69 a 80% do P total da planta pode ser reciclado da vegetação quando esta apresenta-se em estado latente ou em decomposição. A intensidade e duração das chuvas e o intervalo entre a senescência dos tecidos e a primeira chuva afetam as quantidades de P que retornam ao solo ou que podem ser perdidas por escorrimento (Spain & Salinas, 1985). A maior saída de P do sistema deve-se a remoção de forragem para a produção de feno, silagem ou biomassa verde para fornecimento direto aos animais.

A remoção via produtos animais é pequena, sendo reportados valores de 6,71; 6,76; 4,53 e 1,03 kg de P/100 kg de produto animal, respectivamente para bezerros, novilhos, ovelhas e leite de vaca. Em geral, as perdas variam de 1 a 10 kg de P/ha/ano, dependendo da produtividade da pastagem e da carga animal utilizada (Spain & Salinas, 1985). No Amazonas, Teixeira (1987) constatou que a quantidade de P exportada por bovinos em pastejo, supridos com sal mineral no cocho, representou apenas 31,53% da somatória dos nutrientes consumidos na gramínea (*B. humidicola*) e no sal mineral. Para uma produtividade animal de 256 kg de peso vivo/ha/ano, de um total de 5,93 kg/ha/ano de P consumido, 60,88% foi do sal mineral e apenas 39,12% foi da gramínea; 1,87 kg/ha/ano foi estocado no animal e 4,06 kg/ha/ano retornaram ao solo.

## 6. Nitrogênio (N)

O N é considerado, dentre todos os fatores de produção, como um dos nutrientes mais importantes para a produtividade das gramíneas forrageiras, sendo, depois da água, o principal componente do protoplama vegetal. Nas plantas, seus teores podem variar de 1 até 3,5%. Apesar de sua abundância na atmosfera sob a forma de N<sub>2</sub>, está presente em pequenas quantidades na maioria dos solos. O N participa ativamente da síntese de compostos orgânicos que formam a estrutura vegetal, tais como aminoácidos, aminos, amidas, vitaminas, pigmentos, aminoácidos, proteínas e ácidos nucléicos (Malavolta, 1980; Mengel & Kirkby, 1982). Atua em diferentes processos metabólicos, fazendo parte da constituição de hormônios e interferindo no processo fotossintético por fazer parte da molécula de clorofila. Ademais, é responsável pelo aparecimento e desenvolvimento dos filhotes, tamanho das folhas e dos colmos, intensidade de florescimento e formação de sementes (Nabinger, 1997).

O nitrato (NO<sub>3</sub>) e o amônio (NH<sub>4</sub>) são as formas de N mais absorvidas pelas raízes e transportadas através do xilema das plantas forrageiras. Parte do amônio é incorporado a compostos orgânicos ainda nas raízes, enquanto que o nitrato é

reduzido a amônio para fazer parte dos esqueletos carbônicos da planta. O nitrato é muito móvel na planta e pode ser armazenado nos vacúolos das raízes, colmos e órgãos de reserva (Marschner, 1995).

Com baixa disponibilidade de N no solo, as plantas manifestarão menor crescimento e, como consequência, redução no teor de PB, tornando a forragem deficiente para a adequada nutrição animal. Para pastagens de *P. guenoarum*, Costa & Saibro (1984) constataram incrementos lineares na produção de MS, nos teores de PB e no número de filhotes/planta com a aplicação de até 400 kg de N/ha. Magalhães et al. (2004), em pastagens de *P. purpureum* cv. Roxo, verificaram que a aplicação de 450 kg/ha/ano de N implicou em maior rendimento de MS (7,67 t/ha/corte), que foi significativamente superior à aplicação de 300 (6,64 t/ha/corte) ou 150 (5,88 t/ha/corte). O efeito da adubação nitrogenada foi linear, sendo descrito pela equação  $Y = 4,94 + 0,005966X$  ( $r^2 = 0,99$ ). A eficiência de produção de MS foi inversamente proporcional às doses aplicadas: 39,2; 22,1 e 17,0 kg de MS/kg de N, respectivamente para 150; 300 e 450 kg de N/ha/ano. Em Rondônia, Costa (1995, 1996c), em pastagens de *P. purpureum* cv. Cameroon, registrou acréscimos de 42,3 e 51,4% em Ouro Preto do Oeste e, 22,4 e 27,8% em Presidente Médici, na produção de MS, respectivamente, com a aplicação de 50 e 100 kg de N/ha/ano (Tabela 16). Já, Costa et al. (2000a) constataram incrementos de 24,9 e 51,8% nos rendimentos de MS de *B. brizantha* cv. Marandu, respectivamente com a aplicação de 50 e 100 kg de N/ha/ano.

**Tabela 16.** Rendimento de matéria seca (MS), teores e quantidades absorvidas de proteína bruta de *P. purpureum* cv. Cameroon, em duas localidades de Rondônia, em função da adubação nitrogenada.

Doses Kg N/ha/ano	Ouro Preto do Oeste			Presidente Médici		
	MS <sup>1</sup> (t/ha)	Proteína Bruta %	kg/ha	MS <sup>1</sup> (t/ha)	Proteína Bruta %	kg/ha
0	23,05 c	7,10 b	1.636 b	20,82 c	7,89 b	1.642 b
50	29,47 b	8,21 a	2.419 a	25,49 b	8,73 a	2.225 a
100	34,91 a	8,44 a	2.946 a	29,62 a	8,74 a	2.588 a

- Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ( $P > 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

<sup>1</sup> Totais de cinco cortes.

Fonte: Costa (1995, 1996a,c).

Para solos com teor de MO inferior a 2,0% (20 g/kg), recomenda-se uma aplicação de 40 a 80 kg de N/ha, em cobertura, dois meses após a emergência das plantas. Para os sistemas de produção mais intensivos, sugere-se a aplicação de 80 a 120 kg de N/ha, anualmente, parcelada em três a quatro aplicações, durante o período chuvoso, a intervalos de 30 a 45 dias (Costa et al., 2003n,o,p,q,s,x,y).

## 6.1 Ciclagem

O conteúdo total de N nos solos varia de 0,06 a 0,5%. Cerca de 95% do N está em forma combinada com a MO e, portanto, não disponível para as plantas. Durante a estação de crescimento, 1 a 3% do N é mineralizado pelos processos microbianos, o amônio e o nitrato que se formam constituem a parte disponível para as plantas. As principais fontes de N disponível para o crescimento das plantas são a MO do solo; as leguminosas fixadoras de N; a absorção direta de amônio da atmosfera pelas folhas e solo; adição direta de amônio ou nitratos através de chuvas e poeira (descargas elétricas na atmosfera, erupções vulcânicas e combustão da MO) e os fertilizantes nitrogenados sintéticos.

**Entradas de N no sistema:** a principal fonte de N para as pastagens é a MO do solo, a qual é consequência das adições prévias dos resíduos de plantas e animais. A taxa de mineralização do N, com a produção amônia e, posteriormente de nitratos e nitritos, normalmente é inferior a 1% por ano, o que equivale a uma disponibilidade de N para o crescimento das plantas da ordem de 100 kg/ha/ano, sendo geralmente obtidos valores entre 10 e 20 kg/ha/ano (Salinas, 1987). O N oriundo de chuvas e poeiras está ao redor de 5 a 10 kg/ha/ano. A quantidade adicionada pela precipitação varia com a região onde se localiza as pastagens. No Noroeste da Califórnia foram obtidos valores entre 2 e 3 kg/ha/ano, sendo os efeitos de contaminação ambiental mínimos. Já, para localidades com maior contaminação de fontes urbanas e agrícolas, os valores oscilaram entre 5 e 10 kg/ha/ano (Costa et al., 2000b).

Em geral, o maior aporte de N ao sistema solo-pastagem é decorrente do processo de fixação simbiótica entre leguminosas e bactérias dos gêneros *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*. O N fixado por leguminosas forrageiras tropicais, situa-se em torno de 100 kg/ha/ano, dependendo de fatores como nível de nutrientes no solo, capacidade fotossintética da leguminosa e presença de estirpes apropriadas de bactérias fixadoras. Na Austrália, a média anual de fixação de N por leguminosas tropicais, sob pastejo, foi da ordem de 20 a 180 kg/ha. Contudo, quando as condições climáticas foram mais favoráveis, quantidades bem superiores, 259, 124 e 99 kg/ha/ano foram registradas para *C. pubescens*, *S. guianensis* e *P. phaseoloides*, respectivamente (Costa et al., 2000b). Em Rondônia, para pastagens de *P. purpureum* cv. Cameroon, consorciado com leguminosas, as maiores quantidades fixadas de N foram fornecidas por *P. phaseoloides* (71 kg/ha/ano) e *D. ovalifolium* (69 kg/ha/ano), enquanto que para pastagens de *P. maximum* cv. Tobiata as quantidades aparentes de N fixado foram de 146, 42, 217, 151 e 106 kg/ha/ano, respectivamente para *P. phaseoloides*, *C. pubescens*, *C. acutifolium* CIAT-5277, *C. acutifolium* CIAT-5112 e *D. ovalifolium*. No entanto, as leguminosas mais eficientes na transferência de N para a gramínea foram *C. acutifolium* CIAT-5277 (67 kg/ha/ano) e *P. phaseoloides* (44 kg/ha/ano) (Costa, 1995; Costa et al., 1998b).

Em pastagens de *B. humidicola*, puras e consorciadas com *D. ovalifolium*, Cantarutti (1996) constatou que a leguminosas favoreceu a dinâmica de N no solo das pastagens consorciadas, proporcionando aumento no fator capacidade de N (poder de suprimento do solo) e aumentando o fator intensidade (disponibilidade de N). A principal evidência foi a redução no tempo de reciclagem do N no solo da pastagem consorciada, favorecendo, assim, a sua produtividade e sustentabilidade. As pastagens sob intensa utilização e que empregam leguminosas mais palatáveis, o fluxo através do animal é maior. Nas pastagens tropicais, em que a utilização da forragem disponível é inferior a 40% e cultivam-se leguminosas de menor palatabilidade, uma maior proporção de N recicla através dos resíduos vegetais.

A maioria do N absorvido pelas plantas e animais, posteriormente retornam ao solo através dos resíduos orgânicos e excreções dos animais em pastejo. A queda de folhas é uma das mais importantes fontes para a transferência e incorporação de N ao solo, sendo superior àquela observada com a liberação através dos nódulos e raízes após o corte ou pastejo. Aproximadamente 75% do N ingerido pelos animais retornam ao sistema através das fezes (0,38% de N) e urina (1,1 % de N). Considerando-se que um bovino com dois anos de idade excreta diariamente 25,5 kg de fezes e 9 kg de urina, estima-se em 96,9 e 99,0 g de N/dia/animal a quantidade que retorna ao sistema solo-planta. Estima-se em 35,5% a área do piquete que é recoberta pelas excreções animais ao final de um ano de pastejo contínuo e, de até 60% da área da pastagem, quando utiliza-se pastejo rotativo (3 a 4 dias de ocupação por 26 a 28 dias de descanso).

O número e o volume de micções e defecações por dia, dependerão do tamanho do animal, das condições de pastejo e fatores ambientais. Bovinos geralmente urinam 8 a 12 vezes por dia e defecam 11 a 16 vezes por dia. Ovinos urinam 18 a 20 vezes e defecam 7 a 26 vezes por dia. Cada vez que o bovino e carneiro urinam o volume médio excretado varia de 1,7 a 2,3 litros e 0,11 a 0,19 litros respectivamente. O peso médio por defecação varia de 1,5 a 2,7 kg para bovinos e 0,03 a 0,17 kg para ovinos (Salinas, 1987; Heisecke, 2001).

A urina que consegue penetrar no solo e escapar das perdas é considerada uma fonte prontamente disponível de nutriente às forrageiras. A urina penetra no solo através dos macroporos. Grande parte do N da urina está na forma de uréia, a qual é rapidamente hidrolizada pela enzima urease, formando no primeiro momento amônio. A concentração de N na urina varia amplamente, principalmente devido a quantidade de N fornecido pela dieta e o consumo de água. Normalmente encontram-se entre 70 e 90% na forma de uréia e o restante consiste em aminoácidos e peptídeos. O N não sofre significativa mineralização durante o processo digestivo, entretanto, após a excreção, o N assume formas mais rapidamente mineralizáveis, pois, a uréia excretada pode ser rapidamente hidrolizada a  $\text{NH}_4$  (Heisecke, 2001).

**Saídas de N do sistema:** o potencial de perdas por desnitrificação em pastagem é alto devido ao alto nível de C rapidamente oxidável na superfície do solo e alta concentração de  $\text{NO}_3$  presente no solo onde são depositadas as fezes e urina. Essas perdas são ainda estimuladas por temperaturas elevadas e ausência de oxigênio (Spain & Salinas, 1985). As perdas por lixiviação podem ser significativas dependendo do volume e distribuição das chuvas. Com intensas precipitações, os nitratos podem ser removidos do sistema solo-planta, podendo atingir perdas de 70 kg de N/ha/ano. A lixiviação do N da urina dos animais em pastejo é pequena, contudo as perdas nos meses com maiores precipitações podem exceder aos 50% (Heisecke, 2001).

Em solos tropicais, a proteção inadequada contra a erosão pode implicar em elevadas perdas por erosão laminar. Em solos não arados foram constatadas perdas de 30 a 50 kg/ha/ano, enquanto que com a aração as perdas foram superiores a 100 kg/ha/ano. Nas pastagens ocorrem perdas significativas de N por volatilização da amônia derivada da urina e da decomposição dos resíduos orgânicos, podendo atingir até 100 kg/ha/ano. Quanto as perdas através dos excrementos, estima-se que para cada 100 kg de N ingerido pelo animal, mais de 50% do N da urina e até 80% do contido nas fezes podem ser perdidos por causa da volatilização do N.

A remoção de N na forma de carne e leite está relacionada com os níveis de produtividade da exploração. A concentração de N no tecido animal é de cerca de 2,4%, enquanto que no leite o teor de N oscila entre 0,5 a 0,6%. Logo, para cada 100 kg/ha/ano de peso vivo e 300 kg/leite/mes, as perdas serão de 2,4 kg de N/ha/ano e 1,5 a 1,8 kg de N/mes, respectivamente. Quanto as efeito do fogo, estima-se que 5 kg/ha/ano são perdidos através da queima de pastagens nativas, enquanto que para as cultivadas as perdas podem superar 40 kg/ha/ano (Costa et al., 2000b).

## 7. Potássio (K)

O K tem ação fundamental no metabolismo vegetal, notadamente no processo de fotossíntese, atuando nas reações de transformação da energia luminosa em química, além de participar na síntese de proteínas, na neutralização de ácidos orgânicos e na regulação da pressão osmótica e do pH dentro da planta (Faquin, 1994). Braga &

Yamada (1984) resumem o reflexo direto do K na fotossíntese: 1. maior assimilação de CO<sub>2</sub>, que é o processo primário no qual o carbono inorgânico é transformado em orgânico; 2. maior translocação de carboidratos produzidos nas folhas para os outros órgãos da planta; 3. como decorrência de (1) e (2), maior síntese de sacarose, amido, lipídeos, aminoácidos e proteínas; 4. uso mais eficiente da água, através do melhor controle na abertura e fechamento dos estômatos; 5. controle dos movimentos foliares (nastias) e, 5. maior eficiência enzimática.

O K é absorvido e transportado pelo xilema, passando rapidamente para o floema de modo que os dois sistemas logo apresentam concentrações semelhantes do nutriente. Seus teores nas plantas variam entre 0,3 até 6,0%. Inibe competitivamente a absorção do amônio e do Ca e Mg. Cerca de 70% do K encontra-se na célula sob a forma iônica, de onde pode ser retirado por água, enquanto que os 30% restantes são adsorvidos às proteínas, tornando-se disponível quando as folhas senescem (Spain & Salinas, 1985). Em geral, as gramíneas forrageiras apresentam raízes com CTC menor que a das leguminosas, o que favorece a absorção de cátions monovalentes (K e sódio), enquanto que as leguminosas apresentam maior absorção de cátions divalentes (Ca e Mg).

As plantas deficientes em K apresentam baixas taxas de crescimento, afillamento reduzido, colmos mais finos, com baixa resistência ao tombamento, alongamento pouco acentuado e a maioria das folhas médias apresentam-se com coloração amarelo-alaranjada e com manchas cloróticas que posteriormente tornam-se necróticas. As plantas bem supridas em K utilizam a água mais eficientemente, diminuindo a sua demanda para a produção de MS, dentro de certos limites (Malavolta, 1980).

Em Rondônia, Costa & Paulino (2002) verificaram que a adubação potássica incrementou significativamente os rendimentos de MS e os teores de N e K da leguminosa arbustiva *Cassia rotundifolia*, contudo não afetou os teores de Ca e Mg. A DMET foi estimada em 43,8 mg de K/dm<sup>3</sup> e o NCI de K, relacionado com 90% do rendimento máximo de MS, de 16,8 g de K/kg. A eficiência de utilização de K foi diretamente proporcional às doses aplicadas. Para *Acacia angustissima*, a DMET foi estimada em 44,4 mg de K/dm<sup>3</sup> K e o NCI de 17,3 g de K/kg de solo (Costa et al., 2001) (Tabela 17). Para *P. atratum* cv. Pojuca, a DMET foi estimada em 52,8 mg de K/dm<sup>3</sup> e o NCI de 17,2 g/kg. A eficiência de utilização de K e os teores de Ca e Mg não foram afetados pelos níveis de K utilizados, enquanto que para *P. purpureum* cv. Cameroon, a DMET foi estimada em 51,7 mg de K/dm<sup>3</sup> e o NCI, relacionado com 90% do rendimento máximo de MS, de 19,3 g/kg (Costa et al., 2003k,l). Para *P. maximum* cv. Centenário, Costa et al. (2003j) constataram efeitos significativos da adubação potássica com a aplicação de até 45 mg/dm<sup>3</sup>. A DMET foi estimada em 51,87 mg de K/dm<sup>3</sup> e o NCI de K de 18,8 g/kg (Tabela 18).

**Tabela 17.** Rendimento de matéria seca (MS), eficiência de utilização do potássio (EUK), teores de nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio e potássio de *A. angustissima*, em função da fertilização potássica.

Doses de K mg/dm <sup>3</sup>	MS (g/vaso)	EUK g MS/mg K	Nitrogênio	Fósforo	Cálcio	Magnésio	Potássio
			g/kg				
0	5,33 d	3,64 c	27,3 b	1,91 ab	7,34 a	3,22 a	14,64 c
15	9,29 c	5,26 b	29,5 ab	1,97 a	7,07 a	3,65 a	17,67 b
30	11,85 b	6,17 a	31,6 a	1,84 ab	6,95 a	3,17 a	19,20 ab
45	12,88 ab	6,24 a	28,9 ab	1,80 b	7,66 a	2,97 a	20,64 a
60	13,29 a	6,38 a	29,5 a	1,77 b	6,73 a	3,74 a	20,82 a

- Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si (P > 0,05) pelo teste de Tukey.

Fonte: Costa et al. (2001).

**Tabela 18.** Rendimento de matéria seca (MS), eficiência de utilização do potássio (EUK), teores de proteína bruta (PB), fósforo e potássio de *Panicum maximum* cv. Centenário, em função da fertilização potássica.

Níveis de K mg/dm <sup>3</sup>	MS (g/vaso)	EUK g MS/mg K	PB	Fósforo	Potássio
				----- % -----	
0	2,35 d	1,65 c	12,45 a	0,156 c	1,42 c
15	3,98 c	2,27 b	11,02 b	0,169 a	1,75 b
30	5,87 b	3,14 a	10,33 b	0,170 a	1,87 a
45	6,11 ab	3,20 a	12,56 a	0,162 b	1,91 a
60	6,55 a	3,40 a	11,95 a	0,173 a	1,93 a

- Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ( $P > 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

Fonte: Costa et al. (2003j).

### 7.1. Ciclagem

O K é o mineral mais abundante no tecido vegetal. Seus teores no solo variam desde 0,05% até 2,5%, o qual está relacionado com o material parental e seu grau de intemperização. Na região amazônica, para a maioria dos solos, o K trocável se mantém em equilíbrio na floresta primária em torno de 30 mg/kg de solo. Após a queima da biomassa o K é significativamente incrementado na camada superficial do solo, apresentando um valor 237% superior ao encontrado originalmente na área de floresta primária, passando de 27 para 91 mg/kg de solo (Spain & Salinas, 1985). As formas trocáveis de K são consideradas disponíveis para absorção pelas raízes, enquanto que as formas não disponíveis são constituídas pelos minerais do solo que contêm K e os sais insolúveis que formaram complexos com ferro e alumínio. A concentração de K na solução do solo é pequena em relação a quantidade absorvida pela planta, tornando-se necessário uma transferência contínua entre as diferentes formas para suprir a sua demanda. A transferência do K não trocável para a forma trocável e, posteriormente para a solução do solo, ocorre à medida que este é removido da solução do solo pela planta ou lixiviação (Costa et al., 2000d).

**Entradas de K no sistema:** o K, diferentemente do N, P e S, não entra na formação da compostos orgânicos, permanecendo ativo na planta e pode facilmente torna-se livre quando os restos culturais retornam ao solo. O teor de K na planta forrageira varia entre 1 e 4%, e mesmo o valor mais baixo é maior que o estimado para atender aos requerimentos nutricionais do gado de corte ou leite. A adição de K da atmosfera foi estimado em 1,2 kg/ha/ano, considerando-se uma precipitação média de 1.208 mm contendo cerca de 0,1 ppm de K. A taxa de decomposição dos minerais que contêm K determina a quantidade de K disponível no solo, a qual é controlada por vários fatores, incluindo a concentração de K na solução do solo, natureza e finura dos minerais potássicos presentes no solo. Aproximadamente 85% do K ingerido pelos animais retorna à pastagem, principalmente através da urina. O teor de K é de cerca de 1,15 e 0,22%, respectivamente para a urina e fezes (Spain & Salinas, 1985; Salinas, 1987).

**Saídas de K do sistema:** a exportação anual de K por gramíneas forrageiras submetidas a cortes (*P. purpureum*, *P. maximum* e *D. decumbens*), recebendo intensas fertilizações, foi da ordem de 401 a 565 kg/ha/ano. Em Rondônia, para dez genótipos de *Desmodium*, a exportação de K foi de 191 kg/ha/ano, considerando-se uma produtividade anual de forragem de 17,5 t/ha, com um teor médio de K de 1,09% (Costa et al., 2000d). As perdas por escorrimento, geralmente, não excedem

5 a 6 kg/ha/ano. Utilizando-se um ecossistema hipotético de pastagem, as perdas estimadas por lixiviação foram de 139,2 kg/ha/ano, considerando-se uma drenagem de 254 cm de água com uma concentração de 54,8 mg/kg de K. A calagem reduz as perdas por lixiviação. Trabalhos conduzidos nos Estados Unidos demonstraram que a perda de K foi reduzida de 58 kg/ha em solos ácidos (pH = 4,5) para 9 kg/ha no mesmo solo após a calagem. No Amazonas, Teixeira (1987) constatou que a quantidade de K exportada por bovinos em pastejo, supridos com sal mineral no cocho, representou apenas 0,8% da somatória dos nutrientes consumidos via gramínea (*B. humidicola*). Para uma produtividade animal de 256 kg de peso vivo/ha/ano, de um total de 51,33 kg/ha/ano de K consumido, apenas 0,44 kg/ha/ano foi estocado no animal e 50,89 kg/ha/ano retornaram ao solo.

## 8. Enxofre (S)

O S na planta encontra-se em sua maior parte ligado as proteínas, como componente dos aminoácidos metionina e cistina, os quais encerram cerca de 90% do total de S na planta, desempenhando funções vitais no metabolismo proteico e nas reações enzimáticas, sendo também componente da molécula acetil-CoA, a qual influencia no metabolismo energético das gorduras e carboidratos. É componente da ferredoxina, molécula transferidora de elétrons e envolvida na fotossíntese, na fixação de N<sub>2</sub> atmosférico e na redução de compostos oxidados como o nitrato.

A deficiência do S reduz a quantidade de N acumulada, restringindo o crescimento da planta. O sulfato é transportado na direção acrópeta, da base da planta para cima, sendo a capacidade de movimentação do S na direção basípeta muito pequena, portanto, em caso de deficiência os sintomas aparecem nos órgãos mais novos (Malavolta, 1982). A estrutura da membrana celular e suas funções também necessitam de S, pois os sulfolipídios, que são essenciais para a sua composição, estão intimamente envolvidos na organização da clorofila na lamela do cloroplasto (Vitti & Novaes, 1986). O S participa de compostos que transmitem odores e sabores, os quais são importantes na palatabilidade e na aceitabilidade da forragem pelos animais.

O fornecimento adequado de S, além de maximizar a produção de forragem, contribui para aumentar o conteúdo de aminoácidos sulfurados na dieta animal. Em Porto Velho, Gonçalves et al. (1990a) registraram um incremento de 48% na produção de forragem de *Hyparrhenia rufa* com a aplicação de 50 kg e S/ha. Costa et al. (1997c; 2003i), avaliando a resposta de *B. brizantha* cv. Marandu e de *C. acutifolium* CIAT-5277 à níveis de S (0, 20, 40 e 60 kg/ha), verificaram respostas significativas na produção de MS com a aplicação de até 40 kg de S/ha. Para os níveis de S avaliados a relação N/S não foi limitante ao crescimento da gramínea ou da leguminosa, enquanto que os teores de S foram diretamente proporcionais às doses aplicadas. Mesmo não afetando os teores de P e PB, a adubação sulfatada foi benéfica para a leguminosa, já que não se observou efeito significativo na diluição de seus teores com o aumento da produção de MS (Tabelas 19 e 20).



**Tabela 19.** Rendimento de matéria seca (MS), teores e quantidades absorvidas de proteína bruta, teores de fósforo (P) e enxofre (S) e relação N/S de *B. brizantha* cv. Marandu, em função da adubação sulfatada.

Doses kg S/ha	MS (g/vaso)	Proteína bruta		P	S	Relação N/S
		%	g/vaso	%	%	
0	6,18 c	12,4 a	0,77 c	0,098 c	0,118 c	16,8
20	6,79 b	11,8 a	0,80 c	0,105 c	0,125 c	15,1
40	7,89 a	11,5 a	0,91 b	0,112 b	0,146 b	12,6
60	8,11 a	12,0 a	0,97 a	0,129 a	0,157 a	12,2

- Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ( $P > 0,05$ ) pelo teste de Tukey.  
Fonte: Costa et al. (1997c).

**Tabela 20.** Rendimento de matéria seca (MS), teores de proteína bruta (PB), fósforo (P) e enxofre (S), nodulação e relação N/S de *C. acutifolium* CIAT-5277, em função da adubação sulfatada.

Doses kg S/ha	MS (g/vaso)	PB	P	S	Nodulação (mg/vaso)	Relação N/S
		-----%-----				
0	3,48 c	18,5 a	0,205 a	0,152 c	42,8 c	19,5
20	4,25 b	19,3 a	0,195 a	0,175 b	53,1 b	17,6
40	6,81 a	18,0 a	0,198 a	0,193 a	58,4 ab	14,9
60	6,17 a	18,7 a	0,187 a	0,196 a	60,1 a	15,0

- Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ( $P > 0,05$ ) pelo teste de Tukey.  
Fonte: Costa et al. (2003i).

Um dos índices mais comuns para avaliar o estado nutricional da planta, quanto ao S, bem como para a obtenção de produções máximas de forragem e a adequada nutrição animal é a relação N/S do tecido da planta. Costa et al. (1997c; 2003i) obtiveram relações N/S entre 14,9 e 19,5 para *C. acutifolium* CIAT-5277 e, entre 12,2 e 16,8 para *B. brizantha* cv. Marandu, ambas dentro da faixa aceitável para que não ocorra deficiência de S, bem como para assegurar um crescimento satisfatório das plantas forrageiras. Dijkshoorn & Van Wijk (1967) demonstraram que quando a planta atinge a maturidade, a relação N/S tende a se estabilizar em 14/1 nas gramíneas e 17/1 nas leguminosas, sendo que para uma relação de 20/1 nas gramíneas ocorre uma severa deficiência de S.

## 8.1. Ciclagem

O S é um nutriente essencial para o crescimento das plantas, cujos requerimentos são semelhantes aos de P. O S é absorvido sob a forma quase que exclusivamente de íon sulfato ( $SO_4$ ). O baixo conteúdo de S deve-se aos baixos teores de MO do solo, a sua baixa disponibilidade no material parental, grau de meteorização e perdas por lixiviação. A maior parte do S em solos tropicais, não fertilizados, encontra-se sob a forma orgânica, cujo processo de mineralização é semelhante ao do N, sendo as taxas de mineralização variáveis entre 1 e 10% ao ano.

O conteúdo médio de S total nos solos tropicais é de cerca de 100 mg/kg de solo, no entanto, valores superiores foram relatados para alguns solos tropicais: 500 mg/kg para os Molissolos; 400 mg/kg para os Alfissolos e 200 mg/kg para os Ultissolos. Para os principais solos de São Paulo, Malavolta (1982), na camada de 0

a 40 cm de profundidade, encontrou teores de S variando entre 20 e 80 mg/kg. A maior parte do S está sob a forma inorgânica e apenas cerca de 20% é orgânico. Nas pastagens naturais o requerimento por S é baixo, em função de suas pequenas taxas de crescimento, sendo suprido através da reciclagem da MO. No entanto, em pastagens cultivadas, a demanda é maior e o S pode se tornar um fator limitante. Plantas deficientes em S podem apresentar elevação nos níveis de N solúvel e da fração do N mineral na forma de nitrato, além da redução do nível de N-protéico.

**Entradas de S no sistema:** o S orgânico é transformado em sulfato inorgânico através da atuação dos microorganismos do solo. Qualquer variável que afete seu crescimento implicará em alterações das taxas de mineralização do S, sendo as mais importantes a temperatura, umidade, pH, aeração, tipo de resíduo orgânico e efeito das plantas. A quantidade de S adicionada ao solo através da precipitação pode variar desde 1,0 kg/ha/ano em áreas distantes de centros industriais ou urbanos, até mais de 50 kg/ha/ano em áreas próximas aos centros industriais. Na Califórnia, foram observados valores médios de 23,5 kg/ha/ano para dois anos de avaliação, no entanto, para uma série histórica de 17 anos, a média anual foi de apenas 3 kg/ha (Costa et al., 2000e).

A absorção foliar através dos estômatos e por dissolução de  $\text{SO}_2$ , dentro de pequenas gotículas de água sobre as folhas, pode contribuir de forma significativa para a reciclagem do S em áreas industrializadas ou sujeitas à poluição urbana. A quantidade total de S liberada pelo processo de meteorização dos minerais do solo que contêm S é muito pequena, não sendo considerada significativa para o ecossistema de pastagens. O animal através das fezes e urina retorna quantidades consideráveis de S ao solo. Cerca de 70 a 85% do S ingerido pelo animal retorna sob a forma de urina, sendo que 90% deste S está sob a forma de sulfato, tornando-se facilmente disponível para as plantas. A presença de minhocas e de besouros coprófagos na pastagem é muito importante para aumentar os níveis de reciclagem do S (Spain & Salinas, 1985; Salinas, 1987).

**Saídas de S do sistema:** as perdas por volatilização são pequenas, no entanto para solos sob condições de redução, as perdas de S na forma de  $\text{H}_2\text{S}$  podem ser consideráveis. As perdas por erosão são menores que 5 kg/ha/ano para pastagens bem manejadas. Em solos ácidos, com altos teores de sesquióxidos, pode ocorrer uma alta fixação de S inorgânico. Os íons sulfatos são adsorvidos pelos óxidos de ferro e alumínio, basicamente por dois processos: intercâmbio de íons sulfato por íons OH (hidróxidos) nas superfícies dos óxidos de ferro e alumínio e formação de complexos com hidróxi-alumínio (Salinas, 1987; Costa et al., 2000e). As perdas de S por lixiviação em pastagens, utilizadas por ovinos, foram de 6,7; 23,9 e 43,2 kg de S/ha ano para as pastagens que receberam respectivamente 0; 21 e 42 kg de S/ha/ano, sob a forma de superfosfato simples.

Considerando-se a natureza aniônica e a alta solubilidade dos sais que contêm S, as perdas por lixiviação podem ser elevadas. Em estudos utilizando-se lisímetros, as perdas de S variaram entre 10 e 90%, as quais foram influenciadas pelo estágio de desenvolvimento da planta forrageira e pela forma de aplicação do S (elementar ou sob a forma de gesso). Em ecossistemas hipotéticos de pastagens, as perdas foram estimadas em 40 kg/ha/ano. As perdas por lixiviação dependem do tipo de solo, temperatura, volume e distribuição das chuvas, formas químicas do S no solo,

fertilização e tipo de pastagem. As perdas de S pela remoção de produtos animais são insignificantes, sendo estimadas em 0,8 kg/ha/ano. O S aparece no corpo do animal na proporção de 0,15%, sendo exigido, principalmente, como componente das proteínas (Vitti & Novaes, 1986). Para pastagens bem manejadas e estáveis, as perdas de S por volatilização, absorção, erosão e remoção por produtos animais são pequenas e podem ser consideradas secundárias.

## 9. Recomendações para a Calagem e Adubação de Pastagens

As recomendações devem ser formuladas a partir da interpretação dos resultados da análise química do solo, considerando-se os requerimentos nutricionais específicos para as plantas forrageiras, as quais podem ser classificadas em três grupos: Grupo I (alta exigência); Grupo II (média exigência) e Grupo III (baixa exigência). Nas Tabelas 21, 22 e 23 são apresentadas as recomendações para a calagem e adubações fosfatada e potássica das gramíneas e leguminosas forrageiras selecionadas como promissoras para a formação de pastagens em Rondônia. No entanto, a adoção de práticas adequadas de manejo, que envolva a utilização de germoplasma forrageiro responsivo à aplicação de nutrientes e com alta capacidade de competição com as plantas invasoras; sistemas e pressões de pastejo compatíveis com a manutenção do equilíbrio do ecossistema e que possibilitem uma eficiente reciclagem de nutrientes, são fatores determinantes para maximizar os efeitos da calagem e adubação.

**Tabela 21.** Recomendações para a calagem de gramíneas e leguminosas forrageiras, em função de suas exigências em fertilidade do solo.

Grupos	Espécies	Saturação por Bases (%)
Gramíneas Grupo I	<i>Panicum maximum</i> cvs. Centenário, Massai, Mombaça, Vencedor, Tanzânia-1, Tobiâtã; <i>Pennisetum purpureum</i>	50-60
Gramíneas Grupo II	<i>Andropogon gayanus</i> cv. Planaltina, <i>Brachiaria brizantha</i> cvs. Marandu, Xaraés	40-50
Gramíneas Grupo III	<i>Brachiaria dictyoneura</i> , <i>B. humidicola</i> , <i>Paspalum atratum</i> cv. Pojuca, <i>Setaria sphacelata</i>	30-40
Leguminosas Grupo I	<i>Arachis pintoi</i> , <i>Cajanus cajan</i> , <i>Leucaena leucocephala</i>	50-60
Leguminosas Grupo II	<i>Centrosema acutifolium</i> , <i>C. brasilianum</i> , <i>C. macrocarpum</i> , <i>Pueraria phaseoloides</i>	30-40
Leguminosas Grupo III	<i>Calopogonium mucunoides</i> , <i>Desmodium ovalifolium</i> , <i>Stylosanthes capitata</i> , <i>S. guianensis</i> , <i>S. macrocephala</i>	25-30

**Tabela 22.** Sugestões para a adubação fosfatada de gramíneas e leguminosas forrageiras, em função de seus requerimentos nutricionais e da disponibilidade de P no solo.

Forrageiras	Teores de P no solo (mg/dm <sup>3</sup> )	Doses de fósforo (kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha)	
		Estabelecimento	Manutenção Anual
Gramíneas Grupo I	< 3,0	120	80
	3,0 - 6,0	80	60
	6,1 - 9,0	60	40
	> 9,1	40	30
Gramíneas Grupo II	< 3,0	80	60
	3,0 - 6,0	60	40
	6,1 - 9,0	40	30
	> 9,1	20	20
Gramíneas Grupo III	< 3,0	60	40
	3,0 - 6,0	40	20
	6,1 - 9,0	20	20
	> 9,1	--	20
Leguminosas Grupo I	< 3,0	120	80
	3,0 - 6,0	80	60
	6,1 - 9,0	60	40
	> 9,1	40	30
Leguminosas Grupo II	< 3,0	80	40
	3,0 - 6,0	60	30
	6,1 - 9,0	40	20
	> 9,1	20	--
Leguminosas Grupo III	< 3,0	40	20
	3,0 - 6,0	30	20
	6,1 - 9,0	20	20
	> 9,1	--	--

**Tabela 23.** Recomendações para a adubação potássica de gramíneas e leguminosas forrageiras, em função de seus requerimentos nutricionais e da disponibilidade de K no solo.

Forrageiras	Teores de K no solo (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	Doses de potássio (kg de K <sub>2</sub> O/ha)	
		Estabelecimento	Manutenção Anual
Gramíneas Grupo I	< 0,05	120	60
	0,05 - 0,10	80	40
	0,11 - 0,20	60	30
	> 0,21	40	20
Gramíneas Grupo II	< 0,05	80	40
	0,05 - 0,10	60	30
	0,11 - 0,20	40	20
	> 0,21	20	20
Gramíneas Grupo III	< 0,05	60	40
	0,05 - 0,10	40	20
	0,11 - 0,20	20	20
	> 0,21	--	20
Leguminosas Grupo I	< 0,05	90	60
	0,05 - 0,10	60	40
	0,11 - 0,20	40	30
	> 0,21	20	20
Leguminosas Grupo II	< 0,05	80	40
	0,05 - 0,10	60	30
	0,11 - 0,20	40	20
	> 0,21	20	--
Leguminosas Grupo III	< 0,05	40	30
	0,05 - 0,10	30	20
	0,11 - 0,20	20	10
	> 0,21	--	--

## Referências Bibliográficas

- AZEVEDO, P.G.C. de.; SOUZA, F.R.S. de. Fertilizantes para adubação de pastagens de capim-colonião (*Panicum maximum*) em Altamira-Pará. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 19., 1982, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBZ, 1982. p.350.
- BAREA, J.M.; ÁZCON-AGUILAR, G. Mycorrhizas and their significance in nodulating nitrogen-fixing plants. **Advances in Agronomy**, New York, v.36, p.1-54, 1983.
- BAREA, J.M.; ÁZCON, R.; HAYMAN, D.S. Possible synergistic interactions between *Endogone* and phosphate-solubilizing bacteria in low phosphate soils. In: SANDERS, F.E.; MOSSE, B.; TINKER, P.B. (Eds.). **Endomycorrhizas**. London, Academic Press, 1975. p.373-389.
- BRAGA, J.M.; YAMADA, T. Uso eficiente de fertilizantes potássicos. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1., 1984, Brasília. **Anais...** Brasília: POTAFOS, 1984. p.291-321.
- CANTARUTTI, R.B. **Dinâmica de nitrogênio em pastagens de *Brachiaria humidicola* em monocultivo e consorciada com *Desmodium ovalifolium* cv. Itabela no Sul da Bahia**. Viçosa: UFV, 1996, 83p. (Tese de Doutorado).
- COMASTRI FILHO, J.A. **Variação na produtividade, digestibilidade e composição química do capim-elefante cv. Mineiro (*Pennisetum purpureum* Schum.) com a sucessão de cortes e aplicação de nitrogênio e potássio**. Viçosa: UFV, 1977, 51p. Dissertação de Mestrado.

- COSTA, N. de L. Adubação nitrogenada e consorciação de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* cv. Cameroon) com leguminosas forrageiras tropicais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.3, p.401-408, 1995.
- COSTA, N. de L. **Avaliação agrônômica de gramíneas forrageiras sob três níveis de adubação fosfatada**. Porto Velho: Embrapa-UEPAE Porto Velho. 1989. 4p. (Embrapa-UEPAE Porto Velho. Comunicado Técnico, 80).
- COSTA, N. de L. Efeito de micorrizas vesículo-arbusculares sobre o crescimento e nutrição mineral do sorgo forrageiro. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Botânica**, Belém, v.12, n.1, p.7-13, 1996b.
- COSTA, N. de L. **Efeito do nitrogênio mineral e leguminosas sobre a produção de forragem e composição química de capim-elefante cv. Cameroon**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 1996c. 16p. (Embrapa Rondônia. Boletim de Pesquisa, 13).
- COSTA, N. de L. **Programa de pesquisa com pastagens em Rondônia - 1975/1995**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 1996a. 46p. (Embrapa Rondônia. Documentos, 32).
- COSTA, N. de L. **Utilização de fosfatos naturais em pastagens tropicais**. Disponível em <<http://www.agronet.com.br/cgi-bin/agronews.pl?id=7243>> Acesso em 12.08.1999.
- COSTA, N. de L.; ALVES, P.M.P.; OLIVEIRA, J.R. da C. Avaliação de cultivares de guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) sob dois níveis de fertilização fosfatada em Porto Velho, Rondônia, Brasil. In: REUNIÃO DE LA RED INTERNACIONAL DE EVALUACIÓN DE PASTOS TROPICALES - AMAZÔNIA, 1., 1990. Lima, Peru. **Memórias...** Cali, Colômbia: CIAT, 1990a. v.2, p.725-729.
- COSTA, N. de L.; DIONÍSIO, J.A.; ANGHINONI, I. Influência de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares, fontes e doses de fósforo sobre o crescimento da aveia forrageira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.24, n.8, p.979-986, 1989b.
- COSTA, N. de L.; GONÇALVES, C.A.; BOTELHO, S.M.; OLIVEIRA, J.R. da C. **Efeito da calagem e adubação fosfatada na produção de forragem de *Andropogon gayanus* cv. Planaltina**. Porto Velho: Embrapa-UEPAE Porto Velho, 1990b. 5p. (Embrapa-UEPAE Porto Velho. Comunicado Técnico, 85).
- COSTA, N. de L.; GONÇALVES, C.A.; BOTELHO, S.M.; OLIVEIRA, J.R. da C. **Níveis de calagem e fósforo na formação de pastagens de *Brachiaria humidicola* em Rondônia**. Porto Velho: Embrapa-UEPAE Porto Velho, 1989a. 5p. (Embrapa-UEPAE Porto Velho. Comunicado Técnico, 82).
- COSTA, N. de L.; GONÇALVES, C.A.; OLIVEIRA, J.R. da C. **Efeito de níveis de fósforo, enxofre e micronutrientes sobre o crescimento de *Brachiaria humidicola* consorciada com leguminosas em Porto Velho-RO**. Porto Velho: Embrapa-UEPAE Porto Velho, 1989f. 5p. (Embrapa-UEPAE Porto Velho. Comunicado Técnico, 78).
- COSTA, N. de L.; GONÇALVES, C.A.; OLIVEIRA, J.R. da C. **Nutrientes limitantes ao crescimento de *Brachiaria humidicola* consorciada com leguminosas em Porto Velho-RO**. Porto Velho: Embrapa-UEPAE Porto Velho, 1989c. 4p. (Embrapa-UEPAE Porto Velho. Comunicado Técnico, 70).
- COSTA, N. de L.; GONÇALVES, C.A.; PAULINO, V.T.; RODRIGUES, A.N.A. **Níveis de calagem na formação de pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2003r. 3p. (Embrapa Rondônia. Comunicado Técnico, 265).
- COSTA, N. de L.; GONÇALVES, C.A.; RODRIGUES, A.N.A. Nutrientes limitantes ao crescimento de *Brachiaria decumbens* em Rondônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., Rio de Janeiro, 1997. **Anais...** Rio de Janeiro, SBCS, 1997a. 3p. (CD-ROM)
- COSTA, N. de L.; GONÇALVES, C.A.; TOWNSEND, C.R. Avaliação agrônômica de *Panicum maximum* cv. Tobiatã em consorciação com leguminosas forrageiras tropicais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.3, p.363-367, 1998b.

- COSTA, N. de L.; MAGALHÃES, J.A.; TOWNSEND, C.R.; PEREIRA, R.G. de A. **Reciclagem de nutrientes em pastagens. I. Nitrogênio.** Disponível em <<http://www.agronet.com.br/cgi-bin/agronews.pl.id=7583>> Acesso em 22.08.2000b.
- COSTA, N. de L.; MAGALHÃES, J.A.; TOWNSEND, C.R.; PEREIRA, R.G. de A. **Reciclagem de nutrientes em pastagens. II. Fósforo.** Disponível em <<http://www.agronet.com.br/cgi-bin/agronews.pl.id=7679>> Acesso em 22.08.2000c.
- COSTA, N. de L.; MAGALHÃES, J.A.; TOWNSEND, C.R.; PEREIRA, R.G. de A. **Reciclagem de nutrientes em pastagens. III. Potássio.** Disponível em <<http://www.agronet.com.br/cgi-bin/agronews.pl.id=7703>> Acesso em 22.08.2000d.
- COSTA, N. de L.; MAGALHÃES, J.A.; TOWNSEND, C.R.; PEREIRA, R.G. de A. **Reciclagem de nutrientes em pastagens. IV. Enxofre.** Disponível em <<http://www.agronet.com.br/cgi-bin/agronews.pl.id=7660>> Acesso em 22.08.2000e.
- COSTA, N. de L.; PAULINO, V.T. **Adubação potássica em *Cassia rotundifolia*.** Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2002. 4p. (Embrapa Rondônia. Comunicado Técnico, 215).
- COSTA, N. de L.; PAULINO, V.T. Efeito de fungos endomicorrízicos e doses de fósforo sobre o crescimento e nutrição mineral de *Stylosanthes capitata* CIAT-10280 e *Zornia glabra* CIAT-7847. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v.25, n.1, p.83-92, 1989.
- COSTA, N. de L.; PAULINO, V.T. **Efeito de micorrizas arbusculares sobre o crescimento e composição química de *Brachiaria humidicola*.** Macapá: Embrapa Amapá, 1999b. 14p. (Embrapa Amapá. Boletim de Pesquisa, 30).
- COSTA, N. de L.; PAULINO, V.T. Efeito de micorrizas vesículo-arbusculares sobre o crescimento e absorção de fósforo de *Andropogon gayanus* cv. Planaltina. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v.66, n.2, p.157-166, 1991.
- COSTA, N. de L.; PAULINO, V.T. Efeito de micorrizas vesículo-arbusculares sobre o crescimento e absorção de fósforo de gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais. In: REUNIÓN DE LA RED INTERNACIONAL DE EVALUACIÓN DE PASTOS TROPICALES - AMAZÔNIA, 1., 1990, Lima. **Memórias...** Cali, Colômbia: CIAT, 1990. v.2. p.773-735.
- COSTA, N. de L.; PAULINO, V.T. Efeito de micorrizas vesículo-arbusculares sobre o crescimento e composição química de *Pueraria phaseoloides*. In: SEMINÁRIO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO PIAUÍ, 8., Teresina, 1997. **Anais...** Teresina: Embrapa Meio Norte, 1997. p.183-187.
- COSTA, N. de L.; PAULINO, V.T. **Eficiência de micorrizas arbusculares e da adubação fosfatada em *Andropogon gayanus* cv. Planaltina.** Macapá: Embrapa Amapá, 1999c. 13p. (Embrapa Amapá. Boletim de Pesquisa, 31).
- COSTA, N. de L.; PAULINO, V.T. Growth response of *Acacia angustissima* to vesicular-arbuscular mycorrhizal inoculation. **Forest, Farm, and Community Tree Research Reports**, Morrilton, v.4, p.51-53, 1999e.
- COSTA, N. de L.; PAULINO, V.T. Phosphorus levels and sources affect growth, nodulation, and chemical composition of pigeonpea. **Nitrogen Fixing Tree Research Reports**, Bangkok, v.11, p.68-70. 1993.
- COSTA, N. de L.; PAULINO, V.T. **Nutrientes limitantes ao crescimento de *Panicum maximum* cv. Centenário.** Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2001. 4p. (Comunicado Técnico, 196).
- COSTA, N. de L.; PAULINO, V.T. Response of *Acacia angustissima* to levels and sources of phosphate fertilization. **Forest, Farm, and Community Tree Research Reports**, Morrilton, v.4, p.54-56, 1999a.
- COSTA, N. de L.; PAULINO, V.T. **Resposta de *Andropogon gayanus* cv. Planaltina à inoculação de micorrizas arbusculares e à fertilização com fosfato de rocha.** Macapá: Embrapa Amapá, 1999d. 12p. (Embrapa Amapá. Boletim de Pesquisa, 32).

COSTA, N. de L.; LEÔNIDAS, F.C.; PAULINO, V.T. Efeito de níveis de fosfogesso sobre a produção de forragem e composição química de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. In: SIMPÓSIO AGROPEUÁRIO E FLORESTAL DO MEIO-NORTE, 1., 1994, Teresina. **Anais...** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 1997c. p.60-64.

COSTA, N. de L.; PAULINO, V.T.; CARDELLI, M.A.; RODRIGUES, A.N.A.; OLIVEIRA, J.R. da C. Efeito de fontes e doses de fósforo sobre a produção de forragem de *Andropogon gayanus* cv. Planaltina. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v.68, n.3, p.287-294, 1993.

COSTA, N. de L.; PAULINO, V.T.; COSTA, R.S. C. da. **Efeito de micorrizas arbusculares sobre o crescimento e nutrição mineral de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu**. Porto Velho, Embrapa-CPAF Rondônia, 1997b. 14p. (Embrapa-CPAF Rondônia. Boletim de Pesquisa, 15).

COSTA, N de L.; PAULINO, V.T.; MAGALHÃES, J.A.; TOWNSEND, C.R.; OLIVEIRA, J.R. da C. **Resposta de *Panicum maximum* cv. Centenário à níveis de potássio**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2003j. 3p. (Embrapa Rondônia. Comunicado Técnico, 267).

COSTA, N de L.; PAULINO, V.T.; MAGALHÃES, J.A.; TOWNSEND, C.R.; OLIVEIRA, J.R. da C. **Resposta de *Pennisetum purpureum* cv. Cameroon à níveis de potássio**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2003k. 3p. (Embrapa Rondônia. Comunicado Técnico, 269).

COSTA, N de L.; PAULINO, V.T.; MAGALHÃES, J.A.; TOWNSEND, C.R.; OLIVEIRA, J.R. da C. **Resposta de *Pennisetum purpureum* cv. Cameroon à níveis de fósforo**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2003a. 3p. (Embrapa Rondônia. Comunicado Técnico, 268).

COSTA, N. de L.; PAULINO, V.T.; MAGALHÃES, J.A.; OLIVEIRA, J. R. da C. **Resposta de *Desmodium ovalifolium* CIAT-350 à níveis de fósforo**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2003b. 4p. (Embrapa Rondônia. Comunicado Técnico, 250).

COSTA, N. de L.; PAULINO, V. T.; OLIVEIRA, J.R. da C. **Resposta de *Pueraria phaseoloides* a níveis de fósforo**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2003c. 4p. (Embrapa Rondônia. Comunicado Técnico, 241).

COSTA, N. de L.; PAULINO, V.T.; OLIVEIRA, J.R. da C. **Resposta de *Paspalum atratum* cv. Pojuca á fontes e doses de fósforo**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2003d. 4p. (Embrapa Rondônia. Comunicado Técnico, 249).

COSTA, N. de L.; PAULINO, V.T.; OLIVEIRA, J.R. da C.; RODRIGUES, A.N.A.; LEÔNIDAS, F. das C. Efeito de calagem e fertilização fosfatada sobre o rendimento de forragem e composição química da leucaena (*Leucaena leucocephala* cv. Cunningham) nos cerrados de Rondônia, Brasil. In: REUNIÓN DE LA RED INTERNACIONAL DE EVALUACIÓN EN PASTOS TROPICALES - SABANAS, 1., 1992, Brasília. **Memórias...** Cali, Colômbia: CIAT, 1992. p.415-419.

COSTA, N de L.; PAULINO, V.T.; LUCENA, M.A.C.; SCHUNK, R. **Adubação fosfatada e inoculação de micorrizas arbusculares em *Pueraria phaseoloides***. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2003h. 3p. (Embrapa Rondônia. Comunicado Técnico, 257).

COSTA, N de L.; PAULINO, V.T.; RODRIGUES, A.N.A. **Adubação fosfatada em *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2003e. 3p. (Embrapa Rondônia. Comunicado Técnico, 262).

COSTA, N. de L.; PAULINO, V.T.; RODRIGUES, A.N.A. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhiza and phosphate fertilization on growth, nodulation, and nitrogen and phosphorus uptake of pigeon pea. **Nitrogen Fixing Tree Research Reports**, Bangkok, v.8, p.123-125, 1990c.

COSTA, N de L.; PAULINO, V.T.; RODRIGUES, A.N.A. **Níveis de fósforo em pastagens de *Panicum maximum* cv. Massai**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2003f. 3p. (Embrapa Rondônia. Comunicado Técnico, 263).

COSTA, N. de L.; PAULINO, V.T.; RODRIGUES, A.N.A. **Resposta de *Brachiaria humidicola* á fontes e níveis de fósforo**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2002a. 3p. (Embrapa Rondônia. Comunicado Técnico, 227).



- COSTA, N de L.; PAULINO, V.T.; RODRIGUES, A.N.A. **Resposta de pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu à adubação fosfatada.** Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2003g. 3p. (Embrapa Rondônia. Comunicado Técnico, 264).
- COSTA, N. de L.; PAULINO, V.T.; RODRIGUES, A.N.A.; TOWNSEND, C.R. Nutrientes limitantes ao crescimento de *Paspalum atratum*. **Pasturas Tropicales**, Cali, v.20, n.2, p.46-48, 1998a.
- COSTA, N. de L.; PAULINO, V.T.; SCHAMMAS, E.A. Efeito de micorrizas vesículo-arbusculares e doses de fósforo sobre o crescimento e absorção de fósforo e nitrogênio de *Desmodium ovalifolium* CIAT-350. **Pasturas Tropicales**, Cali, v.11, n.3, p.16-20, 1989d.
- COSTA, N. de L.; PAULINO, V.T.; SCHAMMAS, E.A. Produção de forragem, composição mineral e nodulação do guandu afetadas pela calagem e adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Piracicaba, v.13, n.1, p.51-58, 1989e.
- COSTA, N. de L.; PAULINO, V.T.; TOWNSEND, C.R. **Limitações nutricionais ao crescimento de *Panicum maximum* cv. Mombaça.** Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2002b. 3p. (Embrapa Rondônia. Comunicado Técnico, 208).
- COSTA, N de L.; PAULINO, V.T.; TOWNSEND, C.R.; MAGALHÃES, J.A.; OLIVEIRA, J.R. da C. **Resposta de *Paspalum atratum* cv. Pojuca á níveis de potássio.** Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2003l. 3p. (Embrapa Rondônia. Comunicado Técnico, 254).
- COSTA, N. de L.; RODRIGUES, A.N.A.; PAULINO, V.T. **Resposta de *Acacia angustissima* à fertilização potássica.** Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2001. 4p. (Embrapa Rondônia. Comunicado Técnico, 198).
- COSTA, N. de L.; RODRIGUES, A.N.A.; TOWNSEND, C.R.; MAGALHÃES, J.A.; OLIVEIRA, J. R. da C. **Calagem e adubação de pastagens de amendoim forrageiro em Rondônia.** Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2003v. 2p. (Embrapa Rondônia. Recomendações Técnicas, 82).
- COSTA, N. de L.; RODRIGUES, A.N.A.; TOWNSEND, C.R.; MAGALHÃES, J.A.; OLIVEIRA, J.R. da C. **Calagem e adubação de pastagens de *Andropogon gayanus* cv. Planaltina em Rondônia.** Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2003o. 2p. (Embrapa Rondônia. Recomendações Técnicas, 74).
- COSTA, N. de L.; RODRIGUES, A.N.A.; TOWNSEND, C.R.; MAGALHÃES, J.A.; OLIVEIRA, J.R. da C. **Calagem e adubação de pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em Rondônia.** Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2003p. 2p. (Embrapa Rondônia. Recomendações Técnicas, 76).
- COSTA, N. de L.; RODRIGUES, A.N.A.; TOWNSEND, C.R.; MAGALHÃES, J.A.; OLIVEIRA, J.R. da C. **Calagem e adubação de pastagens de *Brachiaria humidicola* em Rondônia.** Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2003n. 2p. (Embrapa Rondônia. Recomendações Técnicas, 73).
- COSTA, N. de L.; RODRIGUES, A.N.A.; TOWNSEND, C.R.; MAGALHÃES, J.A.; OLIVEIRA, J.R. da C. **Calagem e adubação de pastagens de guandu em Rondônia.** Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2003t. 2p. (Embrapa Rondônia. Recomendações Técnicas, 80).
- COSTA, N. de L.; RODRIGUES, A.N.A.; TOWNSEND, C.R.; MAGALHÃES, J.A.; OLIVEIRA, J. R. da C. **Calagem e adubação de pastagens de leucena em Rondônia.** Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2003u. 2p. (Embrapa Rondônia. Recomendações Técnicas, 81).
- COSTA, N. de L.; RODRIGUES, A.N.A.; TOWNSEND, C.R.; MAGALHÃES, J.A.; OLIVEIRA, J.R. da C. **Calagem e adubação de pastagens de *Panicum maximum* cv. Centenário em Rondônia.** Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2003q. 2p. (Embrapa Rondônia. Recomendações Técnicas, 78).
- COSTA, N. de L.; RODRIGUES, A.N.A.; TOWNSEND, C.R.; MAGALHÃES, J.A.; OLIVEIRA, J.R. da C. **Calagem e adubação de pastagens de *Panicum maximum* cv. Massai em Rondônia.** Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2003x. 2p. (Embrapa Rondônia. Recomendações Técnicas, 83).

- COSTA, N. de L.; RODRIGUES, A.N.A.; TOWNSEND, C.R.; MAGALHÃES, J.A.; OLIVEIRA, J.R. da C. **Calagem e adubação de pastagens de *Panicum maximum* cv. Mombaça em Rondônia**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2003y. 2p. (Embrapa Rondônia. Recomendações Técnicas, 84).
- COSTA, N. de L.; RODRIGUES, A.N.A.; TOWNSEND, C.R.; MAGALHÃES, J.A.; OLIVEIRA, J.R. da C. **Calagem e adubação de pastagens de *Pennisetum purpureum* cv. Cameroon em Rondônia**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2003s. 2p. (Embrapa Rondônia. Recomendações Técnicas, 77).
- COSTA, N. de L.; RODRIGUES, A.N.A.; TOWNSEND, C.R.; MAGALHÃES, J.A.; OLIVEIRA, J.R. da C. **Calagem e adubação de pastagens de *Pueraria phaseoloides* em Rondônia**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2004a. 2p. (Embrapa Rondônia. Recomendações Técnicas, 86).
- COSTA, N. de L.; SAIBRO, J.C. de. Adubação nitrogenada, épocas e alturas de corte em *Paspalum guenoarum* Arech. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v.20, n.1, p.33-49, 1984.
- COSTA, N. de L.; TOWNSEND, C.R. **Resposta de ecótipos de *Andropogon gayanus* à fertilização fosfatada**. Porto Velho, EMBRAPA-CPAF Rondônia, 1996. 4p. (Embrapa Rondônia. Comunicado Técnico, 111).
- COSTA, N de L.; TOWNSEND, C.R.; MAGALHÃES, J.A. Resposta de *Andropogon gayanus* cv. Planaltina à calagem. **Pasturas Tropicais**, Cali, v.26, n.1, p.28-31, 2004.
- COSTA, N. de L.; TOWNSEND, C.R.; MAGALHÃES, J.A.; OLIVEIRA, J.R. da C. **Formação e manejo de pastagens de *Panicum maximum* cv. Massai em Rondônia**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2002c. 3p. (Embrapa Rondônia. Recomendações Técnicas, 57).
- COSTA, N. de L.; TOWNSEND, C.R.; MAGALHÃES, J.A.; OLIVEIRA, J.R. da C. **Formação e manejo de pastagens de *Paspalum atratum* cv. Pojuca**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2002d. 3p. (Embrapa Rondônia. Recomendações Técnicas, 58).
- COSTA, N de L.; TOWNSEND, C.R.; MAGALHÃES, J.A.; OLIVEIRA, J.R. da C. **Limitações de fertilidade do solo para o crescimento de *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2004b. 3p. (Embrapa Rondônia. Comunicado Técnico, 280).
- COSTA, N. de L.; TOWNSEND, C.R.; MAGALHÃES, J.A.; OLIVEIRA, J.R. da C. **Resposta de *Centrosema acutifolium* CIAT-5277 à aplicação de doses de enxofre**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2003i. 2p. (Embrapa Rondônia. Comunicado Técnico, 240).
- COSTA, N. de L.; TOWNSEND, C.R.; MAGALHÃES, J.A.; PEREIRA, R.G. de A. Resposta de pastagens degradadas de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu à doses de nitrogênio e fósforo. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., 2000, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SBZ, 2000a. 4p. (CD-ROM).
- COSTA, N. de L.; TOWNSEND, C.R.; PEREIRA, R.G. de A.; MAGALHÃES, J.A.; SILVA NETTO, F.G. da.; TAVARES, A.C. **Tecnologias para a produção animal em Rondônia - 1975/2001**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2003m. 26p. (Embrapa Rondônia. Documentos, 70).
- CRESS, W.A.; THRONEBERRY, G.O.; LINDSY, D.L. Kinetics of phosphorus absorption by mycorrhizal and non-mycorrhizal tomato roots. **Plant Physiology**, Lancaster, v.64, p.484-487, 1979.
- DIJKSHOORN, W.; VAN WIJK, S.L. The sulphur requirements of plants as evidenced by the sulphur nitrogen ratio in the organic matter: a review of published data. **Plant and Soil**, v.26, n.1, p.129-157, 1967.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro-RJ). **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Estado de Rondônia**. Rio de Janeiro, 1983, v.1, 558p.
- FAGERIA, N.K. **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas**. Brasília: Embrapa-DPU, 1989. 425p. (Embrapa.CNPAP. Documentos, 18).

- FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: FAEPE, 1994. 227p.
- FENSTER, W.E.; LEÓN, L.A. Considerações sobre a fertilização fosfatada no estabelecimento e persistência de pastagens em solos ácidos e de baixa fertilidade na América latina Tropical. In: TERGAS, L.E.; SANCHEZ, P.; SERRÃO, E.A.S. (Eds.). **Produção de pastagens em solos ácidos dos trópicos**. São Paulo: Editerra, 1978. p.127-140.
- GOMIDE, J.A. Adubação fosfatada e potássica das plantas forrageiras. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 2., 1975, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 1975, p.143-145.
- GONÇALVES, C.A.; LEÔNIDAS, F. das C.; SALGADO, L.T.; COSTA, N. de L. Efeito da calagem no estabelecimento de *Brachiaria humidicola* em Rondônia. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 23., 1986, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: SBZ, 1986, p.202.
- GONÇALVES, C.A.; COSTA, N. de L. Resposta de capim-colonião (*Panicum maximum* Jacq.) à fontes de fósforo. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 33., 1996, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBZ, 1996. p.20-22.
- GONÇALVES, C.A.; COSTA, N. de L.; OLIVEIRA, J.R. da C. Nutrientes limitantes ao crescimento de duas gramíneas forrageiras tropicais em Porto Velho, Rondônia, Brasil. In: REUNIÃO DE LA RED INTERNACIONAL DE EVALUACIÓN DE PASTOS TROPICALES - AMAZONIA, 1., 1990, Lima, Peru. **Memórias...** Cali, Colombia: CIAT, 1990a. v.2, p.721-723.
- GONÇALVES, C.A.; COSTA, N. de L.; OLIVEIRA, J.R. da. Efeito de níveis de fósforo, enxofre e micronutrientes em duas gramíneas forrageiras tropicais. In: REUNIÃO DE LA RED INTERNACIONAL DE EVALUACIÓN DE PASTOS TROPICALES - AMAZÔNIA, 1, 1990, Lima, Peru. **Memórias...** Cali, Colômbia: CIAT, 1990b. v.2. p.717-719.
- GUILHERME, L.R.G.; VALE, F.R. do; GUEDES, G.A.A. **Fertilidade do solo: dinâmica e disponibilidade de nutrientes**. Lavras: FAEPE, 1995. 171p.
- HEISECKE, O. P. **Ganancias y pérdidas de nitrógeno en las pasturas**. Lima, Peru, 2001. 2p.
- HOWELER, R.H.; CADAVID, L.F.; BURCKHARDT, E. Response of cassava to VA mycorrhizal inoculation and phosphorus application in greenhouse and field experiments. **Plant and Soil**, The Hague, v.69, p.327-339, 1982.
- ITALIANO, E.C.; MORAES, E. de; CANTO, A. do C. **Fertilização de pastagem de capim-colonião em degradação**. Manaus: Embrapa-UEPAE Manaus, 1982. 3p. (Embrapa-UEPAE Manaus. Comunicado Técnico, 31).
- JORGE, H.D.; SOUZA LIMA, J.A. Características químicas e aptidão agrícola de alguns solos de Rondônia. In: SEMINÁRIO AGROPECUÁRIO DO ACRE, 2., 1986, Rio Branco. **Anais...** Rio Branco: EMBRAPA-DPU, 1988. p.194-204. (Embrapa-UEPAE Rio Branco. Documentos, 10).
- KERRIDGE, P.C.; DAWSON, M.D.; MOORE, P.D. Separation of degrees of aluminum tolerance in wheat. **Agronomy Journal**, Madison, v.63, p.586-591, 1971.
- LOPES, E.S.; SIQUEIRA, J.O.; ZAMBOLIM, L. Caracterização das micorrizas vesicular-arbuscular (MVA) e seus efeitos no crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Piracicaba, v.7, n.1, p.1-19, 1983
- MAGALHÃES, J.A.; LOPES, E.A.; RODRIGUES, B.H.N.; COSTA, N. de L.; BARROS, N.N.; MATTEI, D.A. Efeito e nitrogênio e da idade de corte na produção de matéria seca do capim-elefante cv. Cameroon Roxo. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ZOOTECNIA, 6., 2004, Brasília. **Anais...** Brasília: ABZ, 2004. 4p. (CD-ROM).
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

- MALAVOLTA, E. **Nitrogênio e enxofre nos solos e culturas brasileiras**. São Paulo: POTAFOS, 1982, 59p. (Boletim Técnico, 1).
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition in higher plants**. Berlin: Academic Press, 1995. 674p.
- McCORMICK, L.H.; BORDEN, F.Y. Phosphate fixation by aluminum in plants roots. **Soil Science of America Proceedings**, Madison, v.36, p.799-802, 1972.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute, 1982. 655p.
- NABINGER, C. Eficiência do uso de pastagens: disponibilidade e perdas de forragem. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 14., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1997. p.213-251.
- PAULINO, V.T.; COSTA, N. de L.; LUCENA, M.A.C. de.; SCHAMMAS, E.A.; FERRARI JÚNIOR, E. Resposta de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu à calagem e à fertilização fosfatada em um solo ácido. **Pasturas Tropicais**, Cali, v.16, n.2, p.34-41, 1994.
- PAULINO, V.T.; PAULINO, T.S.; COSTA, N de L.; LUCENA, M.A.C. Calagem, cobalto e molibdênio no desenvolvimento de *Galactia striata*. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 40., 2003, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: SBZ, 2003. 5p. (CD-ROM).
- QUAGGIO, J. A. Reação do solo e seu controle. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 1., 1986, Piracicaba. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1986. p.53-89.
- RHODES, L.H.; GERDEMANN, J.W. Phosphate uptake zones of mycorrhizal and non-mycorrhizal onions. **New Phytologist**, London, v.75, p.755-761, 1975.
- SALINAS, J.G. **Fertilización de pastos en suelos ácidos de los trópicos**. Cali: CIAT, 1987. 215p.
- SANZONOWICZ, C.; GOEDERT, W.J. Uso de fosfatos naturais em pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 7., 1985, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 1985, p.235-267.
- SERRÃO, E.A.S.; FALES, I.C.; VEIGA, J.B da; TEIXEIRA NETO, J.F. Productivity of cultivated pastures on low fertility soil in the Amazon of Brazil. In: SANCHEZ, P.A.; TERGAS, L.E. (Eds.). **Pasture production in acid soils**. Cali, Colombia: CIAT, 1979. p.257-280.
- SPAIN, J.M.; SALINAS, J.G. A reciclagem de nutrientes nas pastagens tropicais. In: SIMPÓSIO SOBRE RECICLAGEM DE NUTRIENTES NA AGRICULTURA DE BAIXOS INSUMOS NOS TRÓPICOS. Ilhéus, 1985. **Anais...** Ilhéus: CEPLAC/SBCS, 1985. p.259-299.
- TEIXEIRA, L.B. **Dinâmica do ecossistema de pastagem cultivada em área de floresta na Amazônia Central**. Manaus: INPA/FUA, 1987, 100p. (Tese de Doutorado).
- TOWNSEND, C. R.; COSTA, N. de L.; MENDES, A. M.; PEREIRA, R. G. de A.; MAGALHÃES, J. A. **Limitações nutricionais do solo sob pastagem degradada de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em Porto Velho, Rondônia**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2003. 4p. (Embrapa Rondônia. Comunicado Técnico, 255).
- VITTI, G.C.; NOVAES, N.J. Adubação com enxofre. In: SIMPÓSIO SOBRE CALAGEM E ADUBAÇÃO E PASTAGENS, 1., 1985, Nova Odessa. **Anais...** Piracicaba: POTAFOS, 1986. p.191-231.
- WERNER, J.C.; MATTOS, H.B. Estudos sobre a nutrição mineral de alguns capins tropicais. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v.29, n.1, p.191-245, 1972.
- ZAMBOLIM, L.; SIQUEIRA, J.O. **Importância e potencial das associações micorrízicas para a agricultura**. Belo Horizonte: Epamig, 1985, 36p. (Epamig. Documentos, 26).