

Nutrição mineral de bovinos de corte em pastejo - respostas de plantas forrageiras à adubação e de bovinos à suplementação da pastagem



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Pecuária Sudeste
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 81

Nutrição mineral de bovinos de corte em pastejo - respostas de plantas forrageiras à adubação e de bovinos à suplementação da pastagem

Maria Luiza Franceschi Nicodemo
Valdemir Antônio Laura
Adônis Moreira

Embrapa Pecuária Sudeste

Rodovia Washington Luiz, km 234
Caixa Postal 339 - 13560-970 - São Carlos, SP
Fone: (16) 3411-5600
Fax: (16) 3361-5754
Home page: <http://www.cppse.embrapa.br>
Endereço eletrônico: sac@cppse.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Rui Machado
Secretário-Executivo: Edison Beno Pott
Membros: Carlos Eduardo Silva Santos, Maria Cristina C. Brito,
Waldomiro Barioni Junior, Sônia Borges de Alencar

Revisor de texto: Edison Beno Pott
Normalização bibliográfica: Sônia Borges de Alencar
Fotos da capa: José Robson Sereno
Editoração eletrônica: Maria Cristina Campanelli Brito

1ª edição on-line

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação - CIP Embrapa Pecuária Sudeste

Nicodemo, Maria Luiza F.

Nutrição mineral de bovinos de corte em pastejo - respostas de plantas forrageiras à adubação e de bovinos à suplementação da pastagem [Recurso eletrônico] / Maria Luiza F. Nicodemo [et al.].— São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2008.

Modo de acesso: <<http://www.cppse.embrapa.br/O80servicos/070publicacao gratuita/documentos/documentos81.pdf/view>>

Título da página na Web (acesso em 10 de junho de 2008)
57 p. (Documentos / Embrapa Pecuária Sudeste, 81).

ISSN: 1980-6841

1. Bovinos de corte - Nutrição mineral - Patagem - Adubação. I. Nicodemo, Maria Luiza F.. II. Laura, V.A. III. Moreira, A. IV. Título. V. Série.

CDD: 636.085

Autores

Maria Luiza Franceschi Nicodemo

Zootecnista, Pesquisadora da Embrapa Pecuária
Sudeste, São Carlos, SP
mlnicodemo@cppse.embrapa.br

Valdemir Antônio Laura

Engenheiro Agrônomo, Pesquisador da Embrapa Gado
de Corte, Campo Grande, MS.

Adônis Moreira

Engenheiro Agrônomo, Pesquisador da Embrapa
Pecuária Sudeste, São Carlos, SP
adonis@cppse.embrapa.br

Sumário

Introdução	7
Será que a pastagem pode fornecer minerais em quantidades para bovino de corte?	9
1. Quais são as exigências de minerais para bovinos de corte?	9
2. Qual é a quantidade desses minerais que o pasto pode fornecer?	12
Interações entre nutrientes	14
3. A disponibilidade biológica dos minerais no pasto é adequada?	15
Cálcio e oxalato	16
Iodo e Bócio	17
4. Podemos aumentar a concentração de minerais no pasto?	18
Calagem	18
Adubação	20
Respostas de bovinos à adubação de pastagens	25
Problemas relacionados ao uso de fertilizantes	32
Intoxicação	32
Acúmulo de metais pesados	32
Manejo	33
Como podemos suplementar minerais deficientes ou em desequilíbrio nas pastagens?	33
Suplementação mineral	33
Como escolher um bom suplemento mineral?	33
As necessidades dos bovinos são diferentes na estação chuvosa e na seca?	34

É possível reduzir as concentrações de P na mistura mineral durante a seca?	34
Suplementação por meio da água de bebida	37
Outras formas de suplementação	38
Pellets intra-ruminais	38
Injeções	38
Beberagens	39
Respostas à suplementação	39
Ausência de respostas	40
Porque, afinal, os minerais interferem na produção?	41
Consumo e utilização de alimentos	41
Alotriofagia ou apetite depravado	42
Antioxidantes	43
Resposta imunológica	45
Eficiência reprodutiva	45
Considerações finais	46
Agradecimentos	46
Referências bibliográficas	46

Nutrição mineral de bovinos de corte em pastejo - respostas de plantas forrageiras à adubação e de bovinos à suplementação da pastagem

Maria Luiza Franceschi Nicodemo

Valdemir Antônio Laura

Adônis Moreira

Introdução

Os bovinos necessitam de minerais que são considerados essenciais para a sua saúde e para a manutenção da fertilidade. Dentre esses, tem-se:

1) Macronutrientes: cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cloro (Cl) e enxofre (S), requeridos em quantidades relativamente altas na dieta (determinadas em g.kg^{-1} ou em % de matéria seca).

2) Micronutrientes: cromo (Cr), cobalto (Co), cobre (Cu), iodo (I), manganês (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni), selênio (Se) e zinco (Zn), cujas exigências diárias são geralmente da ordem de miligrama(s). Outros minerais, como arsênio (As), boro (B), chumbo (Pb), silício (Si) e vanádio (Va), são essenciais para uma ou mais espécies de animais, mas não há evidências de que tenham importância prática para bovinos.

As exigências nutricionais dos animais devem ser supridas pela água, pela forragem e pelos suplementos. O consumo de terra por bovinos pode variar de 1% até mais de 10% da ingestão de matéria seca e é fonte potencial de minerais, tanto benéficos como prejudiciais. Esse consumo pode atingir entre 180 e 320 kg por bovino anualmente (Bramley, 1990; Koh et al., 1998) e aumenta quando a disponibilidade de pasto é pequena.

Tokarnia et al. (2000) comentaram que nas regiões das chapadas dos Estados do Piauí e do Maranhão as fezes continham grande quantidade de terra, o que lhes conferia aspecto e consistência de cerâmica. A ingestão de grande quantidade de terra pode contribuir tanto para suplementar minerais como para reduzir sua biodisponibilidade. De modo geral, o alto consumo de terra é um indicativo de problemas de manejo do rebanho e das pastagens.

A contribuição da água para o atendimento dos requisitos nutricionais de bovinos em pastejo é geralmente pequena (Tabela 1). Entretanto, em algumas situações, a água pode fornecer níveis significativos de minerais, tais como Fe, Na e Ca (Virgens et al., 1985; Nicodemo, 1988). A ingestão de água das lagoas salinas no Pantanal da Nhecolândia, no Mato Grosso do Sul, é parcialmente responsável pelo baixo consumo de misturas minerais naquela região (Brum & Souza, 1985), já que o sal comum é utilizado para estimular o consumo desses suplementos. Ao ingerir grande quantidade de sódio na água, o animal tem menor atração pelo cloreto de sódio do suplemento mineral.

Tabela 1. Média da porcentagem das necessidades mínimas diárias de minerais para novilhas em crescimento supridas pelo consumo de água (Camapuã, MS).

Minerais	Exigências (mg) ¹	Consumo de minerais (mg)	Necessidades supridas (%)
Ca	11.000	8,7	<0,001
P	9.000	7,3	<0,001
Mg	4.530	9,7	<0,01
Na	3.624	29,6	<0,01
Fe	226,5	117,8	52
Mn	181,2	7,5	4
Cu	36,24	-	0

Fonte: Nicodemo (1988).

¹ Calculados com base em NRC (1984).

Será que a pastagem pode fornecer minerais em quantidades adequadas para bovinos de corte?

Para responder essa pergunta, precisamos saber:

- 1) Quais são as exigências de minerais para bovinos de corte?
- 2) Qual é a quantidade desses minerais que o pasto pode fornecer?
- 3) A disponibilidade biológica dos minerais no pasto é adequada?
- 4) Podemos aumentar a concentração de minerais no pasto?

Suponhamos que a resposta seja negativa, em algumas situações. Como podemos então suplementar minerais deficientes ou em desequilíbrio nas pastagens? Procuraremos analisar cada um desses aspectos neste trabalho.

1) Quais são as exigências de minerais para bovinos de corte?

O enfoque inicial utilizado no estabelecimento de exigências nutricionais consistia na definição da ingestão mínima de nutrientes para prevenir doenças carenciais. As exigências nutricionais eram estabelecidas por meio de critérios de desempenho específicos, tais como manutenção, ganho em peso, gestação e lactação. Mais recentemente, passou-se a buscar a otimização das funções fisiológicas. Informações sobre resposta imunológica e desempenho reprodutivo ótimos, isto é, aqueles que são observados em animais que recebem uma dieta adequada, passaram a ser consideradas nas avaliações. Há muito se conhece, por exemplo, que as exigências de zinco para ganho em peso são menores do que as exigências para a espermatogênese e para o desenvolvimento testicular.

As exigências nutricionais podem ser calculadas com base em ensaios de alimentação, nos quais quantidades crescentes de determinado nutriente são suplementadas em condições controladas, buscando-se estabelecer a concentração mínima necessária para o desempenho desejado. Mais recentemente, essas exigências foram

determinadas com base no método fatorial. O método fatorial envolve a estimativa das exigências líquidas de um mineral (quantidades necessárias para manutenção e para produção – ganho em peso, gestação, produção de leite) e a divisão desse valor pelo coeficiente de absorção do nutriente da dieta. O coeficiente de absorção é uma estimativa da eficiência de utilização do mineral da dieta pelo animal.

Esquemáticamente, o método fatorial compreende:	Assim, por exemplo, um novilho nelore de 300 kg precisa de:
1. Perdas obrigatórias.	1. Manutenção = 7,1 g de P por dia.
2. Depósitos em: – Ganho em peso; – Embrião ou feto + anexos; – Leite.	2. Ganho em peso = 0,8 kg por dia = 7,0 g de P por dia. Total de P (líquido) = 7,1 + 7,0 = 14,1 g de P por dia. Coeficiente de absorção = 0,68.
3. Exigência do elemento na dieta = $(1 + 2) /$ coeficiente de absorção.	3. Exigência diária de P = 20,7 g por dia.

Fatores de segurança são adicionados para dar margem às variações individuais e às situações práticas de uso das dietas (Judson & McFarlane, 1998). As Tabelas 2 e 3 apresentam as quantidades de minerais necessárias para diferentes categorias animais, com seus distintos níveis de produção. As exigências de cloro, cromo, molibdênio e níquel não foram ainda quantificadas. As categorias mais exigentes são fêmeas em produção (novilhas > vacas) e animais jovens com alta taxa de ganho em peso (NRC, 1996). Os requisitos nutricionais de Ca e de P variam muito, em função da idade e da produção.

Tabela 2. Exigências nutricionais de bovinos de corte (concentração na matéria seca da dieta).

Mineral	Unidade	Crescimento e terminação	Novilhas e vacas ¹		Níveis máximos
			Gestação	Lactação	
Cálcio	g.kg ⁻¹	Variável	2,4 – 3,5	2,3	–
Cloro	g.kg ⁻¹	–	–	–	–
Cobalto	mg.kg ⁻¹	0,1	0,1	0,1	10
Cobre	mg.kg ⁻¹	10	10	10	100
Cromo	mg.kg ⁻¹	–	–	–	1.000
Enxofre	g.kg ⁻¹	1,5	1,5	1,5	4,0
Ferro	mg.kg ⁻¹	50	50	50	1.000
Fósforo	g.kg ⁻¹	Variável	1,4 – 2,0	1,6	–
Iodo	mg.kg ⁻¹	0,5	0,5	0,5	50
Magnésio	g.kg ⁻¹	1,0	1,2	2,0	4,0
Manganês	mg.kg ⁻¹	20	40	40	1.000
Molibdênio	mg.kg ⁻¹	–	–	–	5
Níquel	mg.kg ⁻¹	–	–	–	50
Potássio	g.kg ⁻¹	6,0	6,0	7,0	30
Selênio	mg.kg ⁻¹	0,1	0,1	0,1	2
Sódio	g.kg ⁻¹	0,6 – 0,8	0,6 – 0,8	1,0	90 ²
Zinco	mg.kg ⁻¹	30	30	30	500

Fonte: adaptado de NRC (1996).

¹ Cálculo: vaca nelore adulta = 450 kg; produção leiteira máxima = 4 kg; bezerro = 30 kg.

² NRC (1980).

Tabela 3. Requisitos de Ca e de P de diferentes categorias de bovinos de corte (concentração na matéria seca da dieta).

Categoria	Ca (g.kg ⁻¹)	P (g.kg ⁻¹)
Vaca seca, adulta, terço médio da gestação	1,8	1,8
Vaca, terço final da gestação	2,6	2,0
Vaca, 3 – 4 meses iniciais da lactação	2,8	2,2
Bezerro, 181 kg de peso vivo, ganho de 0,5 kg por dia	3,8	2,1
Garrote, 400 kg de peso vivo, ganho de 0,5 kg por dia	2,4	1,9
Touro adulto, 600 kg de peso vivo, ganho de 0,5 kg por dia	2,2	1,9

Fonte: adaptado de NRC (1984).

No Brasil, diversos pesquisadores têm estudado a composição corporal e as exigências nutricionais de bovinos. Desses estudos originou-se uma tabela de exigências nutricionais adaptada às condições brasileiras (Magalhães et al., 2006), mas ainda são mais utilizadas as tabelas elaboradas pelo National Research Council (norte-americano) e pelo Agricultural Research Council (britânico).

2. Qual é a quantidade desses minerais que o pasto pode fornecer?

A composição química das forrageiras é muito variável (Tabela 4) e depende do tipo de solo, da espécie forrageira, das condições climáticas, do estágio de maturidade, da velocidade de crescimento, do genótipo e do manejo (Norton, 1984; Corsi & Silva, 1985).

Tabela 4. Variação na concentração mineral em plantas.

Macronutrientes (g.kg ⁻¹ na matéria seca)	
Ca	0,4 – 60,0
Mg	0,2 – 7,1
P	0,3 – 10,0
Na	0,01 – 21,2
Micronutrientes (mg.kg ⁻¹ na matéria seca)	
Zn	1 – 120
Cu	1,0 – 100
Mn	9 – 2.400
Co	0,016 – 4,7
I	0,09 – 5
Se	<0,01 – 4000
Mo	0,01 – 156

Fonte: Little (1984).

Dados de análises de minerais em forrageiras cultivadas nos cerrados do Brasil Central (Tabela 5) indicam deficiências de P, de Zn, de Cu e de Na para bovinos em pastejo. Entretanto, deve-se considerar que o bovino costuma selecionar forragem de qualidade melhor do que a média da pastagem.

Tabela 5. Concentrações de minerais em *Brachiaria brizantha* cultivar Marandu, na estação seca e na estação chuvosa na região dos cerrados.

	Águas	Seca	Necessidade de vaca de cria ¹	Níveis críticos (planta)
Ca (g.kg ⁻¹)	2,6	3,3	2,6	2,1 – 6,0 ² ; 3,2 – 3,73; 3,7 ⁴
P (g.kg ⁻¹)	1,3	0,9	1,8	0,8 – 1,8 ² ; 0,5 ³ ; 0,9 ⁴
Mg (g.kg ⁻¹)	2,6	2,6	2,0	> 1,5 ²
S (g.kg ⁻¹)	0,13	0,12	0,15	0,14 – 1,6 ²
K (g.kg ⁻¹)	17,4	11,5	7,0	7,4-9,5 ² ; 4,4 ³ ; 8,2 ⁴
Fe (mg.kg ⁻¹)	223	251	50	n.d. ⁵
Mn (mg.kg ⁻¹)	189	201	40	n.d. ⁵
Zn (mg.kg ⁻¹)	21	20	30	15 ²
Cu (mg.kg ⁻¹)	5,4	5,2	10	3 ²
Na (mg.kg ⁻¹)	97	89	1.000	n.d. ⁵

¹ Vaca nelore de 450 kg de peso vivo, com produção diária de 4 kg de leite e bezerro de 30 kg ao pé (NRC, 1996);

² Macedo (2005).

³ Malavolta & Paulino (1991).

⁴ Rao et al. (1996).

⁵ Não disponível.

A análise química de forrageiras é uma das ferramentas utilizadas na formulação de suplementos minerais. Essa informação, por si só, não é suficiente para saber se um determinado mineral está ou não adequado na dieta, pois inúmeras interações de nutrientes e associações na planta podem influenciar a sua disponibilidade para o animal. O diagnóstico de deficiências pode ser complexo, em função da ocorrência de carências múltiplas, subclínicas e de sinais pouco específicos. Esse diagnóstico envolve 1) avaliação clínica, 2) histórico do rebanho, 3) coletas de material para exames histopatológicos, 4) coletas de amostras para análise da concentração de minerais em solo, em plantas e em tecidos animais, 5) coletas de amostras para análise da atividade de enzimas e da concentração de hormônios e de metabólitos (formas funcionais) e 6) resposta à suplementação. Uma revisão, elaborada por Tokarnia et al. (2000), indica deficiências minerais identificadas em várias regiões brasileiras até 1998.

Interações entre nutrientes

Os níveis e as proporções dos nutrientes na dieta têm a capacidade de interferir na biodisponibilidade dos minerais. Assim, por exemplo, o cobre pode ser complexado com sulfeto insolúvel e tiomolibdato no rúmen, deixando de ser absorvido pelo animal, e excesso de ferro pode reduzir a disponibilidade do cobre (Little, 1984).

Existem exemplos dessas interações negativas no Brasil. Os sinais mais evidentes da intoxicação crônica por Se, em criações de bovinos ou ovinos, são o crescimento excessivo de cascos e a queda de pêlos. Esses sinais foram identificados em rebanhos no oeste do Acre pela equipe do Prof. Marcus A. Zanetti, do *campus* da Universidade de São Paulo em Pirassununga, que investigou a concentração de enxofre a ser adicionada à mistura mineral para o controle da selenose, sem provocar também deficiência condicionada de Cu (John, 2000). A deficiência condicionada de Cu foi relatada em bovinos que pastejavam capim-colonião (*Panicum maximum*) em Rondonópolis, MT (Moraes et al., 1994), onde teores altos de S no capim (2,6 g.kg⁻¹ – 2,8 g.kg⁻¹ na matéria seca) estavam associados com concentrações marginais de Cu (8 mg.kg⁻¹). Enxofre forma complexos insolúveis com cobre e dessa forma reduz a disponibilidade biológica deste elemento. No Rio Grande do Sul, a morte de bovinos apresentando sinais de deficiência de cobre foi relacionada não só à concentração baixa desse elemento nas pastagens, mas também à elevada concentração de ferro e à ocasional elevação do enxofre nas pastagens (Marques et al., 2003).

Freqüentemente os produtores se preocupam com a relação Ca:P da dieta. Dados de pesquisa demonstraram que bovinos têm grande tolerância à ingestão de Ca em excesso, **desde que os requisitos de P estejam atendidos** (AFRC, 1991). Relações Ca:P acima de 8:1 podem comprometer o desempenho. Não são aceitáveis na dieta de bovinos relações

Ca:P abaixo de 1:1, sob o risco do desenvolvimento de osteodistrofia fibrosa. Nessa patologia, o tecido ósseo é substituído por tecido fibroso, em consequência do grande incremento na reabsorção óssea para procurar manter a concentração sanguínea de cálcio dentro do limite adequado para atender às suas funções metabólicas. Por esse motivo, como fator de segurança, exige-se nas misturas minerais a relação Ca:P mínima de 1:1.

3. A disponibilidade biológica dos minerais no pasto é adequada?

Informações sobre a biodisponibilidade de minerais em alimentos, particularmente nas forrageiras para ruminantes, são limitadas. Pouco se sabe a respeito da forma na qual os minerais estão presentes nas plantas ou dos fatores que controlam a biodisponibilidade, por causa das dificuldades de sua determinação. A forma química em que os minerais estão presentes nas forrageiras e a maneira como eles se associam aos componentes estruturais das plantas influenciam a sua participação nos processos metabólicos dos animais (Nicodemo & Laura, 2001).

Para exemplificar essa situação, vejamos o caso do P. O fosfato de reserva da planta está presente na forma de fitina (orgânica), nas sementes e nos frutos, e na forma inorgânica, nos tecidos vegetativos. A concentração de P fítico em grãos de cereais é relativamente alta, e representa entre 50% e 80% do P total. O fitato forma complexos estáveis *in vitro* com Cu, Zn, Co, Mn, Fe e Ca. A fitase, produzida pelas bactérias do rúmen, hidrolisa o fitato em ácido fosfórico e inositol. Quando o fitato é desdobrado, o P resultante fica disponível para o bovino. Apesar de a disponibilidade do P fítico para ruminantes ser aparentemente semelhante à de fosfatos inorgânicos, há algumas evidências de que o P fítico seja menos retido e menos disponível quando a relação Ca:P é aumentada (Nicodemo & Laura, 2001).

A definição do valor utilizado para o coeficiente de absorção (usado no cálculo de exigências nutricionais pelo método fatorial, já comentado) do P foi muito questionada. Enquanto nas normas britânicas (AFRC, 1991) considerou-se que a eficiência de absorção de P é de 0,58 em dietas à base de forrageiras e de 0,70 nas dietas à base de concentrados, o valor utilizado pelas normas americanas (NRC, 1996) para o coeficiente de absorção de P é de 0,68, sem distinguir entre o tipo de dieta. Aparentemente, a disponibilidade do fósforo de forrageiras tropicais é bem mais alta do que essas estimativas levam a crer. Gutiérrez et al. (1988) e Ternouth & Coates (1997) indicaram que o coeficiente de absorção de P de bovinos que consomem forrageiras tropicais se situa entre 0,75 e 0,80.

Cálcio e oxalato

A biodisponibilidade do Ca nas forrageiras tropicais com vistas à adequada nutrição mineral de bovinos ainda necessita de mais estudos. Algumas forrageiras (Tabela 6) podem apresentar níveis altos de oxalato (>1%) e baixa razão cálcio:oxalato (<0,3; Nunes et al., 1990).

Tabela 6. Concentrações de cálcio, de fósforo e de oxalato total e razão cálcio:oxalato na matéria seca de folhas de gramíneas tropicais.

Forrageiras	Nome comum	Ca (g.kg ⁻¹)	P (g.kg ⁻¹)	Oxalato total ¹ (g.kg ⁻¹)	Ca:Oxalato
<i>Setaria anceps</i> cv. Kazungula	Setária	2,7	2,5	28,0	0,10
<i>Brachiaria humidicola</i>	Humidícola	4,1	1,8	18,0	0,23
<i>Panicum maximum</i> cv. Colonião	Colonião	3,0	1,4	22,1	0,13
<i>Brachiaria sp.</i>	Tangola	3,4	1,3	15,5	0,22
<i>Digitaria decumbens</i> cv. Transvala	Transvala	5,3	1,2	23,0	0,23
<i>Brachiaria dictyoneura</i> cv. Llanero	Llanero	2,1	1,7	16,2	0,13
<i>Pennisetum clandestinum</i>	Quicuío	3,6	3,6	13,0	0,28

¹ Equivalente a ácido oxálico.

Fonte: Nunes et al. (1990).

O oxalato geralmente reage com cátions monovalentes, tais como K ou Na, formando sais solúveis de oxalato, mas resulta também em quelatos menos solúveis na combinação com cátions bivalentes, tais como Ca e Mg. Desses quelatos, o oxalato de cálcio é o mais estável e o menos solúvel. Esses cristais insolúveis formam-se nos vacúolos de células especializadas, que geralmente estão associados ao sistema vascular das plantas. Quando associado a essa fração da planta, que tem baixa digestibilidade, o Ca está essencialmente indisponível para animais monogástricos e os cristais de oxalato tendem a passar intactos pelo trato digestivo desses animais. Bovinos, entretanto, têm a capacidade de degradar, ao menos parcialmente, oxalatos no rúmen.

O oxalato pode ser metabolizado por *Oxalobacter formigenes*, uma bactéria que coloniza o rúmen e o intestino, e ganha energia da transformação de oxalato em ácido fórmico e CO₂. É uma bactéria extremamente especializada, que depende do oxalato. Como o metabolismo do oxalato gera, proporcionalmente, pouca energia, quantidades relativamente grandes precisam ser metabolizadas para suprir as necessidades de crescimento da bactéria. Dessa maneira, uma pequena população de bactérias dessa espécie no rúmen (10⁴ – 10⁶ células.mL⁻¹) pode metabolizar quantidade razoável do oxalato ingerido. A degradação do oxalato é facilitada pela adaptação dos microrganismos do rúmen a concentrações crescentes do complexo na dieta. Apesar disso, níveis altos de oxalato (1,3 g.kg⁻¹ a 1,8 g.kg⁻¹) podem reduzir a biodisponibilidade do cálcio da forrageira em cerca de 20% (Nicodemo & Laura, 2001).

Iodo e bócio

A deficiência marginal de I nos bovinos pode ser exacerbada por substâncias bocígenas (tiocianatos e isotiocianatos, goitrinas e dissulfetos alifáticos), que interferem na síntese, no processamento e na liberação de hormônios tireoidianos, e podem causar aumento da tireóide (Graham, 1991). Apenas o efeito dos tiocianatos e dos isotiocianatos pode ser controlado com a suplementação de iodo na dieta.

Existem poucas informações sobre o efeito do estágio de crescimento da planta na disponibilidade biológica dos minerais. Foi observada tendência à diminuição da utilização dos minerais pelo animal em função da maturidade da planta em forragens de clima temperado e em gramíneas tropicais, embora existam dados divergentes (Nicodemo & Laura, 2001).

4. Podemos aumentar a concentração de minerais no pasto?

Diversas técnicas de manejo das pastagens influenciam a concentração de minerais na forragem, entre elas a calagem, a adubação e a consorciação de espécies.

Calagem

A maioria das gramíneas forrageiras tropicais desenvolve-se bem em solos com pH em torno de 5,0 e sua resposta à calagem em condições brasileiras é baixa. Estima-se que 1 t.ha⁻¹ de calcário dolomítico seja suficiente para suprir as plantas com Ca e com Mg, sem alterar a reação do solo (Schunke, 1998). A taxa máxima de absorção de cátions pelas raízes das plantas ocorre na faixa de pH de 5 a 7 (Fig. 1).

O micronutriente mais influenciado pela mudança de pH é o Mn. Em um estudo, a calagem, mediante alteração do pH do solo de 4,6 para 6,5, reduziu a concentração de manganês trocável entre 20 e 50 vezes (Reid & Horvath, 1980). De modo geral, a disponibilidade de B, de Cu e de Zn nos solos diminui com a elevação do pH; o inverso ocorre com o Mo. Leguminosas se mostram mais sensíveis ao efeito da calagem e podem responder, em termos de produção de matéria seca e de teor de N, de forma significativa e positiva à adubação de B, de Cu e de Zn (Monteiro, 1991). Com freqüência, a melhor forma de corrigir a deficiência de Mo nas pastagens é a aplicação de calcário (Higgs, 2005).

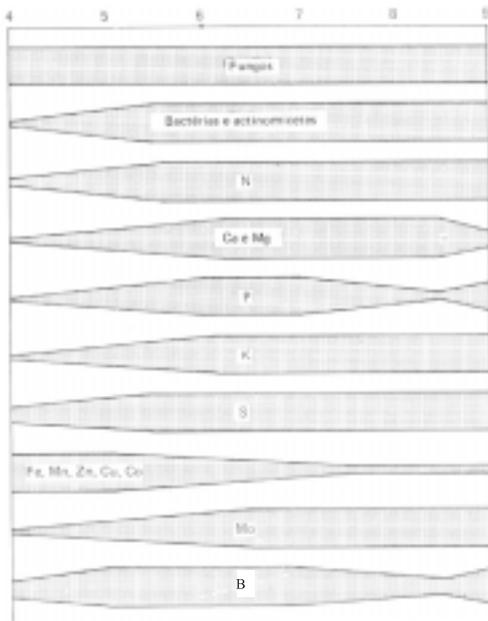


Fig 1. Alteração na disponibilidade de minerais para a planta em função do pH.

Fonte: Brady (1979).

Considera-se, geralmente, que plantas que cresçam em meio com baixo teor de Ca disponível podem apresentar grande proporção do elemento (50%) na parede celular ou na forma de oxalato (Mengel & Kirkby, 1987), de modo que a calagem poderia aumentar na forrageira a fração de cálcio disponível para o animal. Porém, Marais et al. (1997) observaram o oposto: embora a concentração total de oxalato nas folhas e na haste do capim-quicuío (*Pennisetum clandestinum*) se mantivesse constante, a proporção de oxalato de cálcio insolúvel aumentou em 52% na folha e em 74% na haste. Esses autores sugeriram que o maior influxo de cálcio para a planta deslocou os cátions monovalentes do oxalato solúvel, favorecendo a formação de oxalato de cálcio insolúvel, que pode estar menos disponível para o animal em pastejo.

Adubação

Os níveis críticos de minerais para o crescimento de forrageiras podem ser diferentes das necessidades de bovinos (Tabela 5). Em alguns elementos, as exigências das plantas ultrapassam as dos bovinos, como é o caso do K. Entretanto, no caso do P, do Ca, do Mg, do Na e da maioria dos micronutrientes, os valores necessários para os bovinos ultrapassam as necessidades das plantas. As concentrações normais de Mo, de Se e de Cu nas plantas podem ser tóxicas para os animais. Nas plantas, não existem indicações definitivas da necessidade de Na, de I e de Se, enquanto B é de suma importância a elas, mas nos bovinos este elemento não tem exigência clara (Salette, 1982; Eisler, 1989; Yaeger et al., 1998; Underwood & Suttle, 1999; Olson, 2007).

Pastagens estão implantadas, predominantemente, em solos de baixa fertilidade. Elas têm sido utilizadas intensamente no País, sem preocupação com a reposição dos nutrientes retirados do sistema. Grandes áreas de pastagens encontram-se atualmente degradadas ou em processo de degradação, com diminuição na produtividade e problemas de erosão. O efeito de fertilizantes na composição mineral das forrageiras é muito complexo, por depender de vários fatores: tipo de pastagem, método de utilização, retorno de excreta, pisoteio, clima, disponibilidade de água, nível de N e de outros elementos no solo, tipo de solo, estágio de crescimento da planta, fase reprodutiva da planta e idade da gramínea (Salette, 1982).

O efeito do fertilizante sobre os minerais presentes na planta segue mais ou menos o padrão observado com o N. No caso das gramíneas, em solo deficiente, a resposta em produção à adubação é inicialmente linear. Pode-se observar decréscimo inicial na concentração do elemento causada pelo grande aumento de produção de matéria seca (efeito de diluição), seguido de incremento acentuado na concentração do elemento na forrageira (Salette, 1982). A Tabela 7 ilustra essa situação, no caso de adubação fosfatada de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, em solo de baixa fertilidade natural, após adubação básica e calagem.

Tabela 7. Produção de matéria seca (MS) e concentração de P foliar em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, após aplicação de superfosfato triplo.

P ₂ O ₅ (kg.ha ⁻¹)	MS nas águas (t.ha ⁻¹)	P foliar (g.kg ⁻¹ na MS)
0	3,19	0,87
50	9,77	1,10
100	10,51	1,57
200	12,21	1,75
400	10,75	1,92

Fonte: Macedo & Bono (1997).

Quando a concentração dos demais nutrientes no solo é adequada, a adubação nitrogenada pode aumentar a concentração dos outros minerais na planta, mas se esses minerais estiverem em concentrações baixas ou marginais, a adubação pode levar à diluição deles no maior volume de massa produzido (Salette, 1982). Exemplo dessa situação pode ser observado na Tabela 8. A adubação nitrogenada de *Brachiaria ruziziensis* aumentou a produção de matéria seca em 319% e de proteína bruta em 598%. Aumentaram, ainda, as concentrações de S, de Zn e de Cu da forrageira, mas as de P e de Ca foram reduzidas, provavelmente como efeito da diluição.

Tabela 8. Efeito da adubação nitrogenada na produção de matéria seca e nas concentrações de proteína bruta, de enxofre, de zinco, de cobre, de fósforo e de cálcio na matéria seca da forragem.

Característica	Sem N	Com N	Teste F
Matéria seca (kg.ha ⁻¹)	4.559	19.085	P<0,01
Proteína bruta (g.kg ⁻¹)	77,0	123,9	P<0,01
Enxofre (g.kg ⁻¹)	1,0	1,4	P<0,01
Zinco (mg.kg ⁻¹)	35,45	39,81	P<0,01
Cobre (mg.kg ⁻¹)	6,63	8,41	P<0,01
Fósforo (g.kg ⁻¹)	3,3	2,5	P<0,05
Cálcio (g.kg ⁻¹)	5,6	5,3	P<0,05

Fonte: Andrade et al. (1996).

A máxima produção vegetal depende tanto da concentração como da proporção entre os nutrientes no solo. Para que as plantas possam tirar o melhor proveito dos nutrientes, eles devem estar em proporções adequadas. É necessário considerar que as culturas são seletivas na absorção de cátions, o que ocasiona grandes diferenças nas quantidades individuais de cátions absorvidos, em suas concentrações nos tecidos da planta e nas relações entre eles. Íons como NO_3^- , K^+ e Cl^- são absorvidos mais rapidamente, enquanto a absorção de Ca^{2+} e de SO_4^{2-} é relativamente lenta. A diferença na taxa de absorção significa que a planta remove cátions e ânions em quantidades desiguais do meio (Primavesi et al., 2005), o que dificulta ainda mais a predição do resultado final, em termos de concentração de determinado nutriente na matéria seca a ser consumida.

É prática comum, na Austrália e na Nova Zelândia, a adubação das pastagens com P, Cu, Co e Se, para atender às necessidades de crescimento das plantas e do rebanho. Considera-se que os níveis de Cu adequados para promover o crescimento do pasto atendem também às necessidades de bovinos e de ovinos, exceto em condições de excesso de Fe, de Mo ou de S. Dados de pesquisa no oeste australiano indicaram que o efeito residual da aplicação de cobre como fertilizante pode durar de dez a 25 anos ou mais. A deficiência de Co pode ser observada em situações de calagem pesada nos pastos. Sulfato de cobalto tanto pode ser anualmente pulverizado nas folhas das pastagens para bovinos e ovinos como pode ser utilizado na adubação periódica, em taxas que variam normalmente de $60 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ a $350 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$, para evitar deficiências de Co no rebanho (O'Connor et al., 1997; Higgs, 2005).

O Se também pode ser aplicado com o fertilizante, assegurando suplementação adequada do elemento por até três anos. Os resultados da aplicação vão depender do tipo de solo, da presença de minerais com características iônicas semelhantes, da espécie de plantas e das condições climáticas (Higgs, 2005).

No Brasil, dados de vários experimentos com gramíneas adubadas com micronutrientes mostraram, com freqüência, ausência de resposta em termos de aumento de produção de matéria seca. Aventou-se que as deficiências de P e de N poderiam estar mascarando os resultados. Ainda assim, alguns autores relataram aumento de até 11% na produtividade de capins com a correção apenas da concentração de Cu, de Zn, de B e de Mo. As respostas, em termos de aumento da produção de matéria seca e de aumento do teor de N das plantas, foram muito grandes, no caso de leguminosas forrageiras, que precisam de micronutrientes para a nodulação. Os teores de Cu e de Zn verificados em uma série de experimentos que envolveram a presença ou a omissão desses micronutrientes na adubação de algumas leguminosas forrageiras são apresentados na Tabela 9. Sugeriu-se que concentrações de Cu e de Zn inferiores a 4 mg.kg⁻¹ e 20 mg.kg⁻¹, respectivamente, na parte aérea de leguminosas, indicariam deficiência (Monteiro, 1991).

Tabela 9. Concentração de cobre e de zinco (mg.kg⁻¹) em leguminosas forrageiras cultivadas no Estado de São Paulo, com ou sem a aplicação desses micronutrientes.

Solo	pH	Local	Cobre		Zinco	
			Com	Sem	Com	Sem
<i>Estilosantes (Stylosantes guyanensis)</i>						
LV	7,6	Orlândia	27	16	55	12
LVA	6,0	Pirassununga	21 – 22	23	104 – 149	93
AQ	5,4 – 5,5	Brotas	4 – 5	2 – 3	38 – 49	24 – 32
<i>Soja perene (Neonotonia wightii)</i>						
LV	7,6	Orlândia	11	13	42	15
LVA	6,1	Pirassununga	25	24	92 – 137	69
AQ	5,3 – 5,5	Brotas	1	1	20	16
<i>Siratro (Macropitilium atropurpureum)</i>						
LVA	6,2	Pirassununga	23 – 25	24	56 – 57	51
AQ	5,3	Brotas	4	2	33	24
LEa	5,5	Andradina	6	4	39	31

LV = Latossolo Vermelho; LVA = Latossolo Vermelho-Amarelo; AQ = Areia Quartzosa; LEa = Latossolo Vermelho-Escuro álico .

Fonte: Monteiro (1991).

A utilização do pasto pelos animais logo após adubação de cobertura, antes da ocorrência de chuvas fortes, pode levar a intoxicações (Higgs, 2005).

A adubação pode provocar variações consideráveis na biodisponibilidade de minerais para o animal, alterando as formas químicas predominantes e as relações entre nutrientes na planta. O aumento dos teores de Mg se reflete, principalmente, na fração hidrossolúvel. Quando as concentrações de Mg total caem abaixo de $2,0 \text{ g.kg}^{-1}$ de matéria seca, a fração hidrossolúvel deixa de ser a fração predominante, a ponto de representar apenas 1/3 do Mg total. Aumenta, assim, a proporção do Mg ligado à fibra e pode então haver redução na biodisponibilidade do mineral para os bovinos.

Foram encontradas alterações na absorção gastrintestinal de Mg de diferentes gramíneas após a fertilização com esse elemento, embora, de modo geral, não houvesse mudanças consistentes nas leguminosas (Nicodemo & Laura, 2001). A retenção do Mg de fenos de gramíneas e de leguminosas aumentou em carneiros, com a adubação. A adubação de plantas jovens com N e com K pode ocasionar redução na disponibilidade do Mg. Foram descritos valores de biodisponibilidade verdadeira de 24,4% e de 29,5% do Mg total em azevém (*Lolium multiflorum*) adubado pesadamente com K, e valores de 36,3% e de 31% em azevém adubado com sódio. Também a adubação com P pode alterar a biodisponibilidade do Mg em certas espécies de forrageiras (Nicodemo & Laura, 2001).

Coates & Ternouth (1992), na Austrália, observaram que os coeficientes de absorção de P em novilhas em pastos consorciados não adubados foram altos (0,64 – 0,92), sobretudo em maio e em agosto, quando comparados com aqueles de novilhas em pastagens adubadas anualmente com superfosfato (0,66 – 0,74). Os autores sugeriram que os menores coeficientes de absorção estiveram provavelmente associados às altas concentrações de P na dieta, que excederam as exigências. Entretanto, a alta eficiência de absorção de P (0,83 – 0,88) nas novilhas que recebiam suplementação por meio da água (correspondendo a 35% da ingestão do total de P dietético) indica que nessa forma o P estava mais disponível do que na pastagem.

Respostas de bovinos à adubação de pastagens

Estudos mostraram que a adubação pode melhorar a dieta de bovinos em pastejo. As respostas se devem a aumento na produção de matéria seca por área (o que permite aumentar a taxa de lotação) e a alterações na composição botânica, na qualidade nutricional do pasto e no consumo de matéria seca.

A existência de maior número de estudos que contemplam a adubação de P se deve ao fato de esse nutriente ser limitante para a produção de pastagens nas regiões tropicais e de sua importância para a nutrição do bovino. Uma série de trabalhos indicou que a adubação de pastagens com fontes de P:

1. Aumentou a produção de matéria seca da forragem. Nascimento et al. (2002) mostraram que a máxima produção de capim Tanzânia (*Panicum maximum*) foi três vezes maior que a produção obtida sem adubação fosfatada, em Latossolo Vermelho-Amarelo de cerrado. Coates (1995) verificou que pastos consorciados de capim-urocloa (*Urochloa mosambicensis*) e de estilosantes (*Stylosanthes* spp.) não adubados apresentaram menos do que a metade da média da produção total de forragem dos pastos adubados. Schunke et al. (1991) também observaram aumento da produção de matéria seca na *Brachiaria decumbens*, implantada em solos de baixa fertilidade natural na região dos cerrados, sob adubação fosfatada (100 kg de P_2O_5 , 1/3 de superfosfato simples + 2/3 de fosfato de Araxá), aplicada uma única vez. Winter (1988) considerou o fosfato de rocha menos eficiente no aumento da produção das pastagens do que o superfosfato, com reflexos na produção animal.
2. Mudou a composição botânica da pastagem (Loxton et al., 1983; Winter, 1988). Coates (1995) verificou que a proporção de estilosantes nas pastagens declinou com o aumento da taxa de adubação, de 74% no tratamento

sem adubação para 22% quando foi feita adubação anual com $10 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de P. Cilliers et al. (1995) adubaram anualmente pastagens nativas com $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N e $10 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de P, na África do Sul, e verificaram que as espécies vegetais consideradas palatáveis foram mais abundantes na pastagem adubada.

3. Aumentou a concentração de P nas forrageiras (Coates & Ternouth, 1992; Coates, 1994). Coates & Ternouth (1992) relataram que a concentração de P no material selecionado pelas novilhas era, em média, 60% maior nos pastos adubados. Loxton et al. (1983) verificaram médias de concentração de P na matéria seca, respectivamente, em estilosantes e em outras espécies da pastagem, de $0,9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ e de $0,6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (sem adubação) e de $1,4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ e de $1,3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (com adubação). Coates (1995) relatou que a aplicação anual de $10 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de P aumentou a concentração desse nutriente no estilosantes em 50% e dobrou a concentração na gramínea, comparada com os pastos sem adubação. Schunke et al. (1991), porém, não observaram efeito da adubação fosfatada sobre a concentração de P na forragem. É possível que o uso de fosfato de rocha como parte das fontes do fósforo tenha interferido na resposta, em termos de concentração de P na parte aérea. Macedo & Bono (1997) mostraram que o teor de P foliar de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu aumentou de $0,9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ na matéria seca, no tratamento sem adubação fosfatada, para $1,1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ – $1,2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ na adubação com fosfatos de rocha e para $1,5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ com superfosfato triplo ($100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de P_2O_5).
4. Aumentou a digestibilidade da forragem (Coates, 1995). Os coeficientes de digestibilidade de pastagens adubadas e não adubadas foram, respectivamente, em cinco coletas entre janeiro e outubro: 59%, 58%, 58%, 52% e 44%; e 58%, 60%, 58%, 46% e 40%. Em trabalho anterior, no entanto, Coates (1994) não havia encontrado efeito da adubação na digestibilidade da forragem.

5. Permitiu aumento na taxa de lotação de pastagens e promoveu maior ganho em peso por área. Schunke et al. (1991) relataram que a adubação fosfatada aumentou a capacidade de suporte das pastagens, sem que houvesse benefício adicional de P suplementar: com 1,5 unidade animal (UA), obteve-se ganho diário de 484 g.ha^{-1} ; e com 2,13 UA, obteve-se ganho diário de 634 g.ha^{-1} , mas somente com adubação, sem diferença estatística em relação à adubação + P suplementar, com ganho diário de 692 g.ha^{-1} . Cilliers et al. (1995) verificaram que a taxa de lotação foi o dobro e o ganho em peso vivo por hectare superior em 156 kg em 180 dias na pastagem adubada com N e com P.
6. Aumentou o consumo de matéria seca (Winter, 1988). Coates (1995) relatou que as novilhas que não receberam P suplementar e que estavam em pastagens não adubadas (testemunha) apresentavam o menor consumo de matéria seca (Figura 2). Os padrões de ingestão de alimento estavam relacionados, principalmente, ao nível de adubação, mas a resposta podia ser modificada pela suplementação mineral. Fêmeas em pasto suplementado mas não adubado tinham consumo cerca de 40% superior ao das testemunhas. Como consequência do aumento da concentração do P na pastagem e do maior consumo diário de forragem, a ingestão de P variou, dependendo da época do ano, de 1,5 g a 4,2 g, nas testemunhas, e de 4,3 g a 12,0 g, nas vacas em pastagens adubadas anualmente. Cilliers et al. (1995) observaram que o valor nutritivo, em termos de proteína bruta (77 g.kg^{-1} vs. $100,0 \text{ g.kg}^{-1}$ na matéria seca) e de fibra em detergente ácido (453 g.kg^{-1} vs. 421 g.kg^{-1} na matéria seca), e que o consumo diário de matéria seca digestível por novilhos (4,5 kg vs. 6,1 kg) foram piores na pastagem não adubada do que aqueles na pastagem adubada anualmente com 100 kg.ha^{-1} de N e 10 kg.ha^{-1} de P. Coates & Ternouth (1992) não encontraram diferenças

significativas no consumo de matéria seca, ainda que houvesse tendência de nos tratamentos com aplicação de fertilizante fosfatado (+4%) ou com suplementação de P na água (+11%) haver consumo maior do que no das novilhas sem P suplementar.

7. Promoveu maior ganho em peso individual de novilhas e de vacas de cria (Loxton et al., 1983; Coates & Ternouth, 1992), de bezerros desmamados (Loxton et al., 1983) e de novilhos (Winter, 1988; Schunke et al., 1991; Cilliers et al., 1995). Coates (1994) estudou os efeitos da adubação com superfosfato em pastagens consorciadas de capim-urocloa (*Urochloa mosambicensis*) e de estilosantes (*Stylosanthes spp.*). O adubo foi aplicado em diferentes frequências: uma vez, doze meses após o plantio; a cada dois anos; e anualmente, no período de sete anos. A resposta ao fertilizante, em termos de aumento do ganho em peso, foi grande, chegando a 60 kg – 80 kg por novilha por ano nos primeiros anos. A suplementação de P foi capaz de substituir a adubação na melhora do ganho em peso, exceto no ano seco, quando a ausência de adubação limitou a disponibilidade de matéria seca. Coates (1995) relatou que o ganho em peso de novilhas em pastos não adubados e não suplementados com P, ao final da estação de crescimento, foi de apenas 60% do ganho de novilhas em pastos não adubados mas suplementados, e de cerca de 50% do ganho das novilhas em pastos adubados todo ano. A resposta à adubação, em termos de ganho em peso, foi restrita aos tratamentos sem suplementação; neste caso, a taxa de crescimento melhorou com o aumento na frequência de adubação. Cilliers et al. (1995) verificaram que a média do ganho diário em peso vivo de novilhos em área adubada com N e com P foi maior (1.266 g vs. 840 g) do que em pastagem sem adubação. Schunke et al. (1991) demonstraram que a adubação fosfatada permitiu maior

ganho em peso individual: 120 kg por animal por ano com adubação vs. 82 kg por animal por ano no tratamento sem adubação e sem P suplementar. Winter (1988) relataram aumento de ganho em peso de 10 a 15 kg em novilhos em pastos nativos australianos adubados com superfosfato, mas esse efeito foi visível apenas no final da estação chuvosa. O autor atribuiu a diferença a mudanças na qualidade da forragem e nos componentes da dieta.

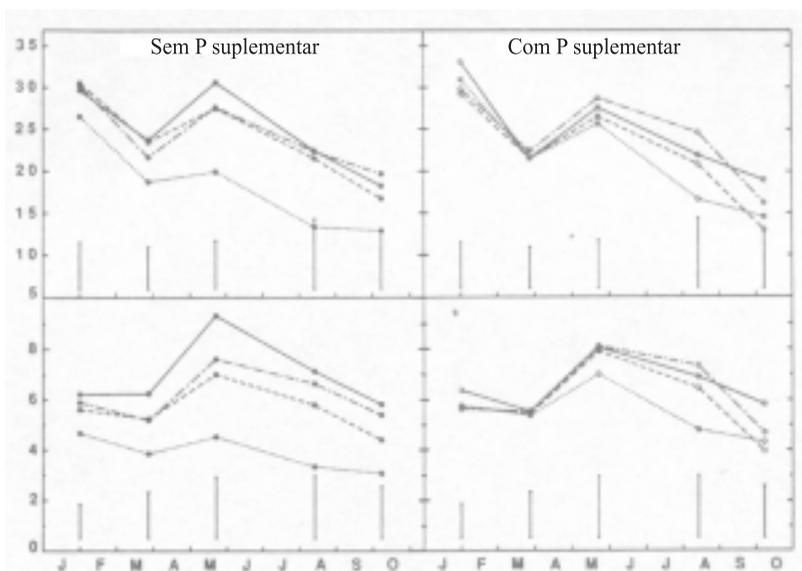


Fig 2. Efeito de adubação [sem adubação (...); 10 kg.ha⁻¹ de fósforo aplicado uma vez (—), duas vezes (-.-) e anualmente (___)] e de fósforo suplementar no consumo de matéria seca (CMS) de novilhas em pastejo. Barras verticais indicam diferença estatisticamente significativa a 5%.Fonte: Coates (1995).

A adubação fosfatada não necessariamente exclui a suplementação direta de P com misturas minerais. Winter (1988) obteve incremento significativo no ganho em peso de bovinos com a suplementação de pastagens nativas da Austrália, adubadas com quantidades subótimas de P (Fig. 3). Schunke et al. (1991) mostraram também que a combinação de aumento da taxa de lotação ($1,5 \text{ UA.ha}^{-1}$ vs. $2,13 \text{ UA.ha}^{-1}$) e de suplementação com mistura mineral permitiu média de ganho diário em peso por área significativamente maior do que o tratamento sem adubação e sem suplementação de P (332 g.ha^{-1} vs. 692 g.ha^{-1}).

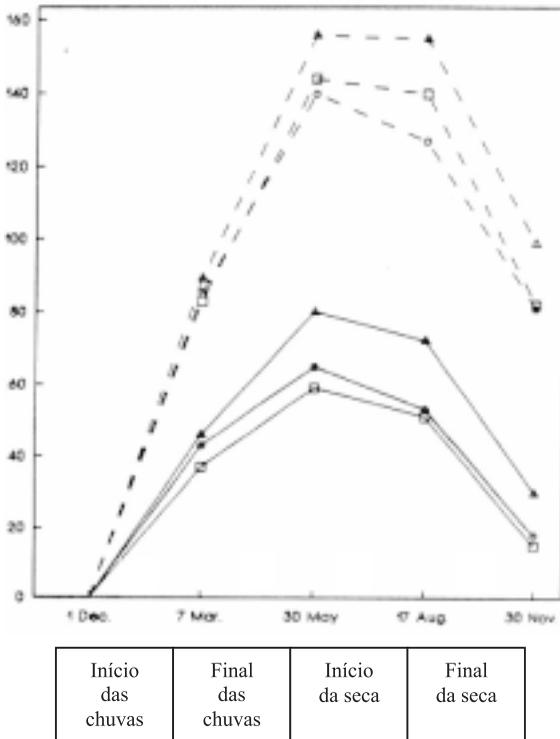


Fig. 3. Mudanças cumulativas no ganho em peso (kg.animal^{-1}) de novilhos em pastagens não adubadas (o) ou adubadas com subdoses de fosfato de rocha ou de superfosfato suplementadas com P (—) ou não (___), em quatro épocas do ano. Fonte: Winter (1988).

Os elementos mais limitantes na produção de gramíneas no Brasil são o fósforo, o nitrogênio e o enxofre. O enxofre participa na planta da composição de aminoácidos, de proteínas e de enzimas, o que faz com que exista relação ótima entre S e N nas plantas. Plantas deficientes em S sofrem interrupção na síntese de proteínas, o que resulta em crescimento retardado. Gramíneas que não sejam adubadas com N e com P mostram pouca ou nenhuma resposta ao S. A alta disponibilidade de N, entretanto, aumenta a exigência de S, já que este nutriente é importante para o metabolismo de N e para a síntese de proteína (Santos et al., 2000; Primavesi, 2002).

Oliveira et al. (2005), ao estudarem o efeito da adubação com N e com S em *B. brizantha* cv. Marandu, cultivada em Neossolos Quartzarênicos, verificaram que houve sinais de deficiência de S nas plantas não adubadas e alta relação N:S. Esses autores não encontraram diferença na produção de matéria seca com a adição de S em pastagens adubadas com N. Porém, o teor de S na parte aérea da forrageira aumentou significativamente quando a adubação passou de 70 kg de N + 77 kg de S (1,0 g.kg⁻¹ - 1,1 g.kg⁻¹ de S na matéria seca) para 210 kg de N + 230 kg de S (1,4 g.kg⁻¹ - 1,7 g.kg⁻¹ de S na matéria seca). A braquiária não adubada apresentava de 0,9 g.kg⁻¹ a 1,1 g.kg⁻¹ de S na matéria seca. Nos tratamentos sem S, o teor deste elemento na parte aérea ficou próximo do teor mínimo da faixa adequada de S para *B. brizantha*.

Arthington et al. (2002) aplicaram 67 kg.ha⁻¹ de N na forma de sulfato de amônio em pastagens de *Paspalum notatum* e observaram aumento nas concentrações de enxofre na forragem de 1,9 g.kg⁻¹ a 2,5 g.kg⁻¹ para 4,8 g.kg⁻¹ a 5,1 g.kg⁻¹ na matéria seca, ultrapassando o valor máximo de S, 4 g.kg⁻¹, aceitável para bovinos. O enxofre é antagônico ao cobre e pode reduzir a biodisponibilidade deste nutriente. As concentrações de Cu no fígado dos animais em pastejo diminuíram, mesmo com suplementação mineral à vontade. Novilhas no pasto suplementado com Cu quelatado tenderam a apresentar valor mais elevado no fígado do que aquelas que receberam Cu inorgânico.

Problemas relacionados ao uso de fertilizantes

Intoxicação

Existem na literatura relatos de intoxicação de animais que pastejavam áreas adubadas com superfosfato (Clark et al., 1976). Bovinos em pastagem que foi adubada em cobertura com superfosfato apresentaram sinais que se assemelhavam a hipocalcemia, mas não respondiam ao cálcio. Os sinais incluíam nefrite e uremia. A intoxicação foi relacionada ao alto teor de flúor do fertilizante (Dickson & Mullins, 1988).

Acúmulo de metais pesados

O cádmio é um elemento tóxico, de efeito acumulativo, considerado um dos minerais de maior preocupação para a saúde humana. O acúmulo nos sistemas agrícolas da Nova Zelândia, como resultado do uso em grandes áreas de fertilizantes fosfatados, tem sido monitorado desde que se encontraram concentrações acima do limite aceitável em alguns produtos de origem animal. Dados revisados por Bramley (1990) indicaram a ocorrência de excesso de cádmio nos rins de ovinos e de bovinos neozelandeses; modelos de simulação indicaram haver grande probabilidade de que as pastagens adubadas de algumas áreas da Nova Zelândia já tenham acúmulo de Cd superior ao tolerado, de modo que rins e fígado de bovinos ali produzidos podem ser inadequados para consumo. Roberts et al. (1994) relataram que entre 1988 e 1991 cerca de 14% a 20% das amostras de fígado bovino analisadas na Nova Zelândia excediam o limite residual máximo de $1 \mu\text{g.g}^{-1}$ de Cd proposto pelo Departamento de Saúde daquele país.

Manejo

A adubação na maioria das vezes pode acelerar o crescimento da forrageira e o manejo deve ser alterado para que a forragem seja utilizada mais cedo. A taxa de lotação da pastagem pode necessitar de ajustes, caso contrário o pastejo seletivo se acentua (Salette, 1982).

A suplementação com P em pastagens não adubadas aumentou significativamente o consumo de matéria seca de fêmeas bovinas. Portanto, a lotação da pastagem deve ser controlada, de modo a evitar o superpastejo (Coates, 1995).

Como podemos suplementar minerais deficientes ou em desequilíbrio nas pastagens?

Os minerais deficientes na região dos cerrados do Brasil Central são P, Na, Cu, Co, I e Zn. As deficiências de Mn não foram observadas com frequência, mas podem ocorrer em algumas regiões, como no norte do Estado do Mato Grosso. Existem também indicações da deficiência de Se e de S em algumas regiões. Embora as concentrações de Ca e de Mg sejam consideradas adequadas nas forrageiras, foram encontradas indicações de deficiência em Roraima e na região arenosa do Pantanal. A suplementação dos minerais deficientes ou em desequilíbrio pode ser feita de várias maneiras: mediante fornecimento de misturas minerais (comum no Brasil), com adubação, com *pellets*, com injeções e beberagens, ou ainda, por meio de diluição na água de bebida (Nicodemo, 2001a).

Suplementação mineral

Como escolher um bom suplemento mineral?

Para que a mistura seja formulada corretamente, são necessárias informações sobre as características da região e as deficiências e as exigências minerais, e estimativas de consumo e de qualidade da

dieta. As fontes de minerais devem ser palatáveis, de boa biodisponibilidade e relativamente livres de contaminantes tóxicos. O consumo adequado de mistura mineral é indispensável para o sucesso da suplementação e as pastagens devem dispor de sais em número e em tamanho adequados, de fácil acesso (Nicodemo, 2001a).

As necessidades dos bovinos são diferentes na estação chuvosa e na seca?

Um objetivo da suplementação do pasto para bovinos é permitir a máxima eficiência na utilização da forrageira. A resposta a ser obtida com essa suplementação vai depender muito das condições (qualidade e quantidade) da forrageira no momento da suplementação.

As respostas da suplementação com minerais no desempenho dos bovinos criados em áreas deficientes são geralmente mais evidentes durante a estação chuvosa, quando a forrageira cresce mais vigorosamente. Nessa época, os bovinos em crescimento dispõem de proteína e de energia suficientes para sustentar ganho em peso e a demanda por minerais também aumenta (Cruz et al., 1988; Nicodemo, 2001b).

A fonte de P perfaz, com Na, a maior parte do suplemento mineral. É também o ingrediente de maior custo.

É possível reduzir as concentrações de P na mistura mineral durante a seca?

Apesar da queda na concentração de P em forrageiras maduras durante a seca (Tabela 10), a resposta de bovinos ao fornecimento de P suplementar, se eles estiverem perdendo ou apenas mantendo peso, pode ser pequena ou inexistente, por causa das deficiências mais limitantes de proteína e de energia nas pastagens nessa época do ano. Coates (1995) relatou respostas positivas à suplementação das pastagens com fósforo apenas durante a estação de crescimento ativo das plantas.

Tabela 10. Médias da concentração estacional (g.kg^{-1} na matéria seca) de P em forrageiras dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum* analisadas na Embrapa Gado de Corte.

Forrageira	Época	
	Chuvvas	Seca
<i>Brachiaria brizantha</i>	1,3	1,1
<i>B. decumbens</i>	1,3	0,9
<i>B. humidicola</i>	1,4	1,1
<i>Panicum maximum</i> cv. Colônião	1,7	1,2
<i>P. maximum</i> cv. Tobiata	1,4	1,0
<i>P. maximum</i> cv. Tanzânia	1,5	1,1

Fonte: Moraes (1998).

Como citado anteriormente, as exigências de P são influenciadas pela ingestão de energia: quando o animal consome alimento suficiente para passar de manutenção para ganho em peso, as exigências de P também aumentam (Tabela 11) e ele responderá à suplementação de P se houver deficiência. Como a taxa de crescimento ósseo é maior nos animais jovens, um animal mais maduro requer relativamente menos Ca e menos P por quilograma de ganho.

Tabela 11. Exigência nutricional diária de fósforo (g) de bovinos de corte.

Exigências nutricionais	Novilho de 200 kg de PV	Novilho de 300 kg de PV
Mantença	4,7	7,1
Mantença + ganho de 0,5 kg por dia	$4,7 + 5,5 = 10,2$	$7,1 + 4,8 = 11,9$
Mantença + ganho de 1 kg por dia	$4,7 + 10,8 = 16,5$	$7,1 + 9,2 = 16,3$

PV = peso vivo.

Fonte: NRC (1996).

No caso de vacas em reprodução, que têm exigências para crescimento do feto e para produção de leite, a suplementação de P, mesmo na seca, pode ser importante. As vacas parecem responder melhor à suplementação de P durante a lactação, com aumento da digestibilidade e do consumo de matéria seca, assim como da produção de leite (Nicodemo, 2001b). Para que as vacas possam voltar rapidamente ao cio, é importante que elas estejam em boa condição corporal ao parto. Alguma suplementação protéico-energética pode ser necessária durante a estação seca, pois permitirá também melhor aproveitamento dos minerais fornecidos, especialmente nas vacas primíparas. No caso de vacas em gestação, a suplementação mineral adequada possibilita também que os bezerros nasçam com reserva de alguns minerais, suficiente para prevenir a ocorrência de deficiências e para contribuir à saúde da cria.

Alguns trabalhos avaliaram o efeito da suplementação estratégica, com redução da suplementação durante o período seco, em vacas de cria. Afonso et al. (2000) mostraram que vacas recebendo suplemento mineral "completo" nos períodos de pasto bom e sal comum nos períodos de seca, ou suplemento mineral "completo" o ano todo, apresentaram aumento na taxa de natalidade (67% e 70,3%) e na taxa de desmama (64,3% e 64,3%) em relação ao grupo que recebeu apenas sal comum o ano todo (53,6% e 51,6%, respectivamente). A suplementação estratégica propiciou maior retorno econômico.

Ressalta-se que os bovinos têm a capacidade de acumular reservas de minerais e de utilizá-las em períodos de restrição. Reservas de cobre e de vitamina B₁₂ (da qual participa o cobalto) no fígado, de selênio no músculo e no fígado, e de cálcio e de fósforo nos ossos reduzem a necessidade de atender aos requisitos desses minerais numa base diária. Assim, apesar da deficiência de minerais na dieta, o animal pode permanecer em bom estado por alguns meses, dependendo da severidade da deficiência e de suas reservas. Entretanto, outros minerais não são armazenados em quantidade suficiente para darem proteção nos períodos críticos (tais como Mn, Zn e Na) ou suas

reservas não estão suficientemente disponíveis (como ocorre com o Mg) e devem portanto ser fornecidos constantemente aos animais, inclusive durante a estação seca (Nicodemo, 2001b).

É possível que o S esteja deficiente em pastagens implantadas em solos pobres e arenosos, especialmente se elas são submetidas à queima. Todavia, praticamente não existem informações sobre resultados de suplementação com S na mistura mineral, exceto quando suplementado com uma fonte de proteína não-verdadeira, como uréia. Caso o S seja fornecido na mistura mineral, vale lembrar que a relação N:S da dieta deve estar em torno de 12:1. Durante a seca, a necessidade de enxofre pode ser menor, por causa da redução do teor de nitrogênio das forrageiras com a maturidade. Excesso de S na dieta está ligado à redução na disponibilidade de Cu e de Se para os ruminantes, assim como ao aparecimento de casos de polioencefalomalacia. Dutra (2001) relatou aumento dessa patologia na estação seca.

Suplementação por meio da água de bebida

Usada principalmente na suplementação de P, esta forma exige que a fonte seja solúvel (ácido fosfórico e fosfato monoamônico, por exemplo) e que haja controle sobre toda a água consumida. Calcula-se o consumo de água pelo animal e então a fonte de minerais é adicionada de maneira a permitir a suplementação mineral nos níveis desejados (Rosa, 1998). A suplementação de P por meio da água de bebida é prática comum na Austrália, onde há registro de bons resultados (Coates & Ternouth, 1992). Coates (1995) relatou que a suplementação com fosfato de sódio na água aumentou o consumo de alimento de novilhas em cerca de 40%, em relação àquelas sem suplementação. O ganho em peso de novilhas no tratamento sem suplementação, ao final da estação de crescimento, foi de 60% daquele de fêmeas com suplementação. Alguns problemas relacionados à suplementação de P por meio da água de bebida incluem baixa aceitação pelos animais, corrosão dos bebedouros e intoxicação (Miller et al., 1990).

Outras formas de suplementação

Pellets intra-ruminais

Pellets são cápsulas que contêm micronutrientes de liberação lenta, incorporados a matérias de alta densidade. As cápsulas, que devem ser engolidas pelo animal, permanecem no rúmen ou no retículo. A alta densidade evita a regurgitação do *pellet*. Ocasionalmente forma-se uma capa de fosfato de cálcio em torno do *pellet*, o que impede a liberação dos minerais. Esse problema é contornado pelo fornecimento de um parafuso, que atrita o *pellet* (Rosa, 1998). Na Austrália, são utilizados rotineiramente *pellets* de Cu, de Co e de Se, que devem ser fornecidos uma (Co, Se) ou duas (Cu) vezes no ano (Higgs, 2005). Judson et al. (1997) estudaram em vacas a eficiência da suplementação com as quantidades de 0, 1, 2 ou 4 *pellets* de cobalto (cada *pellet* de 30 g continha 30% de óxido de cobalto), um *pellet* de Se e um parafuso para atrito. Um único *pellet* evitou a deficiência de vitamina B₁₂ por até 28 semanas; de dois a quatro *pellets* protegeram por até 57 semanas.

Injeções

A maioria dos micronutrientes pode ser suprida por meio de injeções intramusculares ou subcutâneas, em veículos de liberação lenta. Essa prática assegura que todos os animais recebam as quantidades desejadas. Contorna também problemas ocasionados por interações na dieta, como no caso da presença de concentrações altas de S e de Mo na forragem, que interagem com o Cu. Porém, pode provocar inflamações e abscessos. Rosa (1998), exemplificando as dosagens geralmente utilizadas, mencionou: 120 mg de cobre, para bovinos, a cada seis meses; 475 mg de I na forma de óleo, para vacas leiteiras, a cada dois anos; e 50 mg de Se + 680 UI de vitamina E antes do parto, para vacas. Na Austrália e na Nova Zelândia, são usadas injeções periódicas de Cu, de vitamina B₁₂ e de Se (O'Connor & Doige, 1993; Higgs, 2005). Note que o cobalto está sendo fornecido na vitamina B₁₂.

Beberagens

Esta técnica não é empregada rotineiramente, por ser bastante trabalhosa, mas pode ser adotada em situações específicas, como preconizado por Moraes et al. (2002), para minimizar o estresse da desmama. A aplicação oral de uma dose única de 300 mg de Zn diluídos em 10 mL de água em bezerras nelores desmamados aos 90 dias, em comparação ao grupo sem Zn suplementar, resultou em aumento no peso vivo pós-desmama altamente significativo, de 13,7% aos 120 dias e de 11,8% aos 150 dias. Na Austrália, selênio pode ser suplementado na forma de beberagens, para ovinos, sendo esse método efetivo por períodos de oito a doze semanas (Higgs, 2005).

Respostas à suplementação

A melhor maneira de avaliar a necessidade de se suplementar a pastagem com determinado mineral é observar as respostas do rebanho à suplementação. Isso, entretanto, é mais difícil no caso dos micronutrientes, em que as respostas podem ser observadas apenas ocasionalmente em intervalos de anos, especialmente, quando o rebanho dispõe de reservas (Higgs, 2005).

O crescimento corporal é uma ótima medida da adequação de alguns minerais durante essa fase da vida do animal. Porém, há crescente evidência de que a atividade imunológica pode ser indicadora muito sensível do estado nutricional de alguns elementos, como o Cu e o Zn. Assim, a ausência de resposta produtiva à suplementação não implica, necessariamente, adequação do elemento em estudo (Nicodemo, 1999).

Ausência de respostas

Em várias circunstâncias, os animais podem não responder à suplementação. Dentre elas, encontram-se: inexistência de deficiência (a dieta já está adequada; Tabela 14), consumo insuficiente do suplemento e/ou baixa biodisponibilidade do mineral na fonte utilizada (Tabela 15) e presença de outras deficiências mais limitantes (Tabela 16).

Tabela 14. Desempenho de novilhos nelores em crescimento, em pastos de *Panicum maximum* cultivados em solos férteis, com suplementação mineral.

	Ganho (kg por animal)	Consumo diário de suplemento (g por animal)
Sal comum (1)	157,8	9,5
Sal + micronutrientes (2)	158,8	-
1 + 2 + Ca e P	164,7	15,21

Fonte: Nogueira (1988).

Tabela 15. Desempenho de novilhos nelores em pastos de *Brachiaria decumbens* cultivados em cerrado arenoso, com suplementação mineral.

	Ganho diário (kg por animal)	Consumo diário de suplemento (g por animal)
Sal + micronutrientes (1)	0,126	33,1
1 + fosfato bicálcico	0,246	66,9
1 + fosfato de rocha	0,123	29,6

Fonte: Embrapa (1994).

Tabela 16. Resposta de novilhos nelores em pastagem de *Brachiaria brizantha* à suplementação mineral no período seco.

Tratamento	Ganho diário (kg por animal)
Sal + micronutrientes + Ca e P	0,241
Sal + micronutrientes	0,263
Sal + Ca e P	0,245

Fonte: Rosa et al. (1993).

Por que, afinal, os minerais interferem na produção?

Os minerais têm muitas funções no organismo animal. Destacam-se a participação nos sistemas enzimáticos, na formação da estrutura de células, de órgãos e de tecidos, e na manutenção do equilíbrio ácido-básico, da pressão osmótica e da permeabilidade de membranas. Deficiências, ainda que leves, podem causar redução na ingestão e na utilização do alimento, queda na fertilidade e na resistência a doenças e perdas econômicas.

Consumo e utilização de alimentos

A ingestão contínua de dietas deficientes ou desequilibradas dificulta a manutenção de concentrações ótimas de minerais nos tecidos. Alterações bioquímicas podem desenvolver-se, prejudicando as funções fisiológicas e levando a desordens estruturais que variam com o mineral, a intensidade e a duração da deficiência, e a idade, o sexo e a espécie do animal. O apetite é em geral prejudicado rapidamente, acompanhado de queda na produção animal. Os mecanismos homeostáticos procuram minimizar os efeitos dessas mudanças, mas, para que o processo seja revertido, é necessária a correção da dieta. A redução do consumo de alimento é encontrada em diversas deficiências minerais (Nicodemo, 1999). O primeiro efeito da deficiência de P em bovinos, caprinos e ovinos é a

depressão do consumo de alimento entre 10% e 50% (Ternouth, 1991). Schunke et al. (1991) relataram que novilhos, em pastagens de *Brachiaria decumbens* não adubadas, aumentaram o consumo de matéria seca em cerca de 40% quando houve suplementação com P.

O início da redução da ingestão de alimento não é imediato e depende da severidade da deficiência. A redução do consumo de alimento pode levar a deficiências de outros nutrientes, especialmente daqueles que estavam em níveis marginais. Os mecanismos fisiológicos implicados na redução do consumo e na queda da conversão alimentar na deficiência de P podem envolver a depressão na digestibilidade do alimento e na formação de proteína microbiana, em consequência de deficiências de minerais para os microrganismos do rúmen, e causar distúrbios no metabolismo do hospedeiro (Ternouth, 1991).

A inibição do consumo de alimento em decorrência de deficiências minerais pode abranger um mecanismo bastante complexo, com inibição da síntese de proteína muscular e do crescimento, antes mesmo que haja redução perceptível das concentrações dos minerais no tecido muscular. Clausen & Dorup (1998) propuseram que na anorexia o hormônio do crescimento e o fator de crescimento semelhante à insulina (*insulin-like growth factor 1*) talvez mediem a inibição do crescimento observada nas deficiências de Zn, de Mg e de K, dentro do princípio de economia energética, porque não valeria à pena utilizar recursos em processos disfuncionais.

Alotriofagia ou apetite depravado

Apetite depravado ou alotriofagia é o consumo de materiais que normalmente não fazem parte da dieta. É observado nas deficiências de P, de Na, de K, de I e de Co. Pode trazer consequências muito danosas, especialmente no caso da deficiência de P, em que há relação direta entre a baixa concentração de P inorgânico circulante e o apetite por ossos, o

que aumenta os riscos de botulismo (Blair-West et al., 1989; Blair-West et al., 1992). Esses autores concluíram que o apetite por ossos observado em vacas deficientes em P é inato e específico e que o cheiro de ossos exerce um papel relevante no direcionamento dos animais para esse material. O estímulo fisiológico à roedura de ossos provavelmente deriva de baixas concentrações de fosfato no sangue que irriga o cérebro.

Antioxidantes

A oxidação é processo normal do metabolismo: carboidratos e gorduras são oxidados no corpo para fornecer energia e o sistema imunológico usa fortes agentes oxidantes para destruir microrganismos invasores. A ação descontrolada de radicais livres pode, no entanto, causar danos graves às células. Radicais livres são compostos químicos que possuem elétrons não pareados, os quais são geralmente muito reativos. Eles podem ser produzidos em células saudáveis por acidente ou deliberadamente, como durante a fagocitose, pelo sistema imunológico. Os mais importantes radicais livres em células aeróbicas são o oxigênio e seus derivados (superóxidos), os radicais hidroxila, o peróxido de hidrogênio e os metais de transição. Se os radicais livres se acumulam, eles destroem ou danificam as células (Berger, 2003). Os efeitos danosos dos radicais livres foram relacionados ao câncer, às doenças inflamatórias e ao envelhecimento. A maioria das moléculas mantém a estabilidade por meio do pareamento de elétrons. Radicais livres procuram “roubar” elétrons de outras moléculas. Os antioxidantes são moléculas que podem doar elétrons facilmente, sem danos. O organismo produz uma gama de antioxidantes, para evitar a formação de radicais livres ou para limitar seus efeitos danosos nas células. Esses agentes incluem enzimas que decompõem peróxidos, proteínas que se ligam a metais de transição e outros compostos que inativam radicais livres (Berger, 2003).

Existe nas células um sistema de defesa para evitar o excesso de radicais livres, que combina elementos enzimáticos e não-enzimáticos. Os microelementos minerais desempenham papel fundamental na defesa contra o estresse oxidativo. A atividade das superóxido-dismutases (contém Zn, Cu ou Mn) e de outras enzimas antioxidantes, incluindo a catalase (contém Fe) e a glutaciona-peroxidase (contém Se) é completada pela ação de uma série de fatores não-enzimáticos intracelulares e extracelulares. A glutaciona-peroxidase é o principal antioxidante intracelular, que catalisa a redução de peróxido de hidrogênio e de hidroperóxidos orgânicos a compostos não tóxicos (Berger, 2003).

O estresse oxidativo pode ser o elo entre o estresse animal, as deficiências nutricionais e a diminuição na resistência a doenças, freqüentemente observados no campo. A produção de compostos de oxigênio reativo pode ser aumentada pela ingestão de micotoxinas e de produtos alterados pela reação de Maillard. Ferro livre pode também aumentar a produção de metabólitos de oxigênio reativo. Inflamações, infecções e estresses ambientais podem estimular a geração dessas formas de Fe, aumentando, nessas condições, a necessidade de antioxidantes. Animais em confinamento ou vacas leiteiras de alta produção recebem, muitas vezes, dietas com alta densidade calórica. Com isso, o desempenho animal é maximizado, a eficiência alimentar melhora e menos resíduos são gerados. A adição de gorduras é uma forma comum de aumentar a densidade calórica. Entretanto, dados recentes sugerem que a adição de certos tipos de gordura podem aumentar as exigências de antioxidantes. Se não forem supridas, a susceptibilidade dos animais a doenças pode aumentar (Berger, 2003).

Resposta imunológica

Deficiências ou excessos de minerais aumentam a susceptibilidade a infecções e a parasitoses. Os minerais relacionados com a função imunológica são Zn, Cu, Fe, Se e I. As alterações na resposta imunológica ocorrem logo que há redução na ingestão de microelementos. Alterações imunológicas aumentam os riscos de infecções e de morte e estão associadas à redução da resposta a antígenos e ao aumento da susceptibilidade a infecções bacterianas. Excesso de Zn e de Se também podem deprimir a resposta imunológica (Chandra, 1997). Recomenda-se cautela diante de algumas propostas de suplementação exageradamente acima das exigências nutricionais estimadas.

Eficiência reprodutiva

A maioria dos problemas reprodutivos deve-se ao consumo insuficiente de energia e de proteína, mas são comuns também deficiências de minerais. A redução no consumo e na digestibilidade de alimentos, encontrada em várias deficiências minerais, tem efeitos diretos e efeitos indiretos na eficiência reprodutiva.

De modo geral, todos os elementos essenciais são necessários para a reprodução, em razão de seu papel no metabolismo, na manutenção e no crescimento. Entretanto, esses nutrientes têm também funções e exigências específicas nos tecidos reprodutivos. Revisão sobre o tema foi publicada em Nicodemo et al. (2008).

Considerações finais

Pode-se lançar mão de várias estratégias para tirar o máximo proveito das pastagens tropicais. Dada a extensão de terras destinadas à pecuária de corte no País e a facilidade de utilização, o fornecimento de minerais limitantes aos bovinos por meio de suplementos de boa qualidade e em quantidade adequada deve continuar a desempenhar um papel importante para sustentar bom desempenho na pecuária.

Agradecimentos

Agradecemos as sugestões do Dr. Manuel Cláudio Motta Macedo, pesquisador da Embrapa Gado de Corte.

Referências bibliográficas

AFONSO, E.; CATTO, J. B.; POTT, E. B. **Suplementação mineral para bovinos de corte na sub-região da Nhecolândia do Pantanal Mato-grossense**. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS NO PANTANAL, 3., 2000, Corumbá, MS. Os desafios do novo milênio. Anais... Disponível em: <<http://www.cpap.embrapa.br/agencia/congresso/Socio/AFONSO-089.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2007.

AFRC – AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL. Commonwealth Agricultural Bureaux International. A reappraisal of the calcium and phosphorus requirements of sheep and cattle. **Nutrition Abstracts and Reviews (Series B)**, v. 61, n. 573-612, 1991.

ALMEIDA, M. I. V. DE; FONTES, C. A. DE A.; ALMEIDA, F. Q. DE; CAMPOS, O. F.; GUIMARÃES, R.F. Conteúdo corporal e exigências líquidas e dietéticas de macroelementos minerais (Ca, P, Mg, Na e K) de novilhos mestiços holandês-gir em ganho compensatório. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 3, p. 849-857, 2001.

ANDRADE, J. B.; BENINTENDE, R. P.; FERRARI JÚNIOR, E.; PAULINO, V. T.; HENRIQUE, W.; WERNER, J. C.; MATTOS, H. B. Efeito das adubações nitrogenada e potássica na produção e composição da forragem de *Brachiaria ruziziensis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, n. 9, p. 617-620, 1996.

ARTHINGTON, J. D.; REHCIGL, J. E.; YOST, J. P.; MCDOWELL, L. R.; FANNING, M. D. Effect of ammonium sulfate fertilization on bahiagrass quality and copper metabolism in grazing beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 80, n. 10, p. 2507-2512, 2002.

BERGER, L. L. Selenium and vitamin E – Antioxidants for animals. **Salt & Trace Minerals**, v. 35, n. 2, 2003. Disponível em: <<http://www.saltinstitute.org/images/stm-june-2003.pdf>>. Acesso em: 29 set. 2005.

BLAIR-WEST, J. R.; DENTON, D. A.; MCKINLEY, M. J.; RADDEN, B. G.; RAMSHAW, E. H.; WARK, J. D. Behavioral and tissue responses to severe phosphorus depletion in cattle. **American Journal of Physiology**, v. 263, n. 3, p. R656-663, 1992.

BLAIR-WEST, J. R.; DENTON, D. A.; NELSON, J. F.; MCKINLEY, M. J.; RADDEN, B. G.; RAMSHAW, E. H. Recent studies of bone appetite in cattle. **Acta Physiologica Scandinava** (Supplement), v. 583, n. 53-58, 1989.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 5. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1979. 647 p.

BRAMLEY, R. G. V. Cadmium in New Zealand agriculture. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 33, n. 4, p. 505-519, 1990.

BRUM, P. A. R.; SOUSA, J. C. Níveis de nutrientes minerais para o gado, em lagoas (“baías” e “salinas”) no Pantanal Sul Mato-Grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 20, n. 12, p. 1451-1454, 1985.

CHANDRA, R. K. Nutrition and the immune system: an introduction. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 66, n. 2, p. 460S-463S, 1997.

CILLIERS, J. W.; VAN DER MERWE, H. J.; VERMAAK, L. M ; JAARSMA, J. J.; THUYSEN, D. Effects of veld fertilization on herbage chemical composition and beef cattle production. **Animal Science**, v. 61, n. 519-526, 1995.

CLARK, R. G.; HUNTER, A. C.; STEWART, D. J. Deaths in cattle suggestive of subacute fluorine poisoning following ingestion of superphosphate. **New Zealand Veterinary Journal**, v. 24, n. 9, p. 193-197, 1976.

CLAUSEN, T.; DORUP, I. Micronutrients, minerals and growth control. **Bibliotheca Nutritio et Dieta**, v. 54, p. 84-92, 1998.

COATES, D. B. Effect of phosphorus as fertilizer or supplement on the forage intake of heifers grazing stylo-based pastures. **Tropical Grasslands**, v. 35, n. 2, p. 181-188, 1995.

COATES, D. B. The effect of phosphorus as fertilizer or supplement on pasture and cattle productivity in the semi-arid tropics of north Queensland. **Tropical Grasslands**, v. 28, n. 2, p. 90-108, 1994.

COATES D. B.; TERNOUTH, J. H. Phosphorus kinetics of cattle grazing tropical pastures and implications for the estimation of their phosphorus requirements. **Journal of Agricultural Science**, v. 119, v. 3, p. 401-409, 1992.

CORSI, M.; SILVA, R. T. L. Fatores que afetam a composição mineral de plantas forrageiras. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 3., 1985, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1985. p. 1-14.

CRUZ, G. M. da; ESTEVES, S. N.; NOVAES, A. P. de; BUGNER, M.; CORREA, L. de A. Suplementação estratégica com mistura mineral na recria de novilhas sob condições de pastejo. In: REUNIAO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 25., 1988, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa: SBZ, 1988. p. 88.

DICKSON, J.; MULLINS, K. R. Suspected superphosphate poisoning in calves. **Australian Veterinary Journal**, v. 64, p. 387-388, 1988.

DUTRA, I. S. Incidência da polioencefalomalacia aumenta na seca. Disponível em: <http://www.beefpoint.com.br/seca/secoes/radar/detradar.asp?decasid=63&secoes1d=3>. Acesso em: 10 set. 2001.

EISLER, R. **Molybdenum hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review.** U. S. Fish and Wildlife Service, Biological Report, n. 85, Contaminant Hazard Reviews, n. 19, 1989. Disponível em: <http://www.pwrc.usgs.gov/infobase/eisler/CHR_19_Molybdenum.pdf>. Acesso em: 19 set. 2007

EMBRAPA. **Parecer técnico científico: uso de fontes alternativas de fósforo na nutrição de bovinos - resultados, conclusões e recomendações.** Anexo ao OF. PR. Embrapa n. 257/94. Brasília: 1994. (Parecer disponível com o primeiro autor deste documento).

GRAHAM, T. W. Trace element deficiencies in cattle. **Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice**, v. 7, n. 1, p. 153-215, 1991.

GUTIÉRREZ, O.; GEERKEN, C. M.; DIAZ, A. Determinación de la digestibilidad real del fósforo en la bermuda cruzada (*Cynodon dactylon* cv. Coast cross). **Revista Cubana de Ciencia Veterinaria**, v. 19, n. 3, p. 233-238, 1988.

HIGGS, T. **Trace element deficiencies in sheep and cattle.** 2005. Disponível em: <http://www.agric.wa.gov.au/pls/portal30/docs/FOLDER/IKMP/PW/AH/DIS/FN008_2004.PDF>. Acesso em: 21 jun. 2007.

JOHN, L. Pesquisadores da USP investigam o excesso de selênio em pastagens. Agência Estado, 2000. Disponível em: <http://www.usp.br/agen/06abr.html#Pesquisadores%20da%20USP%20investigam%20o%20excesso%20de> . Acesso em: 10 abr.2005.

JUDSON, G. J.; MCFARLANE, J. D. Mineral disorders in grazing livestock and the usefulness of soil and plant analysis in the assessment of these disorders. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 38, n. 37, p. 707-723, 1998.

JUDSON, G. J.; MCFARLANE, J. D.; MITSIOULIS, A.; ZVIEDRANS, P. Vitamin B12 responses to cobalt pellets in beef cows. **Australian Veterinary Journal**, v. 75, n. 9, p. 660-662, 1997.

KEEN, C. L.; HANNA, L. A.; LANOUE, L.; URIU-ADAMS, J. Y., RUCKER, R. B.; CLEGG, M. L. S. Developmental consequences of trace mineral deficiencies in rodents: acute and long-term effects. **Journal of Nutrition**, v. 133, n. 5, Suppl. 1, p. 1477S-1480S, 2003.

KOH, T.-S.; BANSEMER, P. C.; FRENHAM, A. B. A survey of the cadmium concentration in kidney, liver and muscle of South Australian cattle. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 38, n. 6, p. 535-540, 1998.

LITTLE, D. A. Utilization of minerals. In: HACKER, J. B. **Nutritional limits to animal production from pastures.** Farnham Royal: CSIRO, 1984. p.259-283.

LOXTON, I. D.; MURPHY, G. M.; TOLEMAN, M. A. Effect of superphosphate application on the phosphorus status of breeding cattle grazing Townsville stylo based pastures in northern Queensland. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, v. 23, p. 340-347, 1983.

MACEDO, M. C. M. Pastagens no ecossistema Cerrados: evolução das pesquisas para o desenvolvimento sustentável. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 2005, Goiânia, GO. A produção animal e o foco no agronegócio – palestras. **Anais...** Goiânia: SBZ, 2005. p.56-84.

MACEDO, M. C. M.; BONO, J. A. M. Fontes e níveis de fósforo na implantação de *Brachiaria brizantha* cultivar Marandu. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 1997. 1 CD-ROM.

MAGALHÃES, K.A.; PAULINO, P.V.R.; VALADARES FILHO, S. de C. (eds). **Exigências Nutricionais de Zebuínos e Tabelas de Composição de Alimentos/ BR-Corte**. 1. ed. Viçosa: Ed- UFV-Zebu. 142p. 2006.

MALAVOLTA, E.; PAULINO, V. T. Nutrição mineral e adubação do gênero *Brachiaria*. In: ENCONTRO PARA DISCUSSÃO SOBRE CAPINS DO GÊNERO *BRACHIARIA*, 2., 1991, Nova Odessa. **Anais...** Nova Odessa: s. ed., 1991. p. 45-135.

MARAIS, J. O.; BARNABAS, A. D.; FIGENSCHOU, D. L. Effect of calcium nutrition on the formation of calcium oxalate in kikuyu grass. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 18., 1997, Winnipeg, Canada. v. 2, Session 17 - Forage Quality. **Anais...** Winnipeg: Canadian Forage Council, 1997.

MARQUES, A. P.; RIET-CORREA, F.; SOARES, M. P.; ORTOLANI, E. L.; GIULIODORI, M. J. Mortes súbitas em bovinos associadas à carência de cobre. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 23, n. 1, p. 21-32, 2003.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 4.ed. Bern: International Potash Institute, 1987. 687 p.

MILLER, C. P.; WINTER, W. H.; COATES, D. B.; KERRIDGE, K. C. Phosphorus and beef production in northern Australia. 10. Strategies for phosphorus use. **Tropical Grasslands**, v. 24, n. 239-249, 1990.

MONTEIRO, F. A. Forrageiras. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, 1991, Jaboticabal, SP. **Anais...** Piracicaba: Potafós, CNPq, 1991. p. 651-682.

MORAES, S. S. Importância da suplementação mineral para bovinos de corte. In: CURSO SOBRE SUPLEMENTAÇÃO MINERAL EM BOVINO, 1998, Campo Grande, MS. **Palestras...** Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 1998. p. 6-28.

MORAES, S. S.; SILVA, G. N.; DOBEREINER, J. Microelementos minerais e a "cara inchada" dos bovinos. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 14, n. 1, p. 25-33, 1994.

MORAES, S. S.; S'THAGO, L. R. L.; MACEDO, M. C. M.; TORRES JÚNIOR, R. A. A. **Dose única de zinco como fator moderador do estresse metabólico na desmama de bovinos de corte**. 2002. Comunicado Técnico n. 71. Disponível em: <<http://www.cnpqg.embrapa.br/publicacoes/cot/COT71.html>>. Acesso em: 21 jun. 2007.

NASCIMENTO, J. L.; ALMEIDA, R. A.; SILVA, R. S. M.; MAGALHÃES, L. A. F. Níveis de calagem e fontes de fósforo na produção de capim tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 32, n. 1, p. 7-11, 2002.

NICODEMO, M. L. F. **Cálculo de misturas minerais**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2001a. 25 p. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 109).

NICODEMO, M. L. F. Diagnóstico de deficiências minerais em bovinos. In: SIMPÓSIO GOIANO SOBRE PRODUÇÃO DE BOVINOS DE CORTE, 1999, Goiânia. **Palestras...** Goiânia: CBNA, 1999. p. 57-80.

NICODEMO, M. L. F. **Efeito de diferentes fontes de fósforo na suplementação mineral em novilhas azebuadas em pastejo**. 1988. 162 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1988.

NICODEMO, M. L. F. **Suplementação mineral de bovinos na estação seca**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2001b. 3 p. (Embrapa Gado de Corte. Comunicado Técnico, 66).

NICODEMO, M. L. F.; LAURA, V. A. **Elementos minerais em forrageiras: forma química, distribuição e biodisponibilidade**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2001. 39 p. (Embrapa Gado de Corte, Documentos, 115).

NICODEMO, M.L.F.; SERENO, R.B.; AMARAL, T.B. **Minerais na eficiência reprodutiva de bovinos** [Recurso eletrônico / Maria Luiza F. Nicodemo et al.]. - São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2008. Modo de acesso: <http://www.cppse.embrapa.br/080servicos/070publicaçãogratis/documentos/documentos80.pdf>

NOGUEIRA, P. P. Efeito do fósforo suplementar sobre o crescimento de novilhos em pastagens de solos férteis. 1988. 73 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1988.

NORTON, B. W. Differences between species in forage quality. In: HACKER, J. B. **Nutritional limits to animal production from pastures**. Farnham Royal: CSIRO, 1984. p. 89-110.

NRC -NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Subcommittee on Beef Cattle Nutrition. **Nutrient requirements of beef cattle.** 6. ed. Washington: National Academy Press, 1984. 90 p.

NRC -NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Subcommittee on Beef Cattle Nutrition. **Nutrient requirements of beef cattle.** 7. ed. Washington: National Academy Press, 1996. 242 p.

NRC -NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Subcommittee on Mineral Toxicity in Animals **Mineral tolerance of domestic animals.** Washington: National Academy of Sciences, 1980. 577 p.

NUNES, S. G.; SILVA, J. M.; SCHENK, J. A. P. **Problemas com cavalos em pastagens de humidícola.** Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 1990. 4 p. (Embrapa Gado de Corte. Comunicado Técnico, 37).

O'CONNOR, B. P.; DOIGE, C. E. Abnormal modeling of trabecular bone in calves. **Canadian Journal of Veterinary Research**, v. 57, n. 1, p. 25-32, 1993.

O'CONNOR, M. B.; WALLER, J.; MORTON, J.; HAWKE, M. F. Utilizing soil and plant analysis for the prevention of cobalt deficiency in New Zealand. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 18., 1997, Winnipeg, Canada. v. 2, Session 17 – Forage Quality. **Anais...** Winnipeg: Canadian Forage Council , 1997. p. 87-88.

OLIVEIRA, P. P. A.; TRIVELIN, P. C. O.; OLIVEIRA, W. S.; CORSI, M. Fertilização com N e S na recuperação de pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em neossolo quartzarênico. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1121-1129., 2005.

OLSON, K. C. **Cost-effective mineral supplementation programs for beef cattle.** Disponível em: <<http://www.extension.iastate.edu/feci/4StBeef/Olson.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2007.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais.** São Paulo: Nobel, 2002. 549 p.

PRIMAVESI, A. C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L. A.; CANTARELLA, H.; SILVA, A. G. Absorção de cátions e ânions pelo capim-coastcross adubado com uréia e nitrato de amônio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 3, p. 247-253, 2005.

RAO, I. M.; KERRIDGE, P. C.; MACEDO, M. C. M. Nutritional requirements of *Brachiaria* and adaptation to acid soils. In: MILES, J. W.; MASS, B. L.; VALLE, C. B. (Ed.). **Brachiaria: Biology, Agronomy and Improvement.** Cali: CIAT, Brasília: EMBRAPA, CNPGC, 1996. p. 53-71. (CIAT Publication, 259).

REID, R. L.; HORVATH, D. J. Soil chemistry and mineral problems in farm livestock. A review. **Animal Feed Science and Technology**, v. 5, n. 95-167, 1980.

ROBERTS, A. H. C., LONGHURST, R. D.; BROWN, M. W. Cadmium status of soils, plants, and grazing animals in New Zealand. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 37, p. 119-129, 1994.

ROSA, I. V. Formas de fornecimento de minerais a bovinos de corte sob pastejo. In: CURSO SOBRE SUPLEMENTAÇÃO MINERAL EM BOVINO, 1998, Campo Grande, MS. **Palestras...** Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 1998. p. 29-40.

ROSA, I. V.; REIS, R. A. T.; MORAES, S. DA S.; NICODEMO, M. L. F. **Efeito da restrição mineral no período seco sobre o desempenho de bovinos de recria.** Campo Grande: EMBRAPA, CNPGC, 1993. 4 p. (EMBRAPA-CNPGC. Pesquisa em Andamento, 47).

SALETTE, J. The role of fertilizers in improving herbage quality and optimization of its utilization. In: **Optimizing yields – the role of fertilizers.** Bern: International Potash Institute, 1982. p. 117-144.

SANTOS, H. Q.; FONSECA, D. M.; CANTARUTTI, R. B.; NASCIMENTO JUNIOR, D. Acumulação e distribuição de fósforo na parte aérea de plantas de duas gramíneas forrageiras. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37, 2000, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SBZ, 2000. (1 CD-ROM). Disponível em: http://66.102.1.104/scholar?hl=pt-BR&lr=&q=cache:_4s0JOK-pZYJ:www.sbz.org.br/anais2000/Fo_r_r_a_g_e_m/_3_2_7_.p_d_f+_o+_e_l_e_m_e_n_t_o+_m_a_i_s+_l_i_m_i_t_a_n_t_e+_p_a_r_a+_g_r_a_m%_C3%Adneas. Acesso em: 17 set. 2007.

SCHUNKE, R. M. Alguns aspectos da adubação de pastagens tropicais em relação à suplementação mineral. In: CURSO SOBRE SUPLEMENTAÇÃO MINERAL EM BOVINO, 1998, Campo Grande, MS. **Palestras...** Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 1998. p. 70-86.

SCHUNKE, R. M.; VIEIRA, J. M.; SOUSA, J. C.; GOMES, R. F. C.; COSTA, F. P. **Resposta à adubação fosfatada e à suplementação mineral de bovinos de corte sob pastejo em *Brachiaria decumbens***. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 1991. 24 p. (Embrapa Gado de Corte. Boletim de Pesquisa, 5).

TERNOUTH, J. H. The kinetics and requirements of phosphorus in ruminants. In: HO, Y. W.; WONG, H. K.; ABDULLAH, N; TAJUDDIN, Z. A. (Ed.) **Recent advances on the nutrition of herbivores**. Kuala Lumpur: Malaysian Society of Animal Production, 1991. p. 143-151.

TERNOUTH, J. H.; COATES, D. B. Phosphorus homeostasis in grazing breeder cattle. **Journal of Agricultural Science**, v. 128, n. 3, p. 331-337, 1997.

TOKARNIA, C. H.; DOBEREINER, J.; PEIXOTO, P. V. Deficiências minerais em animais de fazenda, principalmente bovinos em regime de campo. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 20, n. 3, p. 127-138, 2000.

UNDERWOOD, E. J.; SUTTLE, N. F. **The mineral nutrition of livestock**. 3. ed. Cambridge: CABI, 1999. p. 614.

VIRGENS, N. C.; PENNA, A. P.; BAUTISTA, A. R. P. L.; RODRIGUES, F. de M.; SUZART, J. C. C.; COSTA, J. B. **Importância da determinação dos níveis de sódio em aguadas e forrageiras no semi-árido baiano**. Salvador, BA: Epaba, 1985. 4 p. (Epaba. Pesquisa em andamento, 18).

WINTER, W. H. Supplementation of steers grazing *Stylosanthes hamata* pastures at Katherine, Northern Territory. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 28, p. 669-682, 1988.

YAEGER, M. J.; NEIGER, R. D.; HOLLER, L.; FRASER, T. L.; HURLEY, D. J.; PALMER, I. S. The effect of subclinical selenium toxicosis on pregnant beef cattle. **Journal of Veterinary Diagnostic Investigation**, v. 10, p. 268-273, 1998.