

EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DAS PLANTAS FORRAGEIRAS

E. MALAVOLTA ⁽¹⁾

T.H. LIEM ⁽²⁾

A.C.P.A. PRIMAVESI ⁽³⁾

1. INTRODUÇÃO

Os prados e pastos permanentes ocupam no Brasil uma área de cerca de 107 milhões de hectares, o que corresponde a 13% do território nacional, com predominância das pastagens naturais de savanas – poucas árvores e cobertura de gramíneas (Roston, 1970 e Rocha, 1972, citados por MALAVOLTA et alii, 1974, p. 583-621).

Quanto ao seu valor agrícola distribuem-se segundo três tipos: (1) boas pastagens naturais de clima temperado, como as que ocorrem no sul do país; (2) pastagens mais ou menos áridas com presença de arbustos e de cactus (área central); (3) savanas de clima quente (Bacia Amazônica, Mato Grosso, etc.).

Como regra, “terra de pasto” no Brasil é sinônimo de “terra ruim” ou marginal para as culturas de maior expressão econômica. O que é verdade quando se considera a extensão de pastagens no “cerrado”. Aí há falta de nutrientes para a forrageira e, como consequência, para o gado.

A Tabela 1 mostra comparativamente a lista dos elementos essenciais para as forrageiras e para os animais: são 23 elementos ao todo, e destes 21 são comuns. A Tabela 2, tirada de BUTLER & JONES (1973, p. 144) mostra o teor de muitos desses elementos nas forragens e o teor desejado para alguns animais domésticos, o que representa uma primeira aproximação para se avaliar o estado nutricional dessas plantas do ponto de vista da alimentação animal: o teor poderá ser adequado para o crescimento das primeiras, não sendo, porém, suficiente para o desempenho do último.

(1) Engenheiro Agrônomo, Professor Titular aposentado da ESALQ-USP, Pesquisador do CENA - USP - Piracicaba (SP).

(2) Engenheiro Agrônomo, M.S., Assessoria de Pesquisa – ULTRAFERTIL S.A. – São Paulo (SP).

(3) Engenheira Agrônoma, M.S., Pesquisadora, EMBRAPA-CNPTrigo, Passo Fundo (RS).

Tabela 1. Exigências de elementos das forrageiras e dos animais.

| Elemento | Planta (1) | Animal |
|-----------------|--|--|
| Orgânicos | CHO | CHO |
| Minerais | | |
| Macronutrientes | N P K Ca Mg S | N P K Ca Mg S Na |
| Micronutrientes | B Cl Cu Fe Mn Mo Zn (Co) (Ni) (Na) (Si) | Cl Cu Fe Mn Mo Zn Co Ni I Se F Si |

(1) Entre parênteses: essenciais em determinadas condições (Co) ou essencialidade em discussão (demais).

Tabela 2. Exigências minerais dos ruminantes em relação aos teores nas pastagens (BUTLER & JONES, 1973).

| Elemento | Faixa | Normal | Ovelhas | Vacas em lactação |
|---------------------|--------------|-------------|---------|-------------------|
| % da matéria seca | | | | |
| Ca | 0,04 – 6,00 | 0,2 – 1,0 | 0,50 | 0,52 |
| P | 0,03 – 0,68 | 0,2 – 0,5 | 0,25 | 0,42 |
| Na | 0,002 – 2,12 | 0,05 – 1,0 | 0,07 | 0,15 |
| Cl | 0,02 – 2,05 | 0,1 – 2,0 | 0,09 | 0,19 |
| Mg | 0,03 – 0,75 | 0,1 – 0,4 | 0,06 | 0,15 |
| ppm de matéria seca | | | | |
| I | 0,07 – 5,0 | 0,2 – 0,8 | 0,12 | 0,80 |
| Fe | 21 – 1000 | 50 – 300 | 30 | 30 |
| Co | 0,02 – 4,7 | 0,05 – 0,3 | 0,10 | 0,10 |
| Cu | 1,1 – 29,0 | 2 – 15 | 5 | 10 |
| Mn | 9 – 2400 | 25 – 1000 | 40 | 40 |
| Zn | 1 – 112 | 15 – 60 | 50 | 50 |
| Se | 0,01 – 4000 | 0,03 – 0,15 | > 0,03 | > 0,03 |

No presente trabalho vai-se procurar fazer um estudo não exaustivo das exigências minerais das forrageiras, apontando-se algumas implicações na alimentação animal, usando-se tanto quanto possível a "prata da casa", isto é, dados brasileiros.

2. NUTRIÇÃO MINERAL DAS FORRAGEIRAS

2.1. Absorção, transporte, redistribuição e ciclagem

A absorção dos elementos minerais da solução do solo pelas forrageiras obedece aos mesmos mecanismos que operam nas plantas superiores em geral. Uma vez estabelecido o contacto entre o elemento e a raiz (intercepção radicular, fluxo de massa, difusão), processos passivos (fluxo de massa, difusão, troca iônica, equilíbrio de Donnan) colocam-no no espaço livre aparente de onde atinge o citoplasma e o vacúolo por processo ativo, com gasto de energia que a respiração radicular fornece. Fatores externos (concentração, temperatura, tensão de O₂, pH, outros íons presentes no substrato, micorrizas) e internos (potencial genético, presença de substratos respiratórios, idade, estado iônico na célula) influenciam a velocidade de absorção. As micorrizas endo e ectotróficas têm sido muito estudadas recentemente pela sua capacidade de aumentar a absorção, de P principalmente, em solos pobres através do aumento que promovem na superfície de exposição do sistema radicular: o efeito aparece nas condições em que o passo limitante do processo de absorção é representado pela reação de transferência do elemento da fase sólida para a solução ou desta para o sistema radicular (detalhes em LONERAGAN, 1973, p. 103-123; MALAVOLTA, 1981, p. 44-80).

Como a solução do solo representa uma complexa população de íons (aí estão presentes os elementos minerais essenciais, os benéficos e os tóxicos), a existência de um dado elemento em concentração muito alta, relativamente à de outro, pode fazer com que a absorção do segundo seja diminuída por inibição competitiva ou não competitiva. Como consequência, o primeiro poderá se acumular na planta até atingir níveis prejudiciais ao animal, enquanto o segundo poderá não ser absorvido em quantidade suficiente. Alguns exemplos: a "tetania dos pasteis" é uma deficiência de Mg induzida por excesso de K ou de Ca; o excesso de Mo pode causar deficiência de Cu (diarréia das pastagens); o excesso de S pode induzir a carência de Se.

Espécies e cultivares podem diferir muito na capacidade de absorção de um dado elemento: as leguminosas seletivamente absorvem mais P e Ca que as gramíneas. Como se vê na Tabela 3, há diferenças acentuadas no nível de P no solo necessário para a produção de matéria seca, o que pode ser devido à desigualdade na constante que define a afinidade entre o elemento e o seu carregador (K_m), à distribuição do sistema radicular, ou a ambas as coisas (FENSTER & LEÓN, 1982).

Tabela 3. Exigências de P disponível (Bray II) no solo, para 70% da produção máxima (FENSTER & LEÓN, 1982).

| Espécie | P (ppm) |
|--------------------------------|---------|
| <i>Desmodium leonii</i> | 11,4 |
| <i>Macroptilium</i> sp. | 9,5 |
| <i>D. scorpiurus</i> | 8,0 |
| <i>D. ovalifolium</i> | 6,6 |
| <i>Stylosanthes guianensis</i> | 5,5 |
| <i>Andropogon gayanus</i> | 5,2 |
| <i>S. capitata</i> (CIAT 1338) | 3,6 |
| <i>Zornia</i> sp. | 3,4 |
| <i>S. capitata</i> (CIAT 1097) | 3,3 |
| <i>S. capitata</i> (CIAT 1019) | 3,1 |
| <i>S. guianensis</i> | 2,5 |
| <i>S. capitata</i> (CIAT 1028) | 2,5 |

As forrageiras, como as plantas superiores em geral, guardaram na marcha da evolução a lembrança genética para absorver sais pelas folhas e pelos caules, ramos ou talos.

A redistribuição dos elementos (movimentos dos locais da residência para outros órgãos) será principalmente pelo floema, sendo influenciada pelas condições do solo e pela idade da planta de modo mais acentuado: o elemento tem, então, seu teor diminuído no órgão de perda e aumentado no de recebimento.

Os minerais acumulados na forrageira estão sujeitos a mecanismos de reciclagem, resumidos na Figura 1, pouco modificada de MOTT (1974, p. 324) e WILKINSON & LOWREY (1973, p. 254) onde se distinguem três compartimentos principais: solo, planta e animal. O solo está em equilíbrio com os resíduos (fração orgânica, restos vegetais, organismos e excreções). A absorção de nutrientes pela planta e o seu consumo pelo animal representam retardamentos temporários no fluxo de nutrientes no sistema que está em estado estável ("steady state"). O animal retém porções relativamente pequenas de N e minerais como mostra a Tabela 4. A Tabela 5, por sua vez, dá com detalhe maior a repartição dos minerais encontrados (WILKINSON & LOWREY, 1973, p. 266).

2.2. Funções

BUTLER & JONES (1973, p. 127-157) discutiram os papéis dos elementos minerais da forragem na vida das mesmas e algumas das implicações na nutrição animal. Na Tabela 6 é feita uma comparação entre as funções dos elementos nos demais reinos. A evidente semelhança faz lembrar o ensinamento aristotélico: "a planta é um animal invertido".

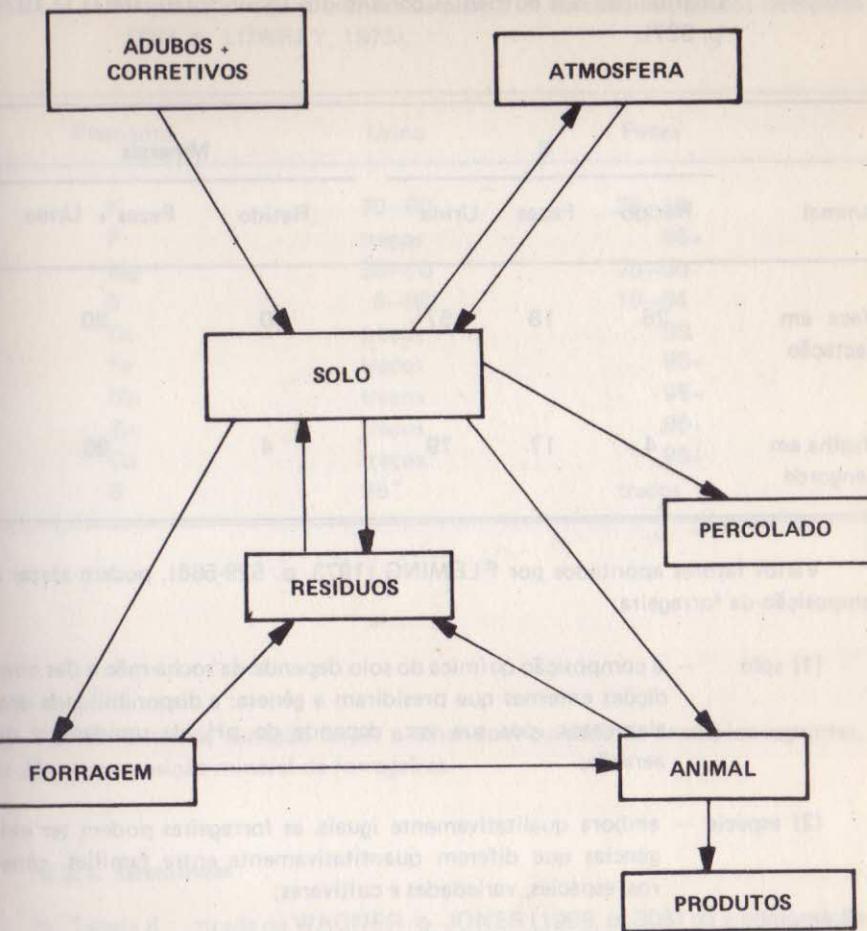


Figura 1. Ciclagem mineral em um ecossistema de pastagem (Modificado de MOTT, 1976; WILKINSON & LOWREY, 1973).

A falta de um elemento mineral provoca nas forrageiras os conhecidos sintomas de deficiência. No animal, tais deficiências causam, por sua vez, anormalidades diversas, conforme se vê na Tabela 7.

2.3. Composição mineral

Como se entende do item anterior, além de influenciar o desenvolvimento da própria forrageira, a composição mineral tem efeito direto no desempenho do animal, dentro dos limites das exigências da primeira e do segundo.

Tabela 4. Distribuição dos nutrientes consumidos (% do total) (MOTT, 1974, p. 327).

| Animal | N | | | Minerais | | |
|-------------------|--------|-------|-------|----------|---------------|--|
| | Retido | Fezes | Urina | Retido | Fezes + Urina | |
| Vaca em lactação | 25 | 18 | 57 | 10 | 90 | |
| Ovelha em engorda | 4 | 17 | 79 | 4 | 96 | |

Vários fatores apontados por FLEMING (1973, p. 529-566), podem afetar a composição da forrageira:

- (1) solo — a composição química do solo depende da rocha-mãe e das condições externas que presidiram a gênese; a disponibilidade dos elementos, por sua vez, depende do pH, da umidade e da aeração;
- (2) espécie — embora qualitativamente iguais, as forrageiras podem ter exigências que diferem quantitativamente entre famílias, gêneros, espécies, variedades e cultivares;
- (3) idade — dependendo do elemento, o teor poderá aumentar, diminuir ou permanecer constante à medida que a planta atinge a maturidade;
- (4) meio — chuva, temperatura, foto e termo período podem afetar o crescimento e a composição mineral; SOUZA et alii (1979, 1980, 1981, 1982) mostraram que na época da seca aumenta o teor dos elementos Ca, Mn e Mo; diminui o teor de P, K, Co, Cu; a estação não muda a concentração de Fe, Zn e Na.
- (5) adubação e calagem — podem promover absorção maior do elemento contido no fertilizante ou corretivo; ao mesmo tempo poderá ocorrer diminuição na absorção de outro(s);
- (6) manejo — a intensidade maior ou menor do pastoreio influencia o teor dos elementos; o mesmo acontece quando se considera de um lado pastagens simples e, de outro, consorciadas.

Tabela 5. Repartição dos nutrientes da planta (% do total excretado) (WILKINSON & LOWREY, 1973).

| Elemento | Urina | Fezes |
|----------|--------|--------|
| K | 70-90 | 30-10 |
| P | traços | 95+ |
| Mg | 30-10 | 70-90 |
| S | 6-90 | 10-94 |
| Ca | traços | 99 |
| Fe | traços | 95+ |
| Mn | traços | 95+ |
| Zn | traços | 95+ |
| Cu | traços | 95+ |
| B | 95+ | traços |

Tantas fontes de variação levam a olhar com cuidado os exemplos seguintes, que dão a composição mineral de forrageiras.

2.3.1. Gramíneas

A Tabela 8, tirada de WAGNER & JONES (1968, p. 306) dá a composição mineral de forrageiras norte-americanas avaliadas no estádio de feno.

Os dados da Tabela 9 (MALAVOLTA et alii, 1974, p. 587) referem-se a análises de plantas com 56 dias de idade cultivadas em vasos com terra adubada.

A despeito da diversidade de condições não há diferenças mais acentuadas entre os teores encontrados.

GALLO et alii (1974) analisaram 249 amostras de gramíneas e leguminosas coletadas no verão. Os seus dados aparecem nas Tabelas 10 e 11. Além da grande dispersão entre os teores dos elementos, verificaram que N, P, S, Cl, Co, Cu, Na e Zn se encontravam em concentrações abaixo das exigidas pelos bovinos. Os de-mais achavam-se acima.

Nas condições de pastoreio as quantidades de nutrientes exportadas do pasto são relativamente pequenas (ver 2.1). Entretanto, as retiradas se tornam consideráveis quando se faz o corte da forrageira como mostra a Tabela 12, feita com dados de WAGNER & JONES (1968, p. 306) e MALAVOLTA et alii (1974, p. 590).

Tabela 6. Comparação entre os papéis dos elementos minerais na planta e no animal.

| Elemento | Planta | Animal |
|----------|---|--|
| N | Aminoácidos, purinas, pirimidinas, pigmentos, nucleotídeos, proteínas, etc. | Função de União Idem |
| P | Armazenamento e transferência de energia; atividade de membranas; transmissão de caracteres hereditários. | Função de União Idem |
| K | Regulação osmótica; atividade enzimática. Transporte de carboidratos. | Função de União Idem |
| Ca | Absorção iônica. Lamela média. | Função de União Idem |
| | Atividade enzimática. | Função de União Idem |
| | — | Apatitas |
| Mg | Clorofila e fotossíntese. Transferência de energia; atividade enzimática. | Função de União Idem |
| S | Aminoácidos e proteínas; vitaminas e coenzimas. | Função de União Idem |
| B | Absorção iônica. Atividade enzimática. Transporte de carboidratos. | Função de União — — |
| Cl | Fotossíntese. | Função de União — Regulação osmótica |

Tabela 6. Continuação

| Elemento | Planta | Animal |
|------------|---|---|
| Cu, Mn, Mo | Atividade enzimática; reações de óxido-redução. | Idem |
| Fe | Hemoglobina; reações de óxido-redução. | Idem |
| Zn | Atividade enzimática. | Idem |
| Co | Síntese de hemoglobina (Vitamina B ₁₂). | Idem |
| Ni | Atividade enzimática (urease). | Idem |
| Na | — | Regulação osmótica |
| I | — | Hormônios |
| F | — | Apatita |
| Se | Crescimento redução. | Síntese de enzimas e atividade enzimática |
| Si | Regulação osmótica do Na | Mucopolissacarídeos |

Como já foi mencionado, os teores dos elementos variam em função da idade. É o que se pode ver na Figura 2, feita a partir dos dados apresentados por MALAVOLTA et alii (1974, p. 587, 593). Foram tiradas médias de 5 gramíneas forrageiras (colonião, gordura, jaraguá, napier e pangola). Nota-se:

diminuição acentuada — N, P, K, S, B, Fe, Mn e Zn
pequeno aumento — Mg, Cu
aumento acentuado — Ca

Esse tipo de variação não deve, entretanto, ser tido como regra geral. FLEMING (1973, p. 546-8) chama a atenção para a grande diversidade no comportamento das

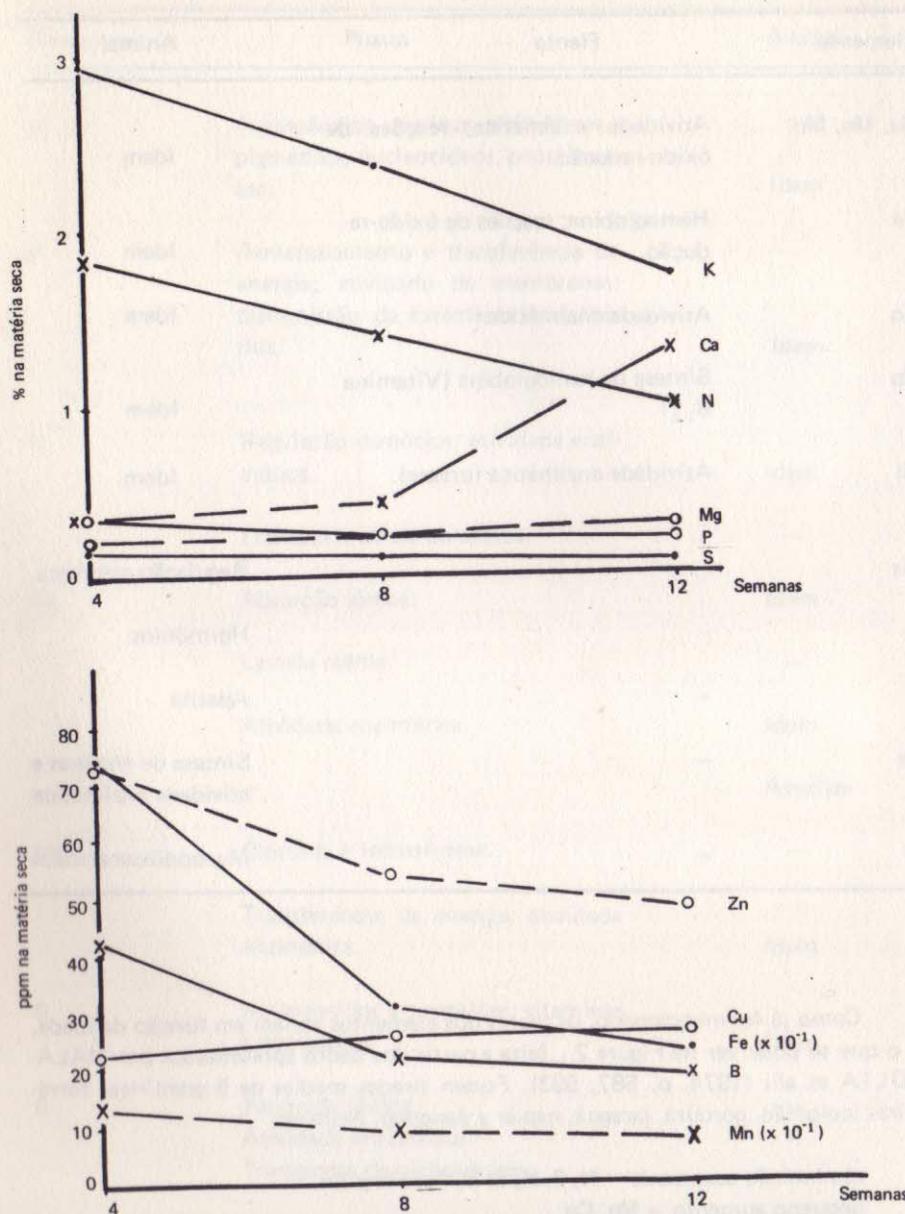


Figura 2. Variação nos teores de minerais em gramíneas em função da idade (MALAVOLTA et alii, 1974).

Tabela 7. Relação entre deficiências nutricionais na forrageira e anormalidades no animal.

| Elemento | Planta | Animal |
|----------|---|---|
| N | Menor crescimento e perfilhamento (gramíneas), clorose nas folhas velhas. | Menor crescimento. |
| P | Redução no crescimento, senescência precoce. Verde mais escuro nas folhas. Menor fixação do N_2 (leguminosas). | Diminuição no crescimento, fertilidade e desfrute. Má formação de dentes e ossos. |
| K | Menor crescimento, espigas mal granadas, vagens chochas. Clorose, necrose e secamento de ponta e margens das folhas. Diminuição na fixação do N_2 . | Menor crescimento, fraqueza e paralisia. Degenerescência de órgãos. Desordens nervosas. |
| Ca | Redução no crescimento, especialmente radicular. Clorose nas folhas novas (marginal ou internerval). Morte de gemas. Menor fixação do N_2 . | Desequilíbrio no balanço de eletrólitos. Má formação de ossos e dentes. |
| Mg | Crescimento reduzido. Clorose internerval das folhas velhas. Redução na fixação do N_2 . | Tetania dos pastos. |
| S | Redução no crescimento e na fixação do N_2 . Clorose nas folhas novas. | Menor crescimento. Desordem na pelagem. |
| B | Menor crescimento, especialmente de raízes. Morte de gemas. Abortamento de flores. | |
| Cl | Raízes menos desenvolvidas. Murchamento, clorose e bronzeamento de folhas. | Desequilíbrio no balanço de eletrólitos. |
| Cu | Redução no crescimento. Folhas mais escuras, manchadas e deformadas. | Menor desenvolvimento dos ossos. Anemia. Má coordenação motora. |

Tabela 7. Continuação

| Elemento | Planta | Animal |
|----------|---|--|
| Fe | Redução no crescimento. Clorose em reticulado fino nas folhas novas. Menor fixação do N ₂ . | Anemia. |
| Mn | Menor crescimento. Clorose em reticulado grosso nas folhas novas. | Deformação de ossos. Infertilidade. |
| Mo | Redução no crescimento e na fixação do N ₂ . Clorose nas folhas velhas e estrangulamento ou escurecimento do limbo. | Tremor muscular. Falta de coordenação motora. |
| Zn | Encurtamento dos internódios. Coloração ferruginosa (gramínea). Folhas novas menores e estreitas (leguminosas). | Esterilidade masculina. |
| Co | Menor crescimento e fixação de N ₂ . | Perda de apetite e de peso. Anemia. |
| Na | — | Desequilíbrio no balanço de eletrólitos. |
| I | — | Bócio, infertilidade. |
| Se | — | Músculo branco, infertilidade. |
| F | — | Má formação de dentes e ossos. |

Tabela 8. Composição mineral de gramíneas comuns nos E.U.A. (WAGNER & JONES, 1968).

| Espécie | N | P | K | Ca | Mg | S |
|--|-------------------|------|------|------|------|------|
| | % na matéria seca | | | | | |
| Grama das bermudas (<i>Cynodon dactylon</i>) | 1,42 | 0,20 | 1,47 | 0,46 | 0,17 | 0,20 |
| Grama azul do Kentucky (<i>Poa pratensis</i>) | 1,92 | 0,26 | 1,72 | 0,40 | 0,21 | 0,30 |
| <i>Bromus inermis</i> | 1,97 | 0,28 | 2,36 | 0,43 | 0,21 | — |
| <i>Dactylis glomerata</i> | 1,55 | 0,37 | 2,10 | 0,45 | 0,32 | 0,28 |
| <i>Lolium perenne</i> | 1,54 | 0,32 | 1,96 | 0,49 | 0,34 | 0,22 |
| <i>Agropyron</i> sp. | 1,23 | 0,20 | 2,68 | 0,33 | 0,32 | — |

Tabela 9. Composição mineral de gramíneas cultivadas em vasos com Latossolo Vermelho Escuro adubado (MALAVOLTA et alii, 1974).

| Espécie | N | P | K | Ca | Mg | S |
|----------|-------------------|------|------|------|------|------|
| | % na matéria seca | | | | | |
| Colonião | 1,71 | 0,20 | 3,33 | 0,29 | 0,24 | 0,09 |
| Gordura | 1,58 | 0,29 | 2,13 | 0,30 | 0,31 | 0,12 |
| Jaraguá | 1,24 | 0,20 | 1,65 | 0,87 | 0,23 | 0,10 |
| Napier | 1,17 | 0,24 | 3,10 | 0,24 | 0,09 | 0,09 |
| Pangola | 1,13 | 0,22 | 1,60 | 0,29 | 0,14 | 0,15 |

Tabela 10. Teores de macronutrientes em gramíneas forrageiras cultivadas em São Paulo (GALLO et alii, 1974).

| Espécie | N | P | K | Ca | Mg | S |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|
| % na matéria seca | | | | | | |
| Colonião | 1,73 | 0,21 | 2,11 | 0,42 | 0,24 | 0,07 |
| Pangola | 1,38 | 0,17 | 2,07 | 0,45 | 0,21 | 0,08 |
| Elefante | 2,21 | 0,23 | 2,98 | 0,82 | 0,27 | 0,12 |
| Batatais | 1,41 | 0,23 | 1,95 | 0,46 | 0,26 | 0,06 |
| Gordura | 1,60 | 0,24 | 21,6 | 0,42 | 0,38 | 0,10 |
| Jaraguá | 1,03 | 0,13 | 1,19 | 0,58 | 0,23 | 0,06 |
| Setaria | 2,74 | 0,27 | 3,86 | 0,57 | 0,25 | 0,14 |
| Kikuiu | 3,41 | 0,35 | 3,80 | 0,50 | 0,35 | 0,21 |
| Festuca | 2,23 | 0,25 | 2,98 | 0,63 | 0,27 | 0,21 |
| Brachiaria | 1,70 | 0,26 | 1,77 | 0,53 | 0,34 | 0,14 |
| Angola | 2,34 | 0,33 | 3,33 | 0,56 | 0,39 | 0,20 |
| Angolinha | 1,34 | 0,18 | 1,89 | 0,48 | 0,36 | 0,21 |
| Grama seda | 1,83 | 0,19 | 1,88 | 0,60 | 0,23 | 0,14 |
| Favorito | 1,20 | 0,13 | 1,54 | 0,18 | 0,36 | 0,18 |
| Média geral | 1,70 | 0,21 | 2,10 | 0,46 | 0,27 | 0,10 |

forrageiras nesse particular: altos níveis de Ca excepcionalmente podem ocorrer em plantas mais novas (*Digitaria decumbens*); em *Setaria sphacelata* um alto teor de P (0,8%) foi determinado em plantas com 24 semanas de idade.

2.3.2. Leguminosas

A Tabela 13 contém os dados de WAGNER & JONES (1968, p. 306) referentes à composição mineral de algumas leguminosas forrageiras cultivadas nos E.U.A. A Tabela 14 dá a exportação de nutrientes quando as mesmas são cortadas. Observe-se as grandes quantidades de N contidas, proporção considerável das quais deve ter sido fixada biologicamente: a Tabela 15 apresenta as estimativas feitas por LARUE & PATTERSON (1981). Muitos fatores, entretanto, influenciam a fixação do nitrogênio (ANDREW & KAMPRATH, 1978; WERNER & MATTOS, 1975; SAVASTANO et alii, 1982):

Tabela 11. Teores de micronutrientes em gramíneas forrageiras cultivadas em São Paulo (GALLO et alii, 1974).

| Espécies | B | Cl | Co | Cu | Fe | Mn | Mo | Zn | Na | Al(1) |
|---------------------|----|-------|------|----|-----|-----|------|----|------|-------|
| ppm na matéria seca | | | | | | | | | | |
| Colonião | 15 | 2168 | 0,06 | 7 | 124 | 90 | 0,83 | 21 | 137 | 106 |
| Pangola | 15 | 5703 | 0,10 | 6 | 137 | 197 | 0,17 | 30 | 639 | 156 |
| Elefante | 25 | 3994 | 0,10 | 10 | 178 | 179 | 0,53 | 40 | 300 | 141 |
| Batatais | 14 | 1511 | 0,12 | 7 | 142 | 116 | 0,63 | 20 | 127 | 145 |
| Gordura | 16 | 3972 | 0,07 | 6 | 161 | 123 | 0,17 | 42 | 187 | 887 |
| Jaraguá | 18 | 1393 | 0,04 | 3 | 166 | 273 | 0,11 | 27 | 135 | 166 |
| Setaria | 18 | 4256 | 0,06 | 5 | 99 | 272 | 0,28 | 37 | 2825 | 78 |
| Kikuiu | 23 | 13401 | 0,05 | 5 | 106 | 137 | 0,83 | 28 | 274 | 110 |
| Festuca | 14 | 7455 | 0,03 | 4 | 109 | 228 | 0,27 | 26 | 120 | 226 |
| Braquiária | 18 | 3075 | 0,06 | 6 | 184 | 108 | 0,08 | 27 | 396 | 405 |
| Angola | 15 | 3989 | 0,14 | 4 | 102 | 113 | 0,25 | 33 | 654 | 113 |
| Angolinha | 46 | 4438 | 0,09 | 3 | 210 | 79 | 0,09 | 24 | 224 | 123 |
| Grama seda | 17 | 3250 | 0,04 | 6 | 163 | 91 | 0,09 | 26 | 158 | 110 |
| Favorito | 13 | 1775 | 0,04 | 4 | 93 | 83 | 0,01 | 22 | 147 | 152 |
| Média geral | 17 | 3305 | 0,07 | 6 | 154 | 142 | 0,43 | 26 | 326 | 185 |

(1) Elemento tóxico.

(1) disponibilidade de nutrientes no solo, em particular, P, Ca, Mg, S, Co e Mo;

(2) níveis de Al e Mn tóxicos no solo;

(3) calagem;

(4) eficiência da associação *Rhizobium-leguminosa*.

Tabela 12. Remoção de nutrientes na forragem cortada em kg/ha (WAGNER & JONES, 1968; MALAVOLTA et alii, 1974).

| Espécie | Produção M.S. | N | P | K | Ca | Mg | S |
|---|---------------|-------|----|-----|-----|----|----|
| | t/ha | kg/ha | | | | | |
| Napier | 25 | 302 | 64 | 504 | 96 | 63 | 75 |
| Colonião | 23 | 288 | 44 | 363 | 149 | 99 | 45 |
| Pangola | 24 | 299 | 47 | 358 | 109 | 67 | 45 |
| Pará | 24 | 307 | 43 | 383 | 115 | 79 | — |
| Gordura "Coastal" | 13 | 207 | 32 | 208 | 56 | 44 | 20 |
| Bermudá" <i>Dactylis glomerata</i> | 25 | 570 | 63 | 308 | — | — | 50 |
| <i>Sorghum halepense</i> | 10 | 180 | 28 | 154 | — | — | 25 |
| | 30 | 890 | 83 | 484 | — | — | 40 |

Tabela 13. Composição mineral de algumas leguminosas cultivadas nos E.U.A. e analisadas no estádio de feno (WAGNER & JONES, 1968).

| Espécie | N | P | K | Ca | Mg | S |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|
| --- % na matéria seca --- | | | | | | |
| Alfafa | 2,77 | 0,26 | 1,77 | 1,64 | 0,32 | 0,35 |
| Trevo vermelho | 2,38 | 0,22 | 1,76 | 1,61 | 0,45 | 0,25 |
| Trevo ladino | 3,70 | 0,40 | 2,17 | 1,38 | 0,50 | 0,35 |
| Lespedeza | 2,35 | 0,22 | 1,04 | 1,00 | 0,31 | 0,20 |
| Trevo branco | 3,52 | 0,39 | 2,03 | 1,24 | 0,47 | 0,35 |

Tabela 14. Remoção de nutrientes por forrageiras cortadas.

| Espécie | Produção M.S. | N | P | K | S | |
|----------------|---------------|-------|----|-----|----|--|
| | t/ha | kg/ha | | | | |
| Alfafa | 15 | 335 | 30 | 207 | 40 | |
| Trevo timóteo | 11 | 185 | 26 | 135 | 20 | |
| Trevo vermelho | 10 | 160 | 20 | 108 | 24 | |

Tabela 15. Estimativas de fixação simbiótica de N₂ por leguminosas forrageiras (LARUE & PATTERSON, 1981).

| Espécie | N ₂ (kg/ha) |
|--|---------------------------|
| Alfafa (<i>Medicago sativa</i>) | 148 – 290 |
| Trevo branco (<i>Trifolium repens</i>) | 128 – 268 |
| <i>T. repens</i> var. Ladino | 165 – 189 |
| Trevo vermelho (<i>Medicago pratense</i>) | 17 – 154 |
| Trevo doce (<i>Melilotus alba</i>) | 9 – 140 |
| Trevo subterrâneo (<i>T. subterraneum</i>) | 21 – 207 |
| Trevo egípcio (<i>T. alexandrinum</i>) | 62 – 235 |
| <i>T. hybridum</i> | 21 |
| <i>T. indica</i> | 64 |
| <i>Vicia villosa</i> | 110 – 184 |
| <i>Lespedeza stipulacea</i> | 193 |

Tabela 16. Teores de macronutrientes em leguminosas forrageiras cultivadas em São Paulo e analisadas no verão (GALLO et alii, 1974).

| Espécie | N | P | K | Ca | Mg | S |
|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| ----- % na matéria seca ----- | | | | | | |
| Alfafa do Nordeste | 2,09 | 0,17 | 1,98 | 1,40 | 0,27 | 0,06 |
| Soja perene | 2,60 | 0,23 | 2,39 | 0,99 | 0,35 | 0,18 |
| Siratro | 3,11 | 0,24 | 3,27 | 0,62 | 0,39 | 0,08 |
| Zórnia | 2,31 | 0,25 | 1,53 | 0,95 | 0,20 | 0,06 |
| Calopogônio | 1,56 | 0,12 | 1,56 | 1,40 | 0,29 | 0,08 |
| Centrosema | 1,34 | 0,23 | 1,19 | 0,66 | 0,45 | 0,11 |
| <i>Phaseolus</i> spp. | 2,11 | 0,19 | 3,19 | 0,92 | 0,26 | 0,13 |
| <i>Desmodium</i> spp. | 2,30 | 0,15 | 0,90 | 1,29 | 0,20 | 0,12 |
| Trevo | 3,68 | 0,31 | 3,30 | 1,19 | 0,51 | 0,18 |
| <i>Indigofera</i> spp. | 4,34 | 0,28 | 2,64 | 2,49 | 0,64 | 0,14 |
| Cornichão | 3,71 | 0,23 | 2,84 | 1,78 | 0,47 | 0,16 |
| Kudzu | 3,68 | 0,29 | 2,14 | 1,30 | 0,41 | 0,19 |
| Lab-lab | 5,01 | 0,44 | 2,34 | 1,36 | 0,47 | 0,27 |
| Amendoim rasteiro | 2,89 | 0,31 | 1,79 | 1,52 | 0,80 | 0,19 |
| <i>Lotononus bainesii</i> | 3,10 | 0,22 | 2,13 | 0,96 | 0,37 | 0,20 |
| Mucuna | 4,38 | 0,36 | 1,51 | 0,96 | 0,43 | 0,19 |
| Feijão de porco | 4,80 | 0,33 | 1,42 | 2,37 | 0,66 | 0,26 |
| Guandu | 2,81 | 0,29 | 1,65 | 0,78 | 0,36 | 0,16 |
| Alfafa | 4,51 | 0,39 | 2,70 | 1,26 | 0,59 | 0,26 |
| <i>Clitoria ternatea</i> | 4,36 | 0,39 | 2,30 | 0,51 | 0,48 | 0,32 |
| <i>Teramnus uncinatus</i> | 2,87 | 0,20 | 1,89 | 0,89 | 0,43 | 0,19 |
| <i>Crotalaria striata</i> | 4,24 | 0,32 | 2,82 | 2,00 | 0,91 | 0,20 |
| <i>Cratylia</i> sp. | 3,64 | 0,23 | 2,36 | 0,55 | 0,27 | — |
| Média | 3,21 | 0,27 | 2,07 | 1,26 | 0,42 | 0,17 |

Os dados de GALLO et alii (1974), que analisaram leguminosas forrageiras no Estado de São Paulo, aparecem nas Tabelas 16 e 17. O trabalho assinala que os teores de N, K e Mg encontrados nas plantas existentes em Latossolo Vermelho Escuro fase arenosa foram significativamente superiores aos encontrados nas espécies cultivadas em Podzolizados de Lins e Marília. O inverso aconteceu com os teores de Fe.

Tabela 17. Teores de micronutrientes em leguminosas forrageiras cultivadas em São Paulo e analisadas no verão (GALLO et alii, 1974).

| Espécie | B | Cl | Co | Cu | Fe | Mn | Mo | Zn | Na | Cl |
|---------------------------------|----|------|------|----|-----|-----|------|----|-----|-----|
| ----- ppm na matéria seca ----- | | | | | | | | | | |
| Alfafa do Nordeste | 43 | 3598 | 0,55 | 9 | 438 | 117 | 0,22 | 26 | 192 | 442 |
| Soja perene | 49 | 1017 | 0,25 | 8 | 177 | 102 | 0,74 | 32 | 176 | 138 |
| Siratro | 28 | 4441 | 0,53 | 9 | 100 | 57 | 0,25 | 27 | 117 | 88 |
| Zórnia | 40 | 2006 | 0,77 | 9 | 489 | 97 | 0,43 | 28 | 191 | 499 |
| Calopogônio | 44 | 321 | 0,18 | 9 | 247 | 172 | 0,80 | 15 | 185 | 187 |
| Centrosema | 15 | 1598 | 0,11 | 10 | 163 | 67 | 0,03 | 32 | 185 | 172 |
| <i>Phaseolus</i> spp. | 35 | 2219 | 0,67 | 8 | 176 | 134 | 0,92 | 23 | 266 | 206 |
| <i>Desmodium</i> spp. | 49 | 335 | 0,13 | 7 | 354 | 183 | 0,26 | 21 | 153 | 440 |
| Trevo | 38 | 5443 | 0,07 | 3 | 303 | 69 | 0,22 | 26 | 311 | 230 |
| <i>Indigofera</i> spp. | 52 | 446 | 0,77 | 9 | 105 | 157 | 0,09 | 31 | 168 | 355 |
| Cornichão | 33 | 6923 | 0,07 | 3 | 152 | 81 | 1,00 | 33 | 196 | 133 |
| Kudzu | 49 | 933 | 0,15 | 11 | 257 | 155 | 0,22 | 27 | 183 | 190 |
| Lab-lab | 50 | 2335 | 0,14 | 10 | 313 | 143 | 0,14 | 33 | 165 | 391 |
| Amendoim rasteiro | 48 | 1834 | 0,10 | 12 | 240 | 365 | 0,03 | 40 | 190 | 292 |
| <i>Lotononus bainesii</i> | 36 | 1982 | 0,29 | 16 | 231 | 242 | 0,12 | 33 | 192 | 253 |
| Mucuna | 35 | 235 | 0,08 | 9 | 206 | 219 | 0,26 | 30 | 198 | 155 |
| Feijão de porco | 60 | 1050 | 0,11 | 7 | 184 | 217 | 0,04 | 25 | 193 | 261 |
| Guandu | 36 | 194 | 0,09 | 8 | 203 | 221 | 0,04 | 29 | 152 | 212 |
| Alfafa | 42 | 2127 | 0,13 | 11 | 197 | 60 | 1,07 | 40 | 226 | 283 |
| <i>Clitoria ternatea</i> | 33 | 615 | 0,18 | 12 | 208 | 109 | 0,04 | 39 | 205 | 615 |
| <i>Teramnus uncinatus</i> | 61 | 1137 | 0,12 | 13 | 237 | 122 | 0,14 | 32 | 236 | 596 |
| <i>Crotalaria striata</i> | 67 | 1864 | 0,25 | 10 | 197 | 584 | 0,01 | 31 | 234 | 529 |
| <i>Cratylia</i> sp. | 36 | — | — | 8 | 203 | 230 | 0,01 | 22 | 247 | 312 |
| Média | 44 | 1861 | 0,28 | 9 | 288 | 157 | 0,33 | 30 | 187 | 322 |

Tabela 18. Teor médio de nutrientes de leguminosas forrageiras espontâneas da Amazônia Brasileira consumidas pelos animais (HECHT, 1982).

| Espécie | P.B. | P | K | Ca | Mg | Cu | Fe | Mn | Zn |
|------------------------------------|---------------|------|------|------|-----------------|-----|-----|-----|-----|
| | ----- % ----- | | | | ----- ppm ----- | | | | |
| <i>Stryphnodendron guayanensis</i> | 6,75 | 0,13 | 0,26 | 0,35 | 0,14 | 62 | 227 | 113 | 166 |
| <i>Enterolobium schomberkii</i> | 6,88 | 0,18 | 0,45 | 1,70 | 0,13 | 83 | 227 | 75 | 111 |
| <i>Pithecellobium jupunba</i> | 6,85 | 0,20 | 0,34 | 0,83 | 0,17 | 83 | 221 | 226 | 111 |
| <i>Tephrosia candida</i> | 10,81 | 0,23 | 0,44 | 1,00 | 0,22 | 62 | 277 | 150 | 111 |
| <i>Bauhinia glabra</i> | 4,25 | 0,10 | 0,18 | 0,13 | 0,11 | 75 | 200 | 75 | 75 |
| <i>Inga edulis</i> | 5,18 | 0,16 | 0,30 | 0,86 | 0,13 | 110 | 277 | 75 | 75 |
| <i>Dioclea guianensis</i> | 7,00 | 0,18 | 0,49 | 1,65 | 3,33 | 82 | 277 | 133 | 166 |
| <i>Cassia alata</i> | 6,75 | 0,16 | 0,25 | 0,38 | 0,09 | 42 | 221 | 75 | 55 |
| <i>Inga</i> sp. | 7,01 | 0,18 | 0,36 | 0,59 | 0,12 | 62 | 332 | 113 | 120 |
| <i>Enterolobium</i> spp. | 5,97 | 0,10 | 0,37 | 0,63 | 0,09 | 83 | 332 | 56 | 67 |

HECHT (1982) analisou macro e micronutrientes em leguminosas forrageiras da Amazônia Brasileira obtendo os resultados que aparecem na Tabela 18. Uma comparação com os dados das Tabelas 16 e 17 sugere o seguinte:

- (1) teores muito mais baixos de N, K e Ca;
- (2) teores mais baixos de P, Mg e Mn;
- (3) teores mais altos de Cu e Zn;
- (4) teores aproximadamente iguais de Fe.

Com os dados das Tabelas 10, 11, 16 e 17 foi preparada a Figura 3, em que se compara a composição mineral média das gramíneas e leguminosas forrageiras. Verificou-se que as gramíneas apresentam teores:

maiores — Mo, Na, Cl

iguais — K

menores — N, P, Ca, Mg, S, B, Cu, Zn, Co, Fe e Mn

Dados os aspectos funcionais desses elementos, a situação encontrada é a esperada, exceção feita para o Mo, o que é surpreendente, dada a exigência do mesmo para o sistema da nitrogenase.

FLEMING (1973, p. 545) relata estudos sobre a variação na composição mineral de 15 leguminosas forrageiras em função da idade: os teores de N, P e K declinaram à medida em que as espécies se aproximavam da maturidade. A variação no teor de Ca não foi consistente. O teor de Mn foi mínimo no fim do experimento (formação de vagens). O oposto aconteceu com B e Zn.

2.4. Marcha de absorção de nutrientes

As diferenças apontadas por FLEMING (1973, p. 545) na composição mineral das forrageiras quando as mesmas se aproximam da maturidade é consequência de diversos fatores:

- (1) variação na participação relativa dos diversos órgãos na matéria seca total, cada órgão apresentando diferenças nos teores dos elementos;
- (2) redistribuição dos elementos dentro da planta;
- (3) perdas de nutrientes solúveis por lavagem;
- (4) excreção via radicular;
- (5) diversidade no padrão de absorção dos elementos durante o ciclo.

A Figura 4, feita com dados apresentados por MALAVOLTA et alii (1974), mostra a marcha de absorção de macronutrientes, média de 5 forrageiras (colonião, gordura, jaraguá, napier e pangola). Ao que parece, o S é o elemento absorvido mais rapidamente, enquanto o Mg e o Ca são os que se acumulam mais lentamente; N, P e K ocupam posição intermediária.

2.5. Composição mineral do solo, forrageiras, microrganismos e animais

A Tabela 19 simplificada de WILKINSON & LOWREY (1973, p. 25) dá a composição mineral comparada do solo, das plantas em geral (inclusive, por-

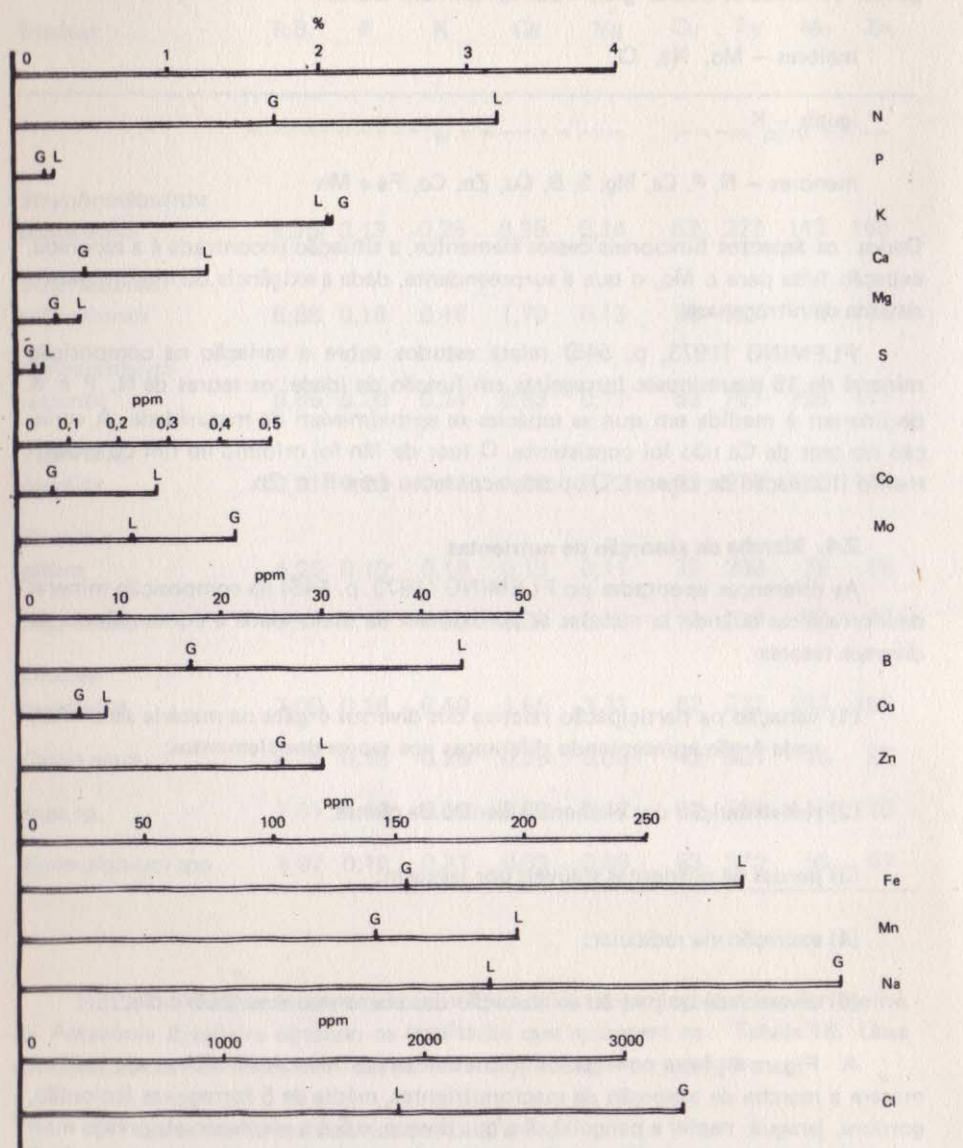


Figura 3. Composição mineral comparada de gramíneas (14 espécies) e leguminosas (23 espécies).

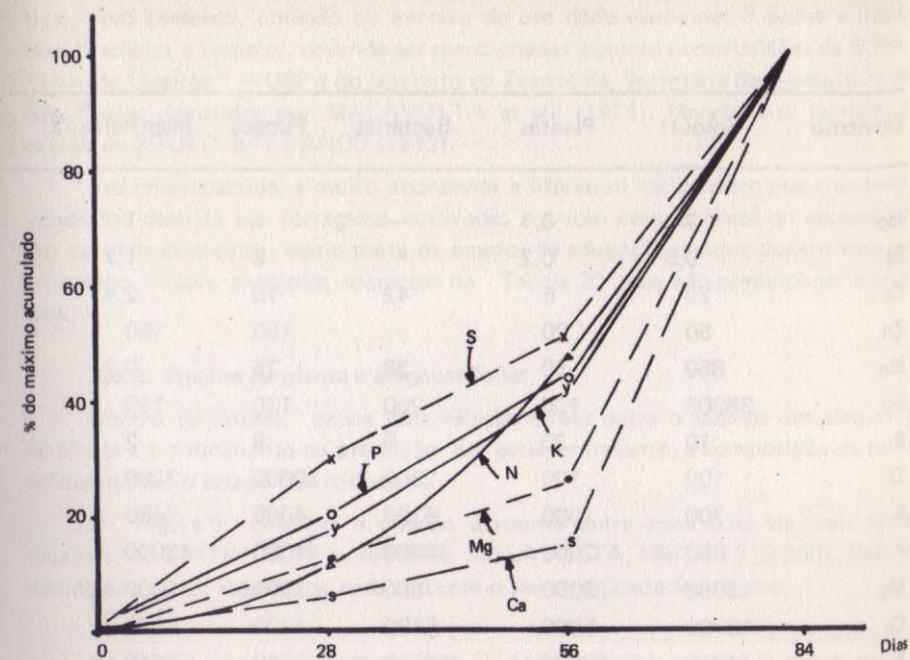


Figura 4. Marcha de absorção de macronutrientes em 5 gramíneas forrageiras, como porcentagem do máximo acumulado (MALAVOLTA et alii, 1974).

tanto, as forrageiras), das bactérias e dos fungos que decompõem a matéria orgânica do solo e os resíduos vegetais e animais incorporados e dos mamíferos em geral.

É interessante notar que os decompositores apresentam exigências relativamente altas de quase todos os elementos. A produtividade do ecossistema representado pela pastagem é dependente dos minerais disponíveis no solo em mais de uma maneira: além de satisfazer a exigência da planta e, através desta, a do animal, influenciam a atividade dos microrganismos.

2.6. Avaliação do estado nutricional

Os principais métodos usados na avaliação do estado nutricional são resumidos em seguida.

2.6.1. Sintomas de deficiência e excesso

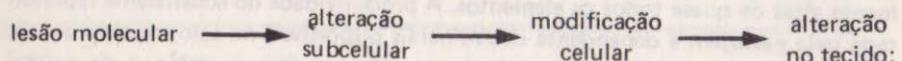
O método se baseia no fato de que a falta ou o excesso de um dado elemento mineral desencadeia uma série de eventos sucessivos:

Tabela 19. Composição mineral aproximada dos componentes principais do ecossistema de pastagens (ppm) (WILKINSON & LOWREY, 1973).

| Elemento | Solo(1) | Plantas | Bactérias | Fungos | Mamíferos (2) |
|----------|---------|---------|-----------|--------|---------------|
| Mo | 2 | 0,1 | — | 1 | 1 |
| Se | 0,5 | 0,2 | — | 2 | 1,7 |
| Cu | 20 | 6 | 42 | 15 | 2,4 |
| Zn | 50 | 20 | — | 150 | 160 |
| Mn | 850 | 50 | 30 | 25 | 0,2 |
| Fe | 38000 | 100 | 250 | 130 | 160 |
| B | 10 | 20 | 6 | 5 | 2 |
| Cl | 100 | 100 | 2300 | 10000 | 3200 |
| S | 700 | 1000 | 5300 | 4000 | 5400 |
| P | 650 | 2000 | 30000 | 14000 | 43000 |
| Mg | 5000 | 2000 | 7000 | 1500 | 1000 |
| Ca | 13700 | 5000 | 5100 | 1700 | 8500 |
| K | 14000 | 10000 | 115000 | 23300 | 7500 |
| N | 1000 | 15000 | 96000 | 51000 | 82000 |

(1) Teores totais.

(2) Mamíferos: matéria seca = 0,33 ossos; 0,67 músculos.



a alteração no tecido se traduz no sintoma visual de deficiência ou toxidez.

A possibilidade de se usar esse método reside no fato de que um dado elemento exerce uma função ou grupo de funções que lhe são específicas (ver Tabela 6). Assim, a sua falta ou o seu excesso provoca sempre a mesma alteração molecular, qualquer que seja a planta considerada. Em consequência disso, o final da cadeia de eventos, ou seja, o sintoma visual de anormalidade, corresponde a um denominador comum para todas as espécies (exemplos são dados na Tabela 7).

Os sintomas de deficiência e excesso podem ser induzidos de modo sistemático cultivando-se as plantas em condições controladas (geralmente solução nutritiva), com presença, omissão ou excesso de um dado elemento. É pobre a literatura brasileira a respeito, devendo ser mencionadas algumas contribuições da E.S.A. "Luiz de Queiroz" — USP e do Instituto de Zootecnia, Secretaria da Agricultura de São Paulo, discutidas por MALAVOLTA et alii (1974). Menciona-se também o estudo de SOUTO & FRANCO (1972).

Em contrapartida, é muito abundante a literatura nacional em que a anormalidade foi descrita nas forrageiras cultivadas em solo com pobreza ou excesso de um ou mais elementos, como parte de ensaios de adubação conduzidos em vaso ou no campo. Alguns exemplos aparecem na Tabela 20, que não pretende ser exaustiva.

2.6.2. Análise da planta e diagnose foliar

Dentro de limites, existe uma relação direta entre o teor de um elemento na planta e o crescimento ou produção. Em geral, entretanto, a composição da folha reflete melhor o estado nutricional.

A Figura 5. descreve a relação existente entre essas duas variáveis (para detalhes ver SMITH, 1978, p. 329-346; MALAVOLTA, 1981, p. 219-250). Nela se distinguem vários segmentos, cada um com o seu significado fisiológico:

C) porção da curva, chamada "em C" por sua forma, em que os aumentos no crescimento estão associados com diminuição na concentração do elemento na matéria seca, o que ocorre em plantas muito deficientes (efeito de Steenjberg); entre as várias explicações, está aquela segundo a qual a planta se encontra com capacidade mais reduzida para absorver do que para crescer;

D) região das carências — a produção de matéria seca cresce de modo linear (ou quase) em resposta a incrementos nos teores do elemento;

B) região da alimentação de luxo — cresce o teor sem que o mesmo ocorra na produção;

A) região de excesso, desequilíbrio ou toxidez — continua a subir o teor foliar, caindo a produção de matéria seca; há um excesso do elemento que pode ser tóxico; pode haver também deficiência de outro devido à diminuição na absorção (inibição competitiva ou não competitiva), no transporte ou na assimilação.

Separando os segmentos D e B há uma faixa de teores em que ocorre o máximo de produção com absorção adequada do elemento. Tais teores, denominados em geral de "nível crítico", estão associados com as exigências do elemento para a

Tabela 20. Sintomas visuais de deficiência ou excesso, observados em forrageiras.

| Elemento | Forrageira | Condição | Anormalidade | Referência |
|----------|------------|----------|--------------|--|
| P | Gramínea | Campo | Deficiência | QUINN et alii (1961) GONÇALVES et alii (1980) GOMIDE et alii (1984) |
| | Leguminosa | Vaso | Excesso (1) | FRANÇA & CARVALHO (1970) WERNER & MATTOS (1972) |
| K | Gramínea | Campo | Deficiência | GOMIDE (1976) OLIVEIRA et alii (1982) |
| | Leguminosa | Campo | | JONES & FREITAS (1970) MACEDO et alii (1980) OLIVEIRA et alii (1982) |
| Ca | | Vaso | | WERNER & MATTOS (1972) OLIVEIRA et alii (1982) SAVASTANO et alii (1982) MONTEIRO et alii (1983-a) |
| | Leguminosa | Campo | Deficiência | MONTEIRO (1977) |
| Mg | | Vaso | | COLOZZA & WERNER (1984) |
| | Leguminosa | Campo | Deficiência | NEME & NERY (1965) JONES & FREITAS (1970) VAN RAIJ et alii (1983) SOUZA (1983) |
| | | Vaso | | JONES et alii (1970) ALCALÁ BRAZÓN (1971) |
| | Gramínea | Campo | | VAN RAIJ et alii (1983) SOUZA (1983) |
| | Leguminosa | Campo | Deficiência | JONES & FREITAS (1970) |
| | | Vaso | | JONES et alii (1970) EIRA et alii (1970) COLOZZA et alii (1983) |

Tabela 20. Continuação

| Elemento | Forrageira | Condição | Anormalidade | Referência |
|-------------------|------------|----------|--------------|---|
| S | Gramínea | Campo | Deficiência | MCCLUNG & QUINN (1959) MALAVOLTA et alii (1984) |
| | | Vaso | | MCCLUNG et alii (1958) CASAGRANDE & SOUZA (1982) |
| B, Cu, Fe, Mo, Zn | Leguminosa | Vaso | | MCCLUNG et alii (1958) |
| | | | Deficiência | FRANÇA & CARVALHO (1970) |
| B, Cu, Mo, Zn | | | | WERNER & MATTOS (1972) |
| | | | | MONTEIRO et alii (1983-b,c) |
| Cu e Mo | | | | WERNER et alii (1983) |
| | | | | SANTOS et alii (1980) |
| Zn | | | | |
| Mn (2) | | Toxidez | | SOUTO & DÖBEREINER (1969) MONTEIRO (1980) |

(1) Induzido.

(2) Efeito de corretivo?

intensidade máxima de processos como a fotossíntese, e mínima de outros, como perdas de água na transpiração.

A Figura 6 dá alguns exemplos de curvas de resposta que servem, além disso, para ilustrar diferenças entre espécies. As duas primeiras foram feitas a partir dos dados de ANDREW & ROBINS (1969-a,b) e a segunda com os de MONTEIRO (1980).

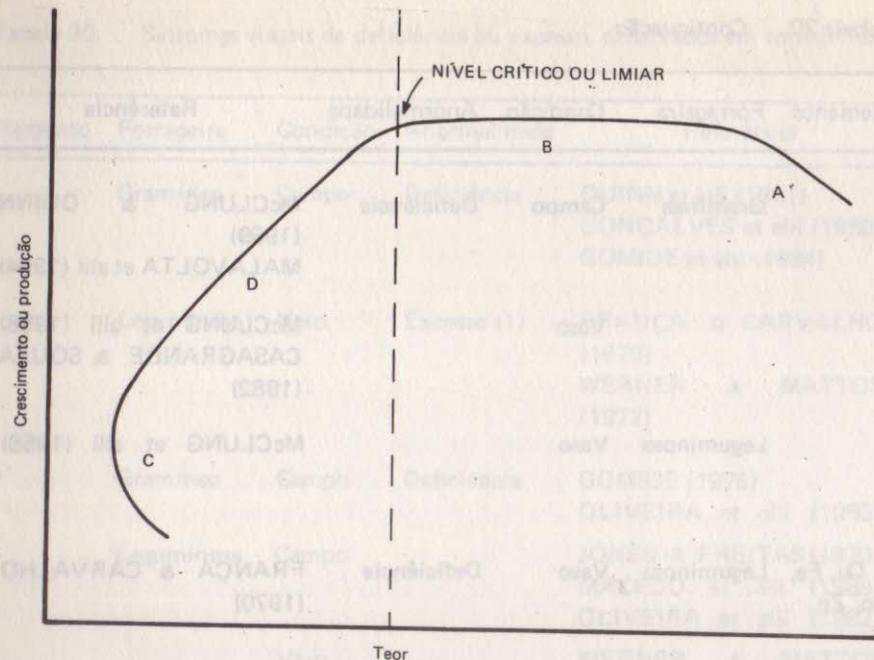


Figura 5. Representação geral da relação entre teor foliar e crescimento.

As Tabelas 21 (MALAVOLTA et alii, 1974), 22. (MEYER & MARTIN, 1983), 23 (JONES, 1983) e 24 (SMITH, 1978) mostram teores considerados adequados (ou críticos) e deficientes em algumas forrageiras.

Esse tipo de conhecimento é duplamente útil:

- (1) permite verificar se o solo, através do fornecimento de elementos, impõe limitações (ou não) ao crescimento da forrageira;
- (2) ajuda a verificar se os teores encontrados são baixos, adequados ou tóxicos para o animal que delas se alimenta.

A Tabela 25 (BUTLER & JONES, 1973) mostra dados a respeito do item (2) acima citado. Neste particular é oportuno transcrever a Tabela 26 (MALAVOLTA et alii, 1974), que resume alguns dos primeiros trabalhos feitos no Brasil sobre o assunto. A Tabela 27, por sua vez, contém dados dos trabalhos mais recentes de SOUZA et alii (1979, 1980, 1981, 1982). As conclusões principais foram as seguintes:

- (1) embora os teores de Cu nas forrageiras fossem baixos, os teores no fígado do animal estiveram sempre altos, o que é devido à suplementação mineral

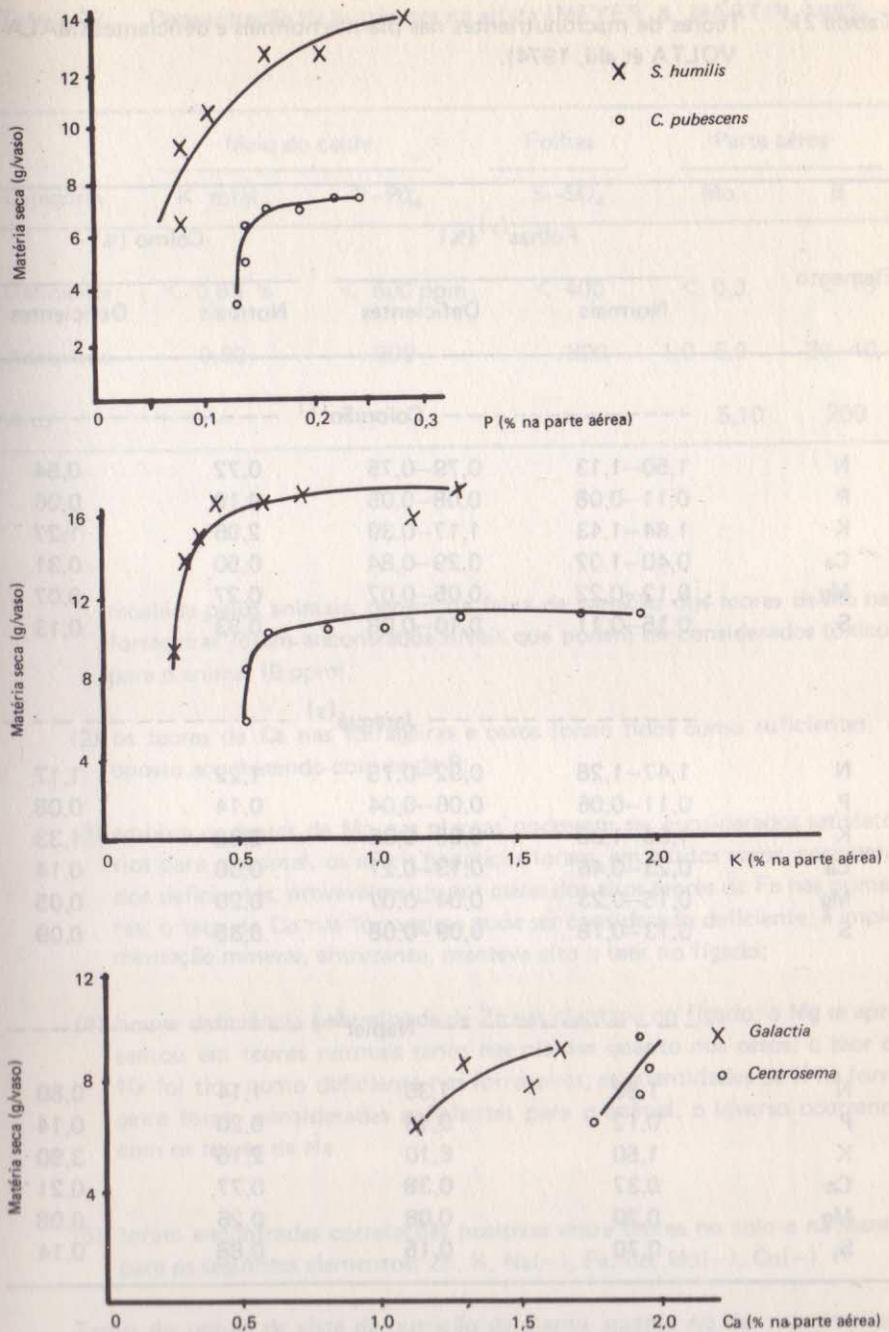


Figura 6. Relações entre teores de elementos e crescimento (ANDREW & ROBINS, 1969 a,b; MONTEIRO, 1980).

Tabela 21. Teores de macronutrientes nas plantas normais e deficientes (MALAVOLTA et alii, 1974).

| Elemento | Folhas ⁽¹⁾ (%) | | Colmo (%) | |
|-------------------------------------|---------------------------|-------------|-----------|-------------|
| | Normais | Deficientes | Normais | Deficientes |
| ----- Colonião ⁽²⁾ ----- | | | | |
| N | 1,50–1,13 | 0,79–0,75 | 0,72 | 0,54 |
| P | 0,11–0,08 | 0,08–0,05 | 0,10 | 0,06 |
| K | 1,84–1,43 | 1,17–0,39 | 2,96 | 1,27 |
| Ca | 0,40–1,02 | 0,29–0,84 | 0,50 | 0,31 |
| Mg | 0,12–0,22 | 0,05–0,07 | 0,27 | 0,07 |
| S | 0,15–0,11 | 0,10–0,08 | 0,33 | 0,13 |
| ----- Jaraguá ⁽³⁾ ----- | | | | |
| N | 1,47–1,28 | 0,92–0,75 | 1,22 | 1,17 |
| P | 0,11–0,06 | 0,06–0,04 | 0,14 | 0,08 |
| K | 1,65–1,08 | 0,95–0,36 | 2,38 | 1,33 |
| Ca | 0,23–0,46 | 0,13–0,27 | 0,30 | 0,14 |
| Mg | 0,15–0,23 | 0,04–0,07 | 0,20 | 0,05 |
| S | 0,13–0,18 | 0,09–0,08 | 0,35 | 0,09 |
| ----- Napier ⁽⁴⁾ ----- | | | | |
| N | 1,80 | 1,36 | 1,14 | 0,80 |
| P | 0,12 | 0,13 | 0,20 | 0,14 |
| K | 1,50 | 6,10 | 2,15 | 3,90 |
| Ca | 0,37 | 0,38 | 0,77 | 0,21 |
| Mg | 0,20 | 0,08 | 0,26 | 0,08 |
| S | 0,70 | 0,15 | 0,88 | 0,14 |

(1) Os primeiros números referem-se a folhas novas, os segundos a folhas velhas. (2) Plantas com 60–69 dias. (3) Plantas com 105–115 dias. (4) Plantas colhidas no início do aparecimento dos sintomas.

Tabela 22. Concentração de nutrientes na alfafa (MEYER & MARTIN, 1983).

| Categoria | Meio do caule | | Folhas | | Parte aérea | |
|------------|---------------|-------------------|-------------------|---------|-------------|--|
| | K total | P–P ₀₄ | S–SO ₄ | Mo | B | |
| Deficiente | < 0,65 % | < 500 ppm | < 400 | < 0,3 | < 15 | |
| Adequado | 0,80 | 800 | 800 | 1,0–5,0 | 20–40 | |
| Alto | — | — | — | 5,10 | 200 | |

recebida pelos animais; dentro da faixa de variação dos teores de Mo nas forrageiras foram encontrados níveis que podem ser considerados tóxicos para o animal (9 ppm);

(2) os teores de Ca nas forrageiras e ossos foram tidos como suficientes, o oposto acontecendo com os de P;

(3) embora os teores de Mn nas plantas pudessem ser considerados satisfatórios para o animal, os níveis hepáticos foram, em muitos casos, considerados deficientes, provavelmente por causa dos altos teores de Fe nas primeiras; o teor de Co nas forrageiras pode ser considerado deficiente; a implementação mineral, entretanto, manteve alto o teor no fígado;

(4) houve deficiência generalizada de Zn nas plantas e no fígado; o Mg se apresentou em teores normais tanto nas plantas quanto nos ossos; o teor de Na foi tido como deficiente nas forrageiras; as quantidades de K na forrageira foram consideradas suficientes para o animal, o inverso ocorrendo com os teores de Na.

(5) foram encontradas correlações positivas entre teores no solo e na planta para os seguintes elementos: Zn, K, Na(–), Fe, Co, Mo(–), Cu(–), P.

Tanto do ponto de vista da nutrição da planta, quanto no das suas implicações na alimentação do animal, os teores encontrados nas primeiras (críticos ou outros) devem ser vistos com cuidado, dados os fatores que podem influenciá-los. Exemplos (SMITH, 1978, p. 334):

Tabela 23. Concentrações críticas de P, K e S em trevos anuais (JONES, 1983).

| Elemento | Especie | Tecido | Estádio | Nível crítico |
|-----------|-----------------------|---|---------------|---|
| P (total) | Subterrâneo | Folhas totalmente expandidas | | |
| | | 2 folhas/talo | | 0,52% |
| | | 6 folhas/talo | | 0,32% |
| | | 1 flor/talo | | 0,15% |
| | | 3 flores/talo | | 0,11% |
| Róseo | Folhas Parte aérea | | Florescimento | 0,19% |
| | | | Florescimento | 0,19–0,24% |
| K (total) | Subterrâneo | Folhas Parte aérea | Florescimento | 0,72–0,90% |
| | | | Florescimento | 0,80% |
| Róseo | Folhas | | Florescimento | 0,87–0,95% |
| | Subterrâneo | Limbos Pecíolos Caules | Florescimento | 170 ppm S-SO ₄ ; 0,22% S |
| | | Parte aérea | | 170 ppm S-SO ₄ ; 0,12% S |
| | | | | 170 ppm S-SO ₄ ; 0,11% S |
| | | | | 220 ppm S-SO ₄ |
| Róseo | | Parte aérea | Florescimento | 150 ppm S-SO ₄ |
| "Bur" | | Folhas totalmente expandidas Meio do caule Caule inferior | Florescimento | 140 ppm S-SO ₄ 100 ppm S-SO ₄ 160 ppm S-SO ₄ |
| S | | | | |

Tabela 24. Concentrações críticas de P, K e S e teores tóxicos de Mn para leguminosas forrageiras tropicais analisadas pouco antes do florescimento (SMITH, 1978).

| Espécie | P | K | S | Mn |
|---------------------------------|------|------|------|----------|
| | | | | -----ppm |
| <i>Macroptilium lathyroides</i> | 0,20 | 0,75 | 0,15 | 840 |
| <i>M. atropurpureum</i> | 0,24 | 0,75 | 0,17 | 810 |
| <i>Stylosanthes humilis</i> | 0,17 | 0,60 | 0,14 | 1140 |
| <i>Centrosema pubescens</i> | 0,16 | 0,75 | — | 1600 |
| <i>Glycine wightii</i> | — | 0,80 | 0,17 | 560 |
| <i>Lotononis bainesii</i> | 0,17 | 0,90 | 0,15 | 1320 |
| <i>Desmodium uncinatum</i> | 0,23 | 0,80 | 0,17 | 1160 |
| <i>D. intortum</i> | 0,22 | 0,77 | 0,17 | — |
| <i>Vigna luteola</i> | 0,25 | — | — | — |
| <i>Medicago sativa</i> | 0,24 | 1,2 | 0,20 | 380 |
| <i>Leucaena leucocephala</i> | — | — | — | — |

(1) idade -- em função da mobilidade interna, numa dada folha ou parte da planta, o teor dos elementos pode diminuir (NPK e Na), permanecer mais ou menos constante (Mg, S, Fe, Mn e Zn) ou aumentar (B, Ca); daí a necessidade de se padronizar a folha analisada — geralmente uma recém madura; outras vezes se analisa toda a parte aérea, o que dá uma composição média, que talvez seja mais útil quando se pretende relacionar os dados analíticos com a alimentação do animal; para alguns elementos como o P e o S tem sido sugerida a análise das sementes, que constituem reservatórios para os mesmos ("sink") (ROBINSON & JONES, 1972);

(2) espécies e cultivares — absorção, transporte, redistribuição e exigências são todas características da nutrição mineral que estão sob controle genético (ver Tabelas 3 e 13, por exemplo); o assunto é discutido com abundância de detalhes por SARIC (1982). Espécies (JARDIM, 1984) e variedades (CARVALHO et alii, 1980) podem diferir muito na sua tolerância ao excesso de Al e de Mn com reflexos na composição mineral; daí a necessidade de se considerar essas fontes de variação na avaliação do estado nutricional;

Tabela 25. Exigências minerais dos ruminantes em relação à composição mineral das forrageiras (BUTLER & JONES, 1973).

| Elemento | Teor na forrageira | | Teor desejável para | |
|---------------------------------|--------------------|-------------|---------------------|-----------------|
| | Faixa | Normal | Ovelha | Vacas leiteiras |
| ----- % na matéria seca ----- | | | | |
| Ca | 0,04 – 6,00 | 0,2 – 1,0 | 0,50 | 0,52 |
| P | 0,03 – 0,68 | 0,2 – 0,5 | 0,25 | 0,42 |
| Na | 0,002 – 2,12 | 0,05 – 1,0 | 0,07 | 0,15 |
| Cl | 0,02 – 2,05 | 0,1 – 2,0 | 0,06 | 0,19 |
| Mg | 0,03 – 0,75 | 0,1 – 0,4 | 0,06 | 0,15 |
| ----- ppm na matéria seca ----- | | | | |
| I | 0,07 – 5,0 | 0,2 – 0,8 | 0,12 | 0,80 |
| Fe | 21 – 1000 | 50 – 300 | 30 | 30 |
| Co | 0,02 – 4,7 | 0,05 – 0,3 | 0,10 | 0,10 |
| Ca | 1,1 – 29 | 2 – 15 | 5 | 10 |
| Mn | 9 – 2400 | 25 – 1000 | 40 | 40 |
| Zn | 1 – 112 | 15 – 60 | 50 | 50 |
| Se | 0,01 – 4000 | 0,03 – 0,15 | > 0,03 | > 0,03 |

(3) interações do meio e de nutrientes – fatores do meio (umidade, temperatura, luz) podem influenciar a composição mineral e, portanto, o valor dos níveis adequados ou deficientes, refletindo efeitos na absorção, no transporte e na redistribuição do elemento no órgão analisado; por outro lado, o crescimento da planta não é função do suprimento de um elemento isolado, dependendo do nível em que se encontram os outros; por esse motivo é necessário, às vezes, pensar-se também (ou mais) nas proporções ou relações em que aparecem pares de elementos ou um número maior destes (SUMNER, 1977).

2.6.3. Testes bioquímicos

Os testes bioquímicos se fundamentam no fato de que certos elementos são essenciais para a constituição de determinados metabólitos ou para a atividade enzimática. Em consequência, se houver falta do elemento na planta as seguintes situações poderão aparecer:

Tabela 26. Estados onde foram encontradas carências minerais em forrageiras (F) ou tecido animal (T) (MALAVOLTA et alii, 1974).

| Estado | P | Ca | Co ⁺ | Cu | Zn | Fonte |
|--------|----|----|-----------------|----|----|--|
| AM | T | | T | T | | TOKARNIA et alii (1960) |
| CE | | | T | | | TOKARNIA et alii (1960) |
| ES | | | T | | | TOKARNIA et alii (1960) |
| GO | F | | F | F | | Teixeira et alii, 1971 citado por MALAVOLTA et alii (1974) |
| MT | F | | F | FT | | JARDIM et alii (1961) |
| | | | | | | FERNANDES & SANTIAGO (1972) |
| | | | | | | Menicucci Sobrinho, 1943 citado por MALAVOLTA et alii (1974) |
| PA | T | | T | T | | TOKARNIA et alii (1960) |
| PI | T | | | T | | TOKARNIA et alii (1960) |
| RJ | | | | T | | TOKARNIA et alii (1960) |
| RS | FT | F | F | FT | | GAVILLON & THEREZA QUADROS (1966) |
| SC | | | | T | | Tokarnia et alii, 1971 citado por MALAVOLTA et alii (1974) |
| SP | FT | | FT | T | F | VILLARES & SILVA (1956) |
| | | | | | | JARDIM et alii (1962) |
| | | | | | | ANDREASI et alii (1966/7, 1969) |
| | | | | | | RAMIREZ MOREIRA (1971) |
| | | | F | F | | GALLO et alii (1974) |
| | | | | | | CORRÉA (1957) |
| | | | F | F | | NAZARIO et alii (1984) |

- (1) diminuição na concentração do metabólito – o elemento é parte do mesmo;
- (2) aumento no teor do substrato – o elemento é necessário à atividade enzimática;
- (3) diminuição na concentração do produto – o elemento é necessário à atividade enzimática;
- (4) diminuição na atividade enzimática – o elemento é ativador da enzima;

Tabela 27. Inter-relações entre minerais no solo, forrageiras e tecido animal (SOUZA et alii, 1979, 1980, 1981, 1982).

| Elemento | Solo (ppm) | Forrageira | Tecido animal |
|----------|-------------|-----------------|--------------------------|
| Ca (1) | 276 – 1240 | 0,31 – 0,71% | 37 – 39% (osso) |
| P (2) | 2 – 28 | 0,09 – 0,18% | 15,1 – 15,5% (osso) |
| Cl (3) | 0,7 – 4,4 | 2,7 – 4,14 ppm | 136 – 299 ppm (fígado) |
| Mo (4) | 16 – 24 | 0,1 – 9,2 ppm | 1,5 – 3,8 ppm (fígado) |
| Mn (5) | 6 – 48 | 83 – 233 ppm | 5 – 8 ppm (fígado) |
| Fe (6) | 15 – 42 | 104 – 405 ppm | 311 – 430 ppm (fígado) |
| Co (7) | 0,20 – 1,79 | 0,06 – 0,20 ppm | 0,18 – 0,40 ppm (fígado) |
| Zn (8) | 0,6 – 3,2 | 19 – 39 ppm | 78 – 101 ppm (fígado) |
| Mg (9) | 30 – 367 | 0,19 – 0,28% | 0,44 – 0,54% (osso) |
| Na (10) | 31 – 44 | 84 – 194 ppm | — |
| K (11) | 48 – 124 | 0,94 – 1,68% | — |

Extração do solo:

(1) (2) (4) (5) (6) – H_2SO_4 0,025 N + HCl 0,05 N;

(3) – HCl 0,1 N por 10 min com agitação;

(7) – HCl 0,1 N por 2 h;

(8) (9) (10) (11) – H_2SO_4 0,025 N + HCl 0,05 N por 55 min com agitação.

- (5) aumento na atividade enzimática – o elemento é inibidor da enzima;
- (6) diminuição na concentração do substrato – o elemento é inibidor da enzima;
- (7) aumento na concentração do produto – o elemento não é necessário à atividade enzimática.

A Tabela 28 contém informação a respeito.

3. NECESSIDADE DE ESTUDOS

De modo geral, os estudos sobre nutrição mineral de forrageiras conduzidos no Brasil mostram duas características principais: predomínio dos trabalhos com leguminosas sobre gramíneas e dominância dos trabalhos em casa de vegetação com número limitado de solos. Deve-se destacar o volume relativamente grande de dados sobre a composição mineral das forrageiras. O interesse de tais trabalhos, entretanto, se torna limitado porque, com as exceções de costume, não houve a preocupação de se correlacionar a composição das espécies com as características do solo e as variações do clima. As conclusões gerais dos mesmos podem, entretanto, ser consideradas válidas. A maior parte dos trabalhos, por outro lado, foi feita empregando-se espécies solteiras, sendo muito poucos os que se preocuparam com consorciações. Estas observações permitem fazer-se algumas sugestões de pesquisas no futuro:

- (1) Gramíneas – exigências comparadas; níveis críticos; composição mineral em relação às necessidades do solo; tolerância às condições de baixa fertilidade; fixação do N_2 na rizosfera ou por associações menos íntimas; micorriza;
- (2) Leguminosas – idem; fixação do N_2 ; micorrizas;
- (3) Consorciação – respostas a diferentes condições de fertilidade do solo e seu efeito na composição mineral; adubação, dominância e composição mineral; aquisição e ciclagem do N.

Tabela 28. Testes bioquímicos para a avaliação do estado nutricional.

| Elemento | Teste | Fonte |
|----------|--|---|
| N | Teor de asparagina Redução de NO_3^- N amônico N total | OZAKI (1961) BARAKIVA & STERNBAUM (1965) BAXTER (1965) MIKKELSEN (1983) |
| P | Frutose-1,6-2P e fotosíntese Atividade da fosfatase | BOUMA & DOWLING (1976) MC LACHLAN (1982) MC LACHLAN & DE MARCO (1982) |
| K | Teores de amidas e de ácido pipecólico Concentração de putrescina | FREIBERG & STEWARD (1960) |
| Mg | Teor de ácido pipecólico | FREIBERG & STEWARD (1960) |
| S | Reação com glutaraldeído Aminoácidos livres | MOSS et alii (1982) COLEMAN (1957) MERTZ & MATSUMOTO (1956) |
| B | Atividade ATPase | POLLARD et alii (1977) |
| Cl | Aminoácidos livres | FRENÉY et alii (1959) |
| Cu | Oxidase do ácido ascórbico Relação clorofila a/b | BAR AKIVA (1969) LONERAGAN et alii (1982) DELHAIZE et alii (1982) BAR AKIVA & LAVON (1967) |

Tabela 28. Continuação

| Elemento | Teste | Fonte |
|----------|------------------------------------|---|
| Fe | Peroxidase | BAR AKIVA (1969) |
| | Catalase | BAR AKIVA & LAVON (1967) |
| | Teor de xilose | BAR AKIVA (1965) |
| Mn | Peroxidase | BAR AKIVA (1969) |
| | Relação clorofila a/b | BAR AKIVA & LAVON (1967) |
| Mo | Redução de nitrato | MULDER et alii (1959) BAR AKIVA (1969) |
| Zn | Ribonuclease Anidrase carbônica | KESSLER (1961) BAR AKIVA & LAVON (1969) SNIR (1983) |

4. LITERATURA CITADA

ALCALÁ BRAZÓN, C.A. *Efeitos da aplicação de calcário, fósforo, potássio e inoculante sobre a produção de matéria seca, nodulação e composição química de Phaseolus atropurpureus DC. cv. Siratro*. Piracicaba, 1971. 61 p. [Mestrado – ESALQ]

ANDREASI, F.; MENDONÇA JÚNIOR, C.X. de; VEIGA, J.S.M.; PRADA, F. Levantamento dos elementos minerais em plantas forrageiras de áreas delimitadas do Estado de São Paulo. IV. Zinco. *Revista da Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade de São Paulo*, São Paulo, 8(1):177-90, 1969.

ANDREASI, F.; VEIGA, J.S.M.; MENDONÇA JÚNIOR, C.X. de; PRADA, F.; BARNABÉ, R.C. Levantamento dos elementos minerais em plantas forrageiras de áreas delimitadas do Estado de São Paulo. I. Cálcio, fósforo e magnésio. *Revista da Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade de São Paulo*, São Paulo, 7(3): 583-604, 1966/67.

ANDREW, C.S. & KAMPRATH, E.J. *Mineral nutrition of legumes in tropical and subtropical soils*. Melbourne, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, 1978. 415 p.

ANDREW, C.S. & ROBINS, M.F. The effect of phosphorus on the growth and chemical composition of some tropical pasture legumes. I. Growth and critical percentage of phosphorus. *Australian Journal of Agricultural Research*, Melbourne, 20(4):665-74, 1969a.

ANDREW, C.S. & ROBINS, M.F. The effect of potassium on the growth and chemical composition of some tropical and temperate pasture legumes. I. Growth and tropical percentage of potassium. *Australian Journal of Agricultural Research*, Melbourne, 20(1): 999-1007, 1969b.

BAR AKIVA, A. Pentose accumulation and peroxidase activity in manganese deficient and normal citrus leaves. *Phyton*, Horn, 22(2):131-6, 1965.

BAR AKIVA, A. The use of activity of metallo-enzyme systems for the appraisal of nutritional requirements of citrus trees. In: *INTERNATIONAL CITRUS SYMPOSIUM*, 1., Riverside, 1968. *Proceedings*. Riverside, 1969. p. 1551-7.

BAR AKIVA, A. & LAVON, R. Visible symptoms and some metabolic patterns in micronutrient-deficient Eureka lemon leaves. *Israel Journal of Agricultural Research*, Rehovot, 17:7-16, 1967.

BAR AKIVA, A. & LAVON, R. Carbonic anhydrase activity as an indicator of zinc deficiency in citrus leaves. *Journal of Horticultural Science*, London, 44:359-62, 1969.

BAR AKIVA, A.; MAYNARD, D.N.; ENGLISH, J.E. A rapid tissue test for diagnosing iron deficiencies in vegetable crops. *Horticultural Science*, Stuttgart, 13(3):284-5, 1978.

BAR AKIVA, A. & STERNBAUM, J. Nitrate reduction in citrus tree leaves. *Plant and Soil*, The Hague, 23:141-4, 1965.

BAXTER, P. A simple and rapid test, using the ninhydrin method, for the determination of the nitrogen status of fruit trees. *Journal of Horticultural Science*, London, 40:1-12, 1965.

BOUMA, D. & DOWLING, E.J. The relationship between the phosphorus status of subterranean clover plants and the dry weight responses of detached leaves in solution with and without phosphate. *Australian Journal of Agricultural Research*, Melbourne, 27:35-62, 1976.

BUTLER, G.W. & JONES, D.I.H. Mineral biochemistry of herbage. In: BUTLER, G.W. & BAILEY, R.W., ed. *Chemistry and biochemistry of herbage*. v. 2. London, Academic Press, 1973. 455 p.

CARVALHO, M.M. de; ANDREW, C.S.; EDWARDS, D.G.; ASHER, C.J. Comparative performance of six *Stylosanthes* species in three acid soils. *Australian Journal of Agricultural Research*, Melbourne, 31(1):61-76, 1980.

CASAGRANDE, J.C. & SOUZA, O.C. Efeito de níveis de enxofre sobre quatro gramíneas forrageiras tropicais em solos sob vegetação de cerrado do Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 17(1):21-5, 1982.

COLEMAN, R.G. The effect of sulphur deficiency on the free aminoacids of some plants. *Australian Journal of Biological Sciences*, Melbourne, 10:50-6, 1957.

COLOZZA, M.T.; SAVASTANO, S.A.L.; WERNER, J.C.; MONTEIRO, F.A. Efeitos da aplicação de gesso e calcário dolomítico em dois solos ácidos cultivados com soja perene. *Boletim de Indústria Animal*, Nova Odessa, 40(1): 75-96, 1983.

COLOZZA, M.T. & WERNER, J.C. Aplicação de nutrientes em três leguminosas forrageiras cultivadas num solo da região do Vale do Ribeira. *Zootecnia*, Nova Odessa, 22(4):327-53, 1984.

CORRÉA, R. Carência de cobalto em bovinos. *Arquivos do Instituto Biológico*, São Paulo, 24:199-227, 1957.

DELHAIZE, E.; LONERAGAN, J.F.; WEBB, J. Enzymic diagnosis of copper deficiency in subterranean clover. II. A simple field test. *Australian Journal of Agricultural Research*, Melbourne, 33:981-7, 1982.

EIRA, P.A.; ALMEIDA, D.L.; SILVA, W.C. Fatores nutricionais limitantes do desenvolvimento de três leguminosas forrageiras em um solo podzólico vermelho amarelo. In: *REUNIÃO LATINOAMERICANA DE Rhizobium*, Rio de Janeiro, 1970. *Anais*. p. 121-38.

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.; SÁNCHEZ, P.A.; SERRÃO, E.A.S., ed. *Produção de pastagens em solos ácidos dos trópicos*. Brasília, Editerra, 1982. 515 p.

FERNANDES, N.S. & SANTIAGO, A.M.H. Níveis de cobre em pastagens do Estado de São Paulo. *O Biológico*, São Paulo, 38:358-60, 1972.

FLEMING, G.A. Mineral composition of herbage. In: BUTLER, G.W. & BAILEY, R.W., ed. *Chemistry and biochemistry of herbage*. v. 1. London, Academic Press, 1973. 639 p.

FRANÇA, G.E. & CARVALHO, M.M. Ensaio exploratório de fertilização de cinco leguminosas tropicais em um solo de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Rio de Janeiro, 5:147-53, 1970.

FREIBERG, S.R. & STEWARD, F.C. Physiological investigations of the banana plant. III. Factors which affect the nitrogen compounds of the leaves. *Annals of Botany*, n.s. London, 24(93):147-57, 1960.

FRENNEY, J.R.; DELWICHE, C.C.; JOHNSON, C.M. The effect of chloride on the free aminoacids of cabbage and cauliflower plants. *Australian Journal of Biological Sciences*, Melbourne, 10:160-6, 1959.

GALLO, J.R.; HIROCE, R.; BATAGLIA, O.C.; FURLANI, P.R.; FURLANI, A.M.C.; MATTO, H.B. de; SARTINI, H.J.; FONSECA, M.P. Composição química inorgânica de forrageiras do Estado de São Paulo. *Boletim de Indústria Animal*, São Paulo, 31(1):115-37, 1974.

GAVILLON, O. & THEREZA QUADROS, A.T. Levantamento da composição mineral das pastagens nativas do Rio Grande do Sul: o cobre, o cobalto e o molibdênio. In: *INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS*, São Paulo, 1966. *Anais*, v. 1. p. 709-12.

GOMIDE, J.A. Adubação de pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 3., Piracicaba, 1976. Anais. p. 73-97.

GOMIDE, J.A.; COSTA G.G.; SILVA, M.A.M.M.; ZAGO, C.P. Adubação nitrogenada e consorção do capim colonião e capim jaraguá com leguminosas. I. Produtividade e teor de nitrogênio das gramíneas e das misturas. Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Viçosa, 13(1):10-21, 1984.

GONÇALVES, J.O.N.; OLIVEIRA, O.L.P.; BOTREL, M.A. Efeitos de níveis de nitrogênio sobre a produção de matéria seca de capim pangola (*Digitaria decumbens* Stent.). In: MACEDO, W., coord. Pastagem: adubação e fertilidade do solo. São Paulo, EMBRAPA/ANDA, 1980. 123 p.

HECHT, S. Leguminosas espontâneas em pastagens cultivadas da Amazônia Brasileira. In: TERGAS, L.E.; SÁNCHEZ, P.A.; SERRÃO, E.A.S., ed. Produção de pastagens em solos ácidos dos trópicos. Brasília, Editerra, 1982. 515 p.

JARDIM, L.M.B. Efeitos do alumínio e do manganês sobre o desenvolvimento de quatro leguminosas forrageiras tropicais. Piracicaba, 1984. 101 p. [Mestrado – ESALQ]

JARDIM, W.R.; MORAES, C.L.; PEIXOTO, A.M. Observações sobre deficiências minerais na nutrição dos bovinos na região do Brasil Central. Boletim Técnico Científico da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, (1):1-21, 1961.

JARDIM, W.R.; PEIXOTO, A.M.; MORAES, C.L. Composição mineral de pastagens na região de Barretos no Brasil Central. Boletim Técnico Científico da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, (2):1-11, 1962.

JONES, M.B. Plant tissue analysis-annual legumes. In: REISENAUER, H.M., ed. Soil and plant tissue testing in California. Berkeley, University of California, 1983. 55 p. (Bulletin, 1879)

JONES, M.B. & FREITAS, L.M.M. Respostas de quatro leguminosas tropicais a fósforo, potássio e calcário num Latossolo Vermelho-amarelo de campo cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Rio de Janeiro, 5: 91-9, 1970.

JONES, M.B.; QUAGLIATO, J.L.; FREITAS, L.M.M. Resposta de alfafa e algumas leguminosas tropicais à aplicação de nutrientes minerais em três solos de campo cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Rio de Janeiro, 5:359-63, 1970.

KESSLER, B. Ribonuclease as a guide for the determination of zinc deficiency in orchard trees. In: REUTHER, W., ed. Plant analysis and fertilizer problems. Washington, American Institute of Biological Science, 1961. 454 p.

LARUE, T.A. & PATTERSON, T.G. How much nitrogen do legumes fix? Advances in Agronomy, New York, 34:15-38, 1981.

LONERAGAN, J.F. Mineral absorption and relation to the mineral composition of herbage. In: BUTLER, G.W. & BAILEY, R.W., ed. Chemistry and biochemistry of herbage. v. 2. London, Academic Press, 1973. 455 p.

LONERAGAN, J.F.; DELHAIZE, E.; WEBB, J. Enzymic diagnosis of copper deficiency in subterranean clover. I. Relationship of ascorbate oxidase activity in leaves to plant copper status. Australian Journal of Agricultural Research, Melbourne, 33: 967-79, 1982.

MACEDO, W.; GONÇALVES, J.O.N.; BRASIL, N.E.T. Efeito de níveis de fósforo com e sem calcário em pastagens de gramíneas e leguminosas. In: MACEDO, W., coord. Pastagem: adubação e fertilidade do solo. São Paulo, EMBRAPA/ANDA, 1980. 123 p.

MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1981. 254 p.

MALAVOLTA, E.; HAAG, H.P.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; MELLO, F.A.F. Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas. São Paulo, Livraria Pioneira, 1974. 727 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; FORNASIERI FILHO, D.; GUIMARÃES, P.T.G.; GUILHERME, M.R.; EIMORI, I.; VASCONCELOS, L.A.C.B.; MORAES, C.L.; KAMISKY, J.; MUTTON, A.; CARVALHO, J.C.; RUY, V.M. Efeitos de doses e fontes de enxofre em culturas de interesse econômico. I. Capim colonião (*Panicum maximum* Jacq.). SN Boletim Técnico, São Paulo, 3: 9-22, 1984.

MCCLUNG, A.C.; FREITAS, L.M.M.; LOTT, W.L. Analysis of several Brazilian soils in relation of plant responses to sulfur. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 23(3):221-4, 1958.

MCCLUNG, A.C. & QUINN, L.R. Sulphur and phosphorus responses of Batatais grass (*Paspalum notatum*). IBEC Research Institute Bulletin, New York, 18, 1959. 13 p.

MC LACHLAN, K.D. Leaf acid phosphatase activity and the phosphorus status of field grown wheat. Australian Journal of Agricultural Research, Melbourne, 33:453-64, 1982.

MC LACHLAN, K.D. & DE MARCO, D.G. Acid phosphatase activity of intact roots and phosphorus nutrition in plants. Australian Journal of Agricultural Research, Melbourne, 33:1-11, 1982.

MERTZ, E.T. & MATSUMOTO, H. Further studies on the aminoacids and proteins of sulfur-deficient alfalfa. Archives of Biochemistry and Biophysics, New York, 63:50-63, 1956.

MEYER, R.D. & MARTIN, W.E. Plant analysis as a guide for fertilization of alfalfa. In: REISENAUER, H.M., ed. Soil and plant tissue testing in California. Berkeley, University of California, 1983. 55 p. (Bulletin, 1879)

MIKKELSEN, D.S. Diagnostic plant analysis for rice. In: REISENAUER, H.M., ed. Soil and plant tissue testing in California. Berkeley, University of California, 1983. 55 p. (Bulletin, 1829)

MONTEIRO, F.A. Nutrição mineral da centrosema, *Centrosema pubescens* Benth. Zootecnia, Nova Odessa, 15(1):37-56, 1977.

MONTEIRO, F.A. Efeitos da aplicação de micronutrientes e de níveis de calagem em quatro leguminosas forrageiras tropicais. Piracicaba, 1980. 146 p. [Mestrado – ESALQ]

MONTEIRO, F.A.; COLOZZA, M.T.; WERNER, J.C.; OLIVEIRA, J.B. Limitações de fertilidade em solos de seis localidades paulistas para o cultivo da soja perene. Zootecnia, Nova Odessa, 21(3):181-212, 1983 a.

MONTEIRO, F.A.; MALAVOLTA, E.; WERNER, J.C. Efeitos da aplicação de micronutrientes e de níveis de calagem em leguminosas forrageiras. II. Centrosema e galáxia cultivadas em vasos. Boletim de Indústria Animal, Nova Odessa, 40(1):127-48, 1983 b.

MONTEIRO, F.A.; WERNER, J.C.; FANCELLI, A.L.; SANTOS, M.A. dos. Efeitos da aplicação de quatro micronutrientes em centrosema cultivada em solos de Andradina e São José do Rio Preto. *Zootecnia*, Nova Odessa, 21(3):227-49, 1983 c.

MOSS, R.; RANDALL, P.J.; WRIGLEY, C.W. A simple test to detect sulfur deficiency in wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*, Melbourne, 33:443-52, 1982.

MOTT, G.O. Nutrient recycling in pastures. In: MAYS, D.A., ed. *Forage fertilization*. Madison, Soil Science Society of America, 1974. 621 p.

MULDER, E.R.; BOXMA, R.; VAN VEEN, W.L. The effect of molybdenum and nitrogen deficiencies on nitrate reduction in plant tissue. *Plant and Soil*, The Hague, 10(4):335-55, 1959.

NAZARIO, W. et alii Valores médios de minerais obtidos de diferentes espécies de forrageiras no período de 1976 a 1980 no Estado de São Paulo. *O Biológico*, São Paulo, 50(4):71-84, 1984.

NEME, N.A. & NERY, J.P. Influência de adubos minerais e do calcário na produção e composição química de leguminosas forrageiras perenes. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, São Paulo, 1965. Anais. v. 1. p. 665-70.

OLIVEIRA, A.J.; LOURENÇO, S.; GOEDERT, W.J. Adubação fosfatada no Brasil. Brasília, EMBRAPA, 1982. 326 p.

OZAKI, K. The detection of asparagine as a criterium for top dressing for rice in the field. In: REUTHER, W., ed. *Plant analysis and fertilizer problems*. Washington, American Institute of Biological Science, 1961. 454 p.

POLLARD, A.S.; PARR, A.J.; LOUGHMAN, B.C. Boron in relation to membrane function in higher plants. *Journal of Experimental Botany*, London, 28(105):831-41, 1977.

QUINN, L.R.; BISSCHOFF, G.O.; MOTT, G.O. Fertilização de pastos de capim colonião e produção de carne com novilhos zebu. *IBEC Research Institute Bulletin*, New York, 24, 1961. 37 p.

RAMIREZ MOREIRA, R.A. Levantamento dos índices de deficiência de cobre e fósforo nas pastagens da zona de engorda do município de São Pedro, Estado de São Paulo. Piracicaba, 1971. 68 p. [Mestrado – ESALQ]

ROBINSON, P.J. & JONES, R.K. The effect of phosphorus and sulphur fertilization on the growth and distribution of dry matter, nitrogen, phosphorus, and sulphur in Townsville stylo (*Stylosanthes humilis*). *Australian Journal of Agricultural Research*, Melbourne, 23:640, 1972.

SANTOS, H.L. dos; BRAGA, J.M.; RESENDE, M.; CHAVES, J.R.P. Efeito de zinco, boro, molibdênio e calagem na produção de soja perene (*Glycine javanica* L.) cultivada em solos de cerrado, em condições de casa de vegetação. *Revista Ceres*, Viçosa, 27(150):99-111, 1980.

SARIC, M.R. Genetic specificity of mineral nutrition of plants. Belgrado, Serbian Academy of Sciences and Arts, 1982. 386 p.

SAVASTANO, S.A.A.L.; MATTOS, H.B.; MONTEIRO, F.A. Nutrição mineral de cinco estilosas cultivadas em um solo de cerrado paulista. I. Produção de matéria seca, nitrogênio total e nodulação. *Boletim de Indústria Animal*, Nova Odessa, 39(1):43-54, 1982.

SMITH, P.W. Role of plant chemistry in the diagnosis of nutrient disorders in tropical legumes. In: ANDREW, C.S. & KAMPRATH, E.J., ed. *Mineral nutrition of legumes in tropical and subtropical soils*. Melbourne, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, 1978. 415 p.

SNIR, I. Carbonic anhydrase activity as an indicator of zinc deficiency in pocan leaves. *Plant and Soil*, The Hague, 74: 287-9, 1983.

SOUTO, S.M. & DÖBEREINER, J. Toxidez de manganês em leguminosas forrageiras tropicais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Rio de Janeiro, 4:129-38, 1969.

SOUTO, S.M. & FRANCO, A.A. Sintomatologia de deficiência de macronutrientes em *Centrosema pubescens* e *Phaseolus atropurpureus*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Série Zootecnia, Rio de Janeiro, 7:23-7, 1972.

SOUSA, J.C. de; CONRAD, J.H.; BLUE, W.G.; McDOWELL, L.R. Inter-relações entre minerais no solo, plantas forrageiras e tecido animal. 1. Cálcio e fósforo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 14(4):387-95, 1979.

SOUSA, J.C. de; CONRAD, J.H.; McDowell, L.R.; AMMERMAN, C.B.; BLUE, W.G. Inter-relações entre minerais no solo, forrageiras e tecido animal. 2. Cobre e molibdênio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 15(3):335-41, 1980.

SOUSA, J.C. de; CONRAD, J.H.; BLUE, W.G.; AMMERMAN, C.B.; McDowell, L.R. Inter-relações entre minerais no solo, plantas forrageiras e tecido animal. 3. Manganês, ferro e cobalto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 16(5):739-46, 1981.

SOUSA, J.C. de; CONRAD, J.H.; MOTT, G.O.; McDowell, L.R.; AMMERMAN, C.B.; BLUE, W.G. Inter-relações entre minerais no solo, plantas forrageiras e tecido animal no norte de Mato Grosso. 4. Zinco, magnésio, sódio e potássio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 17(1):11-20, 1982.

SOUSA, G.F. Adubação de plantas forrageiras. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM FERTILIDADE DO SOLO, Londrina, 1983. IAPAR, 230 p.

SUMNER, M.E. Use of the DRIS system in foliar diagnosis of crops at high yield levels. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, 8: 251-68, 1977.

TOKARNIA, H.C.; CANELA, C.F.C.; DÖBEREINER, J. Deficiência de cobre em bovinos no delta do Rio Parnaíba, nos Estados do Piauí e Maranhão. *Arquivos do Instituto de Biologia Animal*, Rio de Janeiro, 3:25-37, 1960.

VAN RAIJ, B.; BATAGLIA, O.C.; SILVA, N.M. da. Acidez e calagem no Brasil. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983.

VILLARES, J.B. & SILVA, H.M.T. Contribuição para o estudo das carências minerais em bovinos no Estado de São Paulo. I. Levantamento do índice de fósforo no sangue de vacas Guzerá na F.E.S. *Boletim de Indústria Animal*, n.s. Nova Odessa, 15:5-22, 1956.

WAGNER, R.E. & JONES, M.B. Fertilization of high yielding forage crops. In: NELSON, L.B. et alii, ed. *Changing patterns of fertilizer use.* Madison, Soil Science Society of America, 1968. 466 p.

WERNER, J.C. & MATTOS, H.B. Estudos de nutrição da centrosema, *Centrosema pubescens* Benth. *Boletim de Indústria Animal*, n.s. São Paulo, 29(2):375-91, 1972.

WERNER, J.C. & MATTOS, H.B. Ensaio de fertilização com quatro micronutrientes em *Centrosema pubescens*, Benth. *Boletim de Indústria Animal*, Nova Odessa, n.s. 32(1): 123-35, 1975.

WERNER, J.C.; MONTEIRO, F.A.; MEIRELLES, N.M.F. Efeito das adubações com fósforo, potássio e molibdênio mais cobre na consorciação de capim gordura com centrosema. *Zootecnia*, Nova Odessa, 21(2):109-34, 1983.

WILKINSON, S.R. & LOWREY, R.W. Cycling of mineral nutrients in pasture ecosystems. In: BUTLER, G.W. & BAILEY, R.W., ed. *Chemistry and biochemistry of herbage.* v. 2. London, Academic Press, 1973. 455 p.