

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

DINÂMICA DOS ELEMENTOS QUÍMICOS E FERTILIDADE DOS SOLOS

Por
Dr. Jean L. Boyer

EDITADO POR
DR. ILSON G. CARVALHO
(CPGG/UFBA)

1985

DINAMICA DOS ELEMENTOS QUIMICOS E FERTILIDADE DOS SOLOS

por

Dr. Jean L. Boyer

Office de la Recherche Scientifique et
Technique d'Outre-Mer (ORSTOM).
Curso de Pós-Graduação em Geociências
(CPGG/UFBA).

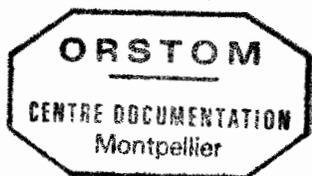
Editado por

Dr. Ilson Guimarães Carvalho

Curso de Pós-Graduação em Geociências
(CPGG), Departamento de Geoquímica do
Instituto de Geociências da UFBA.

VOLUME COMEMORATIVO DO 15º ANIVERSÁRIO DO CPGG/UFBA

*Salvador-Bahia
Setembro/1985.*



068
PEDAPP
BOY

H2000 56378
3 ex FD1
Non Num
F24291

FICHA CARTOGRÁFICA

BOYER, JEAN L., 1923

Dinâmica dos Elementos Químicos e Fertilidade dos Solos. Primeira edição. Editado por Dr. Ilson Guimarães Carvalho - Instituto de Geociências da UFBA - Departamento de Geoquímica - Curso de Pós-Graduação em Geociências - Em comemoração aos 15 anos do Curso de Pós-Graduação em Geociências da UFBA, 328 pág., *ilus.*

Publicado sob os auspícios da Secretaria da Agricultura do Estado da Bahia, 1985.

DINAMICA DOS ELEMENTOS QUIMICOS E FERTILIDADE DOS SOLOS

por

Dr. Jean L. Boyer

Professor do Curso de Pós-Graduação em Geociências (CPGG) do Departamento de Geoquímica do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia - Convênio UFBA/CNPq/ORSTOM.

Editado por

Dr. Ilson Guimarães Carvalho

Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Geociências (CPGG) do Departamento de Geoquímica do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia.

Sob auspícios do

Curso de Pós-Graduação em Geociências da UFBA e da Secretaria da Agricultura do Estado da Bahia.

PREFÁCIO

O estudo da dinâmica dos elementos químicos no solo tem sido objeto das muitas pesquisas que têm contribuído significativamente no desenvolvimento de vários setores das Ciências da Terra, dentre as quais a Prospecção Geoquímica, a Geoquímica de Superfície, as Ciências do Meio Ambiente, a Pedologia e as Ciências Agrárias. Em relação a esses dois últimos, a importância do conhecimento da dinâmica dos elementos químicos provém, sobretudo, da necessidade de solucionar os vários problemas relacionados à fertilidade dos solos. Por essa razão, o Curso de Pós-Graduação em Geociências (CPGG) da Universidade Federal da Bahia tem no seu currículo, na ordem de preparar geoquímicos, geomorfólogos e pedólogos, a disciplina "GEO 595 Dinâmica dos Elementos Químicos e Fertilidade dos Solos", e ninguém melhor do que o Prof. Dr. Jean Louis Boyer, teria o gabarito de ministrá-la, se responsabilizando pela mesma desde 1969 junto ao corpo docente do CPGG/UFBA. Este livro é o resultado da compilação, em 17 capítulos, de suas notas de classe e aqui é documentado o seu nível de conhecimento e de competência. A presente edição, como parte comemorativa do 15º Aniversário do Curso de Pós-Graduação em Geociências (CPGG), é uma tentativa de estimular as pesquisas e o ensino do assunto em pauta junto à comunidade de profissionais, Institutos e Universidades e mesmo Centro de Pesquisas onde as facilidades para seus desenvolvimentos são precárias.

O Curso de Pós-Graduação em Geociências (CPGG) tem muito que agradecer a todos que com o trabalho e a competência, como aqueles que lhe foram dedicados pelo Prof. Boyer, contribuíram para a sua criação e seu desenvolvimento sob as coordenações sucessivas da Dra. Tereza Cardoso da Silva, Prof.^a Adelaide Mussi Santos, Dr. Sylvio de Queirós Mattoso e, a partir de 1983, sob minha responsabilidade. Em particular agrade

ço a colaboração do Sr. Secretário da Agricultura, Dr. Fernando Cincurá de Andrade pela contribuição prestada para a impresão gráfica do texto e a Itanajara José Muniz da Silva pelo serviço de datilografia.

Salvador, Bahia, 20 de setembro de 1985.

Ilson Guimarães Carvalho
Coordenador do CPGG/UFBA.

AGRADECIMENTOS

O autor expressa seus agradecimentos aos professores Célia P. Motti, Joaquim J. de Oliveira, Lucedino P. Ribeiro, Maria Auxiliadora da Silva, Sonia de O. Leão, Maria do Carmo B. de Almeida e Maria R. C. de Oliveira pela revisão da ortografia dos manuscritos e, em particular, ao Prof. Ilson Guimarães Carvalho, Coordenador do CPGG, pela revisão geral e edição do texto.

ÍNDICE

	Pág.
PREFÁCIO -----	1
AGRADECIMENTOS -----	iii
CAPÍTULO I - SOLO ÚTIL - PROFUNDIDADE EFETIVA DO SOLO	
I.1. Profundidade dos solos -----	1
I.2. Acidentes no perfil que limitam a profundidade do solo útil -----	1
I.2.1. Adensamento ou capacidade do horizonte B	2
I.2.2. Presença de um horizonte de gley ou pseu do-gley a pouca profundidade -----	5
I.2.3. Presença de couraça ou carapaça ferrugino sa ou de crosta calcárea -----	6
I.2.4. Presença de um nível pedregoso ("Pissarra") ou Nível de Cascalhos -----	6
I.3. Barreira Química -----	8
I.4. Conclusão -----	9
CAPÍTULO II - COMPONENTES GROSSEIROS E TEXTURA	
II.1. Elementos de grã grossa -----	10
II.1.1. Definição -----	10
II.1.2. Escalas de limitação agrícola devido aos componentes grossos -----	11
II.2. Textura -----	11
II.2.1. Definição -----	11
II.2.2. Generalidades - Textura e Plantas Culti vadas -----	13

II.2.3. Propriedades do solo ligadas a textura	19
--	----

CAPÍTULO III - ESTRUTURA E ESTABILIDADE ESTRUTURAL

III.1. Generalidades, índice de avaliação da estrutura -----	22
III.1.1. Método americano -----	22
III.1.2. Instabilidade estrutural -----	23
III.1.3. Índice de estrutura de Dabin -----	24
III.1.4. Índice I do estado estrutural de Henin -----	25
III.2. Fatores da estrutura -----	26
III.2.1. Cálcio -----	26
III.2.2. Ferro -----	26
III.2.3. Matéria orgânica -----	27
III.3. As duas fases da agregação -----	28
III.3.1. Agregação temporária -----	28
III.3.2. Agregação estável -----	28
III.4. Variação da estrutura -----	29
III.4.1. Variação sazonal -----	29
III.4.2. Variações provocadas pelo trabalho do solo -----	30
III.4.3. Consequências do enfraquecimento da estrutura pelo trabalho do solo -----	31
III.5. Melhoramento da estrutura -----	32
III.5.1. Trabalho do solo com arado -----	32
III.5.2. Matéria orgânica -----	34
III.5.3. Cereais e ervas das pastagens -----	35
III.5.4. Estrume de corte -----	35
III.5.5. Pousio -----	36

CAPÍTULO IV - CARACTERÍSTICA E VALORES FÍSICOS

IV.1. Generalidade -----	38
IV.1.1. Porosidade e compactidade -----	38
IV.1.2. Alguns valores físicos dos solos -----	39
IV.2. Porosidade total -----	41
IV.2.1. Porosidade total -----	41
IV.2.2. Macroporosidade -----	41
IV.2.3. Microporosidade para a água útil -----	41
IV.2.4. Microporosidade fechada -----	42
IV.2.5. Microporosidade total -----	42
IV.3. Fatores da porosidade -----	42
IV.4. Escalas de fertilidade para a porosidade total	42
IV.5. Variação da porosidade em função do trabalho do solo -----	44
IV.5.1. Diminuição da porosidade pelo trabalho do solo -----	44
IV.5.2. Diminuição geral da porosidade pelo trabalho do solo -----	44
IV.5.3. Aumento passageiro e rápido da porosidade pelo trabalho do solo -----	45
IV.5.4. Aumento da porosidade do solo a longo prazo -----	47

CAPÍTULO V - CARACTERÍSTICAS HÍDRICAS

V.1. Generalidades -----	49
V.1.1. Ponto de murchamento -----	49
V.1.2. Capacidade no campo -----	50
V.1.3. Água útil ou água disponível -----	54
V.2. Permeabilidade -----	58
V.2.1. Definição -----	58

V.2.2. Escala de permeabilidade -----	59
V.2.3. Fatores de permeabilidade -----	59
V.2.4. Variações da permeabilidade -----	60
V.3. Drenagem -----	61
V.3.1. Definição -----	61
V.3.2. Intensidade da drenagem num solo de floresta equatorial -----	63
 CAPÍTULO VI - ORIGEM DOS ELEMENTOS QUÍMICOS ÚTEIS AS PLANTAS	
VI.1. Generalidades -----	64
VI.2. Rocha mãe -----	64
VI.2.1. Importância da rocha mãe -----	64
VI.2.2. Atuação do intemperismo -----	65
VI.2.3. Fatores que atuam em sentido contrário do intemperismo -----	67
VI.2.4. Elementos que provêm unicamente ou em maior parte da rocha mãe -----	68
VI.2.5. Dois exemplos mostrando a importância dos fenômenos relatados anteriormente -----	69
VI.3. Vegetação -----	70
VI.3.1. Aporte pela vegetação de elementos químicos do solo -----	70
VI.3.2. Permanência dos elementos químicos no solo -----	74
VI.4. Atmosfera -----	76
VI.4.1. Nitrogênio -----	77
VI.4.2. Enxofre -----	82
VI.4.3. Cloro -----	82
VI.4.4. Bases metais alcalinos e alcalinos terrosos -----	83
 CAPÍTULO VII - NITROGÊNIO	
VII.1. Formas do nitrogênio do solo -----	86
VII.2. Dinâmica do nitrogênio -----	87
VII.2.1. Mineralização da matéria orgânica -----	87
VII.2.2. Amonificação -----	87

	Pág.
VII.2.3. Nitrificação -----	90
VII.2.4. Perdas de nitrogênio nos solos -----	91
VII.2.5. Problemas decorrentes da susceptibilidade dos nitratos à lixiviação -----	95
VII.2.6. A mineralização do humus do solo cultiva- do depois do desmatamento -----	98
VII.2.7. Enriquecimento do solo em nitrogênio pe- las coberturas vivas -----	100
VII.3. Teores de nitrogênio compatíveis com bons rendimen- tos das culturas -----	100
VII.3.1. Generalidades -----	100
VII.3.2. Escalas de fertilidade com nitrogênio ---	102
VII.4. Uso dos fertilizantes nitrogenados nos solos tropi- cais cultivados -----	105
VII.4.1. Rendimento das culturas e fertilizantes ni- trogenados -----	105
VII.4.2. Principais adubos nitrogenados -----	107
VII.4.3. Uso dos adubos nitrogenados -----	108
VII.4.4. Acidificação do solo causada pelos adubos nitrogenados e sua prevenção -----	109
 CAPÍTULO VIII - FÓSFORO	
VIII.1. Formas úteis às plantas -----	112
VIII.1.1. Generalidades: definição das formas ---	112
VIII.1.2. Avaliação e assimilabilidade das formas do fósforo segundo Chang e Jackson (1957) -----	113
VIII.2. Dinâmica do fósforo nos solos -----	116
VIII.2.1. Fraca lixiviação do fósforo -----	116
VIII.2.2. Retrogradação do fósforo pelo solo ----	120
VIII.2.3. Reversibilidade da retrogradação -----	124
VIII.3. Avaliação do fósforo aproveitável do solo -----	126
VIII.3.1. Análise do P ₂ O ₅ total -----	126
VIII.3.2. Análise do fósforo solúvel em reagentes alcalinos -----	127
VIII.3.3. Análise do fósforo solúvel em ácidos di- luidos -----	128

VIII.3.4. Métodos mistos -----	129
VIII.3.5. Método isotópico -----	132
VIII.3.6. Fósforo extraído pelas resinas aniônicas	134
VIII.3.7. Fósforo solúvel na água -----	134
VIII.3.8. Potencial fósforico do solo -----	134
VIII.3.9. Conclusão sobre as análises determinan- do o fósforo suposto aproveitável pelas plantas. Fatores de Larsen (1967) -----	135
VIII.4. Adubos fosfatados -----	136
VIII.4.1. Principais adubos -----	136
VIII.4.2. Eficiência das diferentes formas de fer- tilizantes fosfatados -----	139
 CAPÍTULO IX - ENXOFRE	
IX.1. Generalidades - Formas -----	142
IX.2. Dinâmica do enxofre -----	142
IX.2.1. Incorporação do enxofre à matéria orgânica do solo -----	143
IX.2.2. Liberação do enxofre à partir da matéria or- gânica -----	143
IX.2.3. Retenção dos sulfatos pelos colóides do so- lo -----	144
IX.2.4. Lixiviação dos sulfatos do solo -----	145
IX.3. Teores de enxofre nos solos -----	147
IX.3.1. Enxofre total (S-total) -----	147
IX.3.2. Enxofre dos sulfatos (S dos sulfatos ou S- (SO ₄) -----	148
IX.3.3. Relação S-Total/S-(SO ₄) -----	148
IX.4. Adubos com enxofre -----	149
IX.4.1. Adubos onde o enxofre está combinado com ou- tro fertilizante -----	149
IX.4.2. Acidificação do solo pelos adubos com enxofre -----	150
IX.5. Conclusão: "Enxofre, o macronutriente esquecido" --	151

CAPÍTULO X - POTÁSSIO

X.1. Generalidades - Formas -----	154
X.1.1. Introdução -----	154
X.1.2. Formas de potássio do solo -----	155
X.1.3. Intensidade da fixação do potássio trocável sobre o complexo sortivo do solo -----	156
X.1.4. Cátions competidores do potássio trocável ---	159
X.2. Dinâmica do potássio trocável -----	160
X.2.1. Retrogradação do potássio -----	160
X.2.2. Recuperação do K trocável depois do esgotamen to -----	163
X.2.3. Poder de recuperação do solo para o K trocável	165
X.2.4. Lixiviação do potássio -----	167
X.2.5. Alguns meios de reduzir as perdas de potássio pela lixiviação -----	169
X.3. Teores de potássio trocável compatíveis com bons ren dimentos das plantas cultivadas -----	171
X.3.1. Limite de carência -----	171
X.3.2. Limite de deficiência (L) ou de não-resposta aos adubos -----	172
X.3.3. Validade dos limites de carência e de deficiên cia -----	174
X.3.4. Escalas de fertilidade para o potássio -----	176
X.4. Adubos potássicos -----	176
X.4.1. Formas -----	176
CAPÍTULO XI - CÁLCIO-MAGNÉSIO: SOMA DAS BASES TROCÁVEIS	
XI.1. Generalidades -----	179
XI.1.1. Para as plantas -----	179
XI.1.2. Nos solos -----	180
XI.2. Dinâmica do cálcio e do magnésio trocáveis e lábis	181
XI.2.1. Lixiviação do cálcio e do magnésio -----	182
XI.2.2. Concentração de calcários nos horizontes su perficiais do solo -----	187

XI.3. Teores de cálcio e magnésio úteis para as plantas -	
Soma das bases trocáveis -----	188
XI.3.1. Magnésio -----	188
XI.3.2. Cálcio -----	190
XI.3.3. Escalas de fertilidade -----	192
XI.4. Adubos e corretivos cálcicos, magnesianos e cálcio-	
magnesianos -----	195
XI.4.1. Adubos magnesianos -----	195
XI.4.2. Compostos fosfatados de cálcio e magnésio	196
XI.4.3. Carbonatos naturais -----	197
XI.4.4. Cal calcárea e cal dolomítica -----	198

CAPÍTULO XII - SILÍCIO, FERRO, ALUMÍNIO TROCÁVEL

XII.1. Generalidades -----	199
XII.1.1. Silício -----	199
XII.1.2. Ferro -----	199
XII.1.3. Alumínio -----	200
XII.2. Silício -----	200
XII.2.1. Origem e formas -----	200
XII.2.2. Papel na pedogênese -----	201
XII.2.3. Papel na fisiologia das plantas -----	202
XII.3. Ferro -----	202
XII.3.1. Origem e formas -----	202
XII.3.2. Excesso e carência em ferro -----	203
XII.4. Alumínio -----	204
XII.4.1. Origem e formas -----	204
XII.5. Alumínio trocável -----	207
XII.5.1. Aparecimento do alumínio trocável nos <u>so</u>	
<u>los</u> -----	207
XII.5.2. Poder tampão do alumínio trocável -----	209
XII.5.3. Inconvenientes do alumínio trocável -----	210
XII.5.4. Teores de alumínio trocável no solo e as	
plantas cultivadas -----	211
XII.5.5. Neutralização do alumínio trocável -----	214

CAPÍTULO XIII - SÓDIO

XIII.1. Origem - Formas -----	219
XIII.1.1. Origem do sódio dos solos -----	219
XIII.1.2. A forma do sódio nos solos -----	220
XIII.1.3. Inconvenientes do sódio para as plantas	221
XIII.2. Dinâmica -----	221
XIII.2.1. Mobilidade do sódio nos solos -----	221
XIII.2.2. Concentração do sódio nos solos -----	222
XIII.3. Teores de sódio -----	222
XIII.3.1. Solos alcalino-sódicos (Solonetz) -----	223
XIII.3.2. Solos salinos (Solontschak) -----	224
XIII.4. Recuperação dos solos com sódio -----	225
XIII.4.1. Solos com sais solúveis ("Solontchaks", solos salinos) -----	225
XIII.4.2. Solos alcalinos (Solonetz, solos salga- dos tipo alcalino-sódicos) -----	226
XIII.4.3. Solos de mangues -----	227
XIII.4.4. Necessidade de uma rede de drenagem ---	227
XIII.5. O perigo de salinizar os solos numa irrigação ---	228

CAPÍTULO XIV - ELEMENTOS TRAÇOS: BORO-COBRE-MANGANÊS-MOLIB
DÊNIO-ZINCO-CLORO

XIV.1. Generalidades, carências e toxidades -----	231
XIV.1.1. Definição -----	231
XIV.1.2. Importância dos elementos-traços para a fisiologia das plantas -----	232
XIV.1.3. Principais carências -----	233
XIV.1.4. Toxidades -----	
XIV.2. Dinâmica dos elementos-traços -----	235
XIV.2.1. Importância do pH -----	235
XIV.2.2. A matéria orgânica -----	238
XIV.2.3. Os colóides do solo -----	238
XIV.3. Teores de elementos-traços no solo -----	239
XIV.3.1. Características principais -----	239
XIV.3.2. Teores críticos de carência -----	239

XIV.3.3. Teores críticos de toxidez -----	241
XIV.4. Um caso particular: O Cloro -----	242
CAPÍTULO XV - EQUILÍBRIOS ENTRE ELEMENTOS QUÍMICOS DO SO LO: ANTAGONISMOS-SINERGIAS-INTERAÇÕES	
XV.1. Definição -----	243
XV.2. Equilíbrios entre ânions maiores -----	245
XV.2.1. Equilíbrio carbono-nitrogênio -----	245
XV.2.2. Equilíbrio nitrogênio-fósforo -----	245
XV.2.3. Equilíbrio nitrogênio-enxofre -----	247
XV.3. Equilíbrios entre cátions maiores -----	248
XV.3.1. Antagonismos cálcio-magnésio -----	248
XV.3.2. Antagonismos potássio-magnésio -----	249
XV.3.3. Antagonismos cálcio-potássio e relação (Ca+ Mg)/K -----	251
XV.3.4. Balanço catiônico nos solos -----	252
XV.4. Equilíbrios entre cátions e ânions maiores -----	254
XV.4.1. Sinergia indireta Ca-P -----	254
XV.4.2. Sinergia Mg-P -----	254
XV.5. Equilíbrios entre cátions ou ânions maiores e ele mentos traços -----	255
XV.5.1. Papel do pH sobre a assimilabilidade dos ele mentos traços -----	255
XV.5.2. Antagonismo Ca-Al -----	255
XV.5.3. Antagonismo P-Al -----	255
XV.5.4. Sinergia P-Si -----	256
XV.5.5. Antagonismos Ca-Mg e Mg-Mn -----	257
XV.5.6. Sinergia Ca-Mo -----	257
XV.5.7. Sinergia K-Fe -----	257
XV.5.8. Sinergia P-Mn -----	258
XV.5.9. Antagonismo K-B -----	259
XV.5.10. Antagonismo P-Zn -----	259
XV.5.11. Antagonismo K-Zn e Sinergia Mg-Zn -----	260

	Pág.
XV.6. Equilíbrios entre elementos-traços -----	260
XV.6.1. Sinergia Al-Mn e antagonismo Al-Cu -----	260
XV.6.2. Antagonismo ou sinergia Fe-Mn -----	260
XV.6.3. Antagonismo Mo-Mn -----	261
XV.6.4. Antagonismo Zn-Cu-Fe -----	261
XV.6.5. Antagonismo Zn-As -----	262
CAPÍTULO XVI - CALAGEM ?	
XVI.1. Generalidades -----	263
XVI.1.1. Finalidade -----	263
XVI.1.2. Vantagens da calagem -----	263
XVI.1.3. Inconvenientes possíveis da calagem --	265
XVI.2. Necessidade da calagem -----	266
XVI.2.1. Tipo de cultura -----	268
XVI.2.2. pH do solo e calagem -----	268
XVI.3. Uso da calagem -----	270
XVI.3.1. Fornecimento de elementos (Mg, Ca) ao solo -----	270
XVI.3.2. Neutralização do alumínio trocável ---	270
XVI.3.3. Obtenção de um pH predeterminado ----	272
XVI.4. Os tipos de corretivos -----	274
XVI.4.1. Corretivos magnesianos -----	274
XVI.4.2. Gesso $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ -----	275
XVI.4.3. Compostos fosfatados com cálcio -----	275
XVI.4.4. Carbonatos: calcários e dolomitos ----	276
XVI.4.5. Cal calcárea e cal dolomítica -----	276
CAPÍTULO XVII - EXEMPLOS DE CÁLCULOS	
XVII.1. Generalidades -----	278
XVII.2. Neutralização do alumínio trocável -----	279

	Pág.
XVII.3. Correção e adubação de um jovem plantio de <u>den</u> dezeiros -----	282
XVII.3.1. Eliminação do alumínio trocável ----	283
XVII.3.2. Relação Mg/K -----	284
XVII.3.3. Relação (Ca+Mg)/K -----	285
XVII.3.4. Recapitulação -----	285
XVII.3.5. Verificação -----	286
XVII.4. Conclusão -----	287
BIBLIOGRAFIA CITADA E RECOMENDADA PELO AUTOR -----	289

CAPÍTULO I

SOLO ÚTIL PROFUNDIDADE EFETIVA DO SOLO

I.1. PROFUNDIDADE DOS SOLOS

Consideramos por profundidade efetiva de um solo, aquela profundidade que as raízes podem atingir e não a espessura do conjunto pedológico dos horizontes A, B e C. Desde que a profundidade que as raízes podem atingir delimita o so útil, este corresponde também a profundidade útil efetiva do solo para as plantas cultivadas.

Nas regiões secas onde o perfil do solo (conjunto dos horizontes A, B e C) é, muitas vezes, pouco espesso, a parte superior da rocha mãe pode ser incluída como solo útil, desde que ela esteja bastante desagregada ou seja de natureza pouco ou não consolidada (arenito, folhelho, marga, etc.).

Nas regiões úmidas, por exemplo nos solos ferralíticos da classificação francesa, que correspondem ao ultissolo e oxissolo da classificação americana e aos solos podzólicos e latossolos da classificação brasileira, o perfil pedológico tem uma espessura bastante acentuada, pelo menos 80cm a 1m, e muitas vezes pode atingir até 20 a 30 metros. O solo útil pode então não corresponder ao perfil pedológico principalmente por causa de certos fatores, conforme discutiremos a seguir.

I.2. ACIDENTES NO PERFIL QUE LIMITAM A PROFUNDIDADE DO SOLO ÚTIL

Existem acidentes de natureza física que impedem a penetração em profundidade das raízes ou, pelo menos, a difícultam. Os mais comuns são:

I.2.1. Adensamento ou Capacidade do Horizonte B

a) Latossolos e Solos Podzólicos

Muitas vezes um subhorizonte superficial, geralmente o subhorizonte B_1 , torna-se mais denso do que os horizontes que estão acima e abaixo dele, a tal ponto que as raízes podem ter certas dificuldades para atravessá-lo. Isso acontece com frequência nos latossolos e solos podzólicos da África, e provoca, onde existe o adensamento, a curvatura da raiz principal do algodoeiro (Costa do Marfim e República Centroafricana) e o enraizamento superficial demasiado de todas as plantas (Fig. I.1).

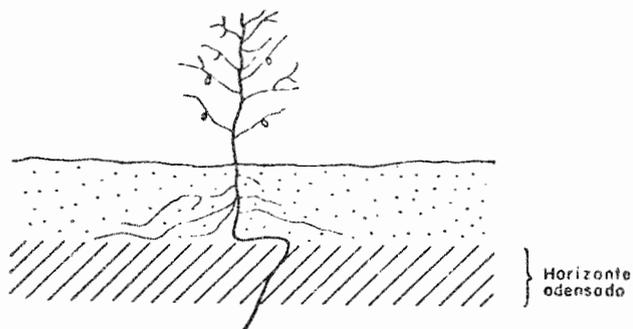


Fig.I.1 No horizonte mais denso, a raiz principal do algodão se curva no sentido horizontal até encontrar um lugar menos denso.

O horizonte B_1 dos Solos de Tabuleiro no Estado da Bahia tem, em certos lugares, um índice de estrutura (I_s) igual a 1,8, apesar do horizonte A apresentar I_s de 0,30 a 0,60 e o horizonte B_2 um I_s de 1,0. Este adensamento do horizonte B dificulta a penetração das raízes (Fig. I.2). (VOLKOFF, 1975).

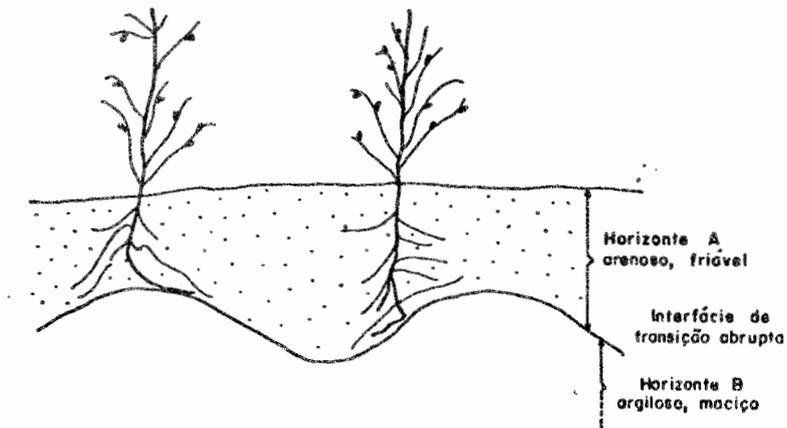


Fig.I.2 Num planossol, as raízes tem muitas dificuldades a penetrar no horizonte B.

Na Guiana Francesa e, possivelmente, em áreas vizinhas da Amazônia é o conjunto do horizonte B de certos solos sobre xistos e granitos que, devido ao elevado I_g , faz com que as raízes das árvores não possam penetrá-lo; a falta de porosidade condicionada pelo adensamento provoca a impermeabilidade à água da chuva - daí uma drenagem oblíqua subsuperficial nos primeiros quarenta centímetros da parte superior dos solos (HUMBELL, 1978).

O mesmo fenômeno foi observado em certos solos (alfissolos) de uma encosta cultivado com cacauzeiro, perto de Itabuna - Estado da Bahia, onde o conjunto dos horizontes B_2 se torna denso a tal ponto que origina uma intensa drenagem oblíqua; muito embora, e felizmente, a intensidade deste fenômeno seja, aqui, bem menor do que como é descrito para a Guiana, pois uma parte da água consegue entrar e molhar estes horizontes e, não sem algumas dificuldades, a raiz principal do

cacaueiro também consegue penetrá-los (LEITE, comunicação pessoal).

O adensamento se verifica sobretudo nos solos ácidos desenvolvido sob climas com estações bem diferenciadas. É bem possível que o tipo de humus (rico em ácidos fúlvicos) e o alumínio trocável tenham uma certa participação que é, até o momento, pouco conhecida.

Quando se faz levantamento dos solos, é muito difícil reconhecer, no campo, horizontes "adensados". Não se vê bem eles nos perfis, precisa-se esperar alguns dias de seca para distingui-los quando cavados nos solos não desmoronados. Porém, mais tarde, as lavouras podem favorecer um forte aumento do adensamento até impedir a penetração das raízes (formação de uma soleira).

b) Solos Brunos não Cálcicos, Planossolos

Sob o título acima consideramos o solo ferruginoso tropical da classificação francesa e alguns alfissolos e inceptissolos da classificação americana. Muitas vezes estes solos têm um horizonte A arenoso (ou areno-argiloso) e um horizonte B argiloso, com uma transição clara ou sobretudo abrupta.

As raízes têm dificuldades em penetrar no horizonte B. Como consequência, elas podem se encurvar tomar sentido horizontal. (Fig. I.2).

c) Solonetz, Solonetz Solodizados

Uma das características desses tipos de solos é a de possuírem um horizonte A, arenoso, lixiviado, e um horizonte B, mais argiloso, com uma estrutura maciça de tipo colunar. (Fig. I.3).

No Brasil, estes solos são sobretudo aproveitados com o cultivo do capim para a pastagem extensiva; em geral as raízes das ervas ficam na superfície do horizonte A e não penetram no B.

Em certas regiões do Chade e ao norte dos Camarões, os camponeses decapam e amontoam o horizonte A para fazer pequenas elevações para o cultivo do milho e do amendoim.

Na maioria dos casos, a presença do sódio, muito frequente no horizonte B, não permite o aprofundamento do solo quebrando o topo das colunetas com arado ou subsolador.

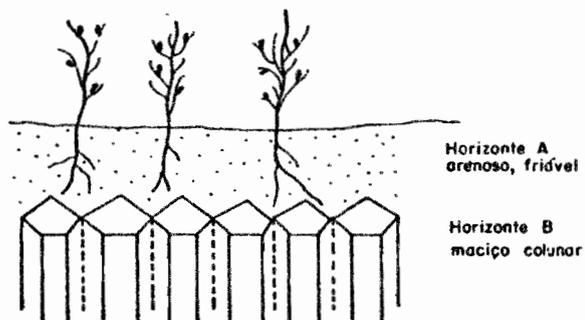


Fig.1.3 Num solonetz as raízes praticamente não penetram no horizonte B.

I.2.2. Presença de um Horizonte de Gley ou Pseudo-Gley a Pouca Profundidade

Este horizonte se apresenta manchado de cor variada. Ele pode ocorrer nos solos podzólicos; pois é muito comum dentre outras regiões na Costa do Marfim, na África Central, na Amazônia. Geralmente, nesse tipo de solo, o horizonte de gley se encontra a uma profundidade superior a 50 centímetros. Entretanto, ao se localizar em superfície, ou bem próximo dela, este horizonte hidromórfico prejudica o enraizamento das

plantas que não aguentam o encharcamento pela água. Ao contrário ele favorece a cultura do arroz.

I.2.3. Presença de Couraça ou Carapaça Ferruginosa ou de Crosta Calcárea

Quando ocorrem pequena profundidade, esses acidentes tornam o solo inutilizável.

I.2.4. Presença de um Nível Pedregoso ("Pissarra") ou Nível de Cascalhos

a) Definição

Nos solos tropicais, os cascalhos são geralmente ferruginosos, mas, as vezes e em certos solos, eles se misturam com cascalhos quartzosos e, mais raramente, níveis de cascalhos de quartzo puro podem existir.

Na maioria dos casos, eles formam uma camada, mais ou menos espessa, homogênea e densa, na parte superior dos perfis dos solos podzólicos. Esta camada é chamada de "pissarra" no Brasil ("stone-line" em inglês, "nappe de gravats" em francês).

Presente nos solos da África Central e Ocidental com bastante frequência, a pissarra, rara nos solos de tabuleiros, existem também no Brasil (oeste da Bahia, região de Brasília, Goiás, Acre, Bacia Amazônica, etc.).

b) Condições de Uso de um Solo com Nível Pedregoso ("pissarra")

Os cascalhos, quando numerosos e densos, podem prejudicar e até mesmo impedir o enraizamento das plantas. Por exemplo, para a cana-de-açúcar cultivada na Ilha de Formosa (Extremo Oriente), para o volume de cascalho no solo, foi observado que:

- para menos de 50%, o enraizamento é normal;
- 50 a 80%, o enraizamento é dificultado;
- para cima de 80%, o enraizamento é impossível.

Convém observar que, naturalmente, os resultados acima são válidos só para os 50 a 80 primeiros centímetros do solo porque, situada a uma profundidade maior, a pizarra não prejudica o enraizamento.

De modo geral se considera que os cascalhos não prejudicam o enraizamento das plantas cultivadas ao se observarem as três condições seguintes; as quais, de per si, agem independentemente:

- a espessura da camada de cascalhos não ultrapassa 20-25 centímetros;
- a quantidade de cascalhos não ultrapassa 50% do peso do solo ou 75% do seu volume qualquer que seja a espessura da camada;
- quando o nível superior da camada de cascalhos se situar a uma profundidade:
 - . superior a 25cm, para plantas anuais (cíclicas);
 - . superior a 50cm, para algodão;
 - . superior a 80cm, para plantas perenes.

Naturalmente tudo isso não passa de um esquema muito simples que serve somente para fornecer uma ordem de grandeza e fixar as idéias. Na prática, o pedólogo deve levar em conta, ao mesmo tempo, as características de clima e de composição física do solo (subitens c, d e e, a seguir).

a) Clima

Quando semiárido ou úmido, porém com períodos de estiagem (2 a 4 semanas), o pedólogo tem que ser mais restrito na interpretação das três condições previamente analisadas, por exemplo, em um clima seco:

- 20cm de espessura, no máximo, para "pissarra";
- quantidade de cascalhos nunca superior ao peso total do solo;
- profundidade do nível superior da camada de cascalhos sempre a 35-40cm para plantas anuais, e 90-100cm, para plantas perenes.

d) Natureza dos Cascalhos

As três condições foram estabelecidas a partir de cascalhos ferruginosos. No caso de cascalhos quartzosos, seria necessário modificar um pouco os padrões, no sentido mais rigoroso.

e) Granulometria da Terra Fina

Trata-se aqui do material fino que se encontra misturado com o cascalho, ou seja, dentro da "pissarra". Se esta terra fina contiver mais de 50% de argila mais silte, não haverá problema de fertilidade devido a granulometria de terra fina.

Ao constatar menos de 40% de argila mais silte, o pedólogo deve ter muito cuidado ao avaliar a fertilidade do solo. Este assunto será tratado com mais detalhes no capítulo seguinte.

I.3. BARREIRA QUÍMICA

A barreira química como fator controlador do solo útil foi sobretudo discutida por McLEAN et al (1958) e KAMPRAITH (1972).

Pode acontecer, em certos solos, que as raízes das plantas cultivadas não deixam o horizonte A (humífero) para penetrar no B, apesar da ausência de um acidente físico. Naturalmente este fenômeno torna as culturas muito sensíveis a seca e a água de profundidade se torna inaproveitável por falta

da presença de raízes. Este fenômeno aparece sobretudo nos oxissolos muito ácidos e pobres, onde a soma das bases trocáveis em B se aproxima de zero e segundo os pesquisadores de diferentes países ele seria devido a:

- . ausência quase total de cálcio trocável;
- . falta de fósforo;
- . presença de alumínio trocável em quantidade alta.

De fato esses três fatores geralmente se encontram interrelacionados; vejamos: um teor extremamente baixo de bases trocáveis favorece pH baixo, daí, aparecimento do Alumínio trocável e pequena assimilação do fósforo do solo. Mas, de modo geral, considera-se o alumínio trocável como o responsável pela barreira química e, muitas vezes, como o único responsável. O problema do alumínio trocável será tratado do Capítulo XII.

I.4. CONCLUSÃO - Limitação Agrícola devido a Profundidade do Solo

A profundidade do solo útil pode ser restrita devido aos seguintes aspectos:

- adensamento de um horizonte subsuperficial (geralmente B₁, as vezes o conjunto do B);
- presença de hidromorfia não permanente e, sobretudo, de hidromorfia permanente (com exceção das plantas cultivadas normalmente em solo encharcado como o arroz de várzea, por exemplo);
- couraça, carapaça e crosta calcárea a pouca profundidade;
- nível de cascalhos ("pisarra") sob certas condições;
- barreira química.

CAPITULO II

COMPONENTES GROSSEIROS E TEXTURA

O solo é formado por elementos ou componentes grossos misturados a componentes finos ditos T.F.S.A.^{1/}

II.1. ELEMENTOS DE GRÃ GROSSA

II.1.1. Definição

Os elementos de grã grossa do solo são aqueles de di mensão maior que 2mm. Eles são classificados em:

Cascalhos	0,2 - 2,5 cm ^{2/}
Seixos	2,5 - 7,5 cm
Pedras	7,5 - 25 cm
Blocos	>25 cm

A presença desses componentes grossos não é sempre um inconveniente maior, desde que eles podem formar, na super fície do solo, um "mulch". Este "mulch" formado é útil para diminuir a evaporação e amenizar o escoamento superficial da água das chuvas. Em profundidades abaixo de 20 centímetros, eles não prejudicam as safras, se forem esparsos e pouco nume rosos. Ao se tornarem numerosos, eles ocupam boa parte do so lo prejudicando, assim, o suprimento em água e, também, em elementos químicos do solo. Uma quantidade importante de pe dras e blocos pode impedir a lavoura mecânica.

^{1/} T.F.S.A.: terra fina seca ao ar, elementos até 2mm de diâmetro.

^{2/} Faixa de variação do tamanho da partícula de cada elemento.

II.1.2. Escalas de Limitação Agrícola devido aos Componentes Grossos

Nas regiões tropicais um problema relacionado ao uso agrícola do solo pode superar outros problemas. No caso de se considerar os cascalhos ferruginosos, são apresentados na Tabela II.1 as duas escalas para as limitações agrícolas do solo.

Comparando as duas escalas (Tabela II.1), observa-se que aquela elaborada por Dabin apresenta a vantagem de levar em conta a textura da terra fina que fica entre os cascalhos. Sendo arenosa, essa terra fina apresentar-se-á incapaz de suprir suficiente água às raízes, ampliando, dessa forma, o inconveniente dos cascalhos nos climas bastante secos ou, pelo menos, com períodos secos prolongados.

Apesar dos dados, fornecidos pela Tabela II.1, temos que levar em consideração, para uma avaliação correta das propriedades do solo os seguintes fatores:

- o clima: quanto mais seco o clima, mais severo e cauteloso se deve ser na interpretação desses dados;
- a natureza dos cascalhos: as tabelas foram estabelecidas para cascalhos ferruginosos. Numa mistura de cascalhos quartzosos, torna-se necessária uma maior restrição;
- a natureza e a textura da terra fina: na Tabela II.1, o quadro de Dabin mostra bem a importância da terra fina. A seguir discutiremos suas características texturais.

II.2. TEXTURA (da terra fina peneirada à 2mm - TFSA)

II.2.1. Definição

Denominamos de terra fina a fração do solo constituída de componentes ou elementos formados de partículas menores que 0,2cm. Elas são classificadas segundo várias escalas, em:

TABELA II.1. Limitações Agrícolas devido aos Cascalhos.

ESCALA DE SIS (1978)

Cascalhos (% relativa do volume do solo)	Profundidade do teto da camada de cascalhos em cm	Limitações	
		Plantas anuais	Plantas perenes
3 - 15	20 - 50	nula	fraca
	50 - 80	nula	nula
	80 - 100	nula	nula
15 - 40	20 - 50	fraca	média
	50 - 80	nula	fraca
	80 - 100	nula	nula
40 - 75	20 - 50	média	forte até muito forte
	50 - 80	fraca	média
	80 - 100	nula	fraca
> 75	Considera-se que o solo (com mais 75% de cascalhos) não constitui um solo util		

ESCALA DE DABIN (1964)

Cascalhos (% relativo do peso do solo)	% Argila + % Silte (% da terra fina)	Limitações
		(sobretudo para plantas perenes)
0 - 10	> 12	nula
	< 12	média
10 - 40	> 40	fraca
	< 40	média
40 - 50	> 40	fraca
	< 40	forte
	(50% de cascalhos é o limite para o cacauzeiro)	
50 - 60	> 40	muito forte
	< 40	forte
	(Somente algumas plantas podem aguentar. Exemplo: café robusta)	
> 60	não especificada	muito forte

. Escala Internacional (Fig. II.1)

Argila	<2 micra ^{3/}
Silte	2- 20 micra
Areia Fina	20- 200 micra
Areia Grossa	200-2000 micra

. Escala Francesa

Argila	<2 micra
Silte	2- 20 micra
Silte Grosso (ou areia muito fina)	20- 50 micra
Areia Fina	50- 200 micra
Areia Grossa	200-2000 micra

. Escala Brasileira

Argila	<2 micra
Silte	2- 50 micra
Areia Fina	50- 200 micra
Areia Grossa	200-2000 micra

NB.: o "triângulo" de Campinas (Fig. II.2) simplifica em: argila: 0-2 micra; silte+areia fina: 2-200 micra; areia grossa: 200-2000 micra.

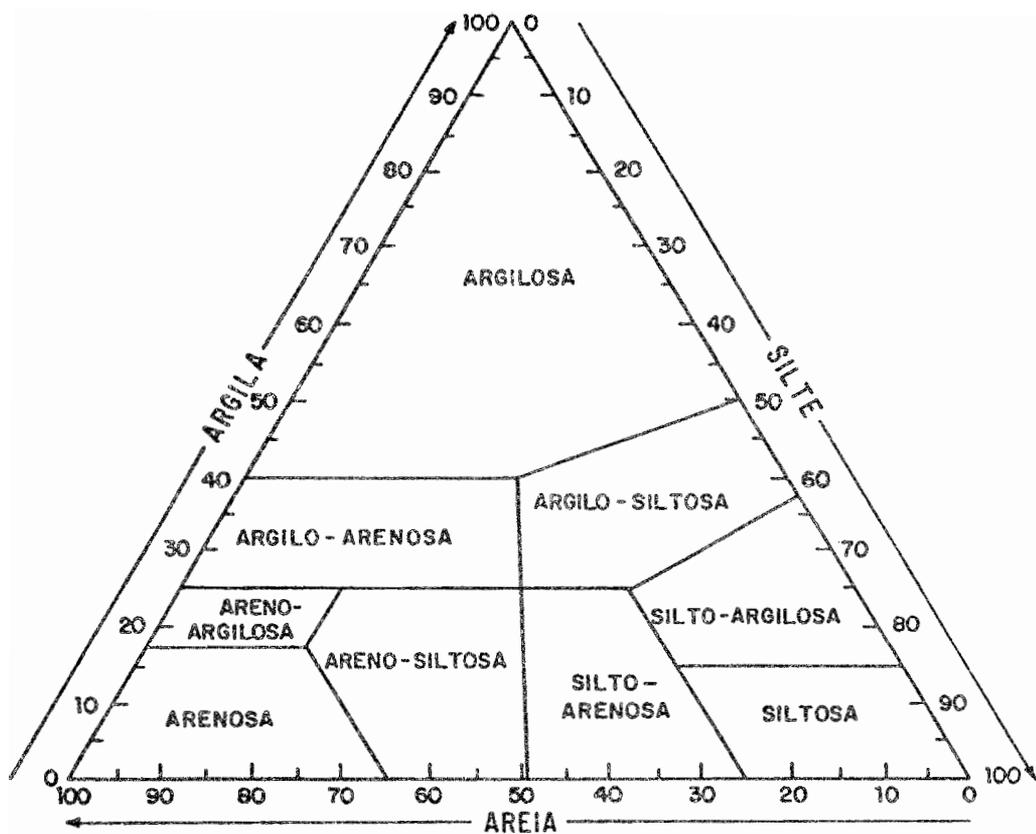
. Escala Americana (USDA) (Fig. II.3)

Argila	<2 micra
Silte	2- 50 micra
Areia Muito Fina	50- 100 micra
Areia Fina	100- 250 micra
Areia Média	250- 500 micra
Areia Grossa	500-1000 micra
Areia Muito Grossa	1000-2000 micra

II.2.2. Generalidades - Textura e Plantas Cultivadas

Aqui trataremos da terra fina peneirada a < 2mm. O estudo da textura se faz geralmente por meio da análise granulométrica. Esta mede o tamanho das partículas como: argila <2 μ ; silte 2-20 μ ; areia fina 20-200 μ ; areia grossa 200-2000 μ segun

^{3/} Faixa de variação do tamanho da partícula de cada elemento (1 micron (μ) = 1/1000 milímetro).



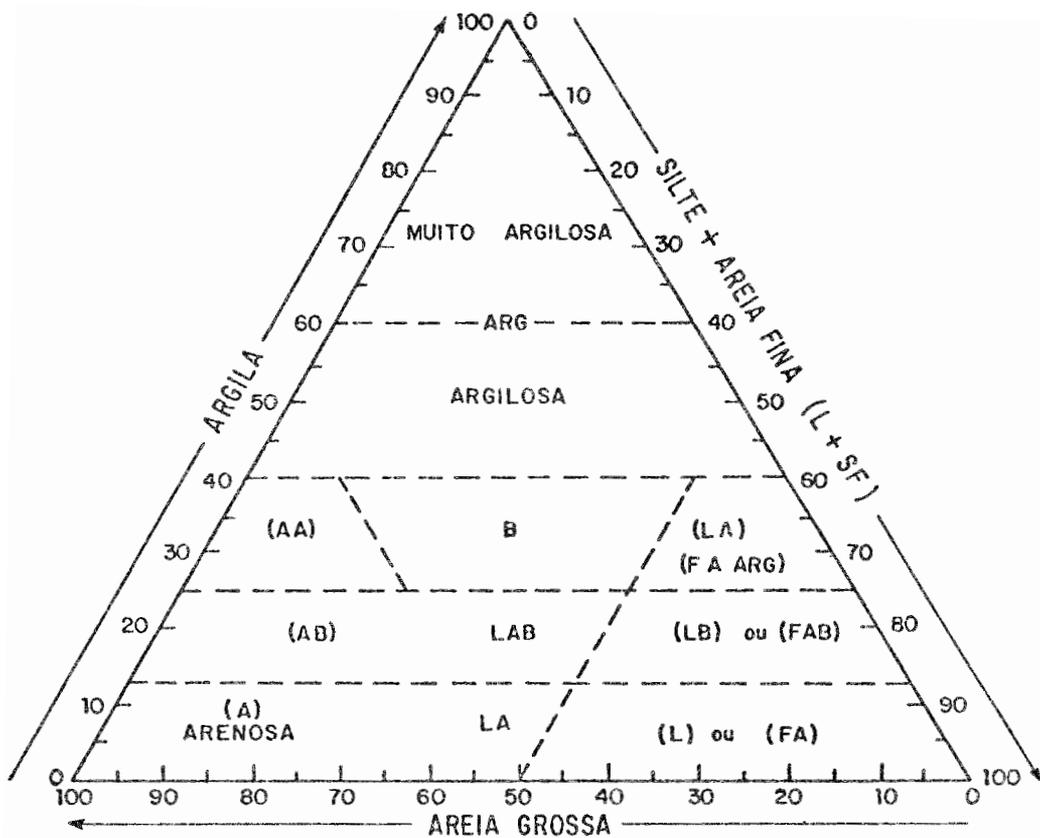
Classes granulométricas (mm)

Areia . 3 - 0,02

Silte 0,02 - 0,002

Argila 0,002

Fig. II.1. Denominações das Texturas segundo Padrão Internacional.



Classes granulométricas (mm)

Arg 4 0,002

L + SF 0,002 - 0,2

Areia grossa 0,2 - 2

Campos texturais

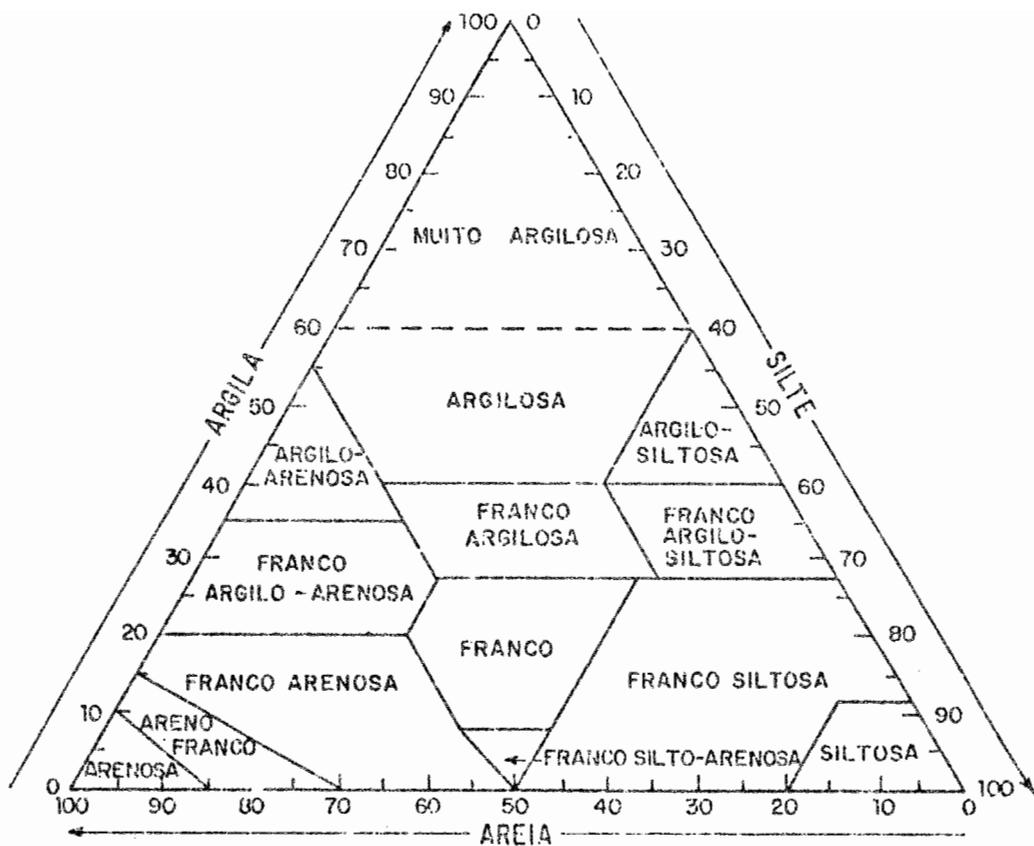
ARG - Argiloso

B - Areno - Silto - Argiloso

LAB - Silto - Arenoso

LA - Areno - Siltoso

Fig. II.2. Denominações das Texturas segundo o Instituto Agrônômico de Campinas - S. P.



Classes granulométricas (mm)

Areia	{	Grossa	2 - 0,20
		Fina	0,20 - 0,05
Silte			0,05 - 0,002
Argila			0,002

Fig. 11.3. Denominações das Texturas segundo utilização do Departamento de Agricultura dos EEUU (USDA).

do o sistema internacional. O sistema brasileiro chama de silte as partículas de 2 até 50 micra. Essa análise não leva em conta as pseudo-partículas do tamanho do silte ou das areias e que são formadas a partir da argila cimentada pelo ferro ou mesmos partículas resultantes de material mais grosso que se quebram por ocasião de tratamento (peneiramento e dispersão). As pseudo-partículas de argilas cimentadas por óxido-hidróxidos de ferro desempenham um papel importante nos solos tropicais bem ricos em ferro. Por esta razão (presença de pseudo-partículas), um latossolo com 60 a 70% de argila é geralmente friável e permeável, enquanto que o vertissolo e o solo bruno são considerados demasiadamente pesados com o mesmo teor de argila.

Numerosos trabalhos foram realizados sobre o papel da textura do horizonte A, (*Tabela II.2*) e de seus efeitos com relação ao crescimento e rendimento das plantas cultivadas (*Tabela II.3*). Parece que a textura não desempenha um papel predominante com excessão dos solos muito arenoso (menos de 12% de argila e pouco silte) e muito argilosos (mais de 60% de argila). Contudo, admite-se que a cultura do amendoim e a do abacaxi se desenvolvem melhor nos solos arenosos. Ao contrário, o dendê, o sisal e as cítricas não gostam dos solos muito arenosos; preferem os solos barrentos.

A comparação entre a textura do horizonte A e do horizonte B pode servir para avaliação da fertilidade gerada pela textura. Para se colocar em evidência a influência do clima sobre o grau de limitação agrícola (sob climas secos a capacidade de armazenamento da água é primordial), a *Tabela II.3* foi dividida em dois modelos. Os modelos *II.3a* e *II.3b* não se encontram sob a influência direta da textura, mas sim sob as influências geradas pelas propriedades do solo ligadas à textura. Por outro lado, esses modelos não passam de uma aproximação, visto que é necessário se levar em conta outros fatos, tais como:

TABELA II.2. Tipos Texturais dos Horizontes mais Su Su
perfciais dos Solos (Campinas, São Pau
lo).

CLASSES		SUB-CLASSES
I. L.A	Limo Arenoso < 12.5% Arg.	1.(a) = arenoso 2.(f.a) = fino arenoso 3.(l) = límso
II. L.A.B.	Limo Areno Bar rento 12.5 < Arg < 25	4.(a.b) = areno-barrento 5.(f.a.b) = fino-areno-bar rento 6.(l.b) = limo-barrento
III. B.	Barrento 25 < Arg < 40	7.(a.arg) = areno-argiloso 8.(b) = barrento 9.(f.a.arg) = fino-areno-arg iloso 10.(l.arg) = argiloso
IV. Arg.	Argiloso	11.(arg) = argiloso 12.(m.arg) = muito argiloso

TABELA II.3. Textura e Limitações Culturais (Segundo BOYER, 1982).

Modelo II.3a. Solos das regiões úmidas - sobretudo so
los podzólicos e latossolos.

TEXTURA DE A	TEXTURA DE B	LIMITAÇÃO
Areno-argilosa Argilo-arenosa	Argilo-arenosa Argilosa ou argilo arenosa	nula a fraca
Arenosa Arenosa	Areno-argilosa Argilo-arenosa ou argilosa	fraca média
Argilosa	Argilosa	média a forte forte (exceto quando com boas estruturas)
Arenosa	Arenosa	forte

Modelo II.3b. Solos das regiões sub-áridas e áridas
(Climas bastante secos).

TEXTURA DE A	TEXTURA DE B	LIMITAÇÃO
Arenosa ou areno- siltosa	Areno-argilosa Argilo-siltosa Argilo-arenosa	nula a fraca
Areno ou silito- arenosa	Argilosa	fraca
Arenosa ou areno- siltosa	Arenosa ou areno- siltosa	média
Areno-argilosa	Argilo-arenosa	média a forte
argilosa ou argilo- arenosa	Argilo-arenosa ou argilosa	forte
Argilosa	Argilosa	forte

Nos climas secos, o que importa é uma boa penetração da água em B e uma boa retenção em A

- estrutura: quando é muito boa em um solo que é argiloso no horizonte A e argiloso no horizonte B, como é o caso dos la tossolos do sul do Brasil correspondentes à queles denomina dos de Terra Roxa, a fertilidade se torna ótima ao invés de mediocre. Ao contrário, com má estrutura, podemos exemplifi car os solos argilosos de Manaus que têm uma fertilidade bastante ruim (limitação forte);
- proporção predominante das areias finas com tamanho varian do de 20 a 100 micra; nos solos arenosos, essas areias têm um papel mais próximo do silte e da argila do que das ou tras areias mais grosseiras. Deste modo, reduz-se o caráter arenoso do ponto de vista da permeabilidade.

II.2.3. Propriedades do Solo Ligadas a Textura

a) Matéria Orgânica, Complexo Adsorvente, Bases Trocáveis

Muitas vezes, e principalmente sob climas úmidos, os solos bastantes argilosos possuem uma quantidade de matéria orgânica, que é caracterizada por uma CTC (ou T)^{4/} elevada maior do que os solos arenosos. Por esta razão, esses solos podem reter uma quantidade de bases trocáveis mais elevada do que os solos arenosos. O material organo-argiloso e os produtos derivados do material orgânica podem constituir complexos de alto poder de adsorção.

b) Capacidade do Solo em Relação à Granulometria

A penetração das raízes, geralmente, é muito boa nos solos arenosos; porém, ela se torna mais difícil nos argilosos ou nos solos com uma proporção muito elevada de areia fina (20-80 micra). Neste caso uma boa estrutura, geralmente gerada por um teor elevado de matéria orgânica, pode corrigir

^{4/} CTC ou T = capacidade de troca de cations.

este defeito. Como um exemplo temos o da cultura do amendoim nos solos argilosos do Niari, Congo que é possível graças a ótima estrutura desses solos. A mesma coisa acontece para os solos de areia fina.

Em resumo, a matéria orgânica compensa tanto os solos pesados quanto os solos leves.

a) Permeabilidade e Drenagem

Os solos arenosos são geralmente muito permeáveis e de fácil drenagem. Por outro lado, os argilosos podem permanecer encharcados durante alguns dias pelas águas de fortes chuvas ou chuvas contínuas devido à uma drenagem lenta no interior do solo. Por esta razão, o abacaxi, que não suporta excesso de água, prefere as terras de drenagem fácil, o que quer dizer, sobretudo, solos arenosos. O dendezeiro e o cafeeiro, por serem menos sensíveis, poderão se tornar doentes nos solos mal drenados em superfície ou, simplesmente, quando a drenagem se faz muito devagar. Isso acontece, por exemplo, com os dendezeiros plantados nos vertissolos. Nessa situação as raízes apodrecem e as folhas secam (doença da "secagem das folhas"). Por esta razão, aconselha-se a não cultivar o dendezeiro, o cafeeiro, o cacauieiro, a serigueira, etc., nos vertissolos e, em geral, nos solos pouco permeáveis.

d) Reserva de Água: Água Útil-Água Disponível

Veremos mais tarde que os solos barrentos têm uma quantidade de água útil mais importante do que aquelas dos solos arenosos e argilosos, sobretudo solos de montmorilonita que se "fecham" quando chove. Nestes últimos uma grande parte de água da chuva se perde pelo escoamento superficial sem possibilidade de encher o reservatório subterrâneo. Naturalmente a matéria orgânica, se estiver presente em quantidade suficiente, pode corrigir mais ou menos este defeito.

No período de estiagem, a subida da água por capilaridade se interrompe rapidamente antes de chegar à superfície

dos solos arenosos e a água útil fica disponível para as raízes das plantas, não se perdendo por evaporação; esse comportamento não é observado nos solos argilosos, ou nos barrentos, nos quais ela pode se perder. A fim de evitar isso, nos campos cultivados, deve-se fazer uma aração superficial para tornar móveis os primeiros centímetros do solo e, desta maneira, interromper a subida, por capilaridade, da água até a superfície.

CAPITULO III

ESTRUTURA E ESTABILIDADE ESTRUTURAL

III.1. GENERALIDADES, ÍNDICE DE AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA

A estrutura do solo pode ser avaliada com o auxílio dos olhos, dedos, ferramentas (pícarreta, pá), etc. Ela pode ser: contínua, maciça, grumosa, poliédrica, coluna, prismática, particular, etc.

A classificação acima é insuficiente para um estado preciso. É necessário que haja índices cifrados para medir melhor a estrutura. No sentido de uma melhor avaliação, três ou quatro métodos podem ser usados, conforme veremos a seguir.

III.1.1. Metodo Américano

Também chamado de Riverside (BLACK et al, 1955), esse método mede o número de agregados, classificando-os em várias classes de diâmetro (médio) em se:

- inicialmente peneirando a terra a seco;
- peneirando com água e fazendo uma sedimentação granulométrica sem dispersão.

Os resultados são postos sob a forma de diâmetro médio ponderado ("*mean weight diameter*"). Os agregados podem também ser avaliados através de números pelo tamanho e estabilidade.

Esse método foi sobretudo usado para solos salgados. Alguns pesquisadores brasileiros (sul do País) o utilizam ocasionalmente, porém modificado (OLIVEIRA, CURI e FREIRE, 1983).

III.1.2. Instabilidade Estrutural

Esse método utiliza o chamado índice I_s de Henin (HENIN e MONNIER, 1958; HENIN, MONNIER e COMBEAU, 1958) que é definido como:

$$I_s = \frac{(A + S)\%}{\frac{Ag(ar) + Ag(\text{álcool}) + Ag(\text{Benzina})}{3} - 0,9 \text{ A.G.}}$$

onde:

A e S = sendo argila e silte em porcentagem

Ag = agregados estáveis com o tratamento indicado

A.G. = fração areia grossa de granulometria

Através desse método se obtém um índice de instabilidade estrutural. Os solos bem estruturados com agregados firmes possuem índices baixos. Ao contrário, os solos mal estruturados, com agregados instáveis, possuem índices elevados.

HENIN et al. (1976) avaliou a estabilidade estrutural dos solos de climas temperados por meio de uma escala (Tabela III.1), entretanto, parece conveniente introduzir-se uma categoria suplementar para os solos tropicais.

TABELA III.1. Índice I_s e estabilidade estrutural

SOLOS TEMPERADOS		SOLOS TROPICAIS	
I_s	ESTABILIDADE ESTRUTURAL	I_s	ESTABILIDADE ESTRUTURAL
0- 0,5	muito forte	0- 0,60	muito forte
0,5- 1,0	forte	0,60- 1,00	forte
1,0- 4,0	regular	1,00- 2,00	média
4,0-10,0	fraca	2,00- 4,00	média a fraca
10,0-50,0	muito fraca	4,00-10,00	fraca
		10,00-50,00	muito fraca

Os solos hidromórficos (encharcados de água) geralmente possuem índices elevados, nitidamente superior a 4,0 mesmo em superfície. Aqui alguns índices para solos ferralíticos (latossolos e solos podzolizados) tomando-se o horizonte superficial:

- solo sob savana da República Centrafricana: $I_s = 0,18$ até $0,41$;
- solo sob floresta da Costa do Marfim: $I_s = 0,45-0,43$;
- solo sob mata de tabuleiros da Bahia: $I_s = 0,50$.

De um modo geral, os solos ferralíticos sob vegetação natural tem um I_s inferior a 1,0 em superfície. Os horizontes mais profundos apresentam índices variando de 1,0 a 3 e, às vezes maiores, quando possuem manchas devido a hidromorfia.

No Estado da Bahia, temos os índices seguintes para um solo de tabuleiros perto de Feira de Santana (latossolo) sob vegetação natural de mata (VOLKOFF, 1975):

- horizonte A: $I_s = 0,50$
- horizonte B_1 : $I_s = 1,80-2,00$
- horizonte B_2 : $I_s = 1,00$

III.1.3. Índice de Estrutura de Dabin

Esse método utiliza o chamado índice de estrutura de Dabin (DABIN, 1962), dado pela expressão:

$$\text{Índice de Estrutura} = S_T \sqrt{P \cdot Eu}$$

onde:

$$S_T = 20 (2,5 \log_{10} K - 0,837 \log_{10} I_s)$$

I_s = índice de instabilidade de Henin

K = permeabilidade em cm/h

P = porosidade total (medida a pF 4,2)

Eu = água útil (pF 3,0-4,2)

O índice de estrutura de DABIN foi sobretudo usado na Costa do Marfim para os solos ferralíticos, com a seguinte escala de fertilidade (Tabela III.2)

TABELA III.2. Índice de DABIN e Avaliação de Fertilidade do Solo

HORIZONTE 0 - 25cm		HORIZONTE 25 - 50 cm	
ÍNDICE	FERTILIDADE	ÍNDICE	FERTILIDADE
> 2000	excepcional		
1700 - 2000	uito boa		
1400 - 1700	boa	> 900	boa
1100 - 1400	média	700 - 900	média
900 - 1100	média a baixa	500 - 700	média a baixa
< 900	fraca ou baixa	< 500	fraca ou baixa

III.1.4. Índice E do Estado Estrutural de MENIN

O E é uma combinação do índice I_s (instabilidade estrutural) e da permeabilidade (fator K de Darcy) medida sobre amostras peneiradas até dois milímetros, utilizando a seguinte equação:

$$3 \log_{10} K + 2,5 \log_{10} I_s - 7,5 = 0$$

O uso dos logaritmos simplifica o registro dos valores obtidos; daí a dificuldade na interpretação dos resultados: por exemplo, quando I_s varia de 0,6 a 1,5 o E vai variar de 215 a 180.

Por outro lado, parece que o I_s apresenta resultados tão bons e úteis quanto o E, particularmente nos solos ferralíticos (latossolos e solos podzólicos). Nesse aspecto conhe

mos pouco no que diz respeito aos solos com montmorilonita. Neste volume usaremos sobretudo o I_s , e raramente o índice I .

III.2. FATORES DA ESTRUTURA

III.2.1. Cálcio

É bem conhecido que o cálcio favorece muito a agregação de partículas. Esse elemento também desempenha um papel primordial na estrutura dos solos temperados (solos que possuem, em geral, como colóides minerais, uma mistura de argilas do tipo caulinita, ilita e montmorilonita) e também, de certos solos tropicais onde tais argilas se fazem presentes. Pode-se citar como exemplo os vertissolos que, quando têm muito cálcio, apresentam um horizonte superficial finamente grumoso, designado grumossólico, e essa estrutura se torna muito mais grossa quando o magnésio é predominante.

Nos solos onde predomina caulinita (latossolos, solos podzolizados), o papel desempenhado pelo cálcio se torna insignificante em relação à estrutura. Uma simples calagem não resolve o problema da estrutura. Contudo, esses solos cauliniticos, solos de cujo complexo absorvente é bem suprido em cálcio, provoca uma melhor transformação da matéria orgânica em humus não ácido (estável) e torna possível uma boa mistura do humus e da argila. Isso seria um papel indireto do cálcio através da qualidade do humus. Por outro lado, pesquisas recentes na Bahia e no Senegal parecem mostrar que o cálcio desempenha um certo papel na formação da estrutura desses solos cauliniticos, embora, essa influência pareça secundária, em relação àquelas desempenhadas pelo ferro e pela matéria orgânica.

III.2.2. Ferro

Atribui-se que a estrutura finamente grumosa, chamada de pó-de-café, do horizonte B dos latossolos seja devida à presença do ferro. De um modo geral, é sobretudo a fração "ferro

livre" que tem ação sobre a estrutura dos solos, isso acontece quando o ferro livre existir em quantidades notáveis no horizonte B (latossolos, cambissolos, etc), isto é quando Fe_2O_3 livre > 2,5 a 3% do solo.

O papel desempenhado pelo ferro no horizonte A é menos intenso devido ao seu teor mais baixo; mas, por outro lado, o ferro tem ligações com a matéria orgânica (compostos ferro-húmicos), o que complica o problema.

Ha correlações significativas comprovadas entre o ferro livre e a estrutura (Gana, Congo). As "terras roxas" do Brasil, sendo muito ricas em ferro livre e ferro total, também têm boa estrutura.

Segundo NYE (1963), o ferro atua da seguinte maneira:

- sendo eletro-positivo, ele neutraliza a caulinita e favorece a formação dos agregados;
- orienta os cristais de caulinita fazendo uma espécie de soldagem entre eles.

III.2.3. Matéria Orgânica

O papel estrutural da matéria orgânica é bem conhecido em todos os solos, pelo fato de que a matéria orgânica favorece o desenvolvimento e a estabilidade da estrutura. Nesse aspecto, os diversos autores concordam entre si. As discordâncias começam quando eles consideram o papel desempenhado por cada uma das frações da matéria orgânica.

Segundo vários autores, a fração que mais favorece a estrutura seria:

- a parte não humificada da matéria orgânica (matéria vegetal pouco transformada);
- os compostos humo-ferrosos;

- os polissacarídeos, que formam cadeias de moléculas compridas e flexíveis capazes de estabelecer pontos entre os cris
tais de argila e ácidos húmicos-marrons;
- humina total;
- parte jovem da humina;
- papel desempenhado pelos cogumelos e bactérias.

O problema parece ser bastante difícil de se resolver. Por outro lado, sabemos que os solos ricos em ácidos fúlvicos têm uma estrutura fraca e frágil.

III.3. AS DUAS FASES DA AGREGAÇÃO

A agregação dos solos foi estudada sobretudo por MONNIER (1965) e GODEFROY (1974). Dois tipos de agregação têm sido caracterizadas.

III.3.1. Agregação Temporária

Tem uma duração máxima de um ano, podendo, muitas ve
zes, atingir somente três a cinco meses, sendo provocada pelos cogumelos e bactérias na decomposição da matéria orgânica, mais ou menos verde e recente, e formação de polissacarídeos. Dessa maneira, a aplicação de adubos verdes tem uma ação nítida e rã
pida, principalmente por contribuir bastante na formação dos agregados em solos mal estruturados de areia fina. O inconve
niente maior é que essa ação é transitória; não demora mais de alguns meses. Apesar disso, tem a vantagem de ser muito impor
tante para a brotação das sementes.

III.3.2. Agregação Estável

Parece que o processo de agregação estável seja devi
do à fração jovem da humita e também aos compostos ferro-húmi
cos. O papel dos compostos ferro-húmicos ainda é mal conheci
do, mas parece ser muito importante, a tal ponto de se ter pre

conizado pesquisas na África (Congo) para fabricar um adubo humo-férrico desconhecido (MARTIN, 1963 e 1967).

Só a matéria orgânica parcialmente lignificada (palhas, galhos jovens, folhas secas, ervas duras e secas) é capaz de gerar um tipo de humina que favoreça o desenvolvimento de uma estrutura estável.

III.4. VARIACÃO DA ESTRUTURA

III.4.1. Variação Sazonal

Sabe-se que os agregados do solo são mais desenvolvidos e estáveis durante a estação seca. No período de estação chuvosa mais ou menos contínua, eles se tornam pouco estáveis e mal desenvolvidos. Esta variação foi medida na República Centroafricana nos solos ferralíticos vermelhos francamente dessaturados (solos podzólicos vermelhos eutróficos) com cascalhos no horizonte B₂.

TABELA III.3. Variações de I_s, segundo COMBEAU E QUANTIN (1963)

	I _s MÉDIO	MAIOR VARIAÇÃO
Sob savana	0,40	±0,25 (0,15-0,65)
Sob culturas	1,71	±0,90 (0,81-2,61)

Os maiores valores do I_s e que são correspondentes aos mais altos índices de instabilidade estrutural (pior estrutura) ocorrem durante os meses de julho até o fim de outubro, justamente quando se verifica o período mais chuvoso naquele país. O I_s diminui repentinamente a partir do mês de novembro com o início da estação seca, o que significa uma melhoria acentuada das propriedades estruturais e esta melhoria continua de uma maneira mais suave até as primeiras chuvas no início de março.

Em conclusão, podemos afirmar para que se tenham da dos comparáveis sobre a estrutura, é necessário que as amostras de terra sejam tomadas cada ano, durante o mesmo período.

III.4.2. Variações Provocadas pelo Trabalho do Solo

O trabalho do solo sempre tende a piorar a estrutura, aumentando o índice I_s . No caso das plantas perenes, o fenômeno aparece a partir do desmatamento e desde os primeiros anos de plantio; ele pára a partir do momento em que a cobertura das folhas se fecha. Usando-se planta de cobertura, é possível reduzir significativamente o prazo da diminuição da estabilidade estrutural. No caso de um plantio de dendezeiros, necessita-se 5 a 7 anos para que a cobertura das folhas se torne contínua; com plantas de cobertura rasteiras (Pueraria, Centrosema, etc), o prazo fica reduzido a um ano ou um ano e meio, para que o solo esteja inteiramente coberto. No caso das plantas anuais, existe um período de mais ou menos um até dois meses em que o solo permanece nú ou parcialmente coberto; durante este prazo as gotas de chuva destroem os agregados. Além disso, as plantas anuais jovens necessitam de um trabalho de solo mais intensivo do que a maioria das plantas perenes, o que contribui um pouco mais a piorar a estrutura.

Na Tabela III.4., compara-se as percentagens de agregados de um solo podzólico vermelho-amarelo de Lavras (M.G.) classificando em três classes de diâmetro. O solo foi submetido a dois tratamentos: ervas de pastagem (sem pasto) e culturas lavradas de milho e arroz durante 10 anos.

A lavra tem por consequência uma diminuição dos agregados maiores (cujo diâmetro está incluído entre 4 e 2 milímetros) e um aumento dos agregados de tamanho menor. Nota-se que a ação do trabalho do solo não está limitada à camada lavrada mas que ela prossegue em profundidade. Este é um fenômeno que será melhor abordado no capítulo seguinte (Capítulo IV.5).

TABELA III.4. Percentagens dos Agregados em Função do Diâmetro (ϕ) num Solo Podzólico Vermelho-Amarelo de Lavras (M.G.), segundo OLIVEIRA, CURTI e FREIRE, 1983.

Profundidade (cm)	$4\text{mm} \geq \phi > 2\text{mm}$		$2\text{mm} > \phi > 1\text{mm}$		$1,0\text{mm} > \phi > 0,5\text{mm}$	
	Pastagem (%)	Cultura	Pastagem (%)	Cultura	Pastagem (%)	Cultura
0- 18	81,9	61,9	7,9	11,4	4,5	10,3
18- 34	66,6	37,0	12,9	22,4	8,0	16,6
34- 61	33,8	24,0	17,9	19,3	20,9	24,6
61- 86	40,7	31,5	17,0	23,6	20,9	24,6
86-120	32,3	31,9	22,6	19,3	21,1	24,5
120-148	25,8	30,2	21,6	21,1	24,5	24,8
148-200	25,1	21,7	13,0	16,5	18,1	23,2

III.4.3. Consequências do Enfraquecimento da Estrutura pelo Trabalho do Solo

Um outro exemplo de variações da estrutura é o verificado com culturas mecanizadas sucessivas de algodão, amendoim, arroz e milho em solo podzólico vermelho eutrófico da República Centrafricana, onde constata-se que (Tabela III.5):

- para um I_s igual a 1,0 a superfície do solo se torna frágil e apresenta uma crosta pouco espessa (mais ou menos 1/2 a 1 centímetro), porém ela é coesa e pouco permeável. A água da chuva se infiltra com alguma dificuldade, com tendência a se escoar parcialmente pela superfície, podendo começar daí a fase de erosão;
- quando o I_s chegar a valor superior a 1,8, as ervas selvagens brotam e têm dificuldades de se enraizarem. Por consequência, o pousio herbáceo se restabelece muito devagar e o solo fica parcialmente nú. Daí sua fertilidade não se restabelecer gradualmente, como acontece no caso de um pousio estabelecido em ervas que crescem rapidamente;

- quando o I_s estiver em torno de 0,8 a estrutura do solo pode ainda ser considerada boa para a agricultura. Essa é uma importante razão, embora não a única, e pela qual se justificou, na África, a se pretender estabelecer uma curta duração das culturas em relação à natureza do pousio, com períodos de:

- . 3 a 4 anos de cultura de savana;
- . 2 a 3 anos de cultura com pousio florestal.

TABELA III.5. Valores de I_s Medidos durante a Estação da Seca, segundo MOREL e QUANTIN, 1972).

DURAÇÃO DO CULTIVO	I_s (camada 0 - 15cm)
Testemunha (Savana de Imperata)	0,3 - 0,4
Depois de um ano de cultivo	0,6
Depois de dois anos de cultivo	0,8
Depois de três a quatro anos de cultivo	1,0
Depois de oito anos de cultivo	1,7 - 1,8
Depois de nove anos de cultivo	1,9 - 2,1

Depois da cultura, o solo tem que ficar coberto pelo pousio em um período de pelo menos oito a doze anos.

O pousio é um meio econômico de conservar bem o potencial de fertilidade dos solos. Infelizmente, agora existe uma tendência, nítida em muitas regiões, em diminuir o tempo de pousio. Dentre as várias razões que vêm contribuindo com este comportamento, tem-se o aumento populacional e o aumento "per capita" das superfícies cultivadas.

III.5. MELHORAMENTO DA ESTRUTURA

III.5.1. Trabalho do Solo com Arado

No exemplo anteriormente apresentado, não havia queda dos rendimentos, apesar da degradação da estrutura. Portanto,

quando o solo alcança um I_s acima de 1,6 a 1,8, ou para ser mais preciso em torno de 2,0, as raízes das sementes se desenvolvem com bastante dificuldade. Porém, quando este solo é arado, a germinação e o desenvolvimento das raízes se processarão normalmente.

De referência a melhoria da estrutura do solo, a lavoura tem dois efeitos opostos:

- a) a curto prazo: o trabalho do solo melhora muito a estrutura, provocando uma agregação por ação mecânica (pressão), aliviando também o solo. Esta melhoria acaba depois de pouco tempo (3 a 4 meses) na maioria dos solos tropicais, sobretudo nos solos arenosos; porém, é bastante para um desenvolvimento normal das partes subterrâneas das plantas.
- b) a longo prazo: o trabalho do solo tende a piorar pouco a pouco a sua estrutura. A cada lavoura efetuada, verifica-se um decréscimo das qualidades estruturais em relação ao ano anterior. Nos solos tropicais, não se sabe até quanto tempo a combinação desses dois efeitos (a curto e a longo prazos) pode ser compatível com rendimentos elevados. No exemplo anterior (solo podzólico eutrófico da República Centroafricana), notamos que não houve queda de rendimentos até nove anos de cultivo.

Na prática, parece mais razoável a conservação do I_s entre 1,0 e 1,5, não ultrapassando esses limites principalmente nos solos "ferralíticos" (latossolos, solos podzólicos); nesse caso a erosão poderá ser controlada facilmente e a germinação das sementes se desenvolverá sempre normalmente.

Nos solos do tipo "mediterrâneo" e nos solos temperados com uma estrutura bem firme, parece possível (e muitas vezes isso ficou claramente provado) se trabalhar durante muitos anos. Mas ainda não se conhece bem este prazo para as zonas tropicais. Para o manejo dos solos tropicais, não é possível se tomar como exemplo os solos da Europa cultivados há quase 2

mil anos com técnicas tradicionais dos agricultores que misturam, ano após ano, culturas destruidoras da estrutura (i.e. culturas capinadas) e culturas que favorecem a renovação da agregação (cereais, pastagens artificiais). Além disso, aqueles agricultores conduzem aos campos cultivados o "estrumo de corte", cuja matéria orgânica, já humificada, melhora muito a estrutura, além de trazer outros benefícios. O estrume de corte é do tipo de "compost" já fermentado fabricado a partir de palhas de cereais e excrementos de bovinos.

III.5.2. Matéria Orgânica

Vimos que a matéria orgânica sozinha ou misturada com o ferro é um dos fatores principais da formação da estrutura do horizonte superficial dos solos (fenômeno que ocorre facilmente nos solos ricos em ferro).

Os adubos verdes provocam uma agregação eficaz, contudo passageira e rápida. Os autores não concordam no que diz respeito a natureza das plantas usadas neste processo. No Senegal, por exemplo, a pesquisa já comprovou o efeito favorável do milho ou do milhete jovem com adubo verde na estrutura destes solos arenosos de areia fina predominante (a areia fina dá a esses solos um caráter compacto); a mudança da estrutura é muito visível, tornando o solo tão poroso, sendo por isso chamada "estrutura miolo-de-pão". Na República Centroafricana se tem negado este efeito favorável do milho como adubo verde; a verdade é, porém, que esses solos podzólicos da África Central já possuem uma estrutura bem melhor do que os solos arenosos mal estruturados do Senegal.

Por outro lado, pesquisas efetuadas no sul da Costa do Marfim demonstraram que a natureza da matéria vegetal também intervem. Por exemplo, observou-se que os resíduos de abacaxi, depois da colheita, dão resultados bem melhores do que os resíduos da bananeira (GODEFROY, 1974). De modo geral, as

plantas que dão melhores resultados para aumentar o teor da matéria orgânica do solo são as plantas semi-lignificadas como gramíneas bastante maduras e secas e não plantas unicamente compostas de tecidos verdes.

III.5.3. Cereais e Ervas das Pastagens

Nas regiões temperadas ou mediterrâneas, onde a decomposição natural do humus se processa bastante lentamente, as raízes dos cereais e das ervas das pastagens fornecem suficiente matéria vegetal ao solo para gerar uma quantidade de humus capaz de conservar e melhorar a estrutura dos solos.

Nos países tropicais úmidos e subúmidos, a decomposição do humus se processa de maneira mais rápida e completa do que nos climas temperados. É aconselhável devolver ao solo as palhas provindas dos restos da cultura de cereais como o arroz, o milho e o milhete, enterrando-as cuidadosamente para que os seus efeitos possam melhorar o estado orgânico desses solos. O teste realizado no centro da Costa do Marfim baseado numa proporção de dois cereais numa rotação de três ou quatro culturas pareceu permitir cultivos no ponto de vista do estado estrutural do solo (LE BUANEC, 1972).

É pouco conhecida a ação do pisoteio do gado sobre a estrutura dos solos sob pastagem. Os franceses (na África) têm muito receio sobre eventual compactação. Porém os ingleses, na África Oriental, conseguiram bons resultados com culturas anuais estabelecidas depois de cultivar solos de pastagens onde o gado havia pisoteado bastante.

As palhas e as ervas secas espalhadas em camadas espessas dão também bons resultados sobre a estrutura dos solos.

III.5.4. Estrume de Corte

Durante milhares de anos, antes do emprego generalizado dos adubos químicos, o estrume de corte se constituiu o prin

principal adubo usado pelos camponeses europeus para manter a fertilidade dos solos cultivados.

O estrume de corte é uma mistura de palha de cereais e de excremento de bovinos fermentado em pilhas durante vários meses; o produto final tem a consistência de uma pasta úmida misturada com resíduos meio decompostos de palha. Este tipo de estrume é até agora pouco empregado nas regiões tropicais. Quando utilizado, ele dá resultados excelentes, inclusive quando se trata da estrutura dos solos. A sua ação é praticamente igual a ação das palhas, mas com outros efeitos favoráveis devido a sua riqueza em elementos químicos (N, P, K, ...) e também em hormônios. Um bom estrume possui de 6 até 12% de nitrogênio.

Devemos observar que o estrume de corte é, infelizmente, praticamente desconhecido no Brasil, apesar da origem européia da maioria dos agricultores.

III.5.5. Pousio

O pousio é de uso geral nas regiões tropicais, onde o cultivo se faz de maneira itinerante. O pousio combina o aporte de matéria orgânica, a ação das raízes de gramíneas e o descanso do solo. É necessário que a vegetação do pousio se desenvolva rapidamente, cobrindo totalmente o solo num curto período de tempo (dois meses por exemplo); isso se realiza normalmente quando o I_s estiver abaixo de 1,7 ou 1,8 ($I_s \leq 1,8-1,7$), ou seja, com uma estrutura boa, pelo menos média. Quando o I_s for igual ou maior do que 1,8 ($I_s \geq 1,8$), é necessário arar o solo para semear um pousio artificial (as ervas naturais brotam mal com $I_s > 1,8$). Mas o camponês não vê interesse em realizar um trabalho penoso para se obter ervas que não sejam imediatamente rendosas.

Praticamente a estrutura do solo se restabelece em dois ou três anos de pousio herbáceo ou florestal. Na prática aconselha-se o seguinte:

- não ultrapassar quatro anos de cultivo, quando o pousio é herbáceo; a duração do pousio deveria ser pelo menos duas ou três vezes mais longa do que os cultivos;
- não ultrapassar dois a três anos de cultura, quando o pousio for florestal; nesse caso o tempo de pousio deve ser de 10 anos pelo menos.

O pousio tem dois inconvenientes: necessita-se deixar áreas não cultivadas e obriga-se a fazer, a cada ano, um trabalho de desmatamento bastante cansativo e penoso que dá ao camponês somente uma baixa produtividade.

CAPÍTULO IV

CARACTERÍSTICA E VALORES FÍSICOS

IV.1. GENERALIDADE

No presente capítulo abordaremos algumas das principais propriedades físicas dos solos e que são um tanto quanto dependentes de suas características morfo-estruturais e texturais.

IV.1.1. Porosidade e Compacidade

Aqui conceituamos a porosidade como sendo o volume correspondente do solo não ocupado pela matéria sólida.

Estudar a porosidade é também estudar a estrutura de uma maneira um pouco diferente da estabilidade estrutural.

$$P = \left(\frac{D-d}{D} \right) \cdot 100$$

$$C = \frac{d}{D} \cdot 100$$

$$P = \left(1 - \frac{d}{D} \right) \cdot 100$$

$$C = 100 - P$$

$$P = 100 - C$$

onde:

P = porosidade

C = compacidade

D = densidade total

d = densidade aparente

A compacidade somada à porosidade total é 100%. Dessa forma, com uma porosidade medida de 40%, por definição, a compacidade será 60%. Os valores se escalonam de 1 a 100 tan

to para a porosidade como para a compactidade. A porosidade e a compactidade podem também se representadas pelas expressões de HUMBEL (1974).

$$P = \frac{D-d}{D}$$

$$C = \frac{d}{D}$$

$$P = 1 - \frac{d}{D}$$

Nesse caso os valores se escalonam de 0 a 1; e para uma porosidade igual a 0,40, a compactidade deverá ser 0,60.

No decorrer deste capítulo serão abordados alguns aspectos da porosidade.

IV.1.2. Alguns Valores Físicos dos Solos (principalmente nos latossolos e solos podzólicos)

a) *Densidade Real*^{5/} - corresponde à densidade das partículas do solo peneirado a 2mm.

2,7	valor médio da densidade dos solos
2,60-2,65	solos arenosos
2,90	solos argilosos com minerais pesados
3,00	solos com muito ferro e minerais pesados
2,7	solos arenosos com tendência planossólica (correspondentes dos solos ferruginosos tropicais da classificação francesa).

b) *Densidade Aparente*^{5/} - corresponde à densidade do solo como este último se encontra na natureza. Ela varia muito com a matéria orgânica, que é leve, e "alivia o solo". Por outro lado, as galerias formadas pelas raízes mortas ou pelos organismos que vivem no solo (cupins, formigas, etc.) podem gerar baixas densidades aparentes; a densidade aparente dos solos varia normalmente de 0,90 até 1,6-1,7 (diferentes horizontes). O valor médio gira em torno de 1,2-1,3, para latosso

^{5/}As densidades real e aparente, possuem o dimensionamento físico de g/cm³.

los ou solos podzolizados não muito húmiferos. Os valores de 1,2-1,3 são mais ou menos válidos para solos de ilita e montmorilonita. Os andossolos constituem uma excessão notável pois apresentam uma densidade aparente nitidamente inferior a 1,0 às vezes chega a atingir até 0,5.

e) *Porosidade Total* - os valores obtidos nos solos ferralíticos (latossolos e solos podzolizados) variam conforme a região e a profundidade. Vejamos:

- . Solos sob savana (República dos Camarões)
 - em superfície (0-15cm), P = 40 até 60%
 - em profundidade (>25cm), P = 37 até 50-55%
- . Solos sob floresta úmida (República dos Camarões)
 - 0-15cm: P = 50-70%
 - 0-5cm : P = 70-80%
 - >25cm : P = 40-50%
- . Nos tipos acima, quando cultivados (0-15cm), P = 36-46%

Para outros tipos de latossolos:

- . Latossolos do Campo Cerrado: P = 42-46%
- . Nos solos ferruginosos tropicais (classificação francesa):
P = superfície 40-47%, sob cultura: 35-45%
- . Cambissolos de Irecê (Fire clay - interestratificado, Iilita, Montmorilita): P = 55% em superfície.
- . Latossolos amarelo distrófico de Manaus, muito argiloso com 70% até 90% de argila (CAMARGO e RODRIGUES, 1979),
 - 0- 8cm - Ap - P = 47%
 - 8- 22cm - A₃ - P = 50%
 - 22- 50cm - B₁ - P = 53%
 - 50-125cm - B₂₁ - P = 53%
 - 125-265cm - B₂₂ - P = 54%

IV.2. POROSIDADE TOTAL E SEUS COMPONENTES

IV.2.1. Porosidade Total

É todo o volume do solo que não é ocupado pela matéria sólida. Calcula-se este volume com a fórmula seguinte:

$$P = \frac{D-d}{D} \cdot 100 = \left(1 - \frac{d}{D}\right) \cdot 100$$

A porosidade total se compõe da: macroporosidade e da microporosidade.

IV.2.2. Macroporosidade

É o volume que se torna ocupado pelo ar quando um solo encharcado de água perde toda sua água de gravidade. A macroporosidade depende sobretudo da estrutura, podendo variar muito segundo o tipo do solo. Dessa forma se estima que, para os solos em geral, a macroporosidade pode variar de 10 a 40% do volume dos mesmos. Nos solos ferralíticos (latossolos e solos podzólicos), essa variação gira em torno de 15-30% do volume do solo. No cambissolo de Irecê, pode diminuir para até 10%.

A lavoura pode aumentar bastante a macroporosidade.

IV.2.3. Microporosidade para a Água Útil

É o volume ocupado pela água entre a capacidade do campo (estágio onde a água de gravidade é apenas escoada) e o ponto de murchamento (pF 4,2).

Nos solos ferralíticos (latossolos e solos podzólicos), ela tem um valor médio de 10 a 12%, porém pode variar entre 7 a 15% do volume do solo. Por outro lado, tem-se estimado a seguinte relação:

- solos ferralíticos: 1/2 microporosidade, 1/2 macroporosidade;

- cambissolos: 2/3 microporosidade, 1/3 macroporosidade.

IV.2.4. Microporosidade Fechada

É o volume da água contida nos poros fechados sem ligação com a porosidade aberta. Esta água não é aproveitável pelas plantas. Geralmente ela representa uma pequena parte da porosidade total, e é equivalente a 15% do volume do solo, mas, as vezes, pode atingir até 25% e em certos solos da Guiana Francesa, a microporosidade fechada é a única porosidade do horizonte B₂.

IV.2.5. Microporosidade Total

A microporosidade total (microporosidade para água útil + microporosidade fechada) depende sobretudo da textura. Nos solos mais argilosos, o seu valor é bem maior do que nos solos arenosos. Nos solos ferralíticos, a microporosidade total varia de 15 a 30% do volume do solo; no cambissolo de Iracê gira em torno de 45% do volume do solo.

IV.3. FATORES DA POROSIDADE

- . Estrutura: condiciona a macroporosidade;
- . Textura: condiciona a microporosidade;
- . Pedoclima: nos climas bastante secos, com uma estação seca bem nítida, a porosidade superficial tende a diminuir.

O desmatamento e o cultivo dos solos provocam uma diminuição de 5 a 10% da porosidade total, ele afeta sobretudo a macroporosidade, como foi comprovado na República dos Camarões e também nos tabuleiros do sul da Bahia (FERREIRA, 1978).

IV.4. ESCALAS DE FERTILIDADE PARA A POROSIDADE TOTAL

As plantas aproveitam o volume livre do solo para se enraizar. Como consequência, o desenvolvimento delas, desde a germinação até o enraizamento, será função da porosidade total (Tabela IV.1).

TABELA IV.1 - Escala de Porosidade, segundo BOYER, 1982.

POROSIDADE TOTAL (em volume do solo)	LIMITAÇÃO AGRÍCOLA	OBSERVAÇÃO
<40%	forte	As sementes brotam mal e as raízes se desenvolvem mal
40-45%	média	
45-50%	fraca a nula	
50-60%	nula	
>60%	média a forte	
		Terra frouxa, pouco favorável às raízes

DENSIDADE DO SOLO (g/cm ³) MEDIDA DEPOIS DE 40mm DE CHUVA, APÓS A ARAGEM	POROSIDADE DO SOLO (%)	PESO DAS RAÍZES mg/dm ³ DO SOLO
1,60	41	195
1,50	44	227
1,48	47	321

Qual é a melhor porosidade para as plantas? Um trabalho de laboratório realizado na Índia mostrou que o valor ótimo da porosidade total está em torno de 50%. Tem-se que ser muito cauteloso ao levar para os campos resultados obtidos em laboratório. Contudo, o algodoeiro cultivado na Costa do Marfim possui um enraizamento mais profundo e denso com uma porosidade de 50%, do que com uma porosidade de 45% (desenvolvimento bem menor das raízes). No sul da Bahia parece que o crescimento maior da mandioca acontece com solos de porosidade de cerca de 55-58%. Por outro lado, graus de porosidade superiores a 60% podem ser desfavoráveis ao enraizamento normal, sobretudo para os cereais (fenômeno da terra frouxa); neste caso as sementes germinam e se desenvolvem com muita dificuldade, e as raízes jovens tendem a se quebrar a medida que o solo desaba para se adensar.

IV.5. VARIACÃO DA POROSIDADE EM FUNÇÃO DO TRABALHO DO SOLO

IV.5.1. Diminuição da Porosidade pelo Trabalho do Solo

Citaremos como exemplo um latossolo roxo distrófico do Rio Grande do Sul, de relevo ondulado, com substrato basáltico estudado por MACHADO e BRUM (1978) (Tabela IV.2).

TABELA IV.2 - Variações da Porosidade e Densidade de um Latossolo Roxo Distrófico do Rio Grande do Sul em função do Trabalho do Solo, segundo MACHADO e BRUM, 1978.

VARIACÕES	PROFUNDIDADE (cm)	M.O. (%)	DENSIDADE (g/cm ³)		POROSIDADE (%)		
			SOLO d (aparente)	PARTÍCULAS d (real)	TOTAL	MICRO	MACRO
T ₁ (Maça)	0-15	4,4	1,20	2,79	57,0	36,5	20,5
	15-30	2,8	1,25	2,82	55,7	32,4	23,3
T ₂ (Pastagem)	0-15	3,4	1,24	2,79	55,6	41,2	14,4
	15-30	3,0	1,22	2,71	55,0	39,3	15,7
T ₃ (Cultivo mínimo)	0-15	3,4	1,21	2,67	54,7	40,4	14,3
	15-30	2,3	1,20	2,63	48,4	33,8	14,6
T ₄ (Cultivo convencional)	0-15	1,5	1,35	2,67	49,4	42,5	6,9
	15-30	0,7	1,27	2,70	53,0	44,6	8,4

IV.5.2. Diminuição Geral da Porosidade pelo Trabalho do Solo

No sul e centro da República dos Camarões, notou-se que o desmatamento e o cultivo (manuais) provocaram uma diminuição da porosidade de 5 a 10%; as causas principais foram:

- exposição do solo nú ao sol;
- passagens dos homens (pisoteio);
- ação das ferramentas (aqui manuais).

O mesmo fenômeno, como esse registrado, foi considerado após desmatamento mecânico da floresta para um solo de tabuleiro do sul da Bahia (FERREIRA, 1978).

Temos que separar dois efeitos da lavra sobre a porosidade:

- a curto prazo, pode existir um adensamento superficial devido ao pisoteio dos homens e dos animais, às rodas, tratores e outras máquinas, podendo até, em certos casos, prejudicar o enraizamento e a germinação das sementes;
- a longo prazo, pode-se exagerar o adensamento natural do A_3 ou B_1 , tornando-se uma verdadeira soleira impedindo a penetração das raízes em profundidade.

O mais extraordinário é que este adensamento se processa nos horizontes profundos, bem abaixo da camada trabalhada pelo arado; o exemplo dado por MOURA (citado por VAN WAMBEKE, 1974) mostra bem uma diminuição da macroporosidade até 0,90m de profundidade (e provavelmente mais) num solo de campo cerrado (Figura IV.1). O mesmo fenômeno foi comprovado no sul do Senegal, onde, os estudos de micromorfologia mostraram que a causa provável era a forte diminuição da porosidade fechada consecutiva a uma reorganização do plasma sob influência da forte secagem da estação seca. Sendo essa secagem favorecida dentro do solo pelo desaparecimento da vegetação florestal natural que, antes, fornecia proteção contra a dessecação. De fato, esse fenômeno em profundidade acontece, sobretudo, nos climas com estação seca nítida e longa.

IV.5.3. Aumento Passageiro e Rápido da Porosidade pelo Trabalho do Solo

A lavra ou ato de arar aumenta imediatamente a porosidade do solo superficial de 20 a 30%; isto quer dizer que arar um solo tendo 40% da porosidade poderá aumentar a porosidade desse solo a até 60 ou 70% (solo arenoso do Senegal, por

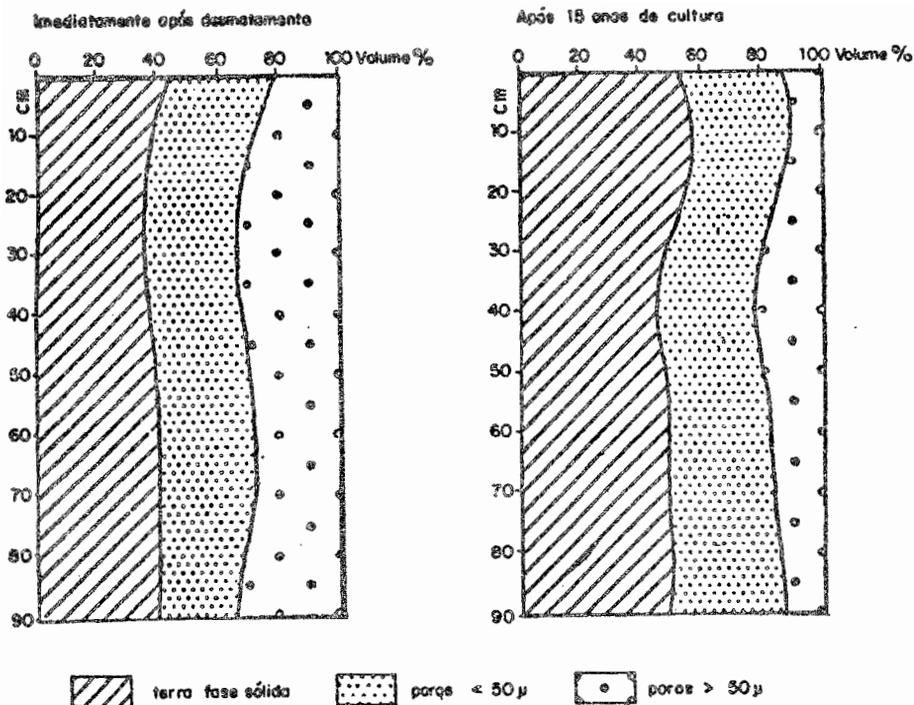


Fig. IV.1. Variação da Porosidade num Latosolo Roxo após 15 dias de Cultivo Mecanizado.

exemplo). Depois de concluída a fase de sementeira, esse solo terá imediatamente sua porosidade diminuída de 10% (mais ou menos 50%, considerando o exemplo citado); depois as gotas de chuva vão reduzir os espaços porosos; de tal maneira que com 250mm de chuva caindo durante um mês e meio a porosidade estará voltada de novo à marca inicial (40%). Esse fenômeno é mais rápido e também mais nítido nos solos arenosos, sempre de estrutura frágil, embora ele seja observado em todos os solos.

Para melhorar a porosidade das camadas profundas do solo, é possível, embora bastante caro, usar um subsolador. Parece que a melhoria dessas camadas demora mais do que na parte superficial, pelo menos até alguns anos; o que permite mesmo ao cafeeiro arábico, cultivado em solos argilosos e bastante compactos, de enraizar-se (Zaire). Entretanto observa-se um inconveniente, muitas vezes as raízes se concentram nos sulcos traçados pelo subsolador e não ultrapassam os seus limites. Convém deixar claro que o uso do subsolador não é eficaz para os solos ricos de cascalhos; os sulcos se fecham rapidamente (um ano, ou menos); daí uma rentabilidade fraca desta operação que é dispendiosíssima.

IV.5.4. Aumento da Porosidade do Solo a Longo Prazo

Trata-se aqui sobretudo da macroporosidade já que a microporosidade permanece constante na maioria dos casos. A porosidade pode ser aumentada a longo prazo, em se utilizando dos seguintes tratamentos:

a) Aporte de Matéria Orgânica

Isso se faz pelo aporte ao solo de:

- adubo verde; que possui ação passageira;
- palhas e resíduos vegetais;
- estrume de corte, que parece dar os melhores resultados.

b) Pousio

O pousio favorece muito a porosidade do solo. Nota-se que a ação da matéria orgânica é mais intensa no pousio florestal, já maduro, do que no pousio herbáceo. Num pousio herbáceo de gramíneas, a porosidade do solo poderá ser restabelecida dentro de 3 a 4 anos.

A propósito das pastagens herbáceas na África, os pedólogos e os agrônomos da língua francesa receberam, durante

muito tempo, que o pisoteio contínuo diminuísse a porosidade do solo de maneira sensível e desastrosa. Porém, foram feitas algumas experiências com pastagens na África Oriental e na América Central (Porto Rico), onde se constataram rendimentos excelentes das plantas cultivadas logo após as práticas e o manejo das pastagens. Observou-se (Porto Rico) que a porosidade diminuiu um pouco (8%) nos primeiros 5-7cm da superfície do solo, em consequência do pisoteio do gado. Depois do solo arado, foi constatado também que a porosidade se restabelecia a um nível normal (VAN WAMBEKE, 1974).

TABELA IV.3 - Solos Podzólicos Eutróficos da República Centroafricana, segundo MOREL e QUANTIN, 1972.

VARIAÇÕES	MICROPOROSIDADE (%)	MACROPOROSIDADE (%)	PERMEABILIDADE (cm/h)
Savana (Imperata)	26	16	50-80
Cultura mecanizada 4 anos, sem estrume	26	12	cai até 50
Cultura mecanizada 4 anos, com 30 T/ha de estrume	26	23	25-30

A Tabela IV.3 acima, mostra os diferentes valores de macroporosidade e de permeabilidade em solos podzólicos da República Centroafricana sob três diferentes coberturas vegetais.

CAPÍTULO V

CARACTERÍSTICAS HÍDRICAS

V.1. GENERALIDADES

V.1.1. Ponto de Murchamento

Por definição, o ponto de murchamento corresponde à umidade de um solo submetido a um pF de 4,2 (equivalente a uma pressão de 16 kg/cm^2 aproximadamente). Na prática não há problemas para se transpor este resultado ao campo: o ponto de murchamento (determinado no laboratório) corresponde bem à umidade do solo para qual as plantas começam a murchar (no campo), excetuando-se aqui as plantas resistentes a seca, como por exemplo o xique-xique, o mandacará e outras cactáceas, etc.

O ponto de murchamento é uma função linear do teor em elementos finos (argila + silte). Nos solos ferralíticos (solos podzólicos e latossolos) onde o teor de silte é baixo, é possível de simplificar a sua expressão da maneira seguinte (VAN WAMBEKE, 1974):

- Umidade (%) a pF 4,2 = $0,234 (\text{M.O. } \%) + 1,3$

sendo: $r = 0,837$

M.O. = matéria orgânica

O humus tem um papel até agora pouco conhecido, muito embora, tudo indica que a fração do solo mais ativa é a matéria orgânica (THOMANN, 1964).

Por outro lado, pode-se considerar que a umidade do ponto de murchamento corresponde à água contida na porosidade fechada.

V.1.2. Capacidade no Campo

Num solo encharcado, depois de uma chuva bem pesada ou uma forte irrigação, as primeiras variações de umidade são nítidas e ocorrem normalmente num prazo de tempo da ordem de uma hora; é possível de se constatar variações de umidade a cada hora. Isso corresponde à água de gravidade.

Quando toda a água de gravidade for drenada, o decréscimo do teor de água do solo se faz mas devagar e só pode ser verificada num prazo de tempo da ordem de um dia.

O limite entre esses dois tipos de decréscimo da umidade corresponde à capacidade no campo (*Figura V.1*).

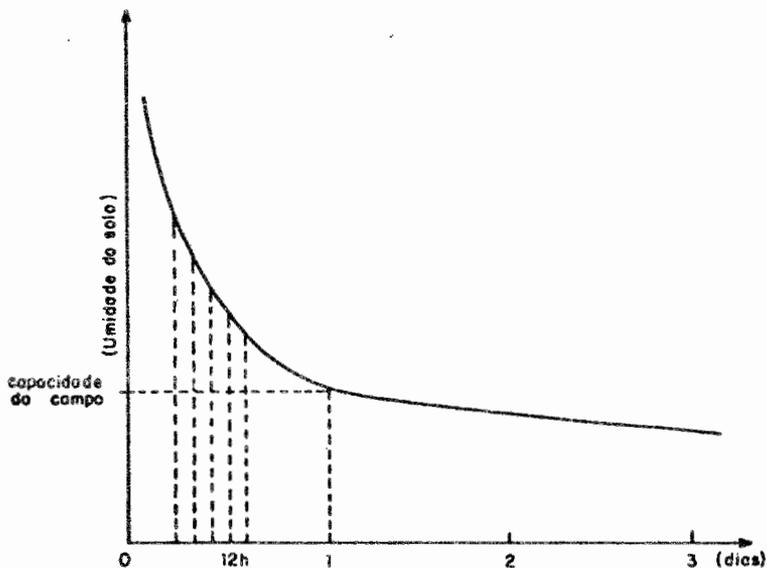


Fig.V.1. Umidade da Capacidade do Campo determinada em função da Variação da Umidade de solo com o Tempo após encharcamento pela água.

Melhor seria permanecer no campo para medir a umida de do solo a cada hora. Na prática, espera-se um determinado tempo antes de tomar amostras para medir a umidade. Esse tem po de espera tem que corresponder mais ou menos à permeabili dade. Vejamos alguns valores:

- solos de boa drenagem:
 - . 24 horas para a superfície;
 - . 48 horas para as camadas profundas;
- solos de drenagem mais fraca:
 - . 36 horas para a superfície;
 - . 72 horas para a profundidade.

Por outro lado, levar a água para o campo ou esperar uma forte chuva para se calcular a umidade, pode se tornar in cômodo. Por essa razão, muitos pesquisadores tentaram ligar a capacidade de campo a um determinado pF, geralmente pF 2,5 ou pF 3,0. Infelizmente, o pF de correspondência com a capaci dade de campo varia com o teor de elementos finos e não é re comendável aplicar o mesmo pF a todos os solos (usando um ter ço de atmosfera, corrige-se no Brasil os resultados, as vezes, com um "*coeficiente de incerteza*" de 50%).

A partir da relação abaixo determinada por COMBEAU e QUANTIN, na qual se acha incluído o teor de elementos finos, é possível calcular aproximadamente o pF da capacidade no campo e a pressão (*Tabela V.1*):

$$- \text{pF (capacidade no campo)} = 0,038 (A+S) + 1,5; \quad r = 0,771$$

onde:

A = argila

S = silte da granulometria

O humus e a estrutura intervêm nos valores da umida de a cada pF. O efeito da estrutura é devido à ação do humus e do ferro. Daí aparecerem relações mais complicadas como aque la sugerida por PIDGEON (1972) ao estudar solos de Uganda. Ve

TABELA V.1 - Determinação de Valores de pF e de Pressão de terminados por COMBEAU e QUANTIN (1963a)

Finos (X)	pF calculado (pF cc)	Pressão calculada	pF a pressão escolhida na prática
A+S (10)	1,88	76 g	pF = 1,8 a pressão = 80g
A+S (20)	2,26	182 g	} pF = 2,4 a pressão = 300g
A+S (30)	2,64	436 g	
A+S (40)	3,02	1.040	} pF = 3,0 a pressão = 1000g
A+S (50)	3,40	2.500	
A+S (60)	3,78	6.200	

jamais:

- Unidade %C.C. = $7,38 + 0,16S + 0,30A + 1,5 M.O.$; $r = 0,964$

onde:

C.C. = capacidade no campo

S = silte

A = argila

M.O. = matéria orgânica

Não se deve esquecer o papel dos pseudo-partículas (material que é quebrado pela dispersão da granulometria) e dos agregados coesos, como acontece nos solos calcáreos e solos ricos em ferro livre (óxidos e hidróxidos de ferro). Como exemplos temos:

- Rendzimas: humus + agregados grumossólicos
- Latossolos: argila + "ferro" + pseudo-partículas
humus + "ferro" + agregados

Para as duas categorias do solo acima, o comportamento se assemelha ao das areias, apesar de um teor de argila granulométrica bastante elevado.

A tentativa de aperfeiçoar as fórmulas levou COMBEAU e QUANTIN (1963) a introduzir o carbono do humus e a estabilidade estrutural na sua relação:

$$- \text{pF (capacidade de campo)} = 0,038 (A+S)\% + 0,28 (\text{do humus } \%) + 0,12 I_s + 0,65$$

Apesar de tudo a única maneira de se obter resultados perfeitamente corretos consiste em medir a capacidade de campo diretamente no campo. Os dados obtidos com fórmulas, embora útil, não passam de valores aproximados. Porém, a aproximação se torna muito deficiente quando a capacidade de campo for medida com o mesmo pF, qualquer que seja a granulometria.

MEDINA e GROHMANN (1966) estudaram as características hídricas de latossolos de campo cerrado. Esses resultados são apresentados na Tabela V.2.

TABELA V.2 - Características Hídricas de tres solos do Campo Cerrado, segundo MEDINA e GROHMANN (1966).

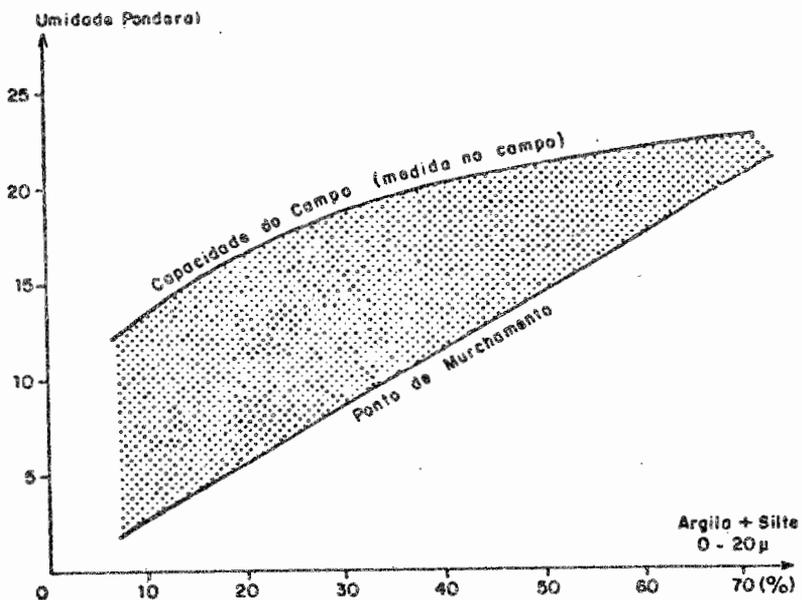
TIPO DO SOLO	TEORES MÉDIOS EM ARGILA + SILTE (%)		ESPESSURA DA CAMADA DO SOLO (cm)	UMIDADE EM RELAÇÃO AO VOLUME DO SOLO (em mm de chuva)		
				Capacidade de do Campo pF 2,54	Ponto de Murchamento pF 4,2	Água Útil
LATOSSOLO ARENOSO	Superfície:	12%	0-40	54,5	23,0	31,5
	40cm	14%	0-80	107,5	47,5	60,0
	1m	16%	0-120	166,5	72,0	94,5
LATOSSOLO BARRENTO	0-20	25%	0-40	103,0	44,5	58,5
	20-40	26%	0-80	200,5	94,5	106,5
	80-120	32%	0-120	306,5	149,0	157,5
LATOSSOLO ARGILOSO	Superfície:	61%	0-40	127,6	91,6	36,0
	40cm	66%	0-80	251,0	177,6	73,4
	80cm	66%	0-120	364,0	257,6	106,4
	120cm					

Recapitulando: por camada de 10cm de espessura do solo, obtém-se, em média, de 10 em 10 centímetros até uma profundidade total de 120cm:

- Latossolo Arenoso: água útil = 7,8 mm
- Latossolo Barrento: água útil = 13,1 mm
- Latossolo Argiloso: água útil = 8,8 mm

V.1.3. Água Útil ou Água Disponível

Por definição, a água útil corresponde à diferença entre a unidade da capacidade no campo e a do ponto de murchamento (pF 4,2) (Figura V.2 e Tabela V.2).



 Água útil ou água disponível

Fig. V.2. Domínio da Água Útil sobre três metros de Profundidade em dois Solos do Benin (África), segundo OCHS e OLIVIN, 1965.

A água útil pode ser medida: (a) em relação ao peso do solo: é a água útil ponderal; ou (b) em relação ao volume do solo: é a água útil volumétrica. Dessa forma se pode passar de uma para a outra determinação em se utilizando da relação:

água útil volumétrica = água útil ponderal X densidade aparente

Usaremos sobretudo a água útil volumétrica porque cada ponto de umidade corresponde, para uma espessura de 10cm do solo, a um milímetro de chuva.

Para outros autores a quantidade de água útil é maior nos solos arenosos (Tabela V.3, Figura V.3 e V.4).

TABELA V.3 - Água Útil, segundo OCHS e OLIVIN, 1965.

PROFUNDIDADE 3 METROS	SOLO ARGILOSO	SOLO ARENOSO ARGILOSO
Água útil determinada	300mm	420mm
Água útil utilizada pelo dendezeiro	300mm	380 (350)

No caso do solo areno-argiloso existe uma diferença de 40mm, entre a água útil supostamente aproveitável e a água útil realmente utilizada pelo dendezeiro (OCHS e OLIVIN, 1965) (Tabela V.3); de fato 30mm desta água são absorvidos em estado de deficiência hídrica (estômatos fechados) durante a seca, isto é, sem benefício nenhum para o rendimento. Na realidade, o "deficit" é de 70mm em relação aos 400mm teoricamente disponíveis, o que reduz bastante a superioridade para a água útil destes solos areno-argilosos.

Dai surge a noção de rendimento em água útil, que parece estar ligada à quebra das películas de água que fazem ligações entre as raízes e os poros contendo água aproveitável.

A quebra dos filmes acontece normalmente nos solos arenosos com um teor de umidade maior do que nos solos argilosos.

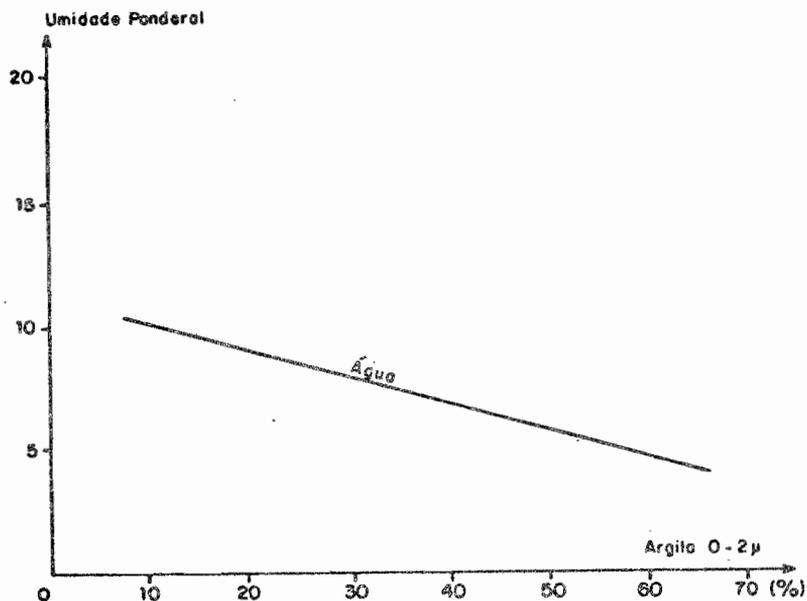


Fig. V.3. Relação entre Água Útil (ou disponível) e Granulometria (fração 0-2 μ).

Nos solos muito arenosos e também nos solos humíferos, o rendimento em água útil é considerado baixo, devido ao fato de que antes do teor de umidade se aproximar do ponto de murchamento, as raízes já tem algumas dificuldades de aproveitarem essa água.

Ao consultar uma ficha de análise com capacidade de campo com água útil, o agrônomo e o pedólogo devem examiná-la com muita cautela. Os seguintes aspectos devem ser considerados:

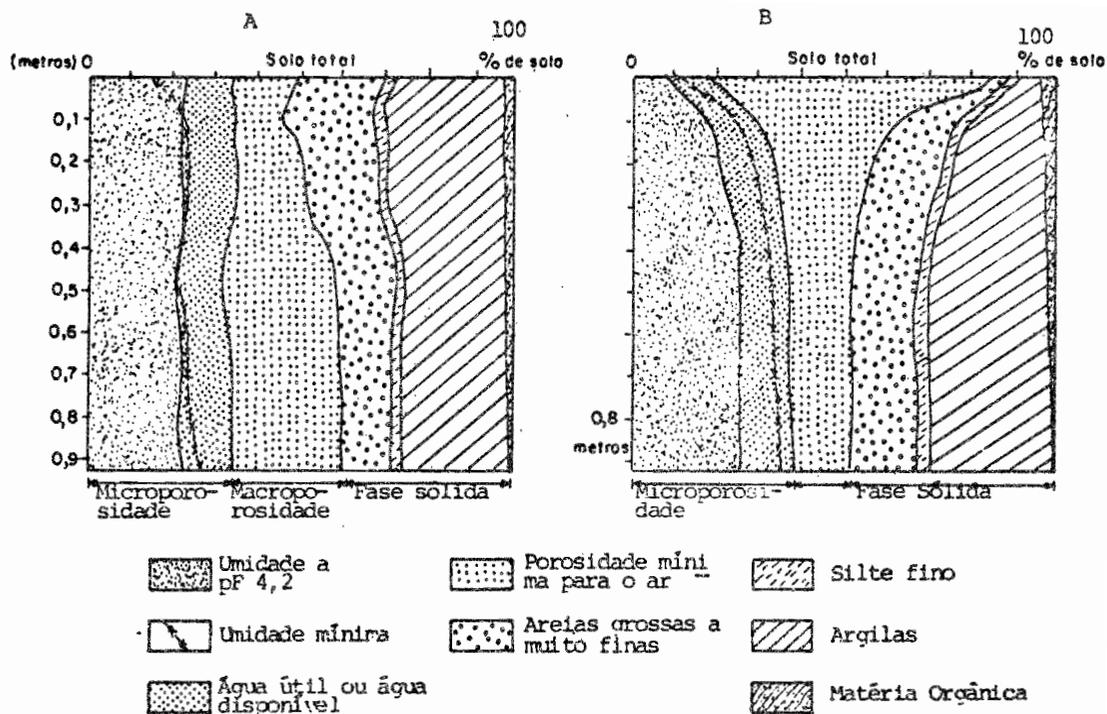


Fig. V.4 - Diagrama volumétrico mostrando o domínio de água útil em dois solos dos Camarões (África): A - Região de Adameous (com forte estação seca); B - Sul dos Camarões (sem estação seca definida). Segundo HUMBEL, 1974.

- qual foi o método utilizado;
- no caso, havendo um pF fixo (o da capacidade de campo) os resultados devem ser corrigidos um pouco mais para cima nos solos arenosos, e mais para baixo nos solos argilosos.

Os valores para a água aproveitável nos solos são em média:

. latossolos, solos podzolizados	5- 15%
. idem, valores mais frequentes	10- 13%
. solos ferruginosos tropicais arenosos de tendência planossólica	8- 10%
. rendzinas (França)	12- 14%
. andossolos	80-120%

A água útil serve ao abastecimento das plantas durante períodos sem chuva. Como exemplo temos: o milho absorve 380mm de água durante 110 dias. Durante um dia, a sua absorção média é de 3,5mm. Num solo profundo de 40cm com 1mm de água útil por cm de espessura, ele tem 12 dias de reserva de água. Como um exemplo prático, a escolha de solos com importante reserva de água aproveitável, permitiu, no Dahomey, reduzir de 50 a 20 o número de dias de seca real para dendezeiros.

V.2. PERMEABILIDADE

V.2.1. Definição

A permeabilidade é determinada pela fórmula de Darcy

$$Q = K \cdot S \frac{H}{l}$$

onde:

Q = quantidade de água que atravessa o solo

S = superfície das amostras

H = espessura da camada da água

I = espessura da amostra do solo

K = velocidade de filtração em cm/hora (coeficiente de Darcy)

V.2.2. Escala de Permeabilidade

$K < 0,40$ cm/h solos impermeáveis

$0,40 < K < 1,8$ cm/h solos pouco permeáveis

$1,8 < K < 18$ cm/h solos permeáveis

$K > 18$ cm/h solos muito permeáveis

V.2.3. Fatores de Permeabilidade

a) Porosidade (Tabela IV.3)

Distingue-se a porosidade entre os macroporos, onde a água penetra e circula livremente e os microporos, onde a penetração é mais lenta. Como exemplo, na República Centroafricana, em regiões de solos podzolizados avermelhados eutróficos, os valores de permeabilidade encontrados foram de 50-80cm/h para solo com microporosidade de 16% do volume do solo e 5cm/h, para solo com microporosidade de 12% do volume do solo.

b) Estabilidade Estrutural

Quando a água percorre os poros, as paredes destes tendem tanto mais a se desagregarem quando a estabilidade estrutural se torna mais fraca. O desabamento dessas paredes gera poros entupidos, daí uma diminuição na permeabilidade.

c) Textura

Em relação a permeabilidade a textura em si desempenha um papel importante em relação aos demais fatores: Veja mos:

- os solos argilosos são considerados como pouco permeáveis, mas a agregação (devido à matéria orgânica, ao ferro, etc) pode mudar esse caráter;

- os solos arenosos, no caso geral, são permeáveis: porém os seus agregados são frágeis e, no caso da areia fina predominante, os detritos entopem os poros reduzindo fortemente a porosidade natural.

V.2.4. Variações da Permeabilidade

Os estudos sobre as variações da permeabilidade indicam que elas também estão: (a) ligadas à estrutura, daí variações sazonais (Figura V.5) e sob influência da cultura

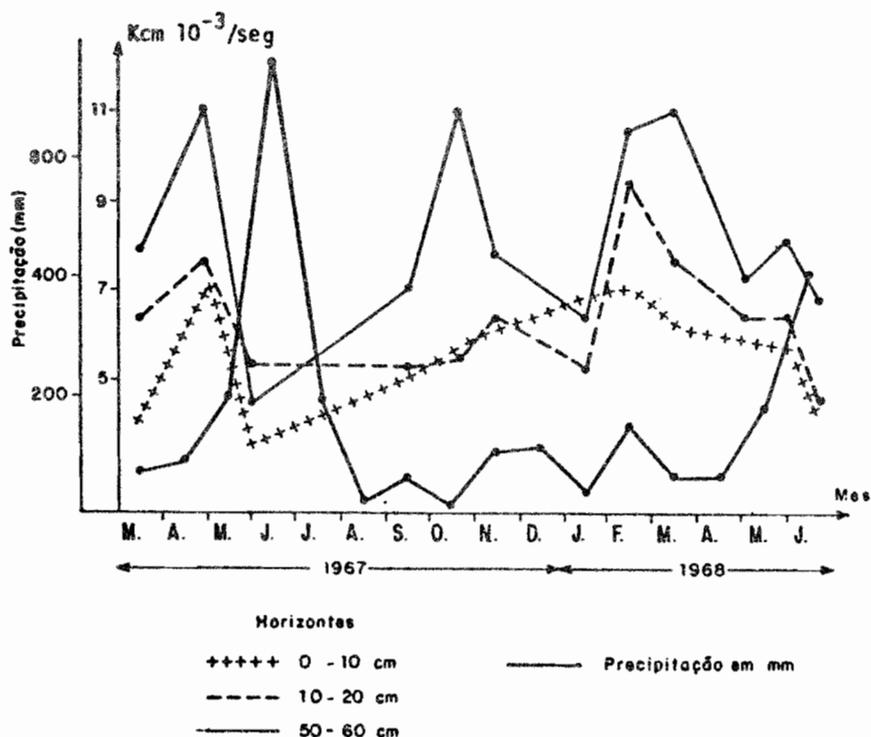


Fig.V.5. Variações Estacionais da Permeabilidade num Latossolo do Sul da Costa do Marfim. (Segundo TALINEAU, 1969).

(Tabela V.4) e (b) relacionadas com o trabalho do solo: a curto prazo o trabalho do solo aumenta muito a permeabilidade; porém o cultivo contínuo diminui a permeabilidade ao decorrer dos anos. Esta variação segue estritamente a variação da porosidade.

TABELA V.4 - Balanço Hídrico num Latossolo da Costa do Marfim, segundo ROOSE, 1970.

COBERTURA	CHUVA (mm)	DRENAGEM		ESCOAMENTO SUPERFICIAL	
		mm	% DE CHUVA	mm	% DE CHUVA
Floresta	2.157	932 (980)*	43,2 (45,4)*	19	0,9
Pastos de Panicum	2.157	608	28,2	468	21,7
Solo nu	2.157	475	22,0	675	31,3

(*) Até 1,5 m de profundidade.

V.3. DRENAGEM

V.3.1. Definição

A drenagem pode ser externa quando se processa por escoamento superficial, e interna, quando por percolação da água através do perfil. Discute-se aqui exclusivamente a drenagem interna.

A drenagem interna ou de percolação poderá ser calculada nos solos não encharcados, utilizando-se a seguinte fórmula:

$$\text{Chuva} = \text{ETR} + \text{escoamento superficial} + \text{drenagem percolação} + \text{reservatório} \\ (\text{variação da reserva da água}) \text{ do solo}$$

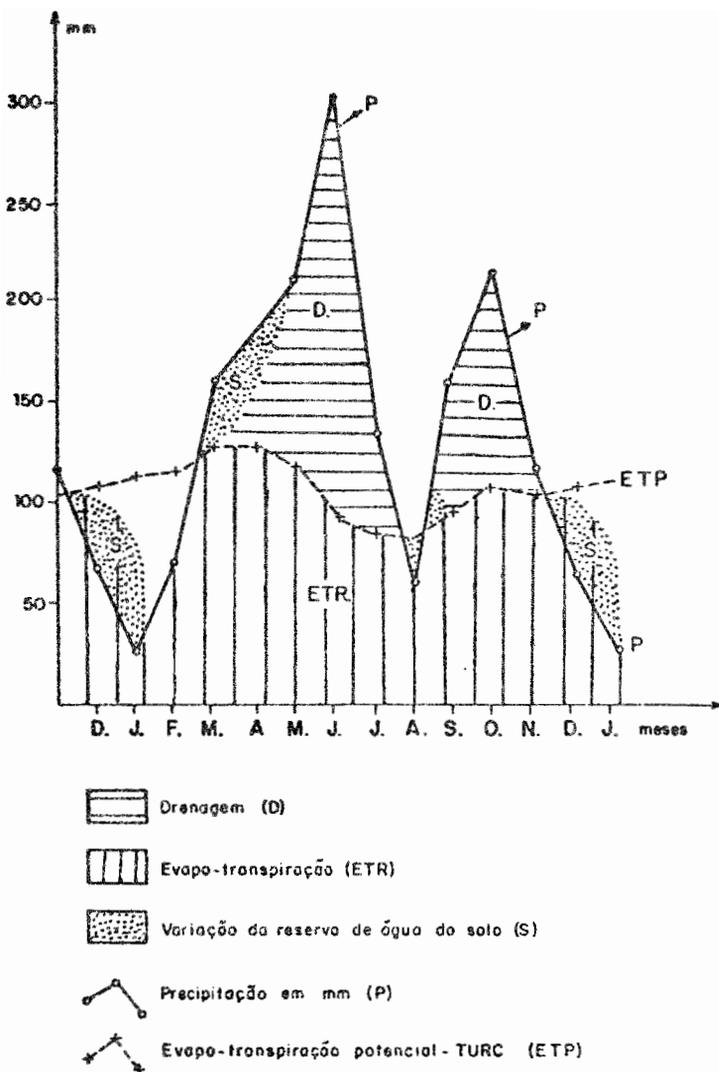


Fig. V-6 - Esquema do Balanço Hídrico num Solo Podzólico Eutrófico Fase Floresta Semi-Decídua da Costa do Marfim (segundo ROOSE, 1970).

onde:

$ETR = \text{evapotranspiração real}$

$\text{Drenagem (percolação)} = \text{chuva} - (\text{ETR} + \text{escoamento superficial} + \text{reservatório do solo})$

A ETR é raramente conhecida com precisão; assemelha-se ao ETP durante a estação chuvosa (ETP é a evapotranspiração potencial).

V.3.2. Intensidade da Drenagem num Solo de Floresta Equatorial

Estudos efetuados por ROOSE (1970) em solos da Costa do Marfim (*Figura V.6, Tabela V.4*), com horizonte superficial bastante arenoso e mais argiloso em profundidade, determinaram que a drenagem injerna atinge 980mm até uma profundidade de 1,50m ou seja 45% aproximadamente da chuva (2.157mm por ano). Nota-se que a maior parte da percolação ocorre em três meses apenas, o mês de junho sozinho soma aproximadamente um terço do total desse tipo de drenagem.

ROOSE (1970) também determinou que a drenagem interna diminui nos solos cultivados e mais adiante nos solos nus, e que o escoamento superficial aumenta muito nestes últimos, dando condições favoráveis à erosão.

Alguns aspectos importantes devem ser considerados. Vejamos os mais significativos:

- a maior intensidade da drenagem interna concentrada em poucos meses, ou em períodos curtos, provoca a lixiviação das bases e dos fertilizantes;
- a diminuição da drenagem interna nos campos cultivados aumenta o escoamento superficial, daí grandes riscos de erosão, fenômeno que é sempre observado nos solos nus.

CAPITULO VI

ORIGEM DOS ELEMENTOS QUÍMICOS ÚTEIS AS PLANTAS

VI.1. GENERALIDADES

Considera-se muitas vezes que a riqueza química de um solo fica à depender unicamente da natureza da rocha mãe. Porém isso não passa de um ponto de vista pelo menos parcial e esquemático. Existem também, como discutiremos no presente capítulo, duas outras fontes para o fornecimento dos elementos químicos: a vegetação e a atmosfera.

VI.2. ROCHA MÃE

VI.2.1. Importância da Rocha Mãe

A rocha mãe apresenta características químicas próprias que, muitas vezes, se refletem nas características essenciais dos solos, sobretudo quando estes são pouco espessos e pouco evoluídos (solos jovens). Exemplos:

- Rendzinas Ca, sempre desenvolvidas a partir do calcário calcítico (CaCO_3);
- Rendzinas Ca-Mg, sempre desenvolvidas a partir de calcário dolomítico ($\text{CaCO}_3\text{-MgCO}_3$);
- Brunizens eutróficos sempre desenvolvidos a partir de rochas básicas (basaltos, dioritos, gabros, etc);
- Solos arenosos pobres (por ex.: os podzóis) desenvolvidos a partir de rochas silicosas (quartzitos ou arenitos).

É possível de considerar que os elementos seguintes provêm unicamente ou em maior parte da rocha mãe:

. Elementos maiores: *Si, Ti, Al, Fe, Ca, Mg, K, P.*

. Elementos traços: *Mn, B, Mo, Zn, Cu, Pb, Zr, Ba, Th, As, V.*

Os casos de enxofre (como discutido no item VI.4.2) e do sódio (Capítulo XIII) são um pouco especiais, a atmosfera ou, no caso do sódio, a água de irrigação desempenha um papel importante. Praticamente podemos afirmar que todos os elementos químicos de importância maior para a fertilidade, provêm, pelo menos parcialmente, da rocha mãe. A partir desse raciocínio, poderia conceber que uma rocha rica nos elementos P, Ca, Mg e K, deveria sempre dar nascimento a solos quimicamente ricos nesses elementos, denominados solos ricos, e uma rocha pobre nesses mesmos elementos daria origem aos solos pobres. Na prática, porém, esse comportamento está bem longe de ser verificado em todos os lugares, sobretudo em regiões tropicais, como exposto no parágrafo seguinte.

V.2.2. Atuação do Intemperismo

Nas regiões tropicais, o intemperismo, atuando durante muito tempo, pode modificar completamente a situação acima exposta, empobrecendo o solo em elementos minerais úteis às plantas. Assim, certos brunizems do Rio Grande do Sul se tornam ácidos e pobres em bases. Este fenômeno é bem nítido nos solos que sofreram um intemperismo forte, tais como os solos podzólicos e os latossolos geralmente formados sob clima agressivo (tropical ou equatorial úmido), muitas vezes durante dezenas e centenas de milhares de anos. Daí as características químicas do solo, devido à ação da lixiviação intensa e prolongada, variarem com a profundidade (Tabela VI.1).

O esquema exposto se apresenta tão verdadeiro que já se pode afirmar com certeza que tanto um solo podzólico como um latossolo, ambos eutróficos, foram desenvolvidos a partir de uma rocha bastante rica em bases. De outro lado, um solo distrófico, seja do tipo podzólico ou seja latossolo, pode ser

TABELA VI.1. Intemperismo num Solo Ferralítico (Camarões) desenvolvido sobre basaltos dos Camarões. Pluviosidade 1500mm. Altitude 1100m. Vegetação savana herbácea. Elementos Totais, segundo SIEFFERMANN (1973).

HORIZONTE		PROFUNDIDADE AMOSTRAGEM (cm)	P_2O_5 %	MnO_4 %	Na_2O %	K_2O %	MgO %	CaO %
A	0-15cm	5cm	0,25	0,19	<0,03	0,1	0,6	<0,2
B_1O_x	15-60cm	25cm	0,20	0,16	<0,03	<0,05	0,5	<0,2
B_2O_x	60-235cm	105cm	0,20	0,16	<0,03	<0,05	0,5	<0,2
$B_2O_x C_n$	235-255cm	240cm	0,20	0,16	<0,03	<0,05	0,5	<0,2
B_3O_x	255-350cm	310cm	0,17	0,21	<0,03	<0,05	0,5	<0,2
B_C	350-470cm	360cm	0,25	0,22	<0,03	<0,05	0,7	<0,2
C G	470-900cm	600cm	0,30	0,31	0,03	0,10	0,7	0,2
Rocha mãe	>900cm	950cm	0,50	0,20	1,6	1,2	15,2	8,65

desenvolvido a partir de uma rocha pobre ou rica em bases; no segundo caso o intemperismo atuando durante muito tempo (solo idoso) é responsável pela pobreza do solo (Tabela VI.2).

TABELA VI.2. Rocha-Mãe, Bases Trocáveis, Grau de Saturação nos Horizontes A de Solos da Amazônia Paraense, segundo FALESI, 1972.

ROCHA MÃE	SBT meq/100g	V%	CLASSIFICAÇÃO DO SOLO
Xistos do Devoniano	0,36	5	Latossolo amarelo distrófico (Argila 55% em A)
Gnaisses e migmatito do Précambriano (Composição indo dos granitos aos grano-dioritos)	1,75	8,8	Solo podzólico distrófico com cascalhos (Argila 20% em A)
	3,95	5,9	Solo podzólico eutrófico com cascalhos (Argila 19% em A)
	0,67	5	Latossolo amarelo distrófico (Argila 35% em A)

VI.2.3. Fatores que atuam em Sentido Contrário do Intemperismo

No que se refere ao balanço do teor de determinados elementos no solo, os fatores discutidos a seguir atuam em sentido contrário ao intemperismo.

a) Vegetação

A vegetação, principalmente quando densa, como no caso de florestas, desempenha um valioso papel junto ao intemperismo. As raízes das plantas vão buscar as bases nos níveis mais inferiores do perfil, desde a parte mais inferior do horizonte C. A planta transportará essas bases até o horizonte A, quando as partes aéreas (folhas, galhos e troncos) caem no solo. Esse processo é bem nítido até uma profundidade média de 10 metros. Com profundidade do solo superiores a 10 me

tos, as plantas aproveitam unicamente os elementos dentro do solo (reciclagem solo-vegetação) com algumas perdas inevitáveis. Como consequência importante e que é registrada em muitos lugares, a floresta equatorial vive com a reciclagem per pétua de seus próprios resíduos.

b) Fauna do Solo

Este é um fator que desempenha papel similar ao da vegetação mas de intensidade bem menor. Ele atua sobretudo a través do trabalho efetuado pelas termitas e formigas que tra zem até a superfície materiais finos vindo de partes inferio res do perfil.

a) Erosão, Cinzas Vulcânicas

Uma erosão leve, mas constante, impede os solos de se desenvolverem completamente, o solo fica "jovem" (litosso-lo) refletindo ainda as características químicas da rocha mãe. Por outro lado as cinzas vulcânicas levam à superfície dos so los, onde elas caem, minerais inalterados. Embora na erosão temos um processo de subtração e na deposição de cinzas vulcâ nicas temos um processo de adição de material ao manto de in temperismo, cada um desses dois processos pode tornar o solo mais jovem.

VI.2.4. Elementos que provêm unicamente ou em maior parte da Rocha-Mãe

Praticamente todos os elementos, com exceção do clo ro e do nitrogênio, provêm, total ou parcialmente, da rocha mãe. Em consequência e conforme já se teve a oportunidade de discutir, praticamente todos os elementos de maior importân cia para a fertilidade de um solo, com excessão do nitrogênio e do cloro, provêm, pelo menos parcialmente, da rocha mãe. Por essa razão esses dois elementos não são incluídos na relaçã o abaixo:

. Elementos Maiores: Ca, Mg, K, (Na), P, (S)

. Elementos Traços: Mn, B, Mo, Zn, Cu, Pb.

VI.2.5. Dois Exemplos mostrando a Importância dos Fenômenos Relatados Anteriormente

a) Solo da Amazônia

O solo estudado por CAMARGO e RODRIGUES (1979), perto de Manaus (Tabela VI.3) mostra claramente as consequências de um intemperismo intenso sobre as características químicas do solo, particularmente as que condicionam a fertilidade como, por exemplo, os teores de bases trocáveis.

TABELA VI.3 - Solo da Amazônia perto de Manaus, segundo CAMARGO e RODRIGUES (1979)

SOLO	PROFUNDIDADE cm	ARGILA %		BASES TROCÁVEIS - Eq.mg				
				Ca	Mg	K	Na	SBT
Serrapilheira	2-0	—	4,5	11,7	5,1	1,42	1,06	19,3
A-1	0-3	67	4,4	0,8	0,2	0,27	0,22	1,5
A-3	3-8	74	4,4	0,3	0,3	0,15	0,13	0,6
B-1	8-20	80	4,2	0,1	0,1	0,10	0,11	0,3
B-21	20-40	85	4,7	0,2	0,2	0,10	0,14	0,4
B-22	40-60	86	4,7	0,2	0,2	0,06	0,08	0,3

SOLO	PROFUNDIDADE cm	Al ⁺⁺⁺ TROC. Eq.mg.	H ⁺ Eq.mg	T Eq.mg	VZ	100 Al ⁺⁺⁺ Al+S
Serrapilheira	2-0	7,4	—	—	—	—
A-1	0-3	3,1	14,6	19,2	8	67
A-3	3-8	1,8	6,7	9,1	7	75
B-1	8-20	1,5	5,1	6,9	4	83
B-21	20-40	0,7	3,5	4,6	9	64
B-22	40-60	0,8	2,6	3,7	8	73

Praticamente todas as bases trocáveis se encontram na serrapilheira e nos três primeiros centímetros de solo. Em termos de bases trocáveis, a parte mais profunda do solo praticamente nada contém. Em consequência, nesta parte mais profunda nós temos um pH muito ácido e um teor elevado demais de alumínio trocável.

b) Solo da Costa do Marfim

Um latossolo da Costa do Marfim, formado num clima chuvoso, é, por sua natureza, pobre em termos de seus valores de fertilidade. Nele foram medidos os aportes anuais de elementos químicos pela vegetação florestal através dos resíduos vegetais que caem cada ano (folhas, frutas, galhos, etc) e da lixiviação pluvial; aqui subentendendo o aporte de elementos arrancados dos tecidos vegetais pela chuva que cai sobre a folhagem. Esses aportes indicam mais potássio (o triplo) do que o solo possui sob forma trocável, e, em relação ao cálcio e magnésio trocáveis, quantidades inferiores às contidas no solo, mas da mesma ordem de grandeza (*Tabela VI.4*).

VI.3. VEGETAÇÃO

VI.3.1. Aporte pela Vegetação de Elementos Químicos do Solo

a) a vegetação, sobretudo a vegetação densa florestal, contém quantidades importantes de elementos e minerais que naturalmente variam segundo a natureza da vegetação. As *Tabelas VI.4, VI.6 e VI.8* mostram esse fato, indicando que:

- i) existe uma acumulação do cálcio na vegetação florestal;
- ii) que os elementos minerais da vegetação florestal são mais abundantes do que os contidos nos primeiros 25cm do solo, com exceção do fósforo;
- iii) que os elementos contidos nas ervas de três anos e em uma capoeira de 3 anos se encontram em quantidades mais ou menos iguais. Depois a floresta acumula mais elementos minerais do que a savana.

TABELA VI.4 - Elementos trazidos anualmente pela vegetação florestal e elementos presentes dentro do solo.

(BERNHARD-REVERSAT, 1976). Costa do Marfim - Floresta do Banco.

(Elementos em kg/ha).

	N	P	K	Ca	Mg
Aportes anuais dos detritos vegetais	158	13,6	80	85	35
Aportes anuais do pluvio-lessivagem	60	10	170	31	41
Total aportes da vegetação	218	23,6	250	116	76
	N 0-10cm	P	K Troc. 0-50cm	Ca Troc. 0-50cm	Mg Troc. 0-50cm
Reservas do solo N total 0-10cm K, Ca, Mg trocáveis 0-50cm	1200	-	90	200	110

Obs.: Um fenômeno semelhante acontece com certeza no solo da Amazônia citado antes mas não foi medido ao conhecimento do autor.

b) as queimas destroem a vegetação aérea e a liteira (as raízes ficam praticamente intactas no lugar), em consequência C, N e S vão para o ar, mas o solo se enriquece em Ca, Mg, K, P e em muitos dos elementos traços. Naturalmente os aportes são mais importantes após a queima de uma floresta do que da savana ou da caatinga (Tabelas VI.7 e VI.8). Muitas vezes a acidez dos solos e as suas consequências, principalmente altos teores de alumínio trocável, tornam esse aporte indispensável para as culturas.

TABELA VI.5 - Elementos químicos contidos nas partes aéreas, raízes e litseiras da vegetação tropical

	K	P	K	Ca	Mg
GHANA (NYE et GREENLAND, 1960)					
Floresta sempreviva (40 anos)	1830	125	818	2254	346
Floresta semi-decídua (20 anos)	572 ^{XX}	39 ^{XX}	408 ^{XX}	527 ^{XX}	212 ^{XX}
Savana arbustiva (<i>Andropogon</i> - 20 anos)	115 ^{XX}	22 ^{XX}	191 ^{XX}	270	66 ^{XX}
Savana à <i>Imperata cylíndrica</i>	44,8	29	105	13	23
Mata arbustiva costeira	281	28	277	441	104
COTE D'IVOIRE (BERNHARD, 1969)					
Floresta sempreviva do Banco	2200 ^{XXX}	90 ^{XXX}	225 ^{XXX}	445 ^{XXX}	198 ^{XXX}
AMAZÔNIA BRASILEIRA (KLINGE, 1972)					
Floresta sempreviva de Manaus	7280	128	728	2030	816
TABULEIRO DE BARROLÂNDIA, SUL DA BAHIA (FERREIRA, 1978)					
Floresta semi-decídua	736	-	1104	1435	368

TABELA VI.6 - Elementos químicos contidos na vegetação na Baía Central do Zaire. Latossolo Amarelo Distrófico, segundo BARTHOLOMEW, MEYER, LAUDELOUT (1953)

(Elementos em Km/ha)

	N	P	S	K	Ca + Mg
Capoeira (2 anos)	189	22,2	37,5	186	160
Capoeira (5 anos)	567	31,3	103,3	456	421
Capoeira (8 anos)	579	35,1	100,6	839	668
Floresta (17-18 anos)	701	108	196	601	822
Panicum maximum (pousio de 3 anos)	374	37	51	351	169
Setoria sphacelata (pousio de 3 anos)	378	35	63	273	151
Cynadon dactylon (pousio de 3 anos)	463	52	60	423	250

TABELA VI.7 - Modificações do pH e das Bases Trocáveis em três Solos do Gana pela queimada de uma Floresta Equatorial, segundo NYE e GREENLAND (1964)

	PROFUNDIDADE cm	pH		Ca eq.mg		Mg eq.mg		K eq.mg	
		Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
MB	0-5	5,2	7,6	4,3	11,2	2,2	2,8	0,4	1,2
	5-15	} 4,5	5,7	} 1,0	4,5	} 0,8	1,5	} 0,2	0,6
	15-30		4,7		3,0		1,2		0,4
MC	0-5	5,2	8,0	4,0	12,7	1,9	2,9	0,4	1,5
	5-15	} 4,5	7,4	} 1,2	5,0	} 0,9	1,5	} 0,2	0,8
	15-30		5,5		2,5		1,2		0,5
LP	0-5	5,2	8,1	7,0	21,2	2,6	3,9	0,5	2,5
	5-15	4,9	6,2	2,0	5,0	1,2	1,6	0,3	0,9
	15-30	4,9	6,2	1,7	3,8	1,2	1,4	0,4	0,5

TABELA VI.8. - Elementos Minerais Trocáveis trazidos pela Queimada de uma Floresta de 30-35 anos em Yangambi, Zaire, segundo LAUDELOUT (1954).

	TEORES DO SOLO ANTES DA QUEIMADA		TEORES DO SOLO DEPOIS DA QUEIMADA		AUMENTO kg/ha
	meq/100g	Kg/ha Elemento	meq/100g	Kg/ha Elemento	
BOMBOLO					
Ca	0,14	39	0,96	270	231
Mg	0,12	39	0,61	97	78
K	0,067	34	0,325	167	131
LIKOLONGO					
Ca	0,19	53	1,34	377	324
Mg	0,16	25	0,62	98	73
K	0,059	30	0,292	148	118

Obs.: O solo de Yangambi é um solo muito pobre, só as cinzas provenientes da queimada permitem fazer culturas.

VI.3.2. Permanência dos Elementos Químicos no Solo

Um problema importante a se discutir é o da permanência dos elementos trazidos pelas cinzas na parte superior do solo. Dentro deste conceito, abordamos alguns fatos constatados em diferentes regiões intertropicais.

a) Na África considera-se geralmente, em solos já bastante pobres sob floresta, que:

- as perdas são muito importantes em solo nú, onde a metade das bases (Ca, Mg e K, sobretudo) é perdida em um ano;
- a partir de 1 ou 2 anos de cultura, deficiências em potássio podem acontecer sob culturas anuais que deixam o solo parcialmente nú. Deficiências em magnésio e cálcio aparecem mais tarde (3 e 5 anos ou um pouco mais, a depender do solo);

- perdas ocorrem a partir de 10 anos sob plantas perenes com sorciadas às plantas de cobertura (geralmente leguminosas rasteiras). Sem planta de cobertura (o que quer dizer que as culturas perenes foram capinadas deixando o solo nũ), o prazo é semelhante ao das culturas anuais.

b) Na Amazônia Peruana, uma experiência de culturas anuais contínuas (arroz, milho, amendoim, soja), após desmatamento e queima da floresta e cultura (SANCHEZ et al. 1982), mostrou que:

- depois do oitavo mês (na segunda cultura) aparecem deficiências de nitrogênio e potássio;
- durante o segundo ano de cultura, fósforo e magnésio se tornam deficientes, e também em certos lugares enxofre e cobre;
- a partir do trigésimo mês, nota-se carência de cálcio;
- durante o quarto ano, observa-se carência de zinco.

É necessário deixar claro que o clima quente e úmido (2.100mm anuais de chuva na Amazônia Peruana) favorece a lixiviação e que o solo é originalmente muito ácido (pH ~ 4,0), muito pobre sobretudo em fósforo e potássio e, também, em cálcio e magnésio.

c) Os resíduos das culturas, quando abundantes, podem desempenhar um papel semelhante ao da vegetação natural, por exemplo, no caso do abacaxi, cultura de alta densidade, eles trazem 15 toneladas de matéria seca. No caso do arroz, a palha representa um peso da mesma ordem de grandeza do que o grão; por consequência, para uma safra de 4t/ha de grão, a palha tem um peso equivalente; isso não é negligenciável, pois além do aporte de matéria orgânica, a palha do arroz contém, em valores médios por tonelada, 5kg de N, 2kg de P₂O₅, 40kg de K₂O, 3,5kg de CaO, 4,8kg de MgO. Nestes resíduos de colheita, é necessário também levar em conta as raízes, que é de maior dificuldade de se reconhecer. O milho, sorgo, milhete e

a cana-de-açúcar deixam no campo quantidades elevadas de resíduos de material vegetal. Seria melhor enterrá-los depois de reduzi-los a tamanhos de alguns centímetros, e não queimá-los, para, desse modo, conservar o nitrogênio, o carbono e o enxofre. Para os outros elementos químicos, as quantidades devem ser da mesma ordem de grandeza do que no pousio herbáceo de dois anos (Tabela VI.3).

Com referência as queimadas, quando forem indispensáveis, deve-se ter o cuidado de não amontoar o material disponível, para evitar acumulações das cinzas no mesmo lugar. Este procedimento evita que quantidades exageradas de elementos minerais sejam concentradas no mesmo local, em contraste com quase nada presente a alguns metros ao lado.

d) Finalmente, em se tratando do aporte de elementos químicos pela vegetação, parece necessário repetir que este aporte é indispensável às culturas sucedidas nos solos tropicais pobres, bem como também é bom ressaltar que, após um desmatamento, retirar todo o material vegetal do campo deixa o solo muito empobrecido. Além do mais, esta operação de retirada é normalmente efetuada com tratores potentes que empurram fora do campo ao mesmo tempo uma boa parte do horizonte humífero, o mais rico, daí um empobrecimento maior, podendo haver uma consequente esterilização do solo.

VI.4. ATMOSFERA

A atmosfera é o principal e, às vezes, o único fornecedor de nitrogênio (N), enxofre (S), e cloro (como cloreto (Cl⁻)). Ela traz também pequenas quantidades de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), sódio (Na), etc. A chuva é o veículo normal desses aportes, havendo porém uma exceção importantíssima, o nitrogênio, que é sobretudo fixado por certos organismos vivos a partir do ar.

VI.4.1. Nitrogênio

O aporte do nitrogênio ao solo se processa de duas formas: a fixação a partir do oxigênio do ar por vários organismos, sobretudo bactérias, e o aporte pela chuva.

a) *Fixação do Nitrogênio pelos Organismos Vivos*
(DOMMERGUES e MENGENOT, 1970)

a.1. *Fixação pelas Bactérias Aeróbicas*

Existem muitos tipos de bactérias, entre os mais conhecidos se destacam:

- *Azotobacter chroococum*: pH ótimo 7,0, vive sobretudo nos solos de pH incluído entre 6,0 e 8,0. Por consequência se encontra principalmente nos solos temperados e solos tropicais mais ou menos neutros.
- *Beijerinckia indica*: pH ótimo 5,5-6,0, vive normalmente entre pH 4,4 e pH 7,0; ou seja, sobretudo, na maioria dos solos tropicais ácidos.

As quantidades de nitrogênio fixadas pelas bactérias Aeróbicas podem variar muito: no Campo Cerrado, as bactérias fixam quantidades que se escalonam de 4 kg/ha (no mínimo) até 53 kg/ha/ano de N, segundo condições locais, sobretudo em função da riqueza do solo em fósforo. Considera-se geralmente que, no melhor caso, o nitrogênio fixado nos solos não ultrapassa 90 a 100 kg/ha/ano.

a.2. *Fixação pelas Bactérias Anaeróbicas - Clostridium sp.*

Sabe-se pouco a respeito das bactérias anaeróbicas e do seu comportamento no solo. As do gênero *Clostridium* são as mais estudadas. Elas vivem sem oxigênio, o que quer dizer em solos encharcados de água ou nos microambientes sem ar que existem sempre em pequenas quantidades nos solos normalmente bem drenados. Embora o seu papel parece muito importante, infelizmente não temos dados satisfatórios para os solos tropicais.

a.3. *Fixação pelas Bactérias Simbióticas - Rhizobium* *sp*

Os rizóbios tem a propriedade de penetrar na casca das raízes das leguminosas formando em suas superfícies formas arredondadas asperas chamadas nodosidades. O rizóbio e a planta vivem em simbiose, sendo que o rizóbio fornece nitrogênio à planta e esta provém o rizóbio com açucares.

Praticamente cada leguminosa possui o seu rizóbio específico, daí a necessidade de se introduzir o rizóbio específico ao mesmo tempo que uma leguminosa alheia é introduzida (caso da soja na África e na Europa do Sul).

As quantidades de nitrogênio fixadas pelos rizóbios em condições tropicais se escalonam geralmente de 50 até 20 kg/ha/ano, a média sendo em torno de 80 kg/ha/ano.

Entre duas culturas de leguminosas em solos muito ácidos ($\text{pH} < 4,5-5,0$) o rizóbio não pode sobreviver, porque ele não suporta a ação do alumínio trocável e necessita de uma certa quantidade de cálcio e um pouco do molibdênio para se desenvolver. Por esta razão, o pH 5,0 é o limite para a cultura de amendoim nos solos arenosos do centro do Senegal (PIERI, 1974) e o pH 4,7 parece ser o limite para um bom desenvolvimento das leguminosas de cobertura nos dendezaís do sul do Estado da Gâmbia.

a.4. *Fixação pelas Algas (sobretudo cianofíceas)*

As quantidades de nitrogênio fixadas podem se tornar muito importante nos arrozais inundados, sendo este um fato comprovado no Egito e no Extremo Oriente. Com certeza há fixação de nitrogênio pelas algas nos solos onde pequenas depressões retêm por algum tempo a água das chuvas, por exemplo nos sulcos e no fundo dos pequenos buracos deixados pela enxada. Até agora esse é um assunto pouco estudado.

a.5. Fixação pelas Bactérias do tipo *Spirillum*

As raízes de certas plantas, sobretudo gramíneas (*Paspalum*, *Pennisetum*, *Digitaria*, *Panicum*, milho, trigo e cana-de-açúcar, dentre outras), como também mandioca e batata-doce, contêm este tipo de bactéria. A descoberta foi feita por uma microbiologista brasileira Johanna Doberneiner em torno de 1970. Trabalhando com DART e DAY, dois pesquisadores ingleses, ela evidenciou que o responsável era uma bactéria muito pequena o *Spirillum*, cuja existência já era conhecida desde cinquenta anos. Mais tarde ela mostrou que existem dois tipos de *Spirillum*, *Azospirillum lipoferum* (já conhecido) e *Azospirillum brasiliense*. Eles vivem no interior dos tecidos das raízes, perto dos vasos de seiva. O *Spirillum* gosta sobretudo das temperaturas elevadas, sendo a temperatura ótima entre 28 a 35°C; por esta razão, encontra-se principalmente nos solos tropicais (DOBEREINER e BALDANI, 1981). As quantidades máximas de nitrogênio fixadas são de 800 kg/ha/dia numa cultura de trigo em latossolo vermelho.

No campo, é muito difícil de separar o nitrogênio fixado pelo *Spirillum* do nitrogênio vindo da ação de outros fixadores (p. ex.: *Beijerinokia*, algas); considera-se muitas vezes que dos 90 kg/ha/ano de nitrogênio fixado sob *Paspalum notatum*, o *Spirillum* é responsável pela metade.

b) Importância do Teor em Nitrogênio do Solo para a Fixação do Nitrogênio do Ar - Noção do solo Equilibrado Nitrogenado

O nitrogênio do solo, se for abundante, seja por já assim existir no solo, seja por ser trazido pelos adubos, pode freiar a fixação do nitrogênio do ar pelos micro-organismos. Por exemplo, em solo coberto de floresta, o húmus é abundante e, por consequência, o nitrogênio também. Em um solo desta natureza, o rizóbio não invade as raízes das leguminosas, as bactérias trabalham o mínimo, o suficiente para restabelecer

cer o teor de nitrogênio que é ligeiramente gasto pela absorção a partir das raízes. A mesma coisa ocorre no caso do *Spirillum*; ele só fixa o nitrogênio do ar se se encontrar, em um dado tempo ou em um espaço, com quantidades insuficientes de nitrato. Em presença de adubos nitrogenados, ele freia a sua fixação a partir de um aporte de 60-70 kg/ha de N e para completamente sua atividade com aporte de 200 kg/ha de N. Neste último caso, ele pode mesmo denitrificar os nitratos.

Das idéias acima expostas é que surgiu o conceito de equilíbrio nitrogenado. Um determinado solo pode só armazenar uma dada quantidade de humus e, portanto, de nitrogênio. Em condições normais, ele não pode conter uma maior quantidade de humus e de nitrogênio que aquela. Esse estágio de equilíbrio se encontra realizado sob vegetação permanente do tipo floresta, por exemplo. Os micro-organismos começam a fixar nitrogênio só quando esse equilíbrio se encontra quebrado no sentido de um abaixamento do teor de nitrogênio do solo.

a) Nitrogênio trazido pelas Chuvas

No caso do nitrogênio trazido pelas chuvas, as seguintes considerações devem ser observadas:

- a chuva contém sempre uma certa quantidade de nitrogênio que é variável segundo os anos e os lugares. Vejamos alguns exemplos:

Campinas (São Paulo)	3 a 9 kg/ha/ano
Extremo Oriente	10 a 14 kg/ha/ano
Etiópia	9,5 kg/ha/ano
Zaire	5,3 kg/ha/ano
Costa do Marfim (Abidjan)	20 a 24 kg/ha/ano
Gâmbia	47 kg/ha/ano
Norte da Nigéria	53 kg/ha/ano

- a média mundial destes valores de nitrogênio para solos tropicais giraria em torno de 7 a 9 kg/ha/ano;

- A metade do nitrogênio trazido pela chuva nos solos tropicais se encontra sob forma de amônio e provém, aparentemente, das fermentações de matéria orgânica fresca; a outra metade proviria da síntese de NO_3 pelas descargas elétricas dos relâmpagos, sendo esta segunda metade a responsável pelo "ganho" de nitrogênio no ecossistema global.

d) *Aproveitamento Global do Solo em Nitrogênio*

De uma maneira geral, parece certo que nossos conhecimentos sobre o fornecimento do nitrogênio ao solo são parciais. O exemplo seguinte (Tabela VI.9) mostra, através das quantidades de N fixadas pelo solo, que ainda existem algumas coisas desconhecidas.

TABELA VI.9 -

JAIYEBO e MOORE, 1964 IBADAN - NIGÉRIA	AUMENTO DO NITROGÊNIO DO SOLO DURANTE TRÊS ANOS NA CAMADA 0-40cm NITROGÊNIO EM KG POR HECTARE	
	DURANTE TRÊS ANOS	MÉDIA POR ANO
Solo nũ	123	40
Pousio <i>Cynodon dactylon</i>	213	70
Pousio <i>Fueraria phoeclides</i>	863	287
Pousio Florestal (Capoeira)	718	239

Considera-se na zona cacauzeira da Bahia (SANTANA, CABALA-ROSAND, 1982) que o aporte de nitrogênio pela chuva (da ordem de 17 kg/ha/ano) e, sobretudo, pela *Erythrina* (leguminosa de sombra) (através dos detritos vegetais caídos no solo e pela fixação simbiótica pelos rizóbios) é, nitidamente, superior aquele do nitrogênio exportado pelas colheitas (20 a 24 kg/ha para uma colheita de 1000 kg/ha de amêndoas secas, quando as cascas são deixadas no plantio).

VI.4.2. Enxofre

O enxofre pode estar presente em certas rochas, o que é certo para aquelas que contêm gesso, pirita e outros sulfetos e sulfatos. Esse enxofre desaparece, pelo menos parcialmente, no decorrer da pedogênese pela ação do intemperismo. Além disso, o enxofre das rochas pode desempenhar um certo papel em alguns solos, como se verifica nos solos derivados do Calcário Bambuí (região de Irecê, Bahia). Entretanto, na maioria dos solos, o enxofre vem diretamente da atmosfera sobretudo através dos seguintes caminhos:

- vapores dos vulcões (áreas limitadas em extensão);
- pelas chuvas, essas sempre têm uma certa quantidade de enxofre, variando desde 1 kg/ha/ano (trazido em média nas zonas rurais (HESSE, 1957)) até 20 kg/ha/ano (como na cidade de São Paulo e, frequentemente, quando perto de determinadas usinas ou fábricas (MALAVOLTA, 1967));
- aerossóis de origem marinha (como no exemplo proveniente da Costa do Marfim onde o enxofre detectado é 3,6 kg/ha/ano até a 80km da orla marítima, lembrando-se que a pluviometria (1600mm) é mesma nas duas áreas (MATHIEU e NONNET, 1970)). De fato, carências e deficiências em enxofre são extremamente raras até 50km do mar e ao passo que elas se tornam pouco frequente até 100-150km do mar e passam a ocorrer sobretudo no interior dos continentes.

VI.4.3. Cloro

O cloro não se fixa ou se fixa muito pouco no solo pelo fato dele ser levado rapidamente para fora pelas águas de drenagem. Contudo as plantas precisam de pequenas quantidades desse elemento.

O cloro provém predominantemente do mar por intermédio dos respingos e sobretudo dos aerossóis que são levados pe

lo vento até o interior dos continentes, e vêm a cair no solo com a chuva. Na Costa do Marfim, por exemplo, foram registrados os aportes seguintes:

- 16kg/ha/ano de Cl^- a 80km da orla marítima;
- 7kg/ha/ano de Cl^- a 600km da orla marítima.

As quantidades citadas no exemplo são elevadas de mais em relação as necessidades e consumo das plantas. O cloro caso seja rapidamente concentrado no solo se torna um elemento tóxico, entretanto ele não chega a se acumular no mesmo por ser facilmente levado para fora do perfil pela primeira água de chuva que for dele drenada.

Deficiências em cloro são bastante raras. Elas foram somente registradas em certos dendezais no interior dos continentes (como na África, Zaire) e em alguns micro-climas isolados da influência do mar (como em certas áreas da Colombia) (OLLAGNIER e OCHS, 1971). O coqueiro gosta muito de cloro. Por consequência ele prefere lugares perto do mar.

VI.4.4. Bases Metais Alcalinos e Alcalinos Terrosos

A chuva traz sempre pequenas quantidades de bases (K, Na, Mg, Ca ...) sob forma solúvel, sobretudo, e sob forma insolúvel (poeira) (Tabela VI.10).

Os dados da Tabela VI.10 deixam a pensar que esses elementos, quando são abundantes, provêm das poeiras do Saara trazidas pelo vento, em virtude do fato de que Ghana, Costa do Marfim e a República dos Camarões recebem fortes ventos vindo do Saara durante a estação seca, enquanto que o sul e o centro do Zaire, não é afetado por esse vento. No Zaire se acredita que os elementos K, Ca e Mg são praticamente oriundo do solo não cultivado ou não cultivado, e das cinzas das queimadas (MEYER e DUPRIEZ, 1959). Porém os aerossóis marinhos também podem levar esses cátions. Eles caem no solo com as águas

das chuvas (Tabela VI.11). Essas quantidades de bases, embora pequenas, não são negligenciáveis para solos muito pobres, sobretudo quando os ventos carregam muita poeira. Na Tabela VI.11, observamos que as quantidades relevantes de bases da poeira não solúvel não são computadas.

TABELA VI.10 - Aporte de Elementos Químicos no Solo pela Chuva, segundo vários autores citados por BOYER, 1982.

REGIÕES	K kg/ha/ano	Ca kg/ha/ano	Mg kg/ha/ano
Gana (sul)	17,47	12,65	11,31
Camarões (Yoroundi)	12,00	3,80	2,50
Costa do Marfim (centro-sul)	7,50	-	-
Norte do Zaire (Mulungu)	3,04	4,08	1,25
Centro do Zaire Jangambi	2,05	3,88	1,15
Sul do Zaire Kinchassa	1,41	4,58	0,92

TABELA VI.11 - Bases Solúveis na Água da Chuva Precipitada no Recôncavo da Bahia, segundo BUAT-MENAR (comunicação verbal)

4 MESES	Na kg/ha	K kg/ha	Ca kg/ha	Mg kg/ha
Salvador (650mm de chuva)	0,57 (1,71)	0,042 (0,126)	0,075 (0,222)	0,0051 (0,153)
Cruz das Almas (314mm de chuva)	0,09 (0,36)	0,012 (0,048)	0,014 (0,056)	0,014 (0,056)

Obs.: Os números entre parênteses correspondem às extrapolações dos valores para a média anual de chuva.

Exemplo: 7,5kg/ha é a quantidade de potássio (elemento) precipitado com a chuva anual no centro-sul da Costa do Marfim; esta quantidade representa aproximadamente um décimo

das "exportações" desse elemento por uma cultura de milho, amendoim ou arroz. Chegou-se à conclusão de que o nível anterior de potássio trocável pode ser restabelecido, dentro de 10 anos de pousio, simplesmente com o aporte fornecido pela atmosfera naquela região. Este raciocínio não passa de qualquer coisa por demais simples, porque ele negligencia outros fatores que intervêm no empobrecimento em potássio dos solos, como por exemplo a erosão, a lixiviação e na recuperação como aquela resultante da formação de K-trocável. Entretanto ele dá uma boa idéia sobre a possível contribuição da atmosfera no processo.

CAPÍTULO VII

NITROGÊNIO

VII.1. FORMAS DO NITROGÊNIO DO SOLO

O nitrogênio se encontra no solo sob as seguintes formas:

	quantidades num solo tropical (R.C.A.) ^{6/}
Nitrogênio amoniacal (NH_4)	4 ppm
Nitrogênio dos nitratos (NO_3^-)	4 ppm
Nitrogênio orgânico (no humus)	902 ppm

Uma outra forma de nitrogênio é aquela sob a forma de nitratos (NO_2^-) que existe somente nos solos com propriedades redutoras, isto quer dizer solos encharcados de água.

Na prática, podemos considerar que a quase totalidade do nitrogênio do solo se encontra no humus ou seja na matéria orgânica do solo. Nesta, fica todo o estoque de nitrogênio em reserva, porque as plantas não podem aproveitá-lo imediatamente. É necessário que se torne aproveitável, o que ocorre sob as formas amoniacal e de nitratos, no decorrer de algumas transformações, chamadas de mineralização do humus, que atuam durante a destruição da matéria orgânica (a matéria orgânica do solo se forma, se transforma e se destrói, ao mesmo tempo nos solos). Esta mineralização é um fenômeno que intervem de maneira continua nos solos e também na sua reconstrução. Um exemplo disso é observado sob a floresta de Gana, onde se estima que a mineralização do humus durante um ano corresponde a 170% da matéria orgânica sob forma de liteira (serapilheira), medida num dia dado. Apesar disso, o teor de ma

^{6/} República Centroafricana.

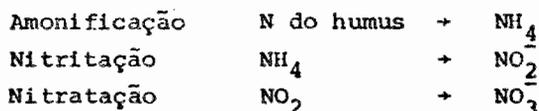
téria orgânica fica estável aproveitando dezenas de toneladas por hectare de matéria vegetal que cai no solo a partir das árvores (NYE e GREENLAND, 1960).

VII.2. DINÂMICA DO NITROGÊNIO

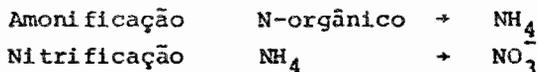
A dinâmica do nitrogênio no solo foi sobretudo analisada por DOMMERMUES e MANGENOT (1970).

VII.2.1. Mineralização da Matéria Orgânica

No decorrer da mineralização, o nitrogênio do humus, por não dizer da matéria orgânica do solo em geral, sofre três transformações sucessivas denominadas:



A nitritação é uma reação muito rápida que, no caso geral, passa despercebida. Os nitritos não permanecem nos solos, com exceção dos solos encharcados de água; felizmente eles desaparecem rapidamente na presença do oxigênio; essa oxidação é importante, porque os nitritos são tóxicos para as plantas, simplificando-se em duas reações



Os nitratos constituem a fonte da forma mais aproveitável desse nutriente a qual é, muitas vezes, a única disponível no solo. Contudo, certas plantas, sobretudo os cereais, podem aproveitar o amônio isolado ou misturado com nitratos. O arroz dos arrozais inundados constitui exceção, pois prefere o nitrogênio amoniacal.

VII.2.2. Amonificação

A amonificação se processa por causa da ação das bactérias amonificadoras. Estas são relativamente pouco sensíveis

às condições do meio ambiente. A amonificação sofre influência dos seguintes fatores:

- *Umidade do solo*: a amonificação pode continuar até o pF 4,9, embora lentamente. Processa-se normalmente nos solos completamente encharcados de água (arrozais inundados, por exemplo). Ao ocorrer uma chuva, depois de uma seca, a amonificação se torna muito rápida e intensa. O esgotamento de água no solo tende a diminuir a amonificação, porém sem a paralisar por completo (pelo menos até pF 4,9);
- *Temperatura do solo*: a amonificação prossegue quando a temperatura varia de 10 até 50°C, sendo que a temperatura ótima se situa na faixa de 38 a 45°C;
- *pH do solo*: o pH ótimo para a amonificação está em torno de pH 6 (*Figura VII.1*). Acima de 6, fica mais ou menos constante com uma ligeira tendência a diminuir. Para valores de pH abaixo de pH 6,0 até pH 5,5, a intensidade da amonificação diminui lentamente e, para valores de pH compreendidos entre 5,5 e 4,5, diminui rapidamente. Em torno de pH 4,5, e para valores de pH mais baixos, os cogumelos praticamente substituem as bactérias, mas com rendimento menor. Esse fato explica as acumulações de matéria orgânica mal decomposta que se produzem sob floresta em certos solos ácidos (pH 3,5 a 4,5), como por exemplo, no Gabão, no Congo e na Amazônia;
- *Variações sazonais*: o processo de amonificação praticamente não é interrompido durante o ano inteiro. Porém, durante a estação seca, com pF de 4,2 ou superior, ele se processa lentamente. Contudo aí uma acumulação do nitrogênio amoniacal (NH_4) se produz, pois nesse momento a nitrificação fica total ou parcialmente paralisada. Logo depois da primeira chuva importante e durante pouco tempo (cerca de algumas semanas), literalmente, a atividade das bactérias amonificadoras estoura. Depois, durante toda a estação chuvosa, ela fica constante a um nível médio de atividade (*Figura VII.2*).

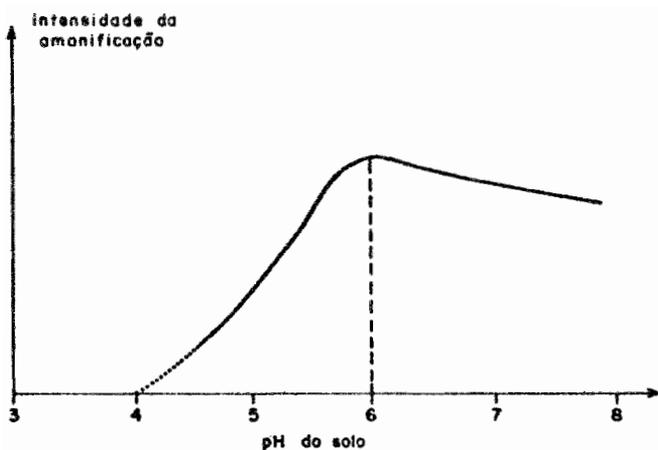


Fig.VII.1. Intensidade da Amonificação em Função do pH do Solo.

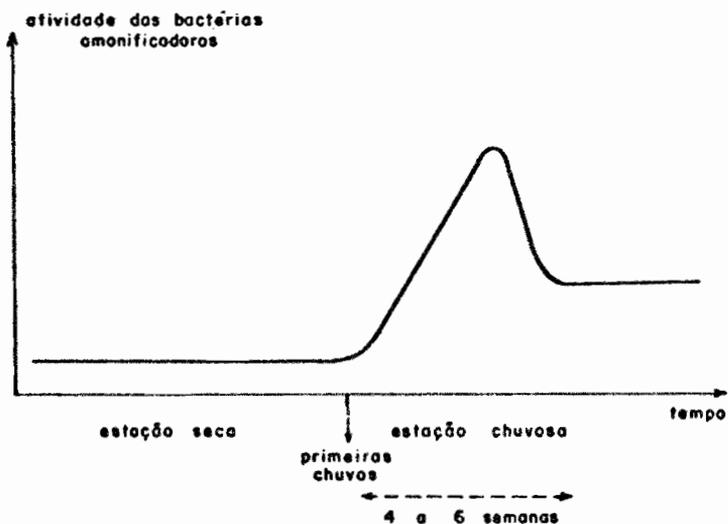
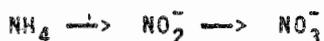


Fig.VII.2. Desenvolvimento da Amonificação em Função da Atividade das Bactérias Amonificadoras.

VII.2.3. Nitrificação

É a transformação de N amoniacal em nitratos



Comparada com a amonificação, a nitrificação é muito mais sensível às condições ambientais do solo.

Os fatores que afetam a nitrificação são:

- *Umidade do solo*: a umidade ótima do solo para a nitrificação se situa aproximadamente na capacidade do campo. Abaixo desse valor, a intensidade da nitrificação diminui pouco a pouco até um teor de umidade do solo correspondente a pF 4,2 (ponto de murchamento) onde ela é totalmente paralizada. O excesso de água (23-25% de água no solo) pode prejudicar muito o processo de nitrificação mas, geralmente, não o paralisa completamente.
 - *Temperatura do solo*:
temperatura ótima: de 28°C até 40°C
parada completa: para $T \geq 40^\circ\text{C}$ e $< 10^\circ\text{C}$
diminuição progressiva: de 28°C até 10°C
 - *pH do solo*: observando a *Figura VII.3*, constatamos que, para:
pH $\leq 4,5$: a nitrificação é nula ;
pH 4,5 + 6,0 + 6,5: existe um aumento gradual;
pH 6,5 + 7,0 + 7,5: a nitrificação é ótima com ligeira tendência a aumento.
- Dai se poder verificar os bons resultados da calagem sobre a nitrificação nos solos ácidos, lembrando que a calagem tem por efeito uma subida do pH.
- *Variações sazonais* (BLONDEL, 1971; BOYER, 1982): com as primeiras chuvas depois de um longo período seco, há, literalmente, uma explosão no fluxo de nitratos que ocorre no inf

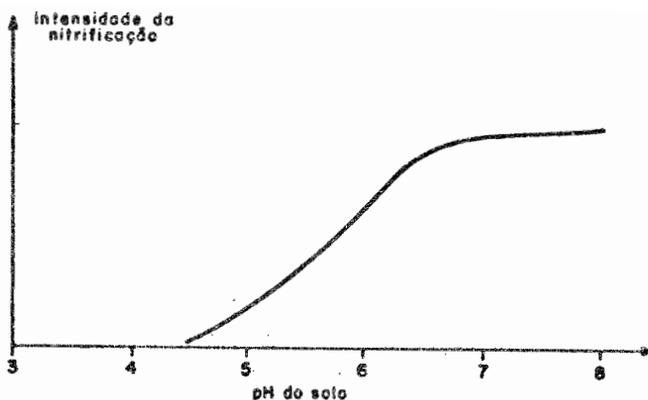


Fig.VII.3. Intensidade da Nitrificação em Função do pH do Solo.

cio da estação chuvosa e que perdura por um a dois meses (Figura VII.4). Depois, o teor dos nitratos no solo fica muito baixo. Portanto, a nitrificação parece continuar a se desenvolver de maneira normal. A explicação mais plausível é a seguinte: o consumo das plantas se torna suficientemente elevado, é a "primavera", todas as plantas brotam e crescem, empobrecendo o solo em nitratos, sendo que, no caso de um solo nũ, a drenagem leva os nitratos para fora das camadas superficiais. Nos climas úmidos, o fenômeno se processa de maneira semelhante, mas as amostragens indicam que cada chuva forte faz diminuir o teor de nitratos do solo.

VII.2.4. Perdas de Nitrogênio nos Solos

A perda de nitrogênio no solo pode ser processada por um dos seguintes fatores:

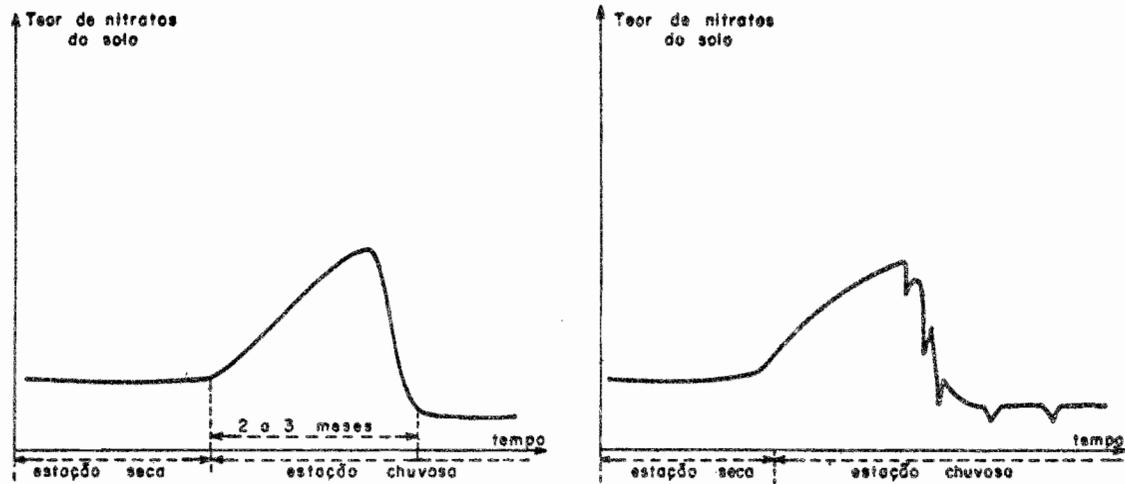
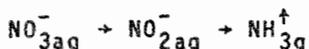


Fig. VII A. Variações Estacionais do Teor de Nitratos do Solo

a) *Denitrificação* (a partir dos nitratos): a denitrificação, que transforma nitratos em amônia (NH₃) ou nitrogênio (N₂), vem sendo bem estudada nos solos temperados; ela se produz sobretudo:

- . nos solos muito calcáreos;
- . nos solos com excesso de água, portanto com deficiência de oxigênio:



a denitrificação pode acontecer nos solos bem drenados graças à ausência de ar nos microespaços sempre presentes nos solos.

Nos solos tropicais, em geral a denitrificação se processa bem fracamente (solos ácidos, muitas vezes bem drenados). Estudos efetuados em Gana por GEENLAND (1959) provaram que a adição de hidratos de carbono (glucose) a um solo florestal bem fornecido em nitratos pode gerar perdas de N equivalentes a até 100 kg/ha (experiência de laboratório). Em condições naturais, essas perdas, quando existentes, tornam-se mascaradas pelos ganhos de nitrogênio; seja por fixação a partir do ar, ou de aporte pelos detritos orgânicos, dentre outras fontes.

b) *Perdas de Amônio pela Drenagem e na Atmosfera*: o câtion amônio NH₄⁺ fica normalmente retido pelo complexo adsorvente do solo ... até sua transformação em NO₃⁻. Isso demora pouco tempo, 3, 4, 5 dias nos climas tropicais quentes e úmidos. Desse modo, as perdas de N sob forma de NH₄-NH₃ são normalmente negligenciáveis. Em quantidades notáveis eles só podem acontecer nas condições abaixo:

- sob vegetação natural tipo floresta, com pH muito ácido (pH < 5,0), condição em que a amonificação se processa nitidamente mais rápida do que a nitrificação, daí acumulações de NH₄⁺ - NH₃ e perdas possíveis para a atmosfera ou pelas águas de drenagem;

- durante alguns dias, quando as primeiras chuvas caem após a seca. Nessa situação, o solo que já se encontra carregado de amônio, devido à amonificação que se processou lentamente, apesar da estiagem, fica sujeito à perda de amônio pela drenagem. Neste período do ano o processo de amonificação se intensifica muito, embora a nitrificação ainda se processe devagar porque precisaria de mais água para atuar plenamente. Isso é o que acontece nos solos não cultivados e solos cultivados sem adubos minerais.

O manejo dos fertilizantes nitrogenados pode constituir uma terceira ocorrência de perdas de amônio. Ao espalhar em superfície esses fertilizantes, sob forma de amônio líquido, ureia ou cianamida (os dois últimos se transformam muito rapidamente em $\text{NH}_3\text{-NH}_4$) podem acontecer perdas. De fato, o amônio, se for concentrado na superfície do solo, faz com que o pH se eleve no local às vezes até pH 8 (solos arenosos), provocando perdas. Perdas da ordem de 10 a 40% do aporte de nitrogênio foram medidas nas plantações de *Havea brasiliensis* da Malásia (COULTER, 1972). Por esta razão, é aconselhado enterrar esses fertilizantes; daí uma melhor distribuição na camada arada entre 7 a 10cm de espessura, em vez de uma concentração no primeiro meio centímetro do solo, o que impede o pH de ultrapassar 7, daí perdas negligenciáveis.

a) *Perdas de Nitratos pela Lixiviação*: os nitratos são muito sensíveis à lixiviação. Considera-se, por exemplo, nos solos arenosos do Senegal e de Kenia, que cada milímetro de chuva faz progredir a frente dos nitratos de 0,5 a 0,7 cm, isto que dizer que, com 200mm de chuva, esta frente vai até 1m-1,40m de profundidade. Um resultado semelhante foi encontrado em um latossolo paulista, numa experiência de laboratório (KINJO, KIEHL e PRATT, 1978). Essas perdas existem mesmo num solo não perturbado: por exemplo 100-120 kg/ha de N numa floresta da Costa do Marfim. Elas aumentam sob culturas: 170-200 kg/ha de N, sobretudo no período do fluxo dos nitratos

(ROOSE, 1970). Elas podem se tornar enormes com o uso dos fertilizantes nitrogenados, atingindo até três quartos do aporte, se este fosse medido.

VII.2.5. Problemas Decorrentes da Susceptibilidade dos Nitratos à Lixiviação

No último parágrafo foram observados alguns problemas de muita importância ligados à sensibilidade dos nitratos à lixiviação. De um modo geral, a falta de nitrogênio nos solos tropicais cultivados é o primeiro problema a aparecer, sendo as deficiências em nitrogênio, muitas vezes, a causa dos muitos problemas que se tornam difíceis de resolver. Isso ocorre porque:

- os adubos nitrogenados (minerais), que não forem absorvidos imediatamente pelas raízes das plantas, ficam praticamente perdidos;
- o NO_3^- dos nitratos não vai embora sozinho sob forma iônica. Ele se combina com os cátions do solo, Ca^{++} sobretudo, mas também Mg^{++} e K^+ formando sais e ions complexos. Os sais $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ e KNO_3 são certamente as formas predominantes e vão embora com as águas da drenagem. Em consequência, verifica-se perdas de Ca, Mg e K proporcionais às perdas de N como também uma diminuição subsequente do pH.

As Tabelas VII.1a e VII.1b apresentam resultados onde se verificam o efeito de doses muito elevadas de sulfato de amônio sobre o pH e a soma das bases trocáveis num andos solo da República dos Camarões, bastante rico, desenvolvido a partir de cinzas vulcânicas e com plantio de bananeira.

Não sabemos como resolver o problema da lixiviação dos nitratos. Existem somente soluções parciais. Vejamos algumas delas:

- fracionamento dos adubos nitrogenados em duas vezes, para culturas anuais, quatro ou cinco vezes, para culturas perene

nes, com a finalidade de adaptar melhor os aportes com as necessidades das plantas;

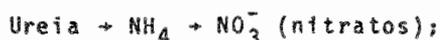
TABELA VII.1a - Abaixamento do pH após aporte de Sulfato de Amônio

	TESTEMUNHO	DOSE 1	DOSE 2
Quantidade fornecida de N	0	1350 kg/ha de sulfato de NH ₄ 275 kg de N	2700 kg/ha de sulfato de NH ₄ 550 kg de N
pH	6,4	6	5,1
SB eq/mg	21,4	20,2	12,5

TABELA VII.1b - Efeitos de aplicação de Sulfato de Amônio, segundo GODEFOY, LECOQ e LOSOIS, 1972

SOLO MUITO ARENOSO DO SENEGAL	DOSE
pH antes do cultivo	6,0
pH depois de 4 anos de cultivo sem adubação nitrogenada	5,7
pH depois de 4 anos de cultivo com sulfato de amônio (20 kg de N a cada ano)	5,5

- uso de ureia, sulfato de amônio ou cianamida: isso faz que o NH₄, oriundo desses adubos, fique retido pelas cargas negativas do complexo sortivo. Infelizmente a transformação abaixo ocorre de maneira rápida (4 dias sob clima quente e úmido, como registrado na região sul da Costa do Marfim), vejamos:



- uso de fosfato de amônio (NH₄)₂HPO₄ que fornece o anion PO₄⁻³ o qual se combina com o ferro na forma de colóide ele

tro-positivo, neutralizando-o, fazendo com que cargas negativas, mascaradas pelo ferro, apareçam livres para fixar NH_4 .

Em dois latossolos de São Paulo conseguiu-se aumentar a fixação dos íons NH_4 sobre o complexo sortivo (KINJO, SILVEIRA e KADEKARU, 1978) da seguinte forma:

. 0,7 Eq.mg/100g solo de NH_4 por mol. de P a pH 6,2;

. 0,9 Eq.mg/100g solo de NH_4 por mol. de P a pH 7,0.

Assim a lixiviação do nitrogênio é retardada algum tempo, até a transformação em nitratos;

- a riqueza do solo em colóides eletro-positivos, sobretudo quando constituídos de hidróxidos de ferro e de alumínio, pode atrasar a lixiviação dos nitratos, pois estes colóides fixam o ânion NO_3^- . Infelizmente o grau dessa fixação é fraco, e um fluxo de água é suficiente para carrear os nitratos a um pouco mais, em profundidade. Foi mostrado, em uma coluna de latossolo roxo de São Paulo, que ocorreu um atraso de 10cm da frente dos nitratos em relação à frente da água (percurso de 70m), segundo uma experiência de KINJO, KIEHL e PRATT (1978). Entretanto, até agora não houve uma aplicação prática desta propriedade;

- inibidores de nitrificação misturados com adubos, os quais, dentre outros, tem-se:

. 2-cloro-5 (tricloro-metil)-piridina

. nitrogeneto de K, NH_3

. enxofre

esses inibidores têm a propriedade de retardar a nitrificação. Eles foram raramente usados de maneira regular em países tropicais, provavelmente por causa de dificuldade de dosagem. Assim um ensaio agrônomico foi feito no Estado do Rio de Janeiro, com o inibidor piridina, numa cultura de arroz de sequeiro adubado com sulfato de amônio; as perdas de ni

nitrogênio e a baixa do pH foram menores do que no testemunho, mas a inibição foi forte demais e a colheita do arroz de cresceu (FERNANDEZ, DIDONNET e ROSELLO, 1981). O enxofre pa rece ser de uso mais fácil do que a piridina, mais de maneira geral os inibidores são, até agora, empregados raramente em meio tropical;

- estrume de corte e adubos orgânicos: o nitrogênio orgânico (estrume, "compost", adubo verde, ...) é melhormente retido pelo solo do que o nitrogênio mineral. Sendo seu suporte uma matéria orgânica já humificada ou de fácil decomposição, ele se incorpora bem a matéria orgânica do solo, aumentando as reservas de nitrogênio utilizáveis a médio prazo.

VII.2.6. A Mineralização do Humus do Solo Cultivado Depois do Desmatamento

Um solo sob mata ou floresta está em equilíbrio sob o ponto de vista do carbono e do nitrogênio, isto é do humus. Isso não quer dizer que a mineralização não existe (ela pode atingir por ano 170% da liteira), mas os aportes de materiais vegetais (10 a 15 t/ha/ano sob floresta) compensam as perdas.

Ao desmatar e cultivar o solo, os teores de matéria orgânica sofrem uma queda muito forte devido à ausência da restituição da matéria vegetal pela vegetação natural então destruída. Os dados desse desequilíbrio variam um pouco segundo os pesquisadores. A diminuição seria de:

- 12% no primeiro ano de cultivo em Yangambi na bacia central do Congo (floresta sempreviva);
- 25 a 30% em cada um dos dois primeiros anos nos solos arenos-argilosos do sul do Senegal, o que soma a 40% a queda total do teor orgânico do solo durante os dois primeiros anos de cultivo (FAUCK, MOUREAUX e THOMANN, 1969);
- 20 a 30% no primeiro anos nas savanas do Chade (savana herbácea com pouca moita);

- 25% durante o primeiro ano de cultivo na Amazônia peruana (SANCHEZ et al., 1982).

No decorrer dos cultivos seguintes, essa mineralização anual diminui gradualmente, até atingir, alguns anos depois, 4% da matéria orgânica do solo. Certos autores acham que a mineralização poderia destruir 2 ou 1%, cada ano, o que seria semelhante ao teor de mineralização do humus nos solos temperados cultivados. Esse fato parece devido, em primeiro lugar, à mineralização da matéria orgânica jovem pouco evoluída. Em segundo lugar, porque os produtos orgânicos idosos, firmes, se mineralizam lentamente.

A rapidez da mineralização do humus tropical traz uma consequência importante: os solos não precisam de adubos nitrogenados no primeiro ano, ou nos dois primeiros anos, de cultivo desde o desmatamento. Ao decorrer do cultivo, o teor de matéria orgânica do solo, depois de uma baixa rápida nos primeiros anos, tende a se estabilizar, mas com tendência a um decréscimo contínuo a cada ano subsequente (Figura VII.5).

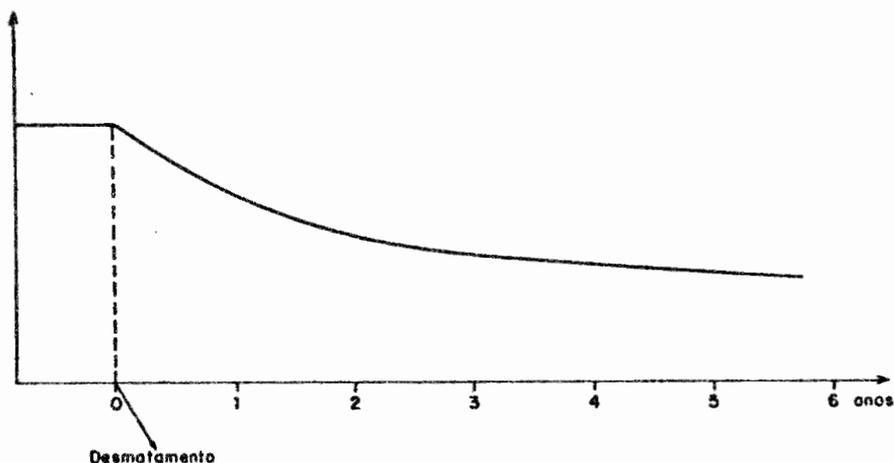


Fig. VII.5. Evolução do Teor de Matéria Orgânica nos Solos Cultivados Após o Desmatamento.

VII.2.7. Enriquecimento do Solo em Nitrogênio pelas Coberturas Vivas

Ao fixar nitrogênio através dos rizóbios das nodosidades, as leguminosas enriquecem o solo em nitrogênio.

Considera-se na África Oriental que as pastagens com um certo percentual de centrosema ou pueraria contêm mais nitrogênio no solo e, portanto, mais proteínas nas ervas do que as pastagens sem leguminosas.

Na Bahia foi evidenciado (SANTANA e CABALA-ROSAND, 1982) que solo de cacau sob sombra de Erythrina tem, em média, 0,048% de N a mais do que solo de cacau sem Erythrina; a diferença fica em torno de 0,025% a favor do solo sob sombra de Erythrina, em relação ao solo sob sombra de bananeira. O aporte de Nitrogênio pela Erythrina mais o pequeno aporte pela chuva parece nitidamente superior às exportações de N pelas colheitas.

Na Costa do Marfim, coqueiros em solo nu fornecem em média 30 cocos por árvore/ano, enquanto que em solo com cobertura de Pueraria javanica a produção é de 43 cocos por árvore/ano, isso principalmente por causa do nitrogênio trazido pela leguminosa (POMMIER e TAFFIN, 1982).

VII.3. TEORES DE NITROGÊNIO COMPATÍVEIS COM BONS RENDIMENTOS DAS CULTURAS

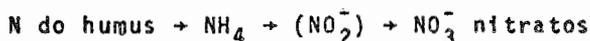
VII.3.1. Generalidades

O nitrogênio é um dos elementos básicos considerados essenciais ao crescimento das plantas; os outros são o fósforo e o potássio com os quais ele forma a tríade NPK.

Os solos tropicais, ao serem cultivados, tornam-se bastante pobres em nitrogênio a tal ponto que este elemento se encontra muitas vezes a níveis de deficiência. Como exemplo,

em certos solos da República dos Camarões, o café Arábica, apesar de cultivado em solos relativamente bem fornecidos em nitrogênio (1 a 6,8% de N-total) tem os seus rendimentos multiplicados por 28 com o fornecimento de 500 kg/ha de sulfato de amônio (103 kg/ha de N).

Mesmo no exemplo acima, onde há aporte de nitrogênio pelo adubo mineral, o solo, ou, com mais exatidão, o humus do solo, fica sendo o maior fornecedor de nitrogênio para a cultura. Porém, como já foi dito, este nitrogênio não é diretamente assimilável; ele se torna aproveitável depois das reações de mineralização do humus que o transformam em nitratos. Vejamos:



Para avaliar a fertilidade "nitrogenada" do solo, é necessário levar em conta três fatores:

- *Teor de N total do solo*: geralmente medido pelo método de Kjeldhal;
- *Rapidez das reações de mineralização*: ao se desenvolver muito devagar, a mineralização do humus fornecerá muito pouco nitrogênio aproveitável. Por exemplo uma temperatura muito baixa pode freiar consideravelmente a formação dos nitratos. É o que acontece durante o inverno europeu quando o humus e também o sulfato de NH_4 ficam praticamente inalterados até a primavera. Nas regiões tropicais, a temperatura pode freiar a formação dos nitratos a partir de 200m de altitude no Equador e 100m no trópico;
- *pH do solo*: aparece como um fator muito importante, particularmente em meio tropical, no fornecimento do N, o seguinte comportamento tem sido observado (*Figura VII.6*):

pH entre 6,0 e 7,5 - ótimo

pH entre 6,0 e 5,0 - bom

pH entre 4,5 e 5,0 - médio a fraco

pH abaixo de 4,5 - muito fraco

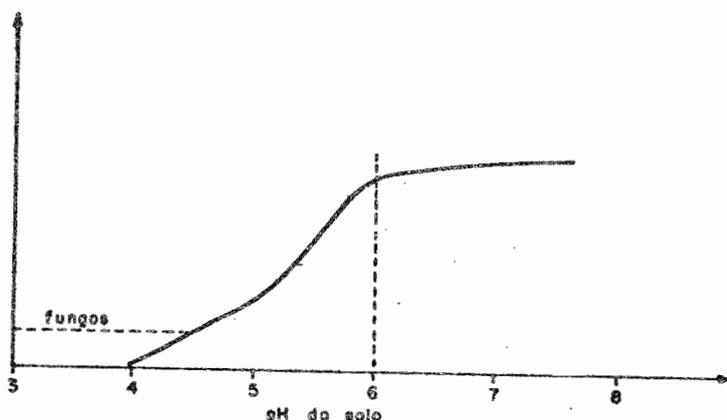


Fig. VII.6. Rapidez da Mineralização do Húmus em Função do pH do Solo.

VII.3.2. Escalas de Fertilidade com Nitrogênio

a) Escalas Brasileiras citadas por MALAVOLTA (1976)

As duas escalas, estabelecidas para os solos do sul do país (São Paulo) (Tabela VII.2), mostram a evolução dos critérios de referência durante 25 anos.

Essas escalas se referem muito pouco ao pH, mas MALAVOLTA (1976) acrescenta que existe uma correlação positiva entre o pH e a fertilidade. Por outro lado ele frisa que estas escalas sã são válidas quando a relação C/N estiver perto de 10, o que corresponde a uma mineralização normal do húmus do solo. Para a relação C/N crescendo gradualmente de 13 a 24 responderá a uma diminuição progressiva da rapidez da mineralização do húmus, até a parada completa para $C/N \geq 25$.

TABELA VII.2 - Escalas citadas por MALAVOLTA (1976)

Fertilidade	Segundo CATANI e KUPPER (1946)	Segundo GARGANTINI et al (1970)
	N total %	N total %
Solo pobre	< 0,1	< 0,075
Solo médio	0,11 - 0,30	0,075 - 0,125
Solo rico	> 0,30	> 0,125

Nos solos das regiões tropicais uma relação C/N elevada (da ordem de 16-18) significa uma má transformação dos materiais vegetais em húmus e também uma má mineralização deste húmus, geralmente por causa de um pH baixo demais.

b) Escala de Fertilidade de DABIN para o Nitrogênio

A escala de DABIN (Figura VII.7) conta não somente o teor de N-total dos solos, mas, também, o pH que regula a rapidez e a intensidade da mineralização do húmus. Ela foi estabelecida, em primeiro lugar, para arrozais inundados e, depois, estendida às outras culturas com algumas modificações. Parece válida para toda a zona intertropical desde condições áridas até as muito úmidas.

Nessa escala, nota-se que para o mesmo teor de N-total de 0,5% corresponde uma fertilidade "muito boa", em pH 7,0 e uma fertilidade "muito baixa", com pH 4,5.

c) Escala de Fertilidade com o teor de Matéria Orgânica: a Escala de SYS

A escala de SYS (1978) (Tabela VII.3) leva em conta somente o teor de matéria orgânica do solo.

ESCALA DE DABIN (1961)

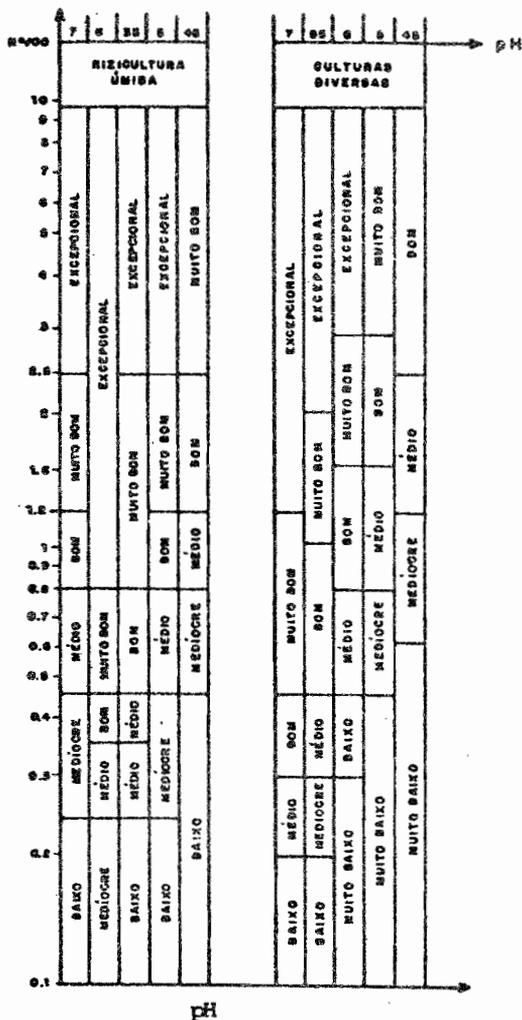


Fig. VII. 7 - Escala de fertilidade baseada em valores de $pH \times \frac{1}{\infty} N$ segundo DABIN (1961).

TABELA VII.3 - Limitações Agrícolas em Relação com o Teor (%) de Matéria Orgânica - camada 0-15cm - Solos de Altitudes Inferiores a 1500m, segundo SYS (1978)

	LIMITAÇÃO AGRÍCOLA				
	Nula	Ligeira	Moderada	Forte	Muito Forte
Culturas com exigências elevadas	2,4	1,5-2,4	0,8-1,5	0,8	-
Culturas com exigências moderadas	2	1,0-2,0	1	-	-
Culturas com exigências fracas	1,5	0,8-1,5	0,8	-	-

VII.4. USO DOS FERTILIZANTES NITROGENADOS NOS SOLOS TROPICAIS CULTIVADOS

VII.4.1. Rendimento das Culturas e Fertilizantes Nitrogenados

Os rendimentos das culturas são, muitas vezes, proporcionais ao teor de nitrogênio do solo.

Numa experiência realizada no Togo, com solos de pH 6, observou-se o seguinte:

0,5% de N total no solo → 30 t/ha de mandioca (raízes)

1% de N total no solo → 60 t/ha de mandioca (raízes)

Os fertilizantes nitrogenados podem aumentar muito os rendimentos, como comprovado na *Tabela VII.4*.

Um outro exemplo é o do rendimento obtido no Alto Volta, indicando:

- sem adubo de N: 3880 kg/ha de arroz em casca;

- com 125 kg/ha de N: 4550 kg/ha de arroz em casca.

TABELA VII.4 - Adubação nitrogenada de culturas nos solos arenosos do Níger (NABOS, 1966)

N dos adubos kg/ha	Milhete (grãos) kg/ha	Sorgo (grãos) kg/ha
25	1581	1736
50	1772	1902
75	1925	2040
100	1869	2146
125	1960	2050

Não precisa exagerar, mas em um outro exemplo (Níger), observou-se que em um aporte de N superior a 100 kg/ha não faz aumentar os rendimentos.

Uma adubação nitrogenada pesada demais pode provocar diminuição de rendimentos nas colheitas. Foi observado, imediatamente depois do desmatamento no norte da Costa do Marfim, que, em solo rico em matéria orgânica, o arroz de sequeiro, ao receber 100 kg/ha de nitrogênio, produziu menos do que o arroz cultivado sem fertilizante nitrogenado. Com o excesso de nitrogênio, as hastes se tornaram fracas e o arroz sofreu uma redução na produção em consequência da podridão que afetou os grãos que permaneceram em contato com o solo úmido.

O tipo e a dose da adubação têm que levar em conta o teor de nitrogênio do solo, a rapidez de mineralização (pH do solo) e, também, as necessidades nutricionais das plantas. Assim no mesmo solo, um arroz rústico, bem adaptado ao meio ambiente, não aguentará mais de 50 kg/ha de N; contudo cultivos selecionados de arroz em condições semelhantes, precisaram de, no mínimo, 100 kg/ha de nitrogênio (no segundo caso, verificar-se-á um rendimento maior).

VII.4.2. Principais Adubos Nitrogenados

a) Nitrato de Amônio

O nitrato de amônio, NH_4NO_3 , contém um teor variável de 22 a 32% de N, segundo os vários adubos vendidos.

Os primeiros adubos sintéticos deste tipo eram higroscópicos e podiam explodir com certa facilidade. Atualmente eles são melhormente condicionados e voltaram a ser utilizados nas regiões tropicais, embora os agrônomos e agricultores têm receio de uma lixiviação fácil da forma "nitrato"; o que possibilita perdas pela drenagem maiores do que as registradas com as formas "amoniacaís" ou com "uréia".

b) Sulfato de Amônio

O sulfato de amônio de fórmula $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, contém cerca de 21% de N e 24% de S. Essa substância foi o adubo nitrógenado mais utilizado nas regiões tropicais durante muito anos. Atualmente se encontra parcial ou totalmente substituída pela uréia. Entretanto tem a vantagem de conter ao mesmo tempo N e S.

c) Uréia

A uréia, de fórmula $\text{CO} \begin{matrix} \nearrow \text{NH}_2 \\ \searrow \text{NH}_2 \end{matrix}$, contém 45% de N. O uso se desenvolve bastante rapidamente ² por causa de seu alto teor em N e do preço razoável.

d) Cianamida Cálcica

A cianamida cálcica de fórmula $\text{Ca}-\text{C}-\text{NH}_2$, contém cerca de 20% de N. Essa substância tem a vantagem importante de trazer ao mesmo tempo N e Ca. Entretanto é muito pouco utilizada sobretudo em meio tropical.

e) Fosfato de Amônio

O fosfato de amônio de fórmula $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, contém 18% de N e 46% de P_2O_5 . Tendo dois elementos úteis (N e P) em alta concentração, mas sendo de preço elevado, ele é pouco usado

sobretudo nos lugares distantes onde o custo do transporte se torna muito alto.

f) Nitrato do Chile (Nitrato Natural ou Caliche)

O nitrato de Chile, de composição média aproximativa NaNO_3 , contém cerca de 14 a 16% de N. O nitrato natural tem a vantagem de trazer todos os elementos traços e a desvantagem de estar combinado com o sódio.

g) Nitrato de Cálcio

O nitrato de cálcio, de fórmula $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, contém cerca de 19% de N se for puro. Trata-se de um produto sintético, é caro e muito pouco utilizado.

h) Sangue Ressecado

O sangue ressecado contém cerca de 12% de N, é um produto caro, de uso sobretudo em floricultura.

i) Estrume de Corte

A composição em N no estrume de corte é relativamente baixa e varia na faixa de 1 a 12%, segundo a qualidade do estrume. O nitrogênio se encontra sobretudo sob forma orgânica, daí uma lixiviação praticamente nula, dentro do solo.

VII.4.3. Uso dos Adubos Nitrogenados

Do ponto de vista do fornecimento do nitrogênio às culturas, praticamente todos os adubos nitrogenados anteriormente descritos são equivalentes.

Por parte do agricultor, a escolha de uma dessas formas de suprimento de N dependerá sobretudo, das disponibilidades do mercado e do preço da unidade de N no adubo, o que quer dizer do preço da % de N contido no adubo.

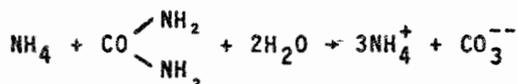
Nos lugares distantes, onde o transporte de caminhão encarece muito o produto, prefere-se escolher formas concentradas, como a uréia e o fosfato de amônio. Em alguns outros casos é melhor fornecer uma adubação com forma determinada de N. Neste último aspecto, tem-se a sugerir que:

- quando o solo falta enxofre, o que é bastante comum, deve-se usar sulfato de amônio ou misturar este último com uréia. De fato o sulfato de amônio tem uma relação N/S aproximadamente igual a 1, o que é alto; é possível usar ao mesmo tempo uréia de tal maneira que $N/S = 2$, o que é em geral suficiente nos solos com carência de enxofre;
- quando o solo falta fósforo, seria concebível usar $(NH_4)_2HPO_4$. Contudo este último é um adubo caro, de tal maneira que, muitas vezes, prefere-se utilizar o N e o P separadamente;
- quando o agricultor tiver receio de acidificar mais ainda um solo já ácido, seria preferível usar cianamida cálcica ou nitrato de cálcio. Infelizmente estes adubos são pouco difundidos e geralmente caros. Neste caso a calagem permite combater a acidificação.

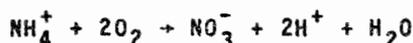
VII.4.4. Acidificação do Solo causada pelos Adubos Nitrogenados e sua Prevenção

Os adubos nitrogenados são formados, como todos os sais, de um anion (-) e um cátion (+); nas formas mais usadas, o cátion é NH_4^+ que acaba virando NO_3^- , daí as consequências seguintes:

- os adubos nitrogenados tendo NH_4^+ como cátion podem ser considerados como trazendo unicamente anions; a uréia faz parte desta categoria:



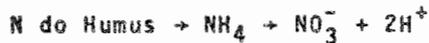
de fato o ion amônio se transforma rapidamente:



daí a liberação de $2H^+$ susceptível de deslocar o Ca (e o Mg) fixado sobre o complexo sortivo e substituí-lo, e o aumento da acidez;

- o anion NO_3^- , ao não ser absorvido imediatamente pelas raízes das plantas, combina-se com o cálcio e o sal formado pode ser carregado do perfil pela drenagem.

É verdade que este tipo de acidificação existe também nos solos de estado natural, vejamos o mecanismo:



Neste caso, porém, a acidificação e as perdas de bases são bem menores do que as que acontecem com aporte de adubos nitrogenados.

Preconiza-se de fazer calagem preventiva para neutralizar a acidez desenvolvida por adubos nitrogenados. Infelizmente este processo é raramente usado pelos agricultores brasileiros.

A *Tabela VII.5.* indica os padrões americanos que parecem adotados no Brasil (COELHO e VERLENGIA, s.d.). Eles também têm sido aplicados na África Oriental onde se costuma considerar que 1200kg de calcário puro são necessários para equilibrar as perdas resultantes da aplicação de 1000 kg de sulfato de amônio.

Contudo, é muito rara na prática do campo, a neutralização da acidez levada pelos adubos nitrogenados. O agricultor costuma esperar pelo aparecimento de uma acidez forte ($pH \leq 5$) para fazer calagem.

O fosfato tricálcico $Ca_3(PO_4)_2$ pode ser usado, para constituir um tampão de cálcio para impedir o abaixamento do pH. Entretanto ele, ao se decompor, liberar importantes quantidades de cálcio (o fosfato tricálcio contém, em geral, entre 40 e 50% de CaO). Embora esse processo seja antieconômico,

quando se pretende fornecer grandes quantidades de cálcio, ele foi empregado nos plantios de Hevea na Malásia para manter o nível de cálcio nos solos. Convém lembrar que a seringueira aguenta muito bem um grau elevado de acidez e fracos teores em cálcio no solo.

TABELA VII.5 - Quantidades de Calcário puro necessárias para neutralizar acidez desenvolvida por adubos nitrogenados em Porto Rico, segundo VICENTE-CHANDLER et al., 1964.

	TEOR DE N DO ADUBO	NECESSIDADES EM CaCO ₃	
		Kg de CaCO ₃ POR Kg DE N	TONELADA DE CaCO ₃ POR TONELADA DE ADUBO
Amônio Líquido NH ₄ OH	23,6	6,1	1,5
Uréia	46	2,0	1,0
Nitrato de Amônio	33,5	1,9	0,6
Sulfato de Amônio	21	5,8	1,2

Um meio simples de evitar acidificação do solo seria o de fornecer unicamente adubos nitrogenados sob forma de cianamida cálcica e nitrato de cálcio, compostos equilibrados do ponto de vista do balanço ânions-cátions, mas infelizmente eles são caros.

No estrume de corte, o nitrogênio se encontra incluído num material já parcialmente humificado; ele se mineraliza progressivamente. Por outro lado, o estrume contém Ca, Mg e K de tal maneira que o nitrogênio do estrume não acidifica o solo. Considera-se, pela prática em Madagascar, que 4 toneladas de estrume têm o mesmo efeito neutralizador que 3 toneladas de calcário.

CAPÍTULO VIII

FÓSFORO

VIII.1. FORMAS ÚTEIS ÀS PLANTAS

VIII.1.1. Generalidades: Definição das Formas

O fósforo do solo provém essencialmente da rocha-mãe. No decorrer da formação e evolução dos solos, as consequências do intemperismo para o fósforo são relativamente fracas, a tal ponto que podemos considerar para um período de tempo detectável pelos registros humanos e não geológicos (considerando que alguns milhares de anos, p.ex., já é um prazo geológico), que o fósforo do solo, solo não cultivado, permanece estável. Praticamente ele não é mobilizado pela drenagem.

Os solos mais ricos em fósforo derivam de rochas sempre ricas neste elemento, muitas vezes trata-se de solos acima das jazidas de fosfatos (Senegal, Togo, Bahia, Patos de Minas, etc.).

Desde 1825, quando as primeiras análises para se determinar o fósforo do solo eram efetuadas, os antigos agrônomos, dentre outros Gasparino e Schloesing, já falavam de fósforo total e fósforo assimilável. Contudo os métodos desenvolvidos em países temperados se apresentaram inadequados no que diz respeito aos solos tropicais, estes sendo, de modo geral, mais ácidos e mais ricos em óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio do que os solos temperados.

O método de CHANG e JACSON (1957) dá uma aproximação razoável das formas do fósforo dos solos em geral. Usando vários extratores, um após outro, sobre a mesma amostra, ele extrai:

<i>Tipo de Fósforo</i>	<i>Simbologia</i>	<i>Tipo de Extrator</i>
P solúvel	P - Sol	NH ₄ Cl
P ligado ao Al	P - Al	NH ₄ F
P ligado ao Ca	P - Ca	H ₂ SO ₄
P das inclusões (Al, Fe)	P - Cn	Citrato de Na+Hidros sulfito de Na
P ligado a matéria orgânica	P - Org.	

O P orgânico é geralmente determinado pela diferença entre o P total, medido separadamente, e o P da soma das outras formas. Contudo existem métodos que permitem medir diretamente o fósforo orgânico.

É necessário lembrar que as formas do fósforo como obtidas pelo método de CHANG e JACKSON (1957) foram determinadas a partir da ação de reagentes químicos, o que não comprova, em definitivo, a existência e as proporções relativas de cada forma dentro do solo (*Figura VIII.1*). De fato, certos agrônomos acham que a separação é nítida demais e que formas intermediárias podem existir. Seja como for, o esquema de CHANG e JACKSON (op. cit.) é bem prático e parece, pelo menos, aproximar-se do que acontece no solo. De outro lado, não possuímos outros métodos mais eficazes para os solos das regiões tropicais. Vamos nos referir a este método, mas sem falar especificamente de fosfato de cálcio, fosfato de ferro, fosfato de alumínio, pelo fato de não sabermos quais são exatamente as fórmulas químicas destes compostos dentro do solo. Para cada tipo utilizaremos da respectiva simbologia sugerida.

VIII.1.2. Avaliação e Assimilabilidade das Formas do Fósforo segundo CHANG e JACKSON (1957)

. Nos solos calcários: pH > 7

P-Sol = é determinável, contudo existe em fraca quantidade;

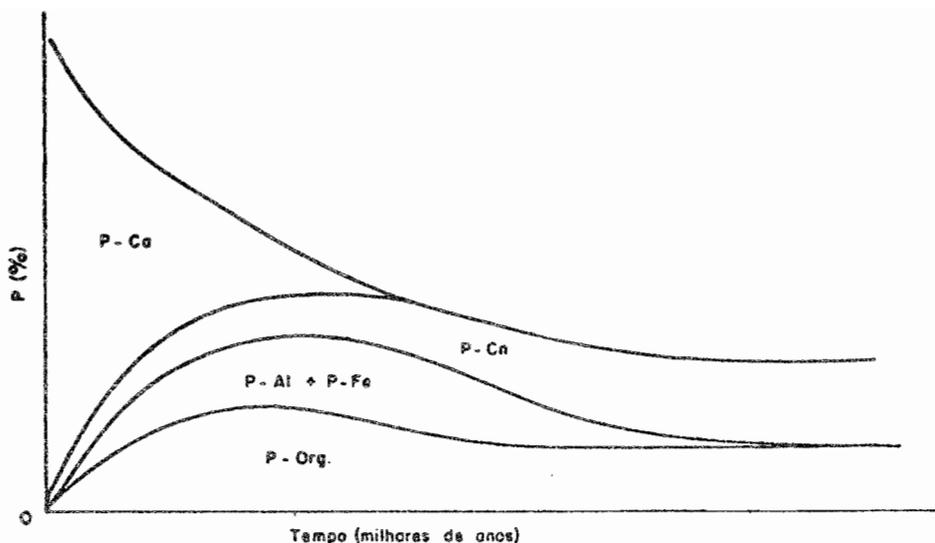


Fig. VIII.1 - Evolução dos tipos de fósforo do solo em relação a idade do solo.
 O = estágio inicial (Rocha mãe). Segundo WALKER e SYERS (in DABIN (1979))

P-Ca = é a forma mais importante; existe sobretudo como fosfato tricálcico; por esta razão é pouco assimilável pelas raízes das plantas;

P-Al = (assimilável) e P-Fe (pouco assimilável) existem em quantidades respectivamente relacionadas com os teores de Al e Fe no solo;

P-Org = depende do teor de matéria orgânica. Só se torna assimilável ao decorrer da mineralização do humus.

. Nos solos fracamente ácidos: pH entre 6,0 e 7,0

P-Sol = ocorre em quantidades facilmente determináveis;

P-Ca = existe em teores relativamente importantes, é facilmente assimilável;

P-Al = é bem importante e assimilável;

- P-Fe = de modo geral, com teores relacionáveis aos teores de Fe no solo; é parcialmente assimilável;
- P-Cn = é geralmente abundante em solos tropicais mais ou menos antigos; considerado não-assimilável;
- P-Org = abundante em superfície; é assimilável só ao decorrer da mineralização do humus.

. Nos solos ácidos: pH entre 6,0 e 5,0

- P-Sol = parece desaparecer; na realidade seu teor se torna tão fraco que não é possível determiná-lo facilmente;
- P-Ca = diminui muito até teor-traço e a tal ponto que se torna difícil de ser determinado;
- P-Al = aumenta muito; apresenta-se em forma assimilável;
- P-Fe e P-Cn = aumentam bastante; P-Fe se torna cada vez mais inassimilável, P-Cn é sempre não assimilável.
- P-Org = abundante em superfície; é assimilável com o decorrer da mineralização do humus.

. Nos solos muito ácidos: pH < 5,0

- P-Sol = ocorre a nível de traços, a determinação quantitativa se torna impossível;
- P-Ca = parece desaparecer totalmente;
- P-Al = diminui em quantidade relativa; sua assimilabilidade diminui bastante;
- P-Fe e P-Cn = aumentam muito; o P-Fe parece fraco e parcialmente assimilável. De fato, a sua assimilabilidade diminui cada vez mais em relação à diminuição dos valores do pH;
- P-Org = é geralmente abundante ao menos em superfície. Torna-se assimilável só com a mineralização do humus.

Resumindo a assimilabilidade de cada forma de P em relação ao pH, tem-se:

- P-Sol = sempre assimilável;
- P-Ca = sempre assimilável, salvo a pH > 7. Neste caso se torna o fósforo tricálcico muito pouco assimilável em pH alcalino;
- P-Al = bem assimilável a pH > 5,0, mas se torna progressivamente não assimilável com valores de pH abaixo de 5,0;
- P-Fe = certos autores consideram o fósforo ligado ao ferro como não assimilável; porém parece que o fósforo li

gado ao ferro amorfo (óxidos e hidróxidos de ferro não cristalizados) fica parcialmente assimilável, sobretudo com $\text{pH} > 5,0$;

P-Cn = considerado não assimilável;

P-Org = não assimilável; se torna assimilável ao ser liberado pela mineralização da matéria orgânica.

Essas considerações e conclusões não passam de um simples esquema didático para fixar as idéias; teremos de corrigi-las ao estudar a dinâmica do fósforo, principalmente nos solos ácidos e muito ácidos.

As Tabelas VIII.1, VIII.2 e VIII.3 mostram os vários valores dos diversos tipos de fósforo obtidos para três regiões intertropicais.

VIII.2. DINÂMICA DO FÓSFORO NOS SOLOS

VIII.2.1. Fraca Lixiviação do Fósforo

A lixiviação tem pouca importância para o fósforo do solo. Ela ocorre fracamente em solos pouco ácidos, $\text{pH} 6,0$ e $7,0$, onde há maior proporção de fósforo solúvel e fósforo ligado ao cálcio; este tipo é sempre um pouco solúvel na água. Estas formas podem ser lixiviadas pela água de drenagem, mas, na realidade, as quantidades levadas são geralmente fracas. Em todos os outros solos, pode-se considerar que a lixiviação do fósforo é praticamente nula, sendo que nos calcários ($\text{pH} > 7$), o P-Ca (fosfato tricálcico) é considerado normalmente não-solúvel e nos solos ácidos ($\text{pH} < 6$), o P-Ca (solúvel) existe em teores muito fracos; as formas mais abundantes, P-Al, P-Fe e P-Cn, têm fraca solubilidade na água. Daí, uma lixiviação do fósforo praticamente nula a partir das camadas superiores do solo (2,0m de espessura), como indicado pelos dois exemplos seguintes da Costa do Marfim:

- Floresta semi-decídua: pluviometria de 1800mm - 3,8 kg/ha/ano de P_2O_5 lixiviados pelas águas de drenagem e 1,0 kg/ha/ano pela erosão;

TABELA VIII.1 - Três Perfis de Solos de Cacauais da Nigéria, segundo WESSEL, 1971.

Profundidade (cm)	pH	C%	Argila %	P mineral (P-Cn não incluído)					P-Cn ppm	P-Org ppm	P ppm	Total ppm
				P-Sol ppm	P-Al ppm	P-Fe ppm	P-Ca ppm	Total ppm				
Ricket	0 - 7,5	6,4	1,8	29	1	8	33	12	54	247	299	600
	7,5 - 30	5,8	0,6	30	0	3	23	9	35	163	127	325
	30 - 80	5,7	0,2	44	0	1	16	7	24	183	93	300
	80 - 108	5,7	-	41	0	1	16	6	23	181	86	290
	108 - 135	5,6	-	42	0	2	19	6	27	173	110	310
	135 - 185	5,5	-	46	0	1	17	4	22	181	57	260
Ikole	0 - 10	6,3	2,8	18	1	57	73	37	168	168	377	713
	10 - 35	6,0	0,8	13	0	23	75	19	117	212	146	475
	35 - 60	5,5	0,4	40	0	9	48	12	69	240	101	410
	60 - 150	5,2	-	47	0	4	25	37	36	148	81	265
Ikorudu	0 - 10	5,6	1,5	11	0	15	20	10	45	15	230	290
	10 - 20	5,6	0,5	9	0	7	16	8	31	20	109	160
	20 - 35	5,0	0,4	15	0	1	15	4	20	68	92	180
	35 - 65	4,5	-	40	0	1	17	6	24	271	120	415
	65 - 112	4,5	-	42	0	1	20	5	26	266	118	410

TABELA VIII.2 - Horizontes Superficiais de Solos do Sul do Estado da Bahia, segundo CABALAROSAND e FASSBENDER, 1970.

S É R I E	P-Sol ppm	P-Al ppm	P-Fe ppm	P-Ca ppm	P-reduzi do ppm	P-Cn	P-Mineral total ppm	P Total ppm	P-Org ppm	% P Orgânico
Série Cepec A ₁ Alfissolo neutro	8	85	217	244	650	362	1558	3306	1748	52%
pH 6,5-6,8 A ₃	0	8	139	169	554	464	1413	3050	1637	54%
Série Itabuna A ₁ Alfissolo ácido	0	3	29	19	90	22	162	360	197	55%
do distrófico A ₃	0	0	25	9	64	24	122	270	148	55%
Série Nazaré A ₁ Vertissolo ácido	0	0	21	4	103	11	139	257	118	46%
distrófico A ₃	0	0	18	2	77	14	111	122	11	9%
Série Valença A ₁ Oxissolo ácido	0	0	5	14	163	18	200	514	314	61%
do distrófico A ₃	0	0	4	9	196	28	237	307	70	23%

TABELA VIII.3. Formas do Fósforo Aplicado num Vertissolo de Juazeiro (Ba) após seis meses de Incubação à Capacidade de Campo, segundo PEREIRA e FARTA, 1978. Obs.: Amostra composta tomada a 30cm de profundidade, pH 8,0 - CE. 0,4 mmhos/cm; P total 140 ppm; P (adsorção máxima) 530 ppm; M.O. 1,01%; CO₂ - 4,90%; Argila 60%; Silte 27%; Areia 13%.

Fósforo Aplicado ao solo (monofosfato de Ca) ppm	Fósforo disponível ppm				Fracionamento Chang-Jackson ppm				
	Bray I	Olsen	Mehlich	H ₂ O	NH ₄ Cl P Solúvel	NH ₄ F P-Al	NaOH P-Fe	H ₂ SO ₄ P-Ca	Total
0	0,3	1,0	1,8	0,2	0,0	7,2	7,9	6,4	24,5
25	2,2	4,7	4,8	0,3	0,5	13,7	17,4	8,4	40,0
50	5,5	9,6	9,3	0,5	1,4	25,0	29,4	10,5	66,3
100	14,5	18,5	21,5	2,2	2,2	46,6	45,5	12,5	106,8
150	30,0	30,9	39,4	6,2	6,2	77,9	51,9	18,3	154,3
200	48,2	44,8	61,8	11,7	11,7	99,0	62,0	25,7	198,4
250	62,5	57,1	88,1	18,1	19,2	122,8	75,0	34,0	251,0
300	74,3	66,3	113,3	21,8	28,0	143,2	88,4	44,0	303,6

Reagentes: Bray I, HCl 0,025N + NH₄F 0,03N; Olsen, NaHCO₃ 0,5N; Mehlich HCl 0,05N + H₂SO₄ 0,025N

NB.: O fracionamento Chang e Jackson mostra que o monofosfato de cálcio se transforma no P-Al, depois em P-Fe e finalmente em P-Ca. O tempo de incubação não foi suficiente para atingir o equilíbrio existente no solo antes da experiência (igualdade aproximada para P-Al, P-Fe e P-Ca).

- *Bananal*: pluviometria de 1800mm além de um pouco de irrigação, efetuada durante a estiagem - 2,0 kg/ha/ano de P_2O_5 pela drenagem e 2,0 kg/ha/ano de P_2O_5 pela erosão num solo bastante enriquecido em P por adubações pesadas.

Pouco importa o tipo de cobertura do solo, seja esta do tipo floresta, savana, pastagem, culturas perenes ou anuais, em todos os casos, as perdas de fósforo por lixiviação permanecem fracas, ínfimas mesmo em relação às perdas de potássio, cálcio ou nitrogênio. Em relação a mesma área do exemplo acima, na Costa do Marfim, as perdas de N e CaO são da ordem de 100 kg/ha/ano e de K_2O da ordem de 200 kg/ha/ano. É evidente que nos solos cultivados onde existe erosão, as perdas através da terra erodida podem se tornar elevadas, o horizonte superior sendo sempre o mais rico em fósforo.

A ausência da lixiviação do fósforo no solo poderia levar à seguinte conclusão: a adubação de fundo com o fósforo é possível ao contrário do que ocorre com outros elementos (Ca, Mg, K e N). Contudo vamos ver que, depois de uma adubação fosfatada, o fósforo nem sempre está totalmente disponível para as plantas.

VIII.2.2. Retrogradação^{7/} do Fósforo pelo Solo

De duas maneiras o fósforo dos adubos pode se tornar insolúvel e inaproveitável pelas plantas. Realmente esse fenômeno acontece quando em presença de calcário (solo de $pH > 7$), havendo formação de fosfatos tricálcicos que têm fraca solubilidade, e em presença de óxido e hidróxido de ferro (solos de $pH \leq 7$), quando ocorre uma fixação muito forte nos compostos ferruginosos, chamada de retrogradação.

^{7/} Chamada "Fixação" por muitos autores.

Os solos calcáreos têm pouca extensão quando desenvolvida em condições tropicais, enquanto que os solos de pH inferior a 7 constituem a maioria dominante dos solos gerados nessas condições. Os parágrafos seguintes referem-se a estes últimos.

a) Poder Fixador do Solo para o Fósforo :

Todos os solos, que contêm bastante óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio têm um certo poder fixador. Notadamente são incluídos nesta categoria os solos podzolizados, os latossolos, os cambissolos e certos solos hidromorfos. Nelas o fósforo fixado não seria disponível para as plantas. O poder fixador foi sobretudo medido nos solos podzolizados e latossolos onde o teor de fósforo varia de 14 ppm, até 1100 ppm, caso de certos latossolos do Hawai. Durante algum tempo se pensava que, antes da saturação do poder fixador, não havia fósforo disponível para as plantas. Felizmente esse não é o caso, pois, se fosse verdadeiro, no solo de Hawai, com poder fixador de 1100 ppm de P, seria necessário trazer 6 t/ha de fosfato tricálcico natural para saturá-lo, o que é antieconômico. Numa experiência feita em campo cerrado de Goiás (ALMEIDA e BRASIL, 1977), foi evidenciado que o melhor rendimento do Panicum foi obtido com 220 ppm de P (introduzido por adubação) embora o poder fixador fosse de 500 a 700 ppm. Esse exemplo mostra que, pelo menos, uma parte do fósforo fixado permanece disponível para as plantas.

Devemos deixar claro que a medição do poder fixador não é a forma correta de avaliar a fertilidade fosfórica do solo.

b) Mecanismo da retrogradação (Fixação)

b.1. Uma transformação rápida do P dos adubos em P-Al: a reação química libera energia e, daí prossegue de maneira espontânea e rápida; estima-se em seis meses o prazo para a transformação completa do P-Sol dos adubos em P-Al.

b.2. Uma transformação em P-Fe, que, ao contrário da primeira, absorve energia. As formas P-Fe e P-Cn, sendo mais estáveis, tendem a se desenvolver e absorver lentamente todo o fósforo introduzido.

Resumindo:



Do ponto de vista do agricultor, isso explica o efeito residual, praticamente nulo, da adubação em P no terceiro e sobretudo no quarto ano após a adubação. O tempo necessário para essa transformação foi medido num solo podzolizado eutrófico da República Centrafricana (DABIN, 1970) e os resultados indicaram que:

- em 5 anos, 50% do P dos adubos se tornam P-Fe e P-Cn;
- em 10 anos, 90% do P dos adubos se tornam P-Fe e P-Cn.

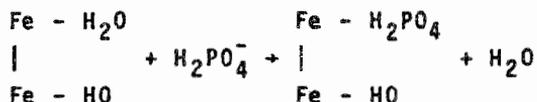
Os fatores principais que parecem desempenhar maior papel na retrogradação são: a superfície específica das partículas de óxidos e hidróxidos e o grau de cristalização dessas partículas.

De uma maneira geral se pode considerar que um solo sempre possui uma arrumação bem definida entre as várias formas de fósforo e as suas proporções relativas, como determinada pela composição do solo (mineralogia, matéria orgânica, etc). Ao procurar esse equilíbrio com um aporte de fósforo, o solo tende a restabelecer o equilíbrio prévio entre as proporções relativas, isolubilizando o P-Sol ou o P-Ca introduzido.

c) Idéias atuais sobre o Mecanismo da Retrogradação

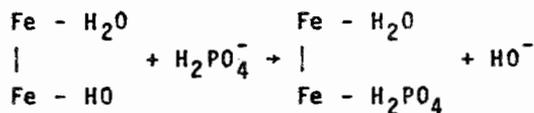
Conforme os pesquisadores australianos, neo-zelandeses e americanos, dentre os quais HINGSTON et al., 1968; RAJAN et al., 1974; RYDEN, McLAUDHLIN e SYERS, 1977a e b; RYDEN e SYERS, 1977, haveriam as seguintes formas de fixação:

- uma fixação "física" de PO_4^{3-} sobre compostos ferruginosos; trata-se aqui de uma adsorção em superfície, com neutralização de cargas positivas;
- uma substituição de moléculas de H_2O dos hidróxidos por ions fosfatos



um fenômeno similar ocorre com Al, aqui o produto torna-se assimilável;

- uma substituição "química" de ions HO^- por ions fosfatos



a mesma coisa acontece com Al, onde o produto fica assimilável;

- o rompimento das pontes de oxidrilas na cadeia Al-OH-Al, o que aumenta o número dos sítios de fixação;
- uma transformação da gibbsita ($\text{Al}(\text{HO})_3$) em tarakanita (fosfato de alumínio) e, provavelmente, dos hidróxidos de ferro em fosfatos de ferro (não solúveis).

Essas reações ocorrem uma depois da outra na ordem indicada acima; cada etapa corresponde a uma fixação cada vez mais forte.

Tudo se passa como se houvesse uma penetração do fósforo, de forma cada vez mais profunda, no interior dos óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio. A penetração é mais fácil e rápida nas formas amorfas sempre porosas, do que nas for

mas já cristalizadas de tamanho certo^{8/} e, por esta razão, bastante compactas. Inversamente, a força de retenção de fósforo será bem maior por parte dos óxidos e hidróxidos já cristalizados, que terão tendência a guardar o fósforo, do que por parte dos compostos amorfos. Estes liberarão o fósforo retrógrado com certa lentidão e com uma facilidade relativa que é maior para os compostos de alumínio do que para os compostos de ferro.

VIII.2.3. Reversibilidade da Retrogradação

Durante os primeiros anos da década de 60, receiava-se que o fósforo retrógrado nunca mais fosse disponível para as plantas, a tal ponto que se temia que todo o fósforo introduzido pelos adubos e não absorvido pelas raízes, dentro dos primeiros anos desde a adubação, fosse perdido, principalmente nos solos ricos em óxidos e hidróxidos de ferro e, também, de alumínio, o que é uma característica da maioria dos solos das regiões tropicais.

Agora se sabe que a retrogradação não é um fenômeno irreversível, evidenciando que todas as formas do fósforo, incluindo-se também P-Fe dos cristais e P-Cn, podem contribuir para a alimentação das plantas.

É possível provocar a reversibilidade ao modificar os fatores que determinam o equilíbrio entre as várias formas de fósforo do solo, tais como:

a) o pH: ao elevar o pH acima de 5,0 até valores próximos de 7,0 a forma P-Al se torna mais importante em quantidade e mais assimilável; por outro lado a forma P-Ca aparece

^{8/} Para certos autores não é possível separar as formas amorfas das formas microcristalizadas do tamanho das argilas. Se ria o caso da Goetita.

rã, sobretudo com pH ultrapassando 6,0. Normalmente o aumento do valor do pH é provocado por calagem, de tal maneira que o solo se encontra automaticamente bem provido em cálcio.

b) *a matéria orgânica*: a matéria orgânica introduzida no solo (estruume, adubo verde, palha) apanha o fósforo disponível e o incorpora ao humus. Por essa razão ocorre uma quebra do equilíbrio entre as formas de fósforo do solo. Essa quebra é causada pela transformação de uma forma em outra para se chegar a um novo equilíbrio com mais P-org. em relação a P-Al, P-Fe e P-Cn. Por outro lado, a matéria orgânica possui ácidos orgânicos (oxálico, tartárico, málico, lático etc) que têm a propriedade de formar complexos com o fósforo. Por esta razão a matéria orgânica atrasa, pelo menos parcialmente, a retrogradação pelos compostos de ferro.

c) *Remoção do fósforo pelas raízes das plantas*. As plantas aproveitam primeiramente o P-Sol esgotando-o rapidamente. Essa forma de fósforo se restabelece a partir de P-Ca, caso esta exista em quantidade suficiente, e depois a partir da forma P-Al. Para restabelecer o equilíbrio prévio, é necessário que a seguinte transformação atue de maneira contínua:



Na prática, foi observado na República Centrafricana, que dez culturas sucessivas de algodão provocaram uma diminuição de todas as formas de fósforo no solo cultivado, sendo a diminuição de P-Cn mais forte dentre todas as outras, excetuando-se a forma P-Ca que não foi determinada. Parece que o P-Cn desempenha um papel de reserva, transformando-se gradualmente em outras formas mais aproveitáveis pelas plantas. Essa sugestão é bem comprovada (DABIN, 1971). O que não sabemos em todos os casos é se a rapidez de transformação é suficiente, ou não, para o abastecimento regular das plantas cultivadas. No caso geral, parece que a resposta é negativa. Por

essa razão, para se ter bons rendimentos, as culturas precisam muitas vezes de uma ligeira adubação anual de fósforo, independentemente do solo conter quantidade bastante elevada de fósforo total, a maioria sendo fósforo retrógrado.

VIII.3. AVALIAÇÃO DO FÓSFORO APROVEITÁVEL DO SOLO

Vamos tentar colocar em evidência alguns teores de fósforo que podem ser considerados como níveis críticos de carência e deficiência. Abaixo desses níveis críticos, é necessário fornecer adubos fosfatos para evitar doenças de carência ou simplesmente para obter rendimentos satisfatórios. Quando for possível, escalas de fertilidade serão citadas no texto. Naturalmente é melhor traduzir esses níveis de carência, ou as escalas de fertilidade, em números precisos de teores de fósforo do solo. Infelizmente, para a determinação do fósforo se precisa de análises químicas. Para o fósforo total os diversos métodos usados fornecem números semelhantes. Para o fósforo assimilável, entretanto, nenhum método de análise parece totalmente satisfatório, como observado, em todos os casos. Por esta razão, há dificuldades com a interpretação dos dados das análises. Convém ainda lembrar que existem cerca de trinta métodos de análise de fósforo do solo, o que é uma prova suplementar das dificuldades do problema.

Tratar-se-á aqui dos dados obtidos pelos métodos mais utilizados.

VIII.3.1. Análise do P_2O_5 Total

Os métodos que permitem obter o valor do fósforo total do solo, como por exemplo a fusão alcalina, reagentes (fluor-perclórico, etc), são laboriosos, bastante complicados e, às vezes, perigosos. Geralmente, na rotina, alguns desses reagentes são substituídos por ácidos concentrados quentes, puros ou misturados: H_2SO_4 , HCl , HNO_3 . Esses ácidos extraem

um fósforo chamado de "total" que se aproxima bastante do verdadeiro fósforo total, sobretudo nos solos sem minerais primários oriundos da rocha-mãe (latossolos e solos podzolizados principalmente de regiões tropicais).

O método francês, usando o NHO_3 fervente por 5 horas, indicou os seguintes resultados:

- 500 ppm P_2O_5 = teor crítico para o dendezeiro (Costa do Marfim, Amazônia);
- 400 ppm P_2O_5 = teor crítico para o coqueiro (Costa do Marfim);
- 560 ppm P_2O_5 = teor crítico para o cacauzeiro (Costa do Marfim);
- 500 ppm P_2O_5 = teor crítico para o algodozeiro (Costa do Marfim);
- 200 ppm P_2O_5 = teor crítico para o amendoim (Senegal).

Utilizando outro ácido (HCl), os ingleses fixaram em 100 ppm o teor crítico de P_2O_5 para a bananeira na Jamaica.

Esses resultados levam em conta o fósforo total e não o fósforo assimilável (em proporção muito variável, mas segundo o tipo do solo, em relação ao fósforo total); daí eles serem válidos para um tipo determinado de solo e de clima, sendo bastante perigoso transpô-lo para outras regiões.

VIII.3.2. Análise do Fósforo Solúvel em Reagentes Alcalinos

Para esse tipo de análise, emprega-se sobretudo os métodos sugeridos por:

- SAUNDER (1956): reagente NaOH 0,1N;
- OLSEN et al. (1954): reagente $\text{NaHCO}_3 \cdot 0,5\text{N}$ a pH 8,5;
- DALLAL (1973): reagente NaOH 0,25N + $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 0,1\text{N}$.

Esses métodos extraem principalmente P-Fe, forma pouco assimilável, uma boa parte de P-Cn e também um pouco de P-Org, ambos são assimiláveis; eles parecem não ter ação sobre a maioria da forma P-Ca. Em consequência, o fósforo ex

traído, apesar de ser abundante, não é sempre bem representativo do fósforo assimilável.

O teor crítico de carência do P Dallal (Fósforo de terminado pelo Método Dallal) é de 50 a 140 ppm de P, com uma média em torno de 80 ppm. O teor crítico de carência do P Saunder (fósforo determinado pelo Método Saunder) é de 120-135 ppm. Esses valores indicam que os vários métodos fornecem resultados diferentes, mas não tão discrepantes. O inconveniente deles é o de medir sobretudo um fósforo dificilmente aproveitável a curto prazo pelas raízes das plantas. Contudo o método proposto por OLSEN et al. (1954) é bastante utilizado.

VIII.3.3. Análise do Fósforo Solúvel em Ácidos Diluídos

a) Método Truog - reagente H_2SO_4 0,002N

Este método extrai sobretudo P-Sol e P-Ca e é válido para os solos com pH entre 6,0 e 7,5, isto significa solos onde P-Sol e P-Ca são bastante abundantes; o método não tem valor nenhum para os solos ácidos ricos em P-Al, forma assimilável, e também em P-Fe, geralmente uma forma pouco assimilável. Ele foi usado durante 30 anos (até 1965) em toda a África Tropical com resultados decepcionantes; agora está completamente em desuso.

b) Método Bondorf - reagente H_2SO_4 0,2N

Este método não demonstrou muito valor para solos tropicais, para os quais foi raramente utilizado como método de rotina.

c) Método da Carolina do Norte - reagente HCl 0,05N + H_2SO_4 0,025N

Este método, que utiliza o reagente de MEHLICH (1960) foi introduzido na América Latina por técnicos da Universidade da Carolina do Norte (EUA). No Brasil ele tem praticamente o destaque de método oficial.

TABELA VIII.4 - Três Escalas Brasileiras de Fertilidade para o Fósforo como citadas por MALAVOLTA (1976) - Método Carolina do Norte.

FERTILIDADE	RIO GRANDE DO SUL		GARGANTINI et al. (1970) São Paulo Eq. mg.	LIPAE (1972) Minas Gerais ppm P
	Solos Arenosos ppm P	Solos Argilosos ppm P		
Muito Baixo	0 -10	0 -4	-	-
Baixa	10,1-20	4,1-8	<0,10	<10
Média	20,1-30	8,1-12	0,11-0,30	11-30
Boa	>30	>12	>0,30	>30
Muito Boa	-	-	-	-

No Brasil se considera 10 ppm (9 ppm para a EMBRAPA) como sendo o teor crítico de carência e 30 ppm como sendo um teor alto de fósforo no solo.

Como todos os métodos que utilizam reagentes ácidos, o método Carolina do Norte extrai sobretudo P-Sol e P-Ca, e muito pouco P-Al e P-Fe. Daí ser possível afirmar que este método é sobretudo válido para os solos de pH perto da neutralidade ou de pH entre 6,0 e 7,5 e que a sua validade e segurança são duvidosos para solos de mais acidez.

VAN RAIJ (1978) confirma que este extrator ácido não é adequado para os solos brasileiros que são, em maioria, solos ácidos a muito ácidos.

VIII.3.4. Métodos Mistos

Através desses métodos ocorre a complexação do P-Al pelo FNH_4 ao mesmo tempo que se processa a extração do fósforo quer na forma ácido-solúvel, se por um reagente ácido, quer alcali-solúvel, se por um reagente alcalino. Eles são conhecidos como:

a) Método de Bray (BRAY e KURTZ, 1945)

Este método é sobretudo usado por pesquisadores de formação anglo-americana na África Oriental e no Extremo Oriente. Ele utiliza o chamado reagente de Bray, e que foi modificado duas vezes no sentido de aumentar as concentrações, ficando conhecido como:

- BRAY 1 = 0,3N NH_4F + 0,025N HCl,
- BRAY 2 = 0,3N NH_4F + 0,1N HCl,
- BRAY 3 = 0,5N NH_4F + 0,1N HCl,

sendo o BRAY nº 2 o mais usado.

Através desse método se extrai P-Sol, P-Ca, uma parte de P-Al, muito pouco de P-Fe e também um pouco de P-Org.

Alguns pesquisadores ingleses, pesquisando o método Bray, concluíram que esse método não dá bons resultados quando empregado para solos do Extremo Oriente, como na Nova Guiné e, particularmente, no norte do Bornéu, onde os solos são muito ácidos; embora ele demonstrasse ser de resultados satisfatórios para solos da Indonésia (Tabela VIII.5).

Segundo ROCHE et al. (1978), o teor crítico médio de fósforo Bray seria, em geral, de 13 ppm para os solos tropicais não encharcados de água. Este valor está muito abaixo dos níveis citados. Por outro lado, tem-se registrado que muitos dos solos tropicais têm teores de fósforo Bray abaixo de 10 ppm.

TABELA VIII.5 - Escala de Fertilidade com BRAY nº 2, válida para Arrozais Inundados da Indonésia, segundo HORN, 1971

P ppm	P_2O_5 ppm	FERTILIDADE
<40	<91,6	Muito fraca
41-60	92-139	Fraca
61-80	140-184	Média
81-100	185-229	Boa
>100	>230	Muito boa

b) Método Bondy (DABIN, 1987)

O reagente é uma mistura de FNH_4 e Na_2CO_3 . Extrai-se o P-Sol, uma pequena parte de P-Ca, toda o P-Al, boa parte do P-Fe (provavelmente a parte mais assimilável) e também uma fraca percentagem do P-Org. O método Bondy tem a vantagem de extrair todo o fósforo ligado ao alumínio, que, conforme vimos, é muito importante nos solos ácidos. Adicionalmente ele parece ser de bom emprego para uma faixa de pH muito ampla (pH 3,5 até 8,0).

O teor crítico da carência, determinado por este método, parece depender do poder de fixação do fósforo pelo solo, conforme mostra a Tabela VIII.6.

TABELA VIII.6 - Teores Críticos de Carência com P-Assimilável Método Bondy

Solos	Teor Crítico de Carência	
	P ppm	P_2O_5 ppm
Solos com fraco poder de fixação	25-30	58-75
Solos com poder fixador médio	60-70	140-160
Solos com poder fixador alto	da ordem de 100 e mais	230 e mais

A hipótese de que quanto mais um solo esta carregado de óxidos e hidróxidos de ferro, tanto mais o seu poder fixador para o fósforo torna-se elevado, não passa de uma avaliação grosseira que só serve para fixar idéias que devem ser apoiadas por dados de laboratório.

Ao comparar o P total (extraído por NHO_3) e o P assimilável Bondy, a escola francesa dá a estimativa seguinte do poder fixador:

$$\frac{P \text{ Assim.}}{P \text{ Total}} > \frac{1}{20} \text{ poder fixador fraco}$$

$$\frac{1}{20} > \frac{P \text{ Assim.}}{P \text{ Total}} > \frac{1}{40} \text{ poder fixador médio}$$

$$\frac{P \text{ Assim.}}{P \text{ Total}} < \frac{1}{40} \text{ poder fixador alto}$$

VIII.3.5. Método isotópico (LARSEN, 1952)

O método se baseia no seguinte princípio: cultiva-se plantas em vasos com terra enriquecida em fósforo, utilizam do-se de um adubo fosfatado mís turado com uma pequena quantid dade de fósforo radioativo ^{32}P . (Figura VIII.2).

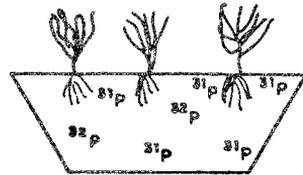


Fig. VIII.2
(vide texto)

Medindo a radioatividade das cinzas das plantas que crescem neste solo e conhecendo a radioatividade trazida na terra, determina-se o fator L de LARSEN. Dessa forma:

$$L = \left(\frac{C_x}{C_p} - 1 \right) X$$

onde:

- X = quantidade de P trazido;
- C_x = radioatividade específica do P trazido (solo);
- C_p = radioatividade específica de P aproveitado pelas plantas (cinzas).

Num solo carente de fósforo, as plantas aproveitam sobretudo o fósforo do adubo radioativo, e $\frac{C_x}{C_p}$ tende a aproximar-se de 1, daí $L \rightarrow 0$.

Num solo naturalmente rico em P, as plantas absorvem rão principalmente a P do solo (não radioativo), C_p fica fra ca, $\frac{C_x}{C_p}$ toma valores elevados, e L toma valores altos.

Desta maneira é possível de se escolher um valor L crítico para separar os solos que precisam de fósforo daqueles que não precisam de um aporte desse elemento. Esse nível crítico de fósforo pode variar bastante segundo os tipos de solo, como por exemplo:

- 25 a 45 ppm no caso de solos podzólicos da República Centro africana;
- 15 a 125 ppm P em latossolos da Madagascar.

O poder de fixação dos solos, sendo muito variável, pode explicar essas variações.

Convém salientar que o método Bondy dá valores de fósforo assimilável da mesma ordem de grandeza que o L de Larsen.

As desvantagens desse método são:

- um tempo muito longo (2 meses) para afetar na cultura e sua colheita, desde então impossibilitando de ser esse um método de rotina;
- materiais de laboratório caros, muito frágeis (contador de radiações) e sofisticados sistemas eletrônicos;
- o método pressupõe que o processo P do solo + P do adubo \neq P das plantas, permanece sempre em equilíbrio rigoroso, o que não é sempre verdadeiro, principalmente nos latossolos e solos podzolizados, sempre ricos em ferro, nos quais o P -Sol do adubo pode se transformar na forma P -Fe, não solúvel e pouco aproveitável pelas plantas, onde, para uma parte do P dos adubos, a transformação P adubo \rightarrow P em solução no solo, conseqüentemente, não ocorre.

Por outro lado existem importantes vantagens. O método leva em conta a reação das plantas, o que não é o caso das análises puramente químicas, bem como a rapidez das transformações das formas não assimiláveis versus formas assimiláveis, tais como o P -Sol, P -Ca, P -Al.

Em conclusão muitos pesquisadores acham que o fator L de Larsen dá resultados mais adequados na avaliação do fósforo aproveitável dos solos do que os métodos puramente químicos. Diante da dificuldade de utilizar este método na rotina, eles pensam que deveria servir de referência para controlar a validade dos processos químicos. Contudo VAN RAIJ (1978) contesta a superioridade do método isotópico, para os solos brasileiros.

VIII.3.6. Fósforo Extraído pelas Resinas Aniônicas

A idéia de extrair o anion fosfórico por resinas trocadoras de anions não é nova (AMER et al., 1955) e as vantagens deste método foram evidenciadas recentemente (ROCHE et al. 1978; VAN RAIJ, 1978) para os solos tropicais. Um inconveniente parece estar no fato de que as quantidades de fósforo extraído são pequenas, da ordem de 2 até 15 ppm de P (sabe-se da dificuldade de medir, com precisão, na rotina, quantidades menores de 10 ppm de fósforo do solo). Apesar disso certos autores (VAN RAIJ, 1978; ROCHE et al., 1960) acham que as resinas trocadoras de anions fornecem um excelente, e talvez o melhor, meio de avaliar o fósforo disponível para as plantas.

VIII.3.7. Fósforo Solúvel na Água (WATANABE e OLSEN, 1965)

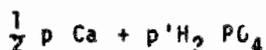
Esse método parece dar bons resultados relacionáveis ao fósforo aproveitável pelas plantas. Infelizmente as quantidades de fósforo extraídas, da ordem de 0,05 mg por litro de solução, as vezes menos, dificultam muito a determinação.

VIII.3.8. Potencial Fosfórico do Solo

Segundo WHITE e BECKETT (1964) e BECKETT e WHITE (1964), a noção de potencial fosfórico deveria ter um sentido dinâmico, o que quer dizer que ela deveria levar em conta, também, o fósforo disponível a curto e a médio prazos.

O método se baseia em se colocar amostras de solo em equilíbrio com solução de cloreto de cálcio a concentrações variáveis; extrai-se cada vez uma certa quantidade de fósforo.

O potencial fosfórico é dado pela expressão



onde p e p' são as concentrações respectivas de Ca e P. Esta noção de potencial fosfórico foi aplicada a solos tropicais, principalmente na África Oriental. Nos dias atuais ela parece um pouco esquecida.

VIII.3.9. Conclusão sobre as Análises Determinando o Fósforo suposto aproveitável pelas Plantas. Fatores de LARSEN (1967).

O problema de poder determinar, através de uma só análise química, uma quantidade de fósforo que seja representativa do fósforo assimilável é difícil e até agora não bem elucidado. Ele se torna maior, sobretudo, para os solos tropicais onde há uma insolubilização forte do fósforo pelo ferro (retrogradação). Os conceitos de LARSEN (1967), dão a verdadeira dimensão deste problema; segundo esse autor, dever-se-ia levar em conta os seguintes fatores:

- *fator quantidade*: é todo o fósforo aproveitável na fase sólida do solo (P assimilável, P lábil, ...);
- *fator intensidade*: é a quantidade de fósforo presente na fase líquida do solo (solução do solo);
- *fator capacidade*: é a capacidade do solo em manter estável a concentração de fósforo na solução do solo apesar do consumo das plantas;
- *fator rapidez*: é a rapidez da passagem do fósforo para a fase líquida a partir da fase sólida;

- *fator difusão*: é a mobilidade do fósforo na fase líquida que permite compensar imediatamente num ponto dado o decréscimo do teor de fósforo causado pelo consumo vegetal através das suas raízes.

Infelizmente a metodologia química não conseguiu seguir este esforço de reflexão e classificação. O fator difusão nunca foi medido; só os fatores quantidade e capacidade podem ser avaliados com bastante segurança; existem análises que levam em conta fatores intensidade e rapidez, mais os resultados não parecem ser bons e confiáveis em todos os casos (ROCHE et al., 1978; BOYER, 1982).

Nas análises de rotina, não é possível se fazer 4 a 5 análises para uma única amostra de solo. Por esta razão se escolhe os métodos relativamente rápidos que permitem avaliar, mesma grosseiramente, o fósforo disponível. Os especialistas químicos preferem os seguintes:

- *Método Bray 2*: válido sobretudo para os solos neutros ou pouco ácidos;
- *Método Olsen*: para os solos ácidos a muito ácidos;
- *Método Bondy*: (modificação do Olsen): parece válido para solos de pH 3,0 a pH 8,0;
- *Método com resinas trocadoras de anions*: recentemente se destacou uma forte corrente em favor das resinas (VAN RAIJ, 1978; ROCHE et al., 1980) para a análise do fósforo aproveitável, sobretudo nos solos tropicais.

VIII.4. ADUBOS FOSFATADOS

VIII.4.1. Principais Adubos

a) *Adubos Insolúveis em Água e Citrato*

Essencialmente são os fosfatos tricálcicos:

- Fosfatos tricálcicos do Marrocos = 25% P_2O_5 ;

- Fosfatos tricálcicos do Senegal e do Togo = 37% P_2O_5 ;
- Fosfato tricálcico das Ilhas Christmas = 37% P_2O_5 ;
- Schlams fosfatados (resíduos das indústrias dos superfosfatos) = $\leq 23\%$ P_2O_5 ;
- Apatitas (Brasil):

$CaF_2 \cdot 3 (Ca_3(PO_4)_2) $ $CaCO_3 \cdot 3 Ca_3(PO_4)_2 $ $CaCl_2 \cdot 3 Ca_3(PO_4)_2 $	}	30% a 40% P_2O_5 (solubilidade = 3% de P_2O_5 no citrato de amônio).
--	---	--
- Fosforita (apatita amorfa) = 30% P_2O_5 (solubilidade = 5% no citrato de amônio).

Apesar de serem insolúveis (na água e no citrato) segundo os testes oficiais, os fosfatos tricálcicos e as apatitas, bem moldados, tornam-se pouco a pouco assimiláveis nos solos ácidos, sobretudo de pH inferior a 7, sob pluviometria abundante, em todos os casos superior a 1000 mm por ano, dissolvendo-se devagar.

A solubilidade não é idêntica para todos os fosfatos naturais e, por exemplo, algumas apatitas do Brasil, fosfatos da Tunisa ou do Níger têm naturalmente, no estado finamente moldado, uma solubilidade no solo que varia de fraca a média, o que permite seus usos em culturas anuais.

b) Adubos que contêm certa percentagem de P_2O_5 solúvel em água e/ou citrato de amônio (Tabela VIII.7)

Nos solos ácidos é melhor usar as formas que contêm cálcio, e não o fosfato de alumínio que pode aumentar a acidez e levar mais alumínio a solos que, às vezes, já podem ter alumínio demais. Por esta razão, o fosfato de alumínio tem que ser empregado unicamente nos solos de pH próximo a 7 (6 a 7). As escórias de defosforação fazem subir o pH.

Nos solos alcalinos (com calcário) é melhor usar formas altamente solúveis em água e citrato.

TABELA VIII.7 - Adubos que contêm certa porcentagem de P_2O_5 solúvel em água e/ou citrato de amônio

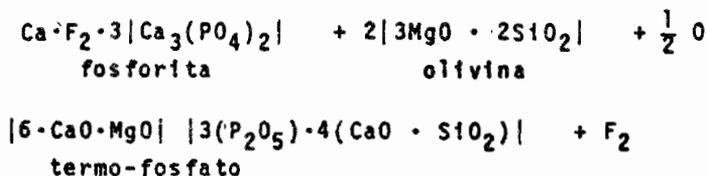
	P_2O_5 Total	P_2O_5 solú vel em água	P_2O_5 solú citrato de amônio
Fosfato de alumínio cal cinado - $Al PO_4$	35%	0%	26,4%
Fosfato de alumínio ma rinho	29%	0%	1,16% (Áci do cítrico)
Escórias de defosforação (silicatos)	15% (Brazil)	muito pou co	solúvel
Fosfato bicálcico $Ca(HPO_4)_2$	32%	pouco	solúvel
Superfosfato de Ca sim ples (monocálcico) $Ca(HPO_4)_2 \cdot SO_3 Ca$	18-27%	solúvel	solúvel
Superfosfato triplo ou concentrado (monocálcico) $Ca(HPO_4)_2$	46%	solúvel	solúvel

c) Adubos de síntese onde o fósforo está ligado a um outro elemento fertilizante

Essas formas obtidas por síntese química, geralmen
te de custo elevado, contêm todo o seu fósforo solúvel na água
e a "fortiori" no citrato; os adubos mais usados são:

- Fosfato monoamônico = 46% P_2O_5 (10% N);
- Fosfato diamônico = 45% P_2O_5 (10% N);
- Metafosfato de potássio = $(K \cdot H_2 PO_4)$ = 59% P_2O_5 (40% K_2O);
- Termofosfato = 19% P_2O_5 , 30% CaO, 16% MgO.

O termofosfato, muito utilizado no Brasil, provém da
calcinação de uma mistura de fosforita e olivina:



VIII.4.2. Eficiência das Diferentes Formas de Fertilizantes Fosfatados

a) *Zona Equatorial e Tropical Úmida (pluviometria > 1200 mm)*

Aquí os solos são geralmente ácidos, muitas vezes de pH inferior a 6,0; os valores de pH entre 6,5 e 7,0 são bastante raros, a considerar o conjunto dos solos sob climas tropicais já estudados.

Nesses solos, os fosfatos tricálcicos, apatitas e fosforitas são de fácil solubilidade, se bem que se efetivam do muito lentamente. Entretanto, essa lentidão pode ser um fator favorável porque o fósforo é liberado progressivamente e pode ser assimilado também progressivamente pelas raízes das plantas cultivadas. No caso de um fosfato muito solúvel, as raízes podem absorver todo este fósforo num prazo curto; o que sobra pode se tornar insolubilizado pelo ferro do solo ou caso haja condições de drenagem, se perder pela lixiviação.

Utiliza-se o fosfato tricálcico como adubo corretivo em caso de carência de fósforo, sobretudo para as culturas perenes tais como da bananeira, do dendezeiro, da seringueira e do cafeeiro, dentre outras. Geralmente trata-se de adubação pesada (2 a 5 toneladas/hectare) que, por se dissolver lentamente no solo, tem seu efeito prolongado por vários anos. Um inconveniente pode existir no caso de caírem chuvas insuficientes, onde, as vezes nenhum efeito se manifesta no primeiro ano, como é frequentemente registrado em certas áreas de campos cerrados.

Foi demonstrado que, em se utilizando doses iguais de P_2O_5 com vários tipos de adubos nos solos podzólicos da República Centroatricana, no primeiro ano de cultura (anual) de algodão, o fosfato de alumínio, o fosfato bicálcico e o super fosfato triplo (fosfato-monocálcico) apresentaram resultados idênticos, e, em todos os casos, superiores aos do fosfato tricálcico. No segundo e no terceiro ano, os resultados foram iguais para as quatro formas de fosfatos. No caso geral, após o terceiro ano, só o fosfato tricálcico mostrava o seu efeito. Daí a tendência de se reservar o fosfato tricálcico para adubação pesada de fundo (adubação corretiva) e complementa-la no primeiro ano e nos anos seguintes, se for necessário, com uma pequena quantidade de fosfato solúvel. Naturalmente uma adubação de fundo se concebe somente para uma duração mínima de 5 a 7 anos, ou, normalmente, para período maior, como no caso das culturas perenes (cafeeiro, cacauzeiro, seringueira, citrus, etc) e dos campos cultivados de maneira permanente. De jeito nenhum ela é justificável para culturas itinerantes.

A tendência recente na África e no Brasil, (conforme anais do Congresso Brasileiro de Ciência dos Solos, 1981) é a de pesquisar a solubilidade dos vários fosfatos naturais (tricálcico, apatita, fosforita) para escolher os que se dissolvem mais rapidamente dentro do solo e, consequentemente, aqueles que podem ser usados como adubo anual. Alguns desses fosfatos já foram diagnosticados no Brasil (CABALA-ROSAND e WILD, 1982).

b) Zona Sub-úmida (800-1200mm de chuva)

O fosfato tricálcico apresenta bons resultados nos solos ácidos somente quando o primeiro ano é excepcionalmente chuvoso; entretanto o fosfato monocálcico, bicálcico e o fosfato de amônio conservam a mesma eficácia, quer em ano chuvoso, quer em ano seco ou relativamente seco. No segundo ano todas as formas de fosfato apresentam resultados iguais.

Conforme já discutimos, o fosfato de alumínio é desaconselhado em solos ácidos; ele deve ser reservado a solos ricos em cálcio (solos mais ou menos neutros).

c) Zona Semi-Árida (menos de 800 mm de chuva)

De maneira geral, os fosfatos tricálcicos em solos sob condições aqui expostas não surtem nenhum efeito.

A medida que a pluviometria for diminuindo, deve-se escolher formas cada vez mais solúveis como os superfosfatos, fosfatos de amônio, etc.

d) Caso particular dos solos ricos em cálcio e sobretudo dos solos calcáreos

Nos solos de pH superior a 7, o fosfato tricálcico não se dissolve ou se dissolve muito pouco. Além disso, por se tratar de solos carregados em Ca e em CaCO_3 , o fósforo solúvel trazido tende a se insolubilizar sob a forma de fosfato tricálcico. Por isso se emprega formas de alta solubilidade (superfosfatos ou fosfato de amônio) com aportes anuais. Praticamente nunca se faz adubação de fundo (corretiva) nesses solos.

CAPITULO IX

ENXOFRE

IX.1. GENERALIDADES - FORMAS

O enxofre nos solos é proveniente das rochas e sobretudo da atmosfera. Ele se encontra nos solos sob duas formas:

- *Enxofre ligado a matéria orgânica*: no caso ocorre sob forma de sulfo-proteínas, cujas principais são metionina e cisteína, que pertencem ao conjunto chamado humus no solo. Esta forma orgânica contém 90% (às vezes representando a quase-totalidade) do enxofre do solo, sobretudo em sua superfície. É uma forma não assimilável pelas raízes das plantas, salvo se liberados como sulfatos minerais durante a mineralização de matéria orgânica;
- *Enxofre sob forma mineral tipo sulfatos ($CaSO_4$, $MgSO_4$, K_2SO_4 , etc) geralmente hidratados*: esta forma chega a representar aproximadamente um décimo do estoque do enxofre na superfície do solo. Este enxofre torna-se bem assimilável pelas raízes das plantas. Essa característica provém, em geral, das sucessivas transformações até o processo de mineralização da matéria orgânica. Entretanto, por serem no geral solúveis, esses sulfatos poderiam ser levados a profundidade pelas águas de drenagem, caso não se transformassem e não fossem absorvidos pelas raízes das plantas.

IX.2. DINÂMICA DO ENXOFRE

Os estudos da dinâmica do enxofre no solo foram sobretudo efetuados na década de 60, destacando-se aqueles efetuados por WHITEHEAD (1964).

IX.2.1. Incorporação do Enxofre à Matéria Orgânica do Solo

O enxofre mineral trazido ao solo é rapidamente incorporado à matéria orgânica sobretudo nas regiões tropicais úmidas, onde o meio ambiente é ótimo para que ocorram os seguintes tipos de reações:

- *primeiro*: enxofre primário, sob a forma de sulfetos, enxofre nativo e SO_2 são rapidamente transformados em sulfatos (e $\text{SO}_4^{=}$) por bactérias específicas;
- *segundo*: bactérias, também específicas, absorvem estes sulfatos, o sulfato primário (de rocha) e também o $\text{SO}_4^{=}$ trazido em solução e os incorporam à matéria orgânica do solo através de uma sucessão complicada de reações cujos produtos finais são sulfo-proteínas (cisteína, metionina, taurina, etc.). Como veremos adiante, parte do $\text{SO}_4^{=}$ pode ser fixada pelos colóides positivos do solo.

O enxofre orgânico trazido ao solo (geralmente como os resíduos orgânicos) passa pois pelo estágio sulfato antes da incorporação ao humus. Esse estágio sulfato é também observado como um produto da mineralização do material orgânico.

IX.2.2. Liberação do Enxofre à partir da Matéria Orgânica

No decorrer da mineralização da matéria orgânica, as sulfo-proteínas são decompostas numa sucessão complicada de reações químicas. Os produtos finais são os sulfatos assimiláveis que representam aproximadamente a décima parte do enxofre do solo. Esta liberação de enxofre tem muita semelhança com a mineralização do nitrogênio orgânico que termina por produzir nitratos.

Contudo, a liberação do enxofre é mais lenta do que a do nitrogênio. Esse fato pode explicar porque certos solos, principalmente solos de savana ou de campo-cerrado, mostram extrema carência em enxofre ao serem cultivados, apesar de um teor normal em S-total. O que ainda não foi explicado é como

essas carências nunca acontecem sobre os mesmos tipos de solos, mesmo quando solos muito vizinhos, mas que são cobertos de floresta (antes do desmatamento e da cultura); tudo indica que a carência em enxofre, no caso dela existir, parece ligada ao humus gerado pela vegetação de savana. Nos solos que apresentam extrema carência em enxofre no primeiro ano de cultivo essa carência tende a diminuir pouco a pouco durante as lavouras sucessivas, até desaparecer completamente a partir do terceiro ou do quarto ano, o que significa que a mineralização do enxofre então se desenvolve com intensidade normal. Supõe-se que uma natureza algo diferente do humus em solos sob savana e sob floresta poderia explicar esses fenômenos, paralelamente à mineralização lenta do enxofre orgânico. A cultura contribuiu para o aparecimento no solo de humus menos estável do que em solo sob savana, daí o abastecimento normal em enxofre. Nesse último caso, esta "recuperação" pode ocultar um pernicioso empobrecimento do solo em enxofre; pernicioso, porque não é perceptível, exceto com o auxílio das análises químicas.

IX.2.3. Retenção dos Sulfatos pelos Colóides do Solo

De uma certa forma, os anions SO_4^{--} podem ser fixados parcialmente sobre os colóides minerais do solo. No caso, os seguintes mecanismos são argumentados:

- substituição do alumínio e do silício pelo anion SO_4^{--} no interior do folheto da caulinita: parece que a importância deste fenômeno é secundária;
- neutralização das cargas positivas dos colóides eletro-positivos, óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio pelo anion SO_4^{--} : a fixação parece mais importante nos solos ricos em alumínio trocável, pois é provável que os ions Al^{+++} , já fixados no complexo absorvente do solo, têm ainda algumas valências livres ao serem neutralizados por SO_4^{--} .

É bom observar AYLMORE, KARIM e QUIRK, 1967) que a fixação máxima do SO_4^{--} poderia ser de:

- 1 a 1,86 E.mg de SO_4^{--} por 100 g de caulinita;
- 84,2 E.mg de SO_4^{--} por 100g de pseudo-bohemita coloidal ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$);
- 13,4 E.mg de SO_4^{--} por 100g de hematita sintética ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) (experiência de laboratório).

Seja qual for o mecanismo, a fixação do SO_4^{--} é melhormente processada nos solos de pH baixo (papel do alumínio trocável?) e ricos em compostos de Fe e Al coloidais ou, pelo menos, muito finamente divididos. O papel do pH e, por consequência, do alumínio trocável, é posto em destaque através da seguinte experiência feita em um latossolo da Malásia em lisímetros de 60cm de profundidade. Vejamos a experiência: depois de um aporte de 400 a 600 kg/ha de sulfato de amônio, a lixiviação do enxofre (SO_4^{--}) foi de 15% do aporte no latossolo de pH 1 5,2 e nula (retenção total) no latossolo de pH 1 4,6 (BOLTON, 1968).

IX.2.4. Lixiviação dos Sulfatos do Solo

Os sulfatos, sendo solúveis, são facilmente levados em profundidade pela água de drenagem; eles podem também se fixar sobre os colóides dos horizontes profundos do solo, a tal ponto que a proporção S-orgânico/S-sulfatos seja inversa (Tabela IX.1).

Os sulfatos têm a propriedade de serem lixiviados a partir do horizonte superficial até uma profundidade onde param (parcialmente?), quando as condições se encontram favoráveis (pH \leq 5,0, presença de compostos de Al e Fe).

Nos solos cultivados, a lixiviação a partir do horizonte superior (de maior utilidade para a lavoura) é praticamente a mesma, independentemente da natureza e tipo de tratamento do solo (Tabela IX.2).

TABELA IX.1 - Formas do enxofre num perfil sob floresta da Tanzânia, segundo HESSE, 1957.

PROFUNDIDADE (cm)	S-(SO ₄ ²⁻) ppm	S-orgânico ppm	S-total ppm
Folhas (caídas no solo)	38	402	440
Serrapilheira	5	330	335
0-5	2	388	390
5-20	tr	371	371
20-40	tr	357	357
40-105	154	112	266
135-165	440	64	504
165-180	450	34	484

N.B.: O teor muito baixo dos sulfatos na parte superior do solo pode ser devido ao consumo intenso das raízes da vegetação tipo floresta.

TABELA IX.2. - Enxofre levado pela drenagem nos solos arenosos "Dior" do Senegal (pH=6,0) - experiência em 11 símetros, segundo TOURTE et al., 1964.

TRATAMENTO DO SOLO	S DOS SULFATOS LIXIVIADOS
Solo nú	10 kg/ha/ano
Pousio herbáceo queimado	8 kg/ha/ano
Pousio herbáceo enterrado	11 kg/ha/ano
Milhete (adubo verde)	9,6 kg/ha/ano
Amendoim	8 a 11 kg/ha/ano
Milhete (grão) com 93 kg/ha de S	32 kg/ha/ano
Milhete (grão) com 160 kg/ha de S	54 kg/ha/ano

MALAVOLTA (1967) cita os números seguintes para caracterizar o destino do enxofre dos adubos trazidos ao solo:

- 5 a 10% - alimentam as plantas;
- 20% - são fixados pelo solo;
- 70% - são levados em profundidade (perdidos?).

Os dados acima provêm essencialmente dos Estados Unidos. Esses dados põem em evidência a grande importância da lixiviação apesar da fixação (20%) não ser de todo insignificante. É bem provável que nos solos tropicais, geralmente muito mais ricos em ferro e alumínio que os solos temperados, a fixação seja maior do que a indicada acima.

IX.3. TEORES DE ENXOFRE NOS SOLOS

Considera-se que o teor de enxofre na parte superficial dos solos segue mais ou menos o teor do nitrogênio, embora o primeiro seja bem menor que o segundo (conforme Capítulo XVI - Equilíbrio). O fato de que um teor alto de nitrogênio significa um teor elevado em enxofre e vice-versa não constitui uma regra absoluta embora aconteça de maneira bastante geral.

Apesar do enxofre dos sulfatos formar a única forma aproveitável desse elemento pelas plantas, costuma-se considerar o S-total para avaliar as potencialidades em enxofre do solo. Naturalmente, se for possível, é melhor conhecer ao mesmo tempo o percentual do S-(SO₄) em relação ao S-total.

IX.3.1. Enxofre Total (S-total)

Apesar de um número insuficiente de análises do S-total, é possível dizer que este varia bastante nos solos tropicais: 35 ppm até 500 ppm, ou até mais. O que interessa sobretudo ao técnico é conhecer um teor crítico em S-total abaixo do qual é necessário fazer aporte de enxofre. Os dados obtidos ficam parciais. Sabe-se que em solos paulistas de cam

po cerrado, um teor de 35 ppm de S-total (em superfície) significa uma carência aguda nesse elemento (McCLUNG, MARTINS e FREITAS, 1959).

Foi demonstrado na África Ocidental e Central que o limite de deficiência do S-total do solo se situa, em média, em torno de 100 ppm (DABIN, 1970.b). Porém, parece necessário corrigir este valor, considerando o teor de elementos finos (argila + silte) do solo. Assim, num solo Bruno das Antilhas, com teor de argila + silte superior a 45%, o limite de deficiência é 150 ppm de S-total (caso da bananeira). Num solo africano com argila + silte entre 15 a 35% o limite de deficiência se escalona de 70 a 100 ppm de S (caso do algodão).

IX.3.2. Enxofre dos Sulfatos (S dos Sulfatos ou S-(SO₄))

Segundo NASCIMENTO e MORELLI (1980) em um dado solo existe uma alta probabilidade de deficiência em enxofre quando a proporção de C/S > 120 e o teor de S dos sulfatos, S-(SO₄), < 6 ppm. Esse fato foi observado em vários solos do Rio Grande do Sul (Brunizens, Planossolos, Vertissolos, Solos Podzólicos, Latossolos). Entretanto, se C/S < 120 e S-SO₄ < 6 ppm a planta não mostra sempre resposta ao enxofre dos adubos (boa mineralização da matéria orgânica).

IX.3.3. Relação S-Total/S-(SO₄)

Se for possível, é sempre bom comparar o teor de S-(SO₄) com o teor de S-total do solo, principalmente nos campos cultivados, para avaliar a fertilidade.

Na África um percentual de 10% de S-(SO₄) em relação ao S-total é considerado ótimo para os franceses, porém 8% bastariam para os ingleses, indicando uma mineralização regular do enxofre orgânico.

É verdade que muitos dos solos do Rio Grande do Sul estudados por NASCIMENTO e MORELLI (1980), tendo percentuais

de 2 a 6% de S-(SO₄) em relação ao S-total, possuem baixa disponibilidade de enxofre, segundo esses dois autores. Contudo, não é possível avaliar a fertilidade em se considerando apenas o enxofre e com base neste único critério. É necessário comparar os teores de S-total aos de S-(SO₄) e, só for possível, também as relações N/S e C/S.

IX.4. ADUBOS COM ENXOFRE

Dois adubos trazem especificamente enxofre:

- *Flor-de-enxofre*: corresponde ao enxofre puro de grã fina, sendo muito caro, exceto quando se trata de resíduo industrial. É usado sobretudo contra o *oidium* nas culturas. Desta maneira pode, indiretamente, abastecer o solo em enxofre;
- *Gesso e Anidrita*: de uso geral para a recuperação dos solos salgados como na Holanda e certos países tropicais, como por exemplo, na Tanzânia. No Brasil, seu uso serve também para fazer aportes de enxofre (campo cerrado). Tem a vantagem de trazer cálcio e sobretudo de ajudar muito a quebrar a "barreira química" (conforme Capítulo XII, item XII.5.4). É um pouco acidificante.

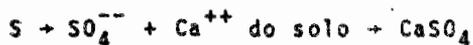
IX.4.1. Adubos onde o Enxofre está combinado com outro Fertilizante

De maneira geral, o aporte de enxofre em solos carentes neste elemento se faz através de adubos, combinando o enxofre a outro elemento fertilizante, tais como:

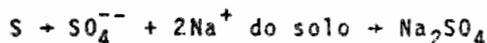
- Sulfato de amônio - (NH₄)₂SO₄ com 21% N: 23-24% S;
- Superfosfato simples com 18% P₂O₅: 11% S;
- Superfosfato enriquecido com 25% P₂O₅: 9% S;
- Superfosfato enriquecido com 35% P₂O₅: 5% S;
- Sulfato de potássio K₂SO₄: 17% S.

IX.4.2. Acidificação do Solo pelos Adubos com Enxofre

Muitos solos tropicais precisam de enxofre, porém, deve-se salientar que este elemento provoca a acidificação do solo



O $CaSO_4$ sendo muito solúvel é facilmente levado fora do perfil. Esta propriedade é aproveitada para corrigir (des-salgar solos salgados. Na^+ ocupando o lugar de Ca^{++} , tem-se:



Também se usa enxofre nos solos calcários onde o excesso de cálcio, sob forma de $CaCO_3$ provoca a clorose das folhas de certas plantas cultivadas, pelo fato do ferro se tornar insolúvel na forma de carbonato de ferro e, consequentemente, não poder atingir as folhas e a clorofila não se formar bem. Neste caso se utiliza de quantidades elevadas de flor-de-enxofre (1 a 2 t/ha) ou de sulfato ferroso (3 a 7 t/ha). O SO_4^{--} formado se combina com a fração mais fina, que é a parte mais ativa do calcário, que também é a mais nociva, pois o produto final, o $CaSO_4$ é muito solúvel e é levado para fora do solo pela drenagem.

Nos solos tropicais, em sua maioria ácidos, o uso, bastante recente, de uréia permite reduzir a acidificação que é causada quando se usa o sulfato de amônio. Este composto foi durante muito tempo o adubo nitrogenado mais difundido. Porém, agora, com o uso generalizado da uréia (em vez de sulfato de amônio) e do cloreto de potássio (em vez do sulfato de potássio), carências em enxofre podem aparecer nas culturas. Na prática, este fato foi registrado com o cultivo de bananeira na Costa do Marfim, a partir dos anos setenta. Por essa razão se preconiza misturar uréia e sulfato de amônio, ou mais

economicamente de revezã-los de maneira a ter, em média, nos adubos nitrogenados trazidos ao solo, uma relação N/S = 2.

IX.5. CONCLUSÃO: "ENXOFRE, O MACRONUTRIENTE ESQUECIDO"

O texto a seguir é uma transcrição do artigo publicado na revista AGROPECUÁRIA, edição de Novembro de 1982, pelo Engº Agrº DRAUSIO G. ARMBRUSTER.

"Desde que se cultiva os solos brasileiros, o enxofre tem sido suprido às culturas através de inúmeras fontes. Muitas delas deixaram de ser usadas em escala apreciável nos dias de hoje.

Eurípedes Malavolta, professor de Nutrição de Plantas da Luiz de Queiroz, da Universidade de São Paulo, escrevia há mais de 30 anos que "... embora nas nossas culturas ainda não se tenha constatado sintomas de carências de enxofre, o uso contínuo da terra, a erosão, a decomposição rápida da matéria orgânica e a posição rápida da matéria orgânica e a aplicação de adubos que não contêm enxofre, ou o que encerram em quantidades desprezíveis (fosfatos naturais, salitre do Chile, cloreto de potássio) contribuirão com o tempo para o aparecimento daquela condição. Além disso, a ausência de sintomas de deficiência não quer dizer obrigatoriamente que o enxofre não seja limitante da produção...".

São conhecidas, hoje, ocorrências frequentes e recentes, de sintomas de falta de enxofre em cerca de nove das principais culturas exploradas em sete Estados pesquisados.

De acordo com estimativas mais recentes, já no ano de 1980 teria havido um déficit de 115.000 t de enxofre no consumo brasileiro. Na realidade, esse déficit teria sido de 255.877 t se forem consideradas as reais necessidades de enxofre para a adubação adequada das principais culturas no País.

Por que se chegou a tal situação, se é tecnicamente sabido que a falta de enxofre é um fator limitante, como ocor

re quando há falta de N-P-K, na produtividade da maioria de nossas principais culturas? E por que este nutriente, que já deveria ter sido considerado o quarto mais importante macronutriente, está se tornando dia a dia menos disponível para nossas culturas?

É necessário lembrar-se que há 30 anos o tradicional fertilizante fornecedor de P_2O_5 era o superfosfato simples, produzido industrialmente tratando-se o fosfato natural com ácido sulfúrico. O produto obtido, 0-20-0 que contém 10-12% de enxofre, era amplamente usado como o sulfato de amônio (21% N e 24% de enxofre) e cloreto de potássio (60% K_2O) na formulação de misturas de baixa concentração de N-P-K, porém com alta concentração de Ca (cálcio) e de enxofre.

Uma quantidade razoável de enxofre era então fornecida às culturas, através da aplicação daquelas misturas no solo.

Atualmente, a fim de se produzir matérias-primas mais concentradas, o ácido sulfúrico foi substituído pelo ácido fosfórico, dando MAP e DAP. E, nas formulações de misturas de alta concentração, o sulfato de amônio foi substituído pela uréia. Essas fórmulas, na maioria das vezes, já não contém enxofre.

A matéria orgânica e a atmosfera, contendo resíduos de indústrias ou das queimadas de florestas, que eram satisfatórias fontes de enxofre (natural a primeira e incidental a segunda), tendem a se tornar inexpressivas à medida que nossas culturas avançam em direção das terras de "cerrados", pobres de matéria orgânica e enxofre.

Também, a maioria dos inseticidas e fungicidas tradicionalmente usados, até há pouco tempo, era à base de enxofre. Já não existem mais, com exceção do pó molhável, que continua a ser empregado em citricultura, resistindo à concorrência dos modernos produtos orgânicos. Então, conclui-se que está fal

tando enxofre nas principais culturas, mesmo nas quais ainda se obtém elevada produção, de acordo com os atuais parâmetros de medição dos índices de produtividade.

Essa verdade é observada especialmente em lavouras de soja no Rio Grande do Sul e em solos pobres dos cerrados de Goiás, Minas Gerais, São Paulo e possivelmente Mato Grosso. As produções das culturas de algodão, feijão, arroz, café e pastagens das mesmas regiões também estão sendo prejudicadas.

Observando-se o que foi exposto, verifica-se que o enxofre é um dos nutrientes mais importantes após o nitrogênio, fósforo e potássio. As plantas necessitam dele nas mesmas proporções que do fósforo. Para sintetizar as proteínas, as plantas necessitam de enxofre na proporção de uma parte para 10 de nitrogênio; assim, os fertilizantes portadores de nitrogênio não propiciarão aumentos nos índices de produtividade se houver falta de enxofre.

Culturas como a soja e muitas hortaliças necessitam de mais enxofre que os cereais, devido ao seu elevado teor de proteína e óleo. Assim, maior atenção deve ser dada a este macronutriente esquecido nos programas de fertilização. O uso de adubos portadores de enxofre é altamente recomendado.

O sulfato de amônio é uma das mais econômicas fontes de nitrogênio (21% N) e de enxofre (24% S) e apresenta o enxofre na forma de sulfato que é imediatamente absorvido pelas plantas. Outras fontes de enxofre são sulfato de potássio e magnésio, sulfato de potássio, sulfato de cálcio (gesso) e superfosfato simples".

CAPITULO X

POTASSIO

X.1. GENERALIDADES - FORMAS (BLACK, 1968)

X.1.1. Introdução

Em torno do mundo tropical, existem solos que já são carentes em potássio mesmo imediatamente após o desmatamento; porém, estes são relativamente raros. Por outro lado, ainda mais raros são os solos ricos em potássio e que são capazes de suprir este elemento às culturas sucessivas durante vários anos.

Geralmente os solos, logo após o desmatamento, não apresentam carência ou deficiência em potássio aproveitável. Mas, este potássio, muitas vezes, esgota-se rapidamente em períodos variáveis, conforme pode ser observado nos registros seguintes:

- oito meses em cultura de arroz de sequeiro na Amazônia peruana com pluviometria anual de 2100 mm (SANCHEZ et al., 1982);
- dois ou três anos em culturas anuais no Zaire, Costa do Marfim em regiões do Brasil com pluviometria de 1400 até 1800mm anuais (vários autores citados em BOYER, 1982);
- dez anos em média (7 a 12 anos) nos dendezeiros da Nigéria e do Bórneo, regiões cujos solos foram cuidadosamente cobertos de leguminosas de cobertura, regiões de pluviometria anual de 1800-2000mm (no caso do solo, com culturas perenes desse tipo, após ser capinado e nú, o prazo de esgotamento em potássio é semelhante àquele para solos com culturas anuais);

- oito anos sob cultura de amendoim e milhete nos solos arenosos no leste do Senegal, regiões de clima semiárido e pluviometria anual de 600mm. Neste caso, o potássio trocável caiu de 0,09 E.mg^{8/} até 0,05 E.mg/100g de solos BOUYER, 1959).

De uma maneira geral pode-se afirmar que a cultura provoca uma diminuição notável do potássio trocável que ocorre mesmo nos solos ricos em potássio. Esse fato pode ser confirmado através do exemplo, vindo da Tanzânia, onde em um solo muito bem nutrido em potássio (K trocável entre 3,4 e 3,9 E.mg/100g solo, no início) haviam culturas e pastos que se revezam; nele houve uma queda média de 0,12 E.mg/100g de K trocável por ano, média calculada a partir dos resultados de oito anos.

X.1.2. Formas de Potássio do Solo (WICKLANDER, 1954; BOYER, 1972 e 1982, MIELNICZUK, 1977)

Tradicionalmente as seguintes formas de potássio são citadas pelos autores:

- K total: conjunto do potássio do solo;
- K trocável: fixado no complexo adsorvente;
- K "fixado": se encontra no interior dos folhetos de argila;
- K lábil: determinado por métodos isotópico (LARSEN, 1952, BECKETT, 1964, BHAT, TRUONG e BOUYER, 1970).

O K trocável, considerado o mais assimilável pelas raízes das plantas, encontra-se nos solos em percentuais que vão de menos de 1% até 7% do K total. Solos muito intemperizados como os latossolos, têm o maior percentual de K trocável em relação ao K total. Consequentemente as reservas de potás

^{8/} E.mg/100g = meq/100g.

sio não assimiláveis são menores nos solos evoluídos do que nos solos mais jovens, onde existem ainda minerais oriundos da rocha mãe ricos nesse elemento (K-feldspatos, muscovita, etc). (Tabela X.1 e X.2).

TABELA X.1 - Potássio trocável, Potássio extraído com HNO_3 1N fervente e Potássio total extraído com H_2SO_4 + HClO_4 + HF em alguns solos do Rio Grande do Sul, segundo MIELNICZUK e SELBACH, 1978.

	E.mg/100g			%
	K Trocável NH_4Ac 0,5N	HNO_3	K Total	$\frac{\text{K Trocável}}{\text{K Total}}$
Latossolo Vermelho Escuro Distrófico (C. Alto)	0,13	0,23	4,06	2,82
Latossolo Vermelho Escuro Distrófico (Fundo III)	0,17	0,29	4,11	4,13
Latossolo Roxo Distrófico (S. Angelo)	0,23	0,35	4,17	5,51
Latossolo Bruno Amarelado Distrófico (S. Jerônimo)	0,35	0,54	8,65	4,04
Latossolo Vermelho Escuro Distrófico (Fundo III)	0,65	0,82	5,68	7,51
Solo Litólico Eutrófico	0,75	0,99	5,98	12,5

X.1.3. Intensidade da Fixação do Potássio Trocável sobre o Complexo Sortivo do Solo

Parece que o K trocável, ao invés do que indica a teoria de GOUY, não é adsorvido com a mesma energia em todos os sítios de troca do complexo adsorvente do solo (Figura X.1). MOHINDER SINGH (1970) demonstrou que, nos latossolos da Malásia, os sítios de troca não possuem igualmente o mesmo poder

TABELA X.2 - Comparação entre Potássio Trocável e Potássio Total, extraído pelo reagente fluo-perclórico

		E.mg/100g		%
		K Trocável	K Total	$\frac{K \text{ Trocável}}{K \text{ Total}}$
Madagascar Solo hidromorfo (arrozal)	0-15cm	0,14	34,0	0,41
Alta Volta ^{1/} Solo ferralítico jovem	0-14	0,14	23,75	0,59
	30-40	0,11	22,5	0,49
Vertissolo	0-10	0,15	15,90	0,94
	30-40	0,20	17,62	1,13
Solo ferruginoso tropical	0-10	0,09	34,21	0,26
Solonetz	0-4	0,26	35,91	0,72
	4-7	0,15	33,78	0,44
	7-11	0,11	32,91	0,33
Ilha Lipu ^{2/} (Pacífico)	0-50	0,15	0,30 até 1,5	10 até 50

^{1/}O potássio total dos solos de Alta Volta foi medido não somente em relação à terra fina mas também nos cascalhos e nos detritos da rocha-mãe de tamanho superior a 2 milímetros.

^{2/}O solo da Ilha Lipu não tem praticamente caulinita, os colóides são sobretudo hidróxidos e óxidos de ferro e de alumínio, daí sua pobreza em K total.

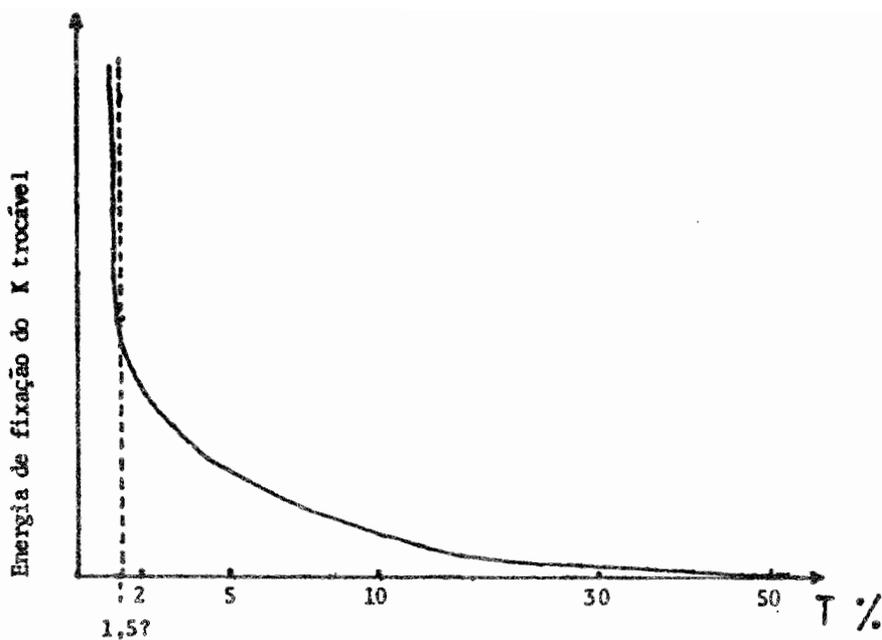


Fig. X.1 - Esquema exemplificando a variação da energia de fixação do Potássio trocável em relação aos sítios de troca (como função de T(%)).

de fixação para os átomos de potássio. Os resultados obtidos foram:

- 0 a 2% (às vezes 2,5%) dos sítios de troca retêm o potássio já fixado com tanta energia que, sobretudo no caso de plantas cultivadas, as raízes das plantas não podem aproveitá-lo. Praticamente este potássio não passa na solução do solo, comporta-se como insolúvel. A variabilidade (0 a 2-2,5% de capacidade de troca - CTC^{9/}) depende do tipo de solo; to

^{9/} CTC = T

davia pode-se pensar que na maioria dos solos-tropicais-a-caulinita, percentuais de 1,5 a 2% de CTC são bastante comuns, caso dos solos podzolizados e latossolos;

- 30 a 45% dos sítios de troca fixam o potássio com fraca energia, porém em concorrência com Ca, Mg e Al que o deslocam com relativa facilidade;
- mais ou menos 50% dos sítios de troca praticamente, nas condições de um solo normal, não fixam o potássio porque a energia de fixação é muito fraca e a competitividade de outros cátions torna-se suficientemente forte para que o potássio seja automaticamente deslocado por eles.

Por outro lado, pode-se deduzir de trabalhos de campo feitos principalmente na África e sem o conhecimento prévio da teoria de MOHINDER SINGH que a passagem entre as duas primeiras categorias é progressiva, até um percentual de sítios de troca de 5%, 8%, e 10%, sendo essa variabilidade uma função do tipo de solo. Nos sítios de troca intermediários, a energia de fixação é suficientemente elevada para evitar os fáceis deslocamentos por outros cátions, embora ela seja insuficiente para impedir a saída do potássio para o abastecimento das plantas. Estes dados estão sintetizados na *Figura X.1.*

X.1.4. Cátions Competidores do Potássio Trocável

A natureza dos cátions competidores e a natureza do solo influem sobre a fixação do K trocável. Os seguintes pontos merecem ser destacados:

- "nuvens" de hidróxidos de ferro e de alumínio podem fechar certos sítios de troca para o potássio nos solos ricos em Fe e Al;
- os cátions Ca^{++} e Mg^{++} deslocam facilmente o potássio, e, inversamente, podem ser facilmente deslocados por ele (K^+);
- os cátions Al^{+++} e NH_4^+ deslocam facilmente o K trocável, mas não são deslocados por ele.

Daf a importância da calagem prévia para os solos ácidos com muito Al trocável. Esta técnica empregada para facilitar a fixação do potássio dos adubos; aqui o cálcio desloca facilmente o Al trocável, sendo o cálcio depois facilmente deslocado pelo potássio dos adubos.

A ação dos cátions competidores varia segundo a categoria dos sítios de troca (*Figura X.1*) desde então tem-se:

- nula: na faixa de 0-2% - CTC;
- fraca a média: na faixa de 2%-5%-10% - CTC;
- forte: na faixa de 10%-30%-50% - CTC;
- muito forte a intensa: na faixa de 50%-100% - CTC.

O que foi exposto sobre a fixação de potássio trocável é sobretudo válido para solos-a-caulinita. Nos solos-a-argila 2:1 outros fenômenos mascaram completamente o que foi exposto.

X.2. DINÂMICA DO POTÁSSIO TROCÁVEL

A dinâmica do potássio trocável é caracterizada pelos três fenômenos seguintes:

- uma retrogradação que tem algumas semelhanças com a retrogradação do fósforo, mas é de natureza diferente;
- uma certa recuperação depois do esgotamento pelas plantas nos solos cultivados;
- uma lixiviação forte.

X.2.1. Retrogradação do Potássio^{10/} (CHAMINADE, 1936; ATTOE, 1946; AHMAD e DAVIS, 1970; e outros autores citados em BOYER, 1982)

Ao se trazer de maneira continua o potássio solúvel em um solo, foi constatado que o teor de K trocável começa a 10/ Chamada muitas vezes no Brasil "*Fixação*".

subir até um nível quando ele pára rapidamente, apesar do solo continuar a absorver o potássio trazido. Esse nível do potássio trocável fica estável e corresponde a um teor que pode variar muito segundo o tipo do solo, conforme pode ser constatado nos seguintes exemplos:

- 4% de CTC nos "solos-de-limo" da parte norte da França;
- 1,11% de CTC nos solos do Ontário (Podzois), Canadá;
- 3% de CTC nos oxissolos da ilha Trinidad (solos com Caulinita, Montmorilonita, Ilita), Caribe.

Esse comportamento é devido a penetração do K nos espaços vazios entre os folhetos das argilas expansivas quando abertos, conforme mostra a *Figura X.2.*

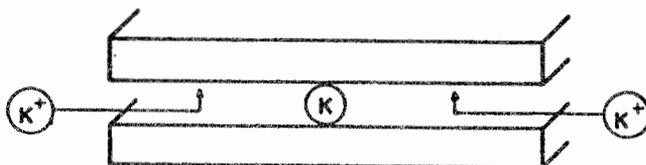


Fig. X-2 - Penetração do potássio da solução do solo nos espaços intercamadas das argilas expansíveis.

Depois da penetração, as argilas se fecham e o potássio fica preso. O movimento inverso (liberação do K) se produz quando o meio ambiente (solução do solo) se empobrece em potássio; este movimento de liberação é mais lento do que a retrogradação.

Os fatores que fazem com que os solos se comportem diferentemente quanto a retrogradação, ou fixação do K trocável, são:

a) A natureza das argilas

A natureza do argilo-mineral que constitui a fração argila do solo é um fator essencial que determina a intensidade da retrogradação. Tem-se constatado que existe um grau de retrogradação do tipo:

- muito forte para as vermiculitas;
- forte para as ilitas expansivas;
- média para as montmorilonitas;
- fraca para as ilitas não expansivas;
- nula para as caulinitas.

De tal modo que os latossolos e solos podzolizados, que são solos-a-caulinita, possuem um grau de retrogradação praticamente nulo. Nestes solos é inútil fazer aportes fortes de potássio, como acontece nos solos temperados, onde as argilas são uma mistura de caulinita, illita e montmorilonita; nestes últimos solos o potássio dos adubos não absorvido rapidamente pelas raízes se torna retrogradado no interior dos cristais das argilas 2:1, e, desta maneira, forma reservas que poderão ser utilizáveis pelas plantas somente quando houver "liberação". Assim, a retrogradação ocorre nos solos que contêm illitas, montmorilonitas e vermiculita.

b) A natureza dos cátions

Certos cátions, principalmente Al^{+++} , NH_4^+ , Cs^+ e Rb^+ , prejudicam a retrogradação do potássio. Esses cátions penetram no interior dos folhetos que então se fecham. O espaço sendo ocupado faz com que o potássio não possa mais entrar nos folhetos das argilas.

c) Os revezamentos de secagem e de umidade nos solos

Esses fenômenos, ao se produzirem rapidamente, aumentam bastante a intensidade quer da retrogradação, quer da li

beração do potássio; como consequência, os movimentos do potássio são mais rápidos, do que, em um solo com umidade estável.

Na maioria dos solos tropicais, sobretudo latossolos e solos podzólicos, as mudanças extremas do grau de umidade desempenha um papel fraco em relação ao movimento do potássio, porque, como já foi citado, a caulinita é o argilo-mineral proeminente. Inversamente, as alternâncias de seca e umidade terão um efeito importante nos solos com illita, montmorilonita e vermiculita, notadamente em vertissolo, cambissolo, solo bruno cálcico e não cálcico e rendizinas, dentre outros tipos.

X.2.2. Recuperação do K Trocável depois do Esgotamento

Mostrou-se muitas vezes que as culturas absorvem uma quantidade de potássio maior do que o K trocável presente entre o fim e o início da lavoura.

a) Alguns exemplos:

- *Norta da Nigéria*: o solo continha, antes da lavoura, 0,10 E.mg/100g do solo de potássio trocável. A cultura era de milho, que costuma absorver aproximadamente esta quantidade de potássio (repetindo 0,10 E.mg/100g). Apesar disso, o solo não ficou completamente esgotado em K trocável após a lavoura;
- *Senegal*: em solo arenoso, durante um período de oito anos com rotação de lavoura de amendoim e milhete, o adubo verde provocou uma baixa de K trocável de 0,09 E.mg/100g (antes da primeira cultura) para 0,05 E.mg/100g no oitavo ano, sendo a diferença bem inferior às exportações pelas colheitas.
- *República Centroafricana*: num solo podzólico esgotado em K trocável, onde inclusive sinais visíveis de carência em potássio eram exibidos pela lavoura de algodão, bastaram

dois anos de pousio herbáceo para se restabelecer um teor de K trocável suficiente para uma cultura.

A recuperação do K trocável a partir das reservas do solo (potássio não trocável) é, pelos exemplos examinados, um fato bem comprovado.

b) Origem do potássio trocável recuperado

Algumas hipóteses foram feitas sobre a origem deste tipo de potássio, também conhecido por potássio de recuperação. Ele poderia aparecer:

- a partir do potássio retrógrado, o que parece evidente nos solos a ilita, montmorilonita, vermiculita (vertisolos, cambissolos, brunizens, solos brunos, etc.); é que o potássio sai sob forma solúvel do interior dos folhetos da argila e vem preencher os sítios de troca vazios. Mas isso não pode acontecer nos solos-a-caulinita, sobretudo latossolos e solos podzólicos, e também alguns outros onde a retrogradação praticamente não existe (solos-a-caulinita);
- a partir dos minerais primários alterados e herdados da rocha-mãe (dentre os quais o ortoclásio, as micas, etc). Essa idéia é válida, sobretudo, para os solos jovens tais como cambissolos, litossolos, e também os solos chamados de "alfisols" na classificação americana. Entretanto ela não explica a recuperação em potássio que ocorre também nos solos altamente evoluídos, sem minerais herdados da rocha-mãe, como os latossolos podzólicos;
- a partir dos minerais secundários do solo, como por exemplo a ilita. De fato, um dos ions constituído da rede cristalina da ilita é o potássio, concebe-se facilmente que nos solos-a-ilita, a alteração desta argila pode liberar bastante potássio. Essa explicação não vale para os latossolos e solos podzólicos que praticamente, na maioria dos casos, não contêm ilita em proporção apreciável, ou mesmo outro mineral secundário portador de potássio.

Convém deixar claro que os latossolos e solos podzólicos têm sempre um certo poder de recuperação para o potássio trocável. No entanto ainda não há argumento satisfatório para explicar de onde vem este potássio.

X.2.3. Poder de Recuperação do Solo para o K Trocável

a) Experiências de laboratório

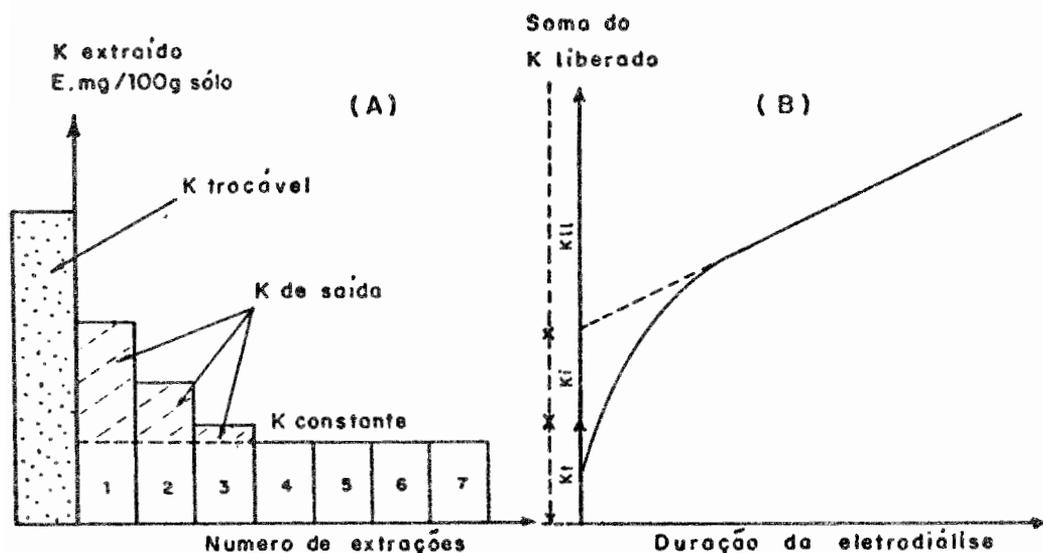


Fig.X.3 - Formas de Potássio. A - Com extrações sucessivas por HNO_3 0,1N, fervente (segundo HAYLOCK, 1956; (K trocável sendo extraído com acetato de amônio neutro 1N). B - Com extração por eletrodialise (segundo BECKETT, 1970). K_t = K trocável; K_i = K intermediário; K_{II} = K de liberação lenta.

Nas duas experiências (Figura X.3) feitas em solos temperados, os dois autores separam três tipos de potássio assimilável os quais as plantas aproveitam de acordo com a seguinte ordem:

- primeiro: potássio trocável (imediatamente disponível);
- segundo: potássio intermediário K_i (de BECKETT) ou potássio de saída (de HAYLOCK), que pode ser liberado só depois do esgotamento do potássio trocável, de maneira bastante rápida equivalente ao tempo de duração de uma cultura, ou seja 2 a 6 meses;
- terceiro: fracas quantidades de potássio liberadas de maneira lenta, correspondem ao K de liberação lenta (de BECKETT) ou ao K constante (de HAYLOCK).

Na maioria dos solos, a liberação do terceiro tipo se faz muito lenta e por isso é incapaz de suprir as necessidades das plantas cultivadas. As vezes ela pode acontecer de uma maneira um pouco mais rápida, como foi evidenciado num andossolo da América Central, onde, em experiência de laboratório em vaso, depois do esgotamento completo do potássio trocável, em experiência de laboratório em vaso, a recuperação foi a seguinte (VAN WAMBEKE citado por BOYER, 1972):

- 30% do K trocável (prévio) em 3 meses;
- 50% do K trocável (prévio) em 10 meses;
- 85% do K trocável (prévio) em 21 meses.

É provável que haja uma interação do K intermediário nas duas primeiras frações.

b) Solos tropicais "in situ"

Nos solos tropicais, tais como latossolos, solos podzólicos, solonetz, cambissolos e solos brunos, a recuperação do potássio trocável através do potássio de liberação lenta (K de BECKETT) se faz muito devagar, pelo menos em dois anos. O pousio herbáceo ou florestal, aqui desempenha um papel essencial; vejamos: as plantas selvagens absorvem o potássio de liberação lenta, armazenando-o nos tecidos e, depois, restituindo-o, ao solo por intermédio dos detritos vegetais

sob a forma de K trocável. Dessa maneira o solo acaba por encontrar de novo o seu nível primitivo de potássio trocável após 2, 3, 4 ou 5 anos, às vezes mais, de pousio. Nos solos pastados, o potássio trocável se recupera mal, por causa do consumo das ervas pelos animais.

X.2.4. Lixiviação do Potássio

Os seguintes casos de lixiviação do potássio, merecem ser analisados:

a) Nos solos sob vegetação natural

Exemplo vindo da Costa do Marfim: vegetação de floresta semi-caducifólia, pluviosidade de 1750mm, solo ferralítico parcialmente dessaturado em B₂, correspondendo a um solo podzolizado mesotrófico. Nesse solo observou-se (ROOSE, 1970), sobre uma profundidade de 2 metros, as seguintes perdas por lixiviação:

- P₂O₅: 2 kg/ha/ano;
- N: 120 kg/ha/ano;
- CaO: 156 kg/ha/ano;
- MgO: 142 kg/ha/ano;
- K₂O: 313 kg/ha/ano.

Neste caso, o potássio aparece como o elemento mais sensível à lixiviação. Deve ser lembrado aqui que a vegetação natural recicla intensa e rapidamente o nitrogênio do solo, o que impede uma lixiviação maior do que aquela acima indicada para este elemento.

b) Nos solos cultivados sem adubação potássica

O fenômeno precedente existe em adição a outros fatores que aumentam as perdas de potássio, dentre os quais:

- a matéria orgânica se mineraliza sempre nos solos cultivados, dessa forma, o número de sítios de troca, onde o potás

- sio (e outros cátions) pode(m) ser fixado(s), é diminuído;
- o solo quando parcial ou totalmente nũ torna-se um fator importante. A falta de cobertura vegetal favorece a lixiviação, principalmente porque a evaporação pelas plantas se torna menor, e, conseqüentemente, a drenagem fica mais intensa. Além disso, passa a não haver mais aportes, causados pelos detritos vegetais.

o) Nos solos cultivados com adubação potássica

Supõe-se que, nos solos tropicais-a-caulinita sob clima bastante úmido, todo o potássio dos adubos não absorvido imediatamente pelas raízes seja levado em profundidade pelas águas de drenagem e, conseqüentemente, perdido. De fato na denominada frente de potássio foram constatadas a descida seguinte:

- 60cm (e as vezes mais) em seis meses sob condições de climas bastantes chuvosos (1500-2000 mm), como por exemplo em um latossolo de Malásia (BOLTON, 1968);
- 15cm (e as vezes mais) em seis meses sob condições de climas menos chuvosos (900-1200 mm), como por exemplo, na região de Campinas (Brasil) e na África do Sul.

As perdas de potássio poderão ser muito elevadas no caso dos aportes pelos adubos serem elevados. Em um exemplo da Costa do Marfim foi constatado que 50 a 60% dos 330 kg/ha/ano de K_2O levados a um bananal foram perdidos, apesar de terem sido parcelados em sete aplicações anuais. Neste caso o balanço do potássio foi feito e se constatou que os aportes de K_2O foram iguais às exportações pelas colheitas mais a ação da lixiviação (o solo praticamente nada fixou do adubo) (GO DEFROY, MULLER e ROOSE, 1970).

X.2.5. Alguns Meios de Reduzir as Perdas de Potássio pela Lixiviação

Aqui se trata sobretudo das perdas sofridas pelo potássio dos adubos. As técnicas mais difundidas de redução dessas perdas são:

- a) saturar unicamente os sítios preferenciais de troca para o potássio, como exposto no item X.1. GENERALIDADES, e não ultrapassar este valor. O exemplo obtido na Costa do Marfim permitirá compreender melhor essa técnica: em um dendezal sobre um latossolo distrófico, muito pobre em potássio (K trocável = 0,04 E.mg/100g do solo), o solo retém bem o potássio dos adubos até 0,20 miliequivalentes de K trocável por 100 g de solo, o que corresponde mais ou menos a 5% da capacidade de troca de cátion deste solo, a diferença 0,04-0,20 E.mg/100g corresponde a 450 kg/ha ou 45 g/m² de KCl, todo o potássio que sobra é perdido pela lixiviação por causa da má retenção que permite um fácil deslocamento por outros cátions. Como se pode observar, todo esse fenômeno se relaciona muito bem como o que foi exposto no início deste capítulo (a propósito do conceito de MOHINDER SINGH). Evidentemente a maior dificuldade prática é a de se fazer coincidir a quantidade de adubos e a capacidade de retenção do solo. O exemplo se refere a um solo-a-caulinita. O problema se torna bem diferente com solos-a-argila 2:1. Nestes, a retrogradação permite armazenar sem dificuldades, quantidades bem maiores de potássio, em alguns casos 1 a 3 t/ha de KCl, sem riscos visíveis de efeito da lixiviação;
- b) usar adubos potássicos com PO_4^{--} e SO_4^{--} . O anion PO_4^{--} se fixa sobre os cátions eletro-positivos (Figura X.4) neutralizando algumas cargas positivas, e, dessa forma, permitindo libertar outras cargas negativas previamente neutralizadas; o potássio, então, pode se fixar. Por outro lado, ao se fixar sobre os colóides eletro-positivos, o anion PO_4^{--}

deixa livre uma (ou duas) valência(s); daí uma possibilidade de suplementar de fixação (AYRES e HAGIBARA, 1953; AHMAD e DAVIS, 1970). A mesma coisa deveria acontecer com SO_4^{--} ; de fato seu papel aqui parece sobretudo importante com pH ácido (pH < 5,0); neste caso, o Al^{+++} torna-se um competidor bastante forte;

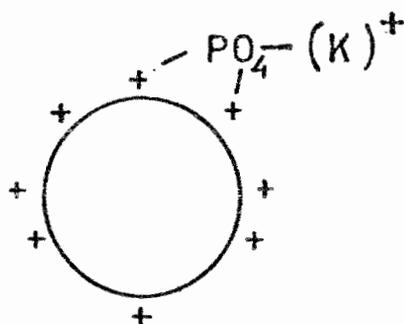


Fig.X.4 - Esquema explicando a liberação de uma carga negativa pela fixação do ânion PO_4^- sobre um colóide eletropositivo.

- c) eliminar previamente o alumínio trocável; o alumínio trocável inibe a fixação do potássio em um número bastante elevado de sítios de troca. Neste caso é aconselhado eliminar o alumínio trocável (Al^{+++}) com o emprego de uma calagem prévia. No entanto, sabe-se que o potássio se fixa facilmente em um solo bastante saturado em cálcio e, como outra vantagem, fica melhor retido por um complexo sortivo rico em cálcio (Tabela X.3);
- d) fazer aportes de potássio em várias frações. Aqui geralmente se fraciona o adubo em duas partes para as culturas anuais, e em tres, quatro, até seis ou sete vezes, para culturas perenes, com a finalidade de adaptar melhor o abastecimento em potássio do solo às necessidades das plantas. Aqui há um escalonamento de maneira mais ou menos contínua, ao contrário do aporte único que tem lugar em um instante dado. Naturalmente isso vale para os solos-a-caulinita (la

tossolos, solos podzólicos, etc); nos solos-a-argila 2:1 (solos a illita, a montmorilonita, etc); o potássio do adubo se encontra armazenado dentro do solo pela retrogradação e, depois, libertado de maneira continua ao decorrer da "liberação".

TABELA X.3 - Influência da saturação do complexo adsorvente sobre a lixiviação do potássio num solo do Estado de São Paulo, segundo COELHO e VERLENGIA, s.d.

pH do Solo	Saturação do Solo em Bases V%	Lixiviação do K em % do aporte
4,83	28	70%
5,30	40	49%
5,63	50	26%
7,03	70	16%

X.3. TEORES DE POTÁSSIO TROCÁVEL COMPATÍVEIS COM BONS RENDIMENTOS DAS PLANTAS CULTIVADAS

Trata-se aqui do potássio trocável contido na parte superior do perfil explorada pelas raízes ou, nos campos cultivados, na camada trabalhada pelo arado (0-15 cm ou 0-20 cm segundo a intensidade da lavoura).

X.3.1. Limite de Carência

a) Nível Crítico Relativo (K_t)

$K_t = 1,5$ de T (TINKER e ZIBO, 1959) ou $K_t = 2,0$ de SBT (VALLANCE, 1951), às vezes $K_t = 2,5\%$ SBT, onde:

T ou CTC = capacidade de troca e SBT = soma das bases trocáveis de cátions do solo.

Abaixo desses níveis, há carência, originando safras praticamente nulas e, muitas vezes, com a presença de doenças específicas. Por essa razão eles são denominados de Limites de Carência.

Nos solos bastante dessaturados, é melhor escolher $K_t = 1,5\% T$, porque a soma das bases trocáveis sendo pequena, a segunda relação torna-se impraticável.

b) Nível Crítico Absoluto (K_{tr}) (vários autores citados por BOYER, 1970 e 1972)

Válido sobretudo para os solos-a-caulinita

$K_{tr} = 0,10$ E.mg/100g solo: solos barrentos;

$K_{tr} = 0,05-0,07$ E.mg/100g solo: solos arenosos;

$K_{tr} = 0,20$ E.mg/100g do solo: solos argilosos.

Abaixo desses níveis, constata-se a carência e ocorrerá safras muito fracas com doenças.

Essas considerações são válidas para a maioria das plantas cultivadas porém, tem-se constatado algumas variações, em função da espécie vegetal, sendo que o caso mais notável é o da mandioca. Essa planta é um excelente extrator de potássio, mesmo quando cultivada em solos pobres neste elemento. Esta é a razão porque a mandioca cresce muito bem em solos barrentos, com cerca de 0,70-0,08 E.mg de potássio trocável por 100g de solo.

X.3.2. Limite de Deficiência (L) ou de Não-Resposta aos Adu bos

Para quem não conhece o conceito de Limite de Deficiência, conhecido também como Limite de Não-Resposta aos Adu
bos, o exemplo seguinte procurará expô-lo de uma forma prática. Na Região de Itabuna, verifica-se o seguinte comportamen
to para o cacauzeiro (CABALA-ROSAND et al., 1967):

- K trocável do solo < 0,10 E.mg/100g: geralmente ocorre ca rência com safras nulas acompanhadas de doenças;
- K trocável do solo entre 0,10 e 0,20 E.mg/100g: a resposta do cacaueteiro à adubação potássica é muito forte;
- K trocável do solo entre 0,20 e 0,35 E.mg/100g: a resposta do cacaueteiro à adubação potássica decresce continuamente à medida que o solo se torna mais rico em potássio;
- K trocável do solo > 0,35 E.mg/100g: não há mais resposta do cacaueteiro à adubação potássica. Esta se torna inútil.

Este último nível (0,35 E.mg/100g do solo) é chamado de Limite de Deficiência para o cacaueteiro e corresponde ao nível crítico ou Limite de Não-Resposta aos Adubos; no caso; à adubação potássica.

O Limite de Deficiência para o potássio (L.K) varia bastante de acordo com as necessidades das culturas e com os vários tipos de solos onde elas existem. Os seguintes valores são conhecidos:

- L.K = 0,35: cacaueteiro (Bahia);
- L.K = 0,30: cafeeteiro arábica (Colômbia);
- L.K = 0,34: cana-de-açúcar (África do Sul);
- L.K = 0,24: cana-de-açúcar (Hawái);
- L.K = 0,20: feijão, cana-de-açúcar, algodão (São Paulo) - (VAN RAIJ, 1974);
- L.K = 0,17: abacaxí (Formosa);
- L.K = 0,15 a 0,18: dendezeiro (África Ocidental) (recente mente se prefere considerar K = 0,18 E.mg/100g);
- L.K = 0,15: limite acima da qual os solos que não precisam imediatamente de K (Rio Grande do Sul e Santa Catarina) - CERENA, 1974;
- L.K = 0,14: amendoim em solos arenosos (Senegal);

- L.K = 0,09: mandioca, que, mais uma vez, faz exceção para o potássio.

Quando não se trata de uma planta muito exigente em potássio (exemplo cacauzeiro, cafeeiro, bananeira, etc), escolhe-se muitas vezes o nível médio onde, L.K = 0,20 E.mg/100g solo, para separar solos que precisam a médio prazo de potássio (VAN RAIJ, 1974). Esse empirismo é válido para a maioria das culturas mas não deve ser considerada para as plantas muito exigentes, ou, no caso contrário, para plantas que podem se abastecer em potássio em um solo pobre em K trocável, como a mandioca. Por essa razão a mandioca esgota completamente os solos pobres em potássio.

Deve-se também considerar a granulometria dos solos, como é indicada na *Tabela X.4*.

X.3.3. Validade dos Limites de Carência e de Deficiência

Os níveis críticos vigoram especialmente nos solos-a-caulinita. Nos solos-a-ilita, -a-vermiculita ou -a-montmorilonita, uma certa quantidade de potássio pode se esconder dentro dos folhetos (retrogradação). Aqui, esses níveis críticos se encontram mascarados pelo grande poder de recuperação em relação ao potássio trocável desses solos, seja a partir do K retrógrado, seja do K estrutural (com o intemperismo, os folhetos de ilita, por exemplo, podem se quebrar). Da mesma maneira, os solos ricos em micas, como a sericita que se altera facilmente, têm um grande poder de recuperação para o K trocável. Dentro desse comportamento os Limites de Carência são mais ou menos válidos; nos solos-a-argila 2:1, ao contrário, os Limites de Deficiência são mascarados pelo fluxo contínuo de potássio nestes solos.

TABELA X.4 (a) Escala de Fertilidade de VAN RAIJ (1974), para os solos do Estado de São Paulo

ALGODÃO		FEIJÃO		CANA-DE-AÇÚCAR		FERTILIDADE
K Trocável meq/100g	Rendimento kg/ha	K Trocável meq/100g	Rendimento kg/ha	K Trocável meq/100g	Rendimento kg/ha	
<0,06	—	>0,07	—	<0,04	—	Muito fraca
0,07-0,09	1210	0,08-0,11	—	0,05-0,08	108,7	Fraca
0,10-0,15	—	0,12-0,17	1325	0,09-0,21	113,5	Média
0,16-0,24	2400	0,18-0,24	1516	>0,21	156,0	Boa
>0,24	2397	>0,24	1455			Muito boa

TABELA X.4 (b) Escala de Fertilidade de VALLANCE (1951), para a cana-de-açúcar em Queensland (Austrália)

K Trocável meq/100g	Fertilidade
< 0,10	Muito fraca
0,10 até 0,12 com K 2% SBT	Fraca
0,12 até 0,18 com K 2% SBT	Média
> 0,18	Boa

TABELA X.4 (c) Escala de Fertilidade de DABIN e LENEUF (1960), para os solos da África Ocidental (exceto os Vertissolos) sobretudo para as culturas exigentes (cacaueiro, cafeeiro, bananeira, inhame, cana-de-açúcar, etc).

K Trocável meq/100g	Fertilidade*
<0,10	Fraca
0,10 - 0,20	Mediocre a baixa
0,20 - 0,40	Média a boa
0,40 - 0,60	Muito boa
0,60 - 1,00	Excepcional

(*) válida para os solos barrentos.

X.3.4. Escalas de Fertilidade para o Potássio

São apresentadas aqui três escalas de fertilidade: uma para culturas anuais no sul do Brasil, outra para a cana-de-açúcar na Austrália, a terceira para a maioria de culturas perenes na África Ocidental. Apesar de diferenças nos detalhes, a correspondência geral é boa entre essas três escalas (Tabela X.5).

TABELA X.5 - Teores de Potássio Trocável e Limitações Culturais, segundo BOYER, 1982.

Granulometria	K Troc. E.mg/100g	Limitação Muito Forte a Forte	Limitação Média a Fraca	Limitação Nula
Solos arenosos A+S < 15%	<0,06-0,07	Nível de carência	0,07 - 0,14	>0,14
Solos barrentos 15% < A+S < 45%	<0,10		0,10-0,20	>0,20
Solos argilosos A+S > 45%	<0,20		0,20-0,40	>0,40

A+S = Argila + Silte da análise granulométrica

Os Limites de Carência e de Deficiência para o potássio dependem também da granulometria do solo. Tanto mais um solo é arenoso, quanto mais facilmente os elementos químicos passam na solução que o percolam. Como já foi abordado anteriormente, a Tabela X.5 sintetiza, de uma maneira esquemática, essa correlação. Para seguir a tendência atual, as apreciações sobre a fertilidade são formuladas sob forma de "Limitações Culturais".

X.4. ADUBOS POTÁSSICOS

X.4.1. Formas

Os principais adubos potássicos são conhecidos por conter o K na forma de sais, os mais utilizados são:

a) Cloreto de Potássio - KCl

O teor regular é 60% de K_2O , mas existe no Brasil um tipo com 50% de K_2O . O cloreto de potássio é o adubo potássico mais barato e, além do mais, tem um percentual satisfatório de K_2O (50 a 60%).

b) Sulfato de Potássio - K_2SO_4

Teor regular: 48 a 50% de K_2O (53% de K_2O se for absolutamente puro). Em geral é mais caro do que o cloreto e, provavelmente por essa razão, é menos usado.

c) Nitrato de Potássio

Teor regular: 12% de K_2O e mais 13% de N. O nitrato de potássio, também é denominado Salitre da Índia e provém naturalmente de jazidas naturais.

d) Sulfatos Duplos de Potássio e Magnésio



Vem de jazidas naturais, e cada um tem uma concentração específica em K_2O (e MgO). Os mais conhecidos são:

- Patent-Kali: Teor médio de 28% K_2O e 9% MgO , é proveniente principalmente da Alemanha e é sobretudo utilizado na Europa;
- K-Mag: Teor médio 22% K_2O e 11% MgO , é proveniente da América do Norte. A forma de K-Mag usado no Brasil contém 18% K_2O , 18% MgO ;
- Outros sais: os mais conhecidos são o metafosfato de potássio e o bicarbonato de potássio. Eles são pouco utilizados devido aos elevados custos.

e) Valor Agrônomico das Formas de Adubo Potássico

Ao trazerem uma quantidade aproximadamente igual de K_2O , os vários adubos a cloreto e sulfato potássicos têm o mesmo valor agrônomico para a maioria das culturas; porém, existem algumas considerações:

- *Abacaxi*: a fruto possui uma massa mais escura, e mais densa com o uso de sulfato de potássio; o cloreto de potássio diminui estas características estritamente comerciais pois se trata de uma preferência manifestada geralmente pelos compradores; contenha o que contiver, os rendimentos para qualquer tipo de adubo ficam ligados somente ao aporte de K_2O ;
- *Fumo*: ele tem a sua combustibilidade aumentada com o uso de sulfato e diminuída com o de cloreto de potássio. Também trata-se de uma qualidade comercial;
- *Abacate, Batata-Doce, Ramie*: essas plantas não suportam a presença do cloro dentro do solo. Se for o caso, as raízes absorventes se enfraquecem, podem apodrecer e a planta acaba por morrer.

Prefere-se então o sulfato de potássio para essas plantas, enquanto que para a maioria das outras culturas, não há inconveniente ao uso do cloreto de potássio. Com um aporte igual de K_2O geralmente não existe superioridade nítida de uma forma de adubo potássico para outra. Deve-se considerar também o fato de que esses adubos potássicos deveriam ter um certo poder de acidificação para o solo, devido aos anions Cl^- e SO_4^{--} liberados. Entretanto, no campo, foi raramente constatada uma acidificação acentuada depois do aporte de ambos. Isso é devido ao fato de que o KCl e o K_2SO_4 são sais neutros e que as quantidades aplicadas são geralmente modestas: 50 a 200 kg/ha de K_2O , ou seja, 95 a 360 kg/ha de KCl cada 2 ou 3 anos. Entretanto, pode-se afirmar que a acidificação existe, sendo que, na maioria dos casos, ela é fraca e passa despercebida.

CAPITULO XI

CÁLCIO-MAGNÉSIO SOMA DAS BASES TROCÁVEIS

XI.1. GENERALIDADES

XI.1.1. Para as Plantas

O cálcio e o magnésio desempenham, na fisiologia vegetal, um papel um pouco parecido ao dos elementos traços, isto é, quantidade pequenas, porém indispensáveis, desses elementos devem estar presentes nas soluções hidropônicas. O principal papel reconhecido ao magnésio é o de ser um elemento essencial na constituição da clorofila, além de favorecer algumas funções vegetais. A sua presença é indispensável para que o fósforo seja transportado da raiz até a folha. Supõe-se que o papel principal do cálcio seja o de impedir as toxidades devido ao excesso de Mg, Mn, Al e Cu, dentre outros elementos e de neutralizar a acidez orgânica com a formação de oxalatos de cálcio.

Em qualquer situação as quantidades de cálcio e magnésio estritamente necessárias para o desenvolvimento das plantas são mínimas. Porém isso não impede um consumo maior desnecessário e, às vezes, quantitativamente, muito importante, como por exemplo na seringueira (*Hevea brasiliensis*) que pode acumular 3,3 t/ha de cálcio nos tecidos vegetais das plantas adultas. Segundo SHORROCKS (1964), tal quantidade de cálcio não parece estar correlacionada à necessidade fisiológica precisa da seringueira.

XI.1.2. Nos Solos

Considerando em relação aos outros elementos químicos ligados à fertilidade, o cálcio e o magnésio se encontram em quantidades elevadas nos solos. Esses dois elementos constituem, em geral 70 a 90% do total das bases trocáveis e desempenham um papel essencial tanto sobre o pH como no combate as toxidades alumínicas.

Considera-se que tanto o cálcio como o magnésio se encontram nos solos sob as seguintes formas:

- cátions trocáveis fixados no complexo adsortivo do solo. Geralmente se usa acetato de amônio normal a pH 7 para extraí-los. Emprega-se também o reagente de Mehlich (0,025N H_2SO_4 + 0,1N HCl) ou a troca com KCl normal;
- cálcio e magnésio lábil. Essa forma é determinada por métodos isotópicos que são, até agora, relativamente pouco usados. As quantidades evidenciadas dessa forma são pouco superiores daquelas registradas para Mg e Ca trocáveis;
- elementos de reserva, subtendidos aqui como sendo a diferença entre o cálcio e o magnésio totais e o cálcio e o magnésio trocáveis. Nos solos calcáreos, o excesso de cálcio e de magnésio sob a forma de carbonatos pode gerar o fenômeno de clorose, que é principalmente registrado nas plantas perenes, e impedir o crescimento dessas espécies, caracterizadas por não suportar um pH elevado (nem a presença de calcário). Nessa condição inclui-se o cafeeiro, a vidreira, o pessegueiro, a pereira, a mandioca, etc além das plantas estritamente acidófilas bem conhecidas, dentre as quais a seringueira, o abacaxi, a árvore-de-chá, o guaraná, o cravo-da-índia, etc. Nos demais solos, considera-se na maioria dos casos apenas o cálcio e o magnésio trocáveis. Neste caso o papel desses elementos parece essencial para:

- . o pH^{11/}: ligação direta e estreita nos solos-a-caulinita, mas fraca para os outros;
- . a estrutura: com exceção dos latossolos e dos solos podzolizados onde a matéria orgânica e o ferro desempenham papéis maiores, o desenvolvimento de uma boa estrutura se relaciona com o teor de cálcio trocável;
- . atuar contra a toxidez gerada por outros elementos (K, Mn, Cu, Al, etc).

O cálcio e magnésio trocáveis formam a esmagadora maioria das bases fixadas no complexo adsorptivo dos solos, aqui se excetuando os solos salgados, onde o sódio desempenha o papel primordial, e os solos muito ácidos ($\text{pH} \leq 5$) carrega dos em alumínio trocável. Uma boa proporção entre cálcio e magnésio é considerada como de ordem de $2/3 \text{ Ca}$ e $1/3 \text{ Mg}$; muitas vezes um excesso de cálcio trocável não prejudica ($3/4 \text{ Ca}$ e $1/4 \text{ Mg}$), o que não é o caso do magnésio (Capítulo XV-AN TAGONISMO Ca-Mg).

XI.2. DINÂMICA DO CÁLCIO E DO MAGNÉSIO TROCÁVEIS E LÁBIS

Apesar de uma certa variabilidade ao longo do ano, variação que por ser fraca não influi no abastecimento das plantas em Ca e Mg, considera-se que nos solos a dinâmica desses elementos é essencialmente caracterizado pela lixiviação, quando em climas úmidos, e pela ascensão, com concentração perto da superfície, quando em climas áridos, secos e semi-áridos.

^{11/} Segundo VAN RAIJ et al. (1968) a ligação entre o pH e o grau de saturação do complexo adsorptivo seria no caso dos solos paulistas: horizonte superficial dos solos podzólícos $\text{pH} = 4,36 + 0,0262V$; horizonte superficial dos latossolos $\text{pH} = 4,49 + 0,0251V$.

XI.2.1. Lixiviação do Cálcio e do Magnésio

Parece que, nos climas chuvosos, a dinâmica do cálcio e do magnésio é dominada pela retirada desses elementos pelas águas de drenagem (fenômeno de lixiviação) (BOYER, 1978). Essa idéia é fundamentada pelas seguintes observações:

a) Sensibilidade do Cálcio e Magnésio a Lixiviação

Ao considerar as semelhanças do comportamento químico desses dois cátions poder-se-ia pensar que, num dado solo, eles tem exatamente o mesmo destino. Porém, ao estudar esse comportamento em vários solos, constatou-se:

- sensibilidade igual do Ca e Mg à lixiviação em certo grupo de solos;
- sensibilidade maior do Ca do que do Mg à lixiviação em outros tipos de solos;
- sensibilidade maior do Mg do que do Ca à lixiviação em um terceiro grupo de solos.

Ao analisar de perto essas três observações, conclui-se que a lixiviação parece afetar sobretudo o elemento relativamente mais abundante, assim, num solo bastante carente em cálcio, o magnésio é que vai sofrer maior lixiviação. Aqui infelizmente o sentido do advérbio "relativamente" é bastante impreciso, pois a ele esta inferindo uma dependência climática, ao tipo de solo e a pedogênese. Consequentemente, não é possível dar uma estimativa exata das proporções relativas de cálcio e de magnésio que permita prever o tipo de lixiviação.

b) Lixiviação do Cálcio e do Magnésio sob Floresta Tropical

O exemplo, vindo da Costa do Marfim, indica que em uma área de floresta semi-caducifólia, com pluviometria de 1750mm e de solo podzólico mesotrófico (ROOSE, 1970), as

quantidades de cálcio e magnésio carregadas fora do perfil de 2m de espessura pelas águas de drenagem foram:

- 156 kg/ha/ano de CaO;
- 142 kg/ha/ano de MgO.

A título comparativo, ao mesmo tempo foram levados fora do perfil pelas águas de drenagem: 314 kg/ha/ano de K₂O, 120 kg/ha/ano de N e 2 kg/ha/ano de P₂O₅.

No exemplo, as perdas sob forma de óxidos podem ser consideradas aproximadas e transformadas em miliequivalentes por hectare, indicam:

- 70×10^5 E.mg de Mg;
- $55,5 \times 10^5$ E.mg de Ca.

e) Lixiviação do Cálcio e do Magnésio sob Culturas sem Adubo Minerais

Com o desmatamento e a lavoura, as perdas de cálcio e de magnésio tendem a aumentar bastante.

Considerando um outro exemplo, nesse caso em áreas do Sul do Senegal, observam-se que, num solo areno-argiloso com 13% de argila em superfície, 15 anos de culturas mecanizada de amendoim, milhete e arroz de sequeiro provocou um abaixamento considerável de cálcio e de magnésio trocáveis e também das características do solo (pH) ligadas à presença desses dois elementos; as variações registradas foram:

- imediatamente após o desmatamento: SBT = 4 E.mg/100g, pH=6;
- depois de 15 anos de cultura: SBT abaixo de 40 a 60%, segundo os pontos estudados (60 a 70% para o cálcio sozinho) e o pH cai até 5+4,9+4,7, segundo os pontos de observação.

A mecanização diminui somente o prazo, sem entretanto modificar o sentido do fenômeno, porque nos campos vizinhos cultivados com enxada pelos nativos, uma baixa da mesma ordem de grandeza foi encontrada após 40 anos de cultivo in

terrompido de vez em quando por alguns anos de pousio, segundo SIBAND, 1972.

De modo geral, o fenômeno do empobrecimento em cálcio e magnésio nos solos cultivados parece desenvolver-se em duas etapas:

- *primeiro*: uma forte baixa do cálcio e do magnésio durante os dois primeiros anos; esta baixa atinge 40% do estoque inicial nos solos arenosos; é um pouco menor (15 a 30%) nos solos barrentos ou argilosos;
- *segundo*: uma sorte de patamar tendendo a um ligeiro abaixamento, porém regular, aparece nos anos seguintes (Figura XI.1).

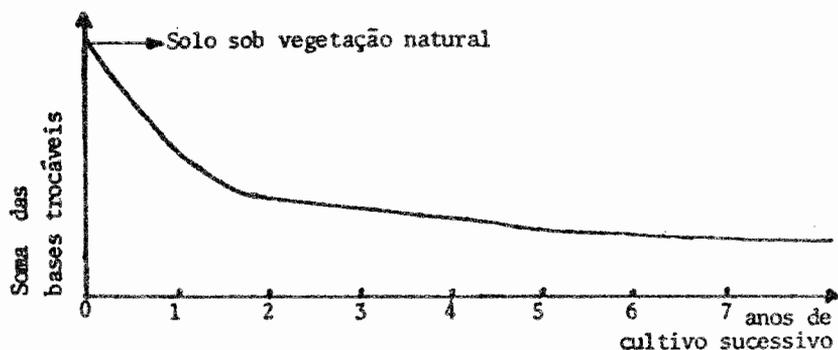


Fig. XI.1 - Esquema mostrando a queda da soma das bases trocáveis ao decorrer de culturas sucessivas.

Essa evolução do cálcio e do magnésio reflete aquela da matéria orgânica, pois a matéria orgânica é o constituinte que dá ao solo um número considerável de sítios de troca, número esse que é maior do que aquele devido às argilas.

As bases liberadas estão prontas para serem lixiviadas pelas águas de drenagem. Convém deixar claro que para se fazer um balanço completo, deve-se juntar às perdas por lixi

viação as que resultam das exportações pelas colheitas. Durante a segunda etapa, de perdas moderadas, é concebível que medidas simples como restituição ao solo dos resíduos das colheitas (palhas por exemplo), adubos verdes ou pousios de curta duração possam transformar esta pequena baixa em um verdadeiro patamar, pois existe no solo um poder de recuperação para o cálcio e o magnésio trocáveis a partir das reservas não trocáveis (como já foi mostrado a propósito do potássio trocável). Essa recuperação foi até agora relativamente pouco estudada. Sabe-se que é notável embora proporcionalmente menor do que para o potássio, e se produz, particularmente, durante alguns anos de pousio.

d) Lixiviação do Cálcio e do Magnésio sob Culturas com Adubação Mineral

As perdas citadas no parágrafo precedente, devem-se juntar aquelas causadas pelos ânions dos adubos minerais que se combinam com o cálcio e o magnésio do solo. No caso de sais neutros, cloreto de potássio, sulfato de potássio, fosfato natural (tricálcico), elas são nulas ou relativamente fracas quando o ânion está parcialmente adsorvido pelas raízes (SO_4^-) ou totalmente retido pelo solo (PO_4^{3-}). O problema se torna mais sério com os adubos nitrogenados. Um aporte de uréia $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ou de sulfato de amônia $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, deve ser considerado como um aporte unicamente de ânions: todas as formas de nitrogênio acabam dando o ânion NO_3^- . Daí as propriedades acidificantes dos adubos nitrogenados. Para evitar a baixa de pH é necessário trazer ao solo calcáreo (calcítico ou dolomítico). Seguem-se alguns exemplos:

- *Brasil*: parece se adotar normas americanas para manter ou restabelecer o pH a um valor desejado: 3,1 até 5,4 kg de calcário puro por cada kilograma de N sob forma de NH_4NO_3 . A diferença está relacionada com valores do pH do solo (COE LHO e VARLENGIA, s.d.):

- . pH 6,0 - 3 kg de CaCO_3 por Kg de N;
- . pH 5,7 - 5 kg de CaCO_3 por Kg de N;
- *África Oriental*: os ingleses estimam que são necessários 1214 kg de calcário puro por cada tonelada de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (20%N);
- *Madagascar*: com 200 kg/ha de N, trazido metade sob a forma de uréia (45% N) e a outra metade como nitrato de amoníaco (35% N) num latossolo ácido de Madagascar (pH 4,7), foram necessários aportes anuais de 300 kg/ha de dolomita só para manter o Ph entre 4,7 e 4,9. Estes 300 kg/ha parecem compensar não só a lixiviação como também a exportação pelas colheitas (o pH não sobe aqui);
- *Sul do Senegal*: o solo necessita 250 a 375 kg/ha de $\text{CaO}(\text{+MgO})$ para compensar os efeitos das adubações químicas fracas e bastante irregulares; neste caso, considera-se que a lixiviação carrega fora do solo mais ou menos 150 kg/ha/ano de cálcio;
- *Costa do Marfim*: em solo podzolizado de bananal, artificialmente enriquecido com aportes fortes de calcário dolomítico observou-se:
 - . sob floresta: Ca 0,5 E.mg/100g, Mg 0,2 E.mg/100g;
 - . sob bananal: Ca 4,1 E.mg/100g, Mg 1,0 E.mg/100g;

Foram espalhados durante 6 anos, 9 ton/ha de CaO e 1,5 ton/ha de MgO; ao analisarem as águas de drenagem que percolam através das camadas de 0 a 2 m de profundidade, constatou-se que as perdas por lixiviação atingem 100% do CaO e 90% do MgO (as exportações de MgO são importantes nos cachos de bananas).

Este último exemplo mostra que o solo tem uma capacidade de retenção limitada para Ca e Mg, sobretudo em condições tropicais.

XI.2.2. Concentração de Calcários nos Horizontes Superficiais do Solo

Nos climas áridos e semi-áridos, onde a evaporação supera muita a precipitação, o cálcio tem tendência a se mover para o topo do solo. Naturalmente esse movimento não envolve o cátio Ca^{++} , mas os carbonatos (o fenômeno é o mesmo no caso de sulfato de cálcio). Discutiremos esse fenômeno nos dois itens seguintes.

a) *Crosta, Encrostamentos, Nódulos*

A subida do calcário com a água de capilaridade em geral não vai até a superfície, ela para normalmente no topo do horizonte B, ou, às vezes, no meio dele; o calcário pode depositar-se sob as seguintes formas:

- pô, que preenche os vazios do solo;
- encrostamento, metade um pouco consolidado, metade em pô;
- crosta já bastante dura, porém branca;
- crosta dura cristalizada como mármore na parte alta (geralmente este tipo de crosta é atribuída a uma pedogênese do fim do Terciário ou do início do Quaternário);
- nódulos arredondados (diâmetro médio de 1 cm) muito duros e de cor vermelha escura; estes se encontram nos solos áridos (menos de 150mm anuais de chuva), e, ao contrário das outras formas, estão nas camadas bastante profundas do solo (1 a 2m).

A espessura dessas concentrações de calcário é muito variável, ela pode ir de alguns centímetros até vários metros. Neste último caso a tendência dos pedólogos é de atribuí-las a pedogêneses antigas, mais fortes e atuantes do que as de agora.

b) *Condição de Formação das Acumulações Calcárias*

Como anteriormente indicado, as acumulações de calcário nos solos se fazem em climas secos principalmente quando a rocha-mãe é rica em carbonatos.

No Brasil, crostas e encrostamentos calcáreos existem no sertão semi-árido e, particularmente, na região de Irecê na Bahia.

Certas regiões privilegiadas para este fenômeno se encontram no sul do Mar Mediterrâneo, no Oriente Médio, na parte oeste do México, etc. São regiões onde a pluviosidade é fraca (400 a 500 mm/ano no máximo) e com estação seca bem definida e suficientemente longa para que haja forte evaporação. Entretanto, segundo o pedólogo GILLES RICHÉ (com. verbal) os climas tropicais, mesmo aqueles secos mas onde as chuvas são normalmente concentradas em períodos curtos (o que favorece uma drenagem), não são favoráveis à formação das crostas. As crostas de Irecê, região de pluviometria de cerca de 800mm, parece estar agora em uma fase inicial de desagregação. Elas teriam se formado sob um clima pretérito de maior aridez.

XI.3. TEORES DE CÁLCIO E MAGNÉSIO ÚTEIS PARA AS PLANTAS - SOMA DAS BASES TROCÁVEIS.

XI.3.1. Magnésio

a) Carência (Safras nulas e também doenças de carência)

O nível crítico de carência deve ficar em torno de: 0,15 E.mg/100g de Mg trocável para a bananeira na América Central; 0,10 E.mg/100g e 0,17 E.mg/100g, segundo o tipo de solo, para o milho na Nigéria; 0,14 E.mg/100g para o arroz de várzea em Madagascar, e o arroz de sequeiro na República Centroafricana (números citados por BOYER, 1978). Neste último caso, o Mg representa 4% da capacidade de troca catiônica (T ou CTC).

b) Deficiência

Durante aportes progressivos de magnésio a um solo carente, as respostas das culturas se escalonam até um nível

geralmente situado entre 0,25 e 0,35 E.mg/100g, segundo a natureza do solo e o tipo de planta cultivada. Esse nível, onde as respostas à adubação magnésiana são nulas, é denominado de Deficiência.

No Brasil escolhe-se, muitas vezes, o teor de 0,40 E.mg/100g de Mg trocável no solo para separar os solos que precisam imediatamente de magnésio dos solos que não precisam deste elemento a curto prazo. Este valor é um pouco mais alto do que as necessidades médias das plantas. Ele representa uma espécie de "seguro" e, de certa forma, um pouco mais de magnésio do que o estritamente necessário não é prejudicial.

Acredita-se que, muitas vezes, o nível de deficiência esteja relacionado com o teor de elementos finos do solo, como foi evidenciado para o Cafeeiro, *Canephora* var. Robusta, na República Centroafricana (Tabela XI.1).

TABELA XI.1 - Nível de deficiência em Mg e teores do solo em elementos finos (% de argila + silte) para o cafeeiro na República Centroafricana, segundo FORESTIER, 1964.

Argila + silte = 20	Nível de deficiência: Mg=0,20 E.mg/100g
Argila + silte = 25	Nível de deficiência: Mg=0,20 E.mg/100g
Argila + silte = 30	Nível de deficiência: Mg=0,30 E.mg/100g

N.B.: Para se estimar os níveis de carência ou de deficiência, é necessário levar em conta apenas as necessidades das plantas e não o magnésio necessário para dar propriedades adequadas ao solo e sobretudo ao complexo adsorvente (o papel do magnésio é bem menor do que o do cálcio). Assim, na região cacaueteira da Bahia, foi estabelecido que as respostas do cacaueteiro à adubação com dolomito eram muito fortes para teores no solo inferiores a 1,5 E.mg/100g de Mg trocável (nível de carência), diminuin

do progressivamente para solos de até 2,0 E.mg/100g de Mg trocável onde se estabilizam (nível de deficiência). É bem provável que neste caso a resposta do cacauzeiro se relacionava mais com o pH do solo e não com o teor de magnésio trocável do solo, segundo a opinião dos autores da pesquisa (CABALA-ROSAND et al., 1967).

XI.3.2. Cálcio

a) Para as plantas

Há alguns casos em que se constatou carência (e também deficiência) em cálcio, mas eles são bastante raros. Aqui é possível citar o caso do amendoim sofrendo a "doenças das vagens vazias" na Nigéria do Norte, em solos com teores de cálcio trocável de 0,04 a 0,08 E.mg/100g. Para o amendoim um bom teor de cálcio trocável tem que variar de 1,2 (em solos arenosos) até 2 E.mg/100g (nos solos argilosos). Também foram registradas carências de cálcio na bananeira (folhas com comprimento reduzido e esburacadas) na República da Guiana e também na Costa do Marfim (solos de turfa). Em campo cerrado, teores de cálcio trocável de 0,02 - 0,05 E.mg/100g de solo geram severas restrições ao crescimento das raízes (RITCHEY et al., 1983).

Por outro lado, certas plantas suportam, sem sofrer danos, teores de cálcio muito baixos, por exemplo, o dendezeiro até 0,50 E.mg/100g e a seringueira (*Hevea brasiliensis*) na Malásia até 0,04-0,05 E.mg/100g de Ca trocável, o que é um teor muito baixo, neste último caso.

De um modo geral, as necessidades básicas das plantas para o cálcio se assemelham muito ao consumo dos elementos-traços (evidentemente, em se considerando os teores maiores para o cálcio). As plantas, para se desenvolverem, exigem muito pouco cálcio, em meio artificial líquido por exemplo.

b) Para o solo

No solo o cálcio desempenha um papel importantíssimo, principalmente no complexo adsorvente (Ca trocável). Um teor muito baixo em cálcio significa quase sempre um solo distrófico, com pH demasiadamente baixo, o que explica a presença de alumínio trocável que pode se tornar tóxico e também de manganês, igualmente tóxico quando aparece em quantidades importantes sob forma solúvel (manganês bivalente). Além disso, teores muito fracos de Ca trocável podem abalar os equilíbrios necessários para com outros elementos (Mg, K, Cu, etc).

Dessa maneira, é impossível distinguir entre o papel do cálcio na fisiologia das plantas e o papel que é devido à saturação do complexo sortivo do solo pelo cálcio e o pH que dele resulta.

c) Excesso de cálcio

Não existe nível crítico superior de cálcio trocável para a maioria das plantas; contudo um caso de excesso de cálcio trocável foi assinalado para a bananeira num andossolo de Camarões (Ca trocável = 24 E.mg/100g) gerando neste caso um abaixamento do preço do cacho da fruta. Entretanto, as plantas acidófilas, seringueira, abacaxi, árvore-de-chá e a árvore-de-mate não gostam muito de quantidades elevadas de cálcio trocável no solo (seja por causa do cálcio, seja por causa do pH alto demais para elas). Porém, na maioria dos solos tropicais, o maior inconveniente resulta da falta de cálcio e não do seu excesso. Observa-se frequentemente em regiões de climas temperados do tipo mediterrâneo ou semi-árido que os solos formados a partir de uma rocha-mãe carbonática ficam carregados em calcário. Esse calcário constitui um pó muito fino e pode causar doença de clorose a plantas sensíveis.

XI.3.3. Escalas de Fertilidade

a) *Escalas de fertilidade para o magnésio (exclui-se o cálcio)*

Na Tabela XI.2 são mostradas três escalas. Nota-se que para os solos de seringal da Malásia (a seringueira é uma planta de muito pouca exigência em elementos químicos do solo) as normas são menos severas do que para as culturas do sul do Brasil por exemplo.

TABELA XI.2 - Escalas de Fertilidade para o Magnésio

Escala de GUHA e YEOW para solos de Havae da Malásia, citado por GEUSS, 1973.		Escala de GULLARCO para solos das Caraíbas e de Cuba, citada por SISOV e TRESCOV, 1971.		Escala de CATANI e JACINTHO para solos do Sul e Centro-Leste do Brasil, citada por MALAVOLTA, 1976.	
Mg Trocável E.mg/100g	Fertilidade	Mg Trocável E.mg/100g	Fertilidade	Mg Trocável E.mg/100g	Fertilidade
0,15	Fraca (low)	0,10	Fraca	0,40	Fraca
0,15-0,50	Média (medium)	0,20	Média	0,40-0,80	Regular
0,30	Boa (high)	0,40 1,00	Boa Muito boa	0,80	Boa

b) *Escalas de fertilidade para o cálcio, o magnésio e a soma das bases trocáveis*

A Tabela XI.3 mostra duas dessas escalas.

c) *Escalas de fertilidade para várias culturas no Brasil*

Essas escalas são apresentadas na Tabela XI.4.

Há sempre algumas diferenças entre as escalas de fertilidade. A razão é que cada escala é geralmente estabelecida

TABELA XI.3 - Duas Escalas de Fertilidade para o Cálcio e o Magnésio

Escala de fertilidade para a bananeira (Ecuador) em Latossolos, Regossolos e Solos Alúviais, segundo HERFERA-VASCONEZ, 1972			Escala de Fertilidade para o Cafeeiro Robusta - República Centroafricana em Solos Podzólicos, segundo BUSCH, 1958	
Ca E.mg/100g	Mg E.mg/100g	Fertilidade	Soma das Bases Trocáveis E.mg/100g	Fertilidade
0-3,2	0-0,8	Fraca	<2	Fraca
3,3-6,4	0,9-1,6	Média	2-5	Média
> 6,5	>1,7	Boa a muito boa	5-10 > 10	Boa Muito boa

TABELA XI.4 - Escalas de Fertilidade para Várias Culturas no Brasil

Estado do Paraná, segundo OLMOS et al., 1971.	Estado de São Paulo, segundo MALAVOLTA, 1967.	Nordeste do Brasil, segundo RODRIGUEZ-SILVA, et al., 1973.			
Ca+Mg Trocáveis E.mg/100g	Ca+Mg Trocáveis E.mg/100g	Fertilidade	Soma das Bases Trocáveis E.mg/100g	Outros Dados	Fertilidade
<2,00	<3,0	Fraca	<0,8	$\frac{Al \times 100}{Al + SBT} > 60$	Fraca
2,00-6,00	3,0-5,0	Média	0,8-3,0	$\frac{Al \times 100}{Al + SBT} > 60$	Mediocre
>6,00	>5,0	Boa	3,0-8,0	$\frac{Al \times 100}{Al + SBT} < 30$	Regular
			>8,0	> 60%	Boa

para uma cultura (ou grupo de culturas) determinada em solos específicos. Outras culturas em outros solos podem ter exigências um pouco diferentes.

Por outro lado, o técnico quando estabelece uma escala de fertilidade, fica sempre influenciado pelos solos (e pelas plantas) que está estudando; assim HARDY (1960), acostumado aos riquíssimos solos vulcânicos da América Central, determinou, no caso do cacauzeiro, os seguintes dados para o solo:

- fertilidade alta SBT = 30 E.mg/100g;
- fertilidade regular SBT = 15 E.mg/100g;
- teor crítico ("*limit of adequacy*") SBT = 10 E.mg/100g;
- fertilidade muito baixa SBT = 5 E.mg/100g.

É certo que seus colegas do Brasil, de Gana, da Nigéria e da Costa do Marfim teriam escolhido números mais baixos, talvez em alguns miliequivalentes, porque estão acostumados a solos mais pobres.

d) Escalas de fertilidade onde intervêm a soma das bases trocáveis e o teor do solo em elementos finos (0-20 microns)

Tanto mais um solo é pobre em elementos finos, aqui considerados aquele de tamanho inferior a 20 micra, isto é, argila + silte (segundo o método internacional de granulometria) tanto mais as bases trocáveis passam fácil e rapidamente para a solução desse solo. Consequentemente e dentro desse raciocínio, as bases se tornam muito mais de fácil disponibilidade para as plantas. Inversamente, um solo argiloso deixará sair as bases fixadas com menor facilidade. Daí a idéia de combinar estes dois tipos de dados (*Tabela XI.5*)

Observando os dados da *Tabela XI.5* verificamos que existem algumas diferenças entre as duas escalas. Uma parte dessas diferenças provém, com certeza, das diferentes necessidades das culturas consideradas.

TABELA XI.5 - Escalas de Fertilidade com base na relação:

$$\frac{(SBT)^2}{\text{Argila \% + Silte \%}}$$

República Centroafricana		Costa do Marfim	
Solos podzólicos sob culturas de cafeeiro robusto, segundo FORESTIER, 1960.		Solos podzólicos sob culturas de algodão, segundo LATHAM, 1971	
$\frac{(SBT)^2}{\text{Argila \% + Silte \%}}$	Fertilidade	$\frac{(SBT)^2}{\text{Argila \% + Silte \%}}$	Fertilidade
0,2	Muito baixa	0,3	Fraca
0,4	Baixa		
0,6 - 0,8	Mediocre	0,3 a 1,0	Média
1,1	Média		
1,4 - 1,8	Média a boa		
1,9 - 3,5	Boa	1,0	Boa
4,1 - 8,8	Muito boa		

XI.4. ADUBOS E CORRETIVOS CÁLCICOS, MAGNESIANOS e CÁLCICO-MAGNESIANOS

XI.4.1. Adubos Magnesianos

a) Sais de Magnésio

Trata-se sobretudo de sulfato de magnésio hidratado ou Kieserita; $Mg SO_4 \cdot H_2O$ - 25 a 28% de MgO (estado puro) e dos sulfatos duplos de potássio e magnésio; $MgSO_4$ e K_2SO_4 em proporções variáveis, segundo a origem e o modo de preparo:

- Patent-Kali: 28% K_2O + 9% MgO;
- K-Mag U.S.A.: 22% K_2O + 11% MgO;
- Forma do K-Mag no Brasil: 18% K_2O + 18% MgO.

Estes adubos são usados sobretudo como fornecedores de potássio, mas a parte de magnésio não é negligenciável.

b) Rochas Magnesianas Moídas

São sobretudo utilizadas:

- Serpentina: $Mg_3Si_4O_{11}(OH)_6 \cdot H_2O$, teoricamente com 8% de Mg (se for pura);
- Olivina: $(Fe, Mg)_2(SiO_4)$, de pureza muito variável.

Estas rochas apesar de finamente moídas se decompõem lentamente no solo mesmo sob clima quente e chuvoso (intemperismo forte). Elas se prestam para fazer correção a longo prazo, porém não para curar carências que aparecem de repente nas culturas. Neste último caso, prefere-se o sulfato de magnésio que tem efeito imediato (Kieserita, K-Mag, etc.).

XI.4.2. Compostos Fosfatados de Cálcio e Magnésio

Eles são sobretudo considerados como adubos fosfatados, embora possam trazer uma certa quantidade de Ca (e Mg). Os principais são:

- a) *Termofosfato*: (conf. Capítulo VIII): 30% CaO, 18% MgO, 19% P_2O_5 . É bastante utilizado no Brasil;
- b) *Fosfato natural*: (fosfato tricálcico e apatita): composição muito variável, segundo as jazidas e o preparo do tipo comercial. Na composição média há 40 a 50% de CaO; 25 a 35% de P_2O_5 ; 0,5 a 2% de MgO. Sendo um sal neutro, o fosfato natural não faz subir o pH;
- c) *Escórias de defosforação* (resíduos da indústria siderúrgica): composição média: 45 a 55% CaO; 2 a 5% MgO; 16 a 20% P_2O_5 ; 15 a 20% Fe_2O_3 ; 1 a 6% SiO_2 ;
- d) *Schlams fosfatados*: resíduos da indústria dos fosfatos, com um teor médio de 35% de CaO.
- e) *Superfosfato simples, concentrado, triplo, fosfato bioálcioo*: estes adubos fosfatados contêm sempre uma certa quantidade de cálcio. Vejamos:

- . Superfosfato a 18% P_2O_5 - 28% CaO;
- . Superfosfato a 25% P_2O_5 - 14% CaO;
- . Superfosfato a 35% P_2O_5 - 7% CaO;
- . Superfosfato triplo a 48% P_2O_5 - 1 a 2% CaO
- . Fosfato bicálcico a 36-40% P_2O_5 - da ordem de 40% de CaO se for puro.

Apesar de um certo aporte de cálcio, os superfosfato, sobretudo o super-triplo, acidificam ligeiramente o solo. Es se não é o caso do bicálcico.

XI.4.3. Carbonatos Naturais

Os carbonatos naturais são usados sobretudo como corretivos da acidez do solo. Os principais tipos são:

a) *Calcítico* - rico em $CaCO_3$ com 56% de CaO quando trata-se de um produto puro, normalmente contem 50 a 52% CaO). De fato, normalmente ele contem um certo percentual de impurezas (areia, argila, matéria orgânica) que pode alcançar 25 a 30% do produto comercial e, às vezes, até mais. Em geral, no comércio a pureza vai de 75 a 99% de $CaCO_3$, os percentuais normalmente encontrados deveriam ser da ordem de 90 a 95% de calcita ($CaCO_3$).

b) *Dolomito* - carbonato duplo $CaCO_3 \cdot MgCO_3$. O produto puro tem aproximadamente 30% CaO e 20% MgO. A pureza pode variar tanto como no caso daquela do calcário calcítico, mas em geral ela é aqui melhor.

c) *Misturas de Calcita ($CaCO_3$) e Dolomita ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$)* - calcários dolomíticos são rochas de calcita e de dolomita. O calcário calcítico, ou simplesmente calcário possue quase sempre uma certa quantidade de dolomita, o que tem a vantagem de trazer ao mesmo tempo cálcio e magnésio. Da mesma forma o dolomito não é formado de dolomita exclusivamente. No Brasil, as denominações são as seguintes:

- Calcário cálcico ou calcítico: 1 a 5% MgO;
- Calcário magnesiano: 6 a 12% MgO;
- Calcário dolomítico: 13 a 19% MgO;
- Dolomito: >20% MgO.

XI.4.4. Cal Calcárea e Cal Dolomítica

Produtos oriundos da calcinação do calcário ou do dolomito. São conhecidos os seguintes tipos:

a) Cal viva

- . Com CaO: 80 a 95% de CaO;
- . Com CaO+MgO: uma composição de 50% CaO e 35% MgO é frequentemente encontrada; porém ela pode ser menor sobretudo a respeito do MgO. Entretanto para ser chamada de "magnesiana", a cal tem que conter no mínimo 12% (no Brasil) ou 10% (segundo o padrão europeu) de MgO.

A cal viva tem os seguintes inconvenientes: é cáustica (queima a pele), higroscópica (devendo ser transportada em recipientes metálicos ou plásticos bem fechados), e desenvolve uma ação brutal no solo que é a mineralização acelerada do humus.

b) Cal apagada (hidratada ou com água)

- . Cálcica: 50 a 75% CaO;
- . Magnesiana, em geral: 30 a 40% de CaO e 20 a 25 MgO (proporção que pode chegar a 7-8% MgO).

O uso da cal apagada é mais fácil do que da cal viva mas ela fica sempre um pouco cáustica.

Convém lembrar aqui que infelizmente os vendedores de corretivos têm, as vezes, o mau hábito de não indicar os teores de CaO e MgO no rótulo dos sacos, sobretudo quando o produto é impuro.

CAPITULO XII

SILÍCIO, FERRO, ALUMÍNIO TROCÁVEL

XII.1. GENERALIDADES

O silício, o ferro e o alumínio são os elementos químicos mais abundantes nos solos. Sobretudo o ferro e o alumínio desempenham na fisiologia das plantas, um papel um pouco semelhante ao dos elementos-traços.

XII.1.1. Silício

O silício desempenha um importante papel para as gramíneas. Este papel é relacionado à plasticidade e é bem conhecido no caso do arroz, onde a sílica reforça a rigidez dos colmos, dá um melhor crescimento à planta e uma boa resistência às doenças.

Foi evidenciado que uma floresta equatorial deixa cair cada ano no solo, com seus detritos vegetais, 250 kg/ha de SiO_2 , ultrapassando mesmo àquela quantidade do nitrogênio. Também foi observado que, ao queimar a floresta, a metade da cinza é composta de sílica. Apesar disso, não se sabe bem qual é a quantidade de sílica estritamente indispensável para o crescimento da floresta e, por consequência, qual é a quantidade relevante do consumo de excedente.

XII.1.2. Ferro

O ferro se encontra em grande quantidade nos solos, sobretudo nos solos tropicais. As plantas precisam de ferro em quantidades ínfimas, particularmente para a formação da clorofila; aqui o papel é enzimático, pois a clorofila não contém ferro na sua molécula.

As deficiências ou carências em ferro, no caso de vegetais verdes, têm que ser atribuídas a causas externas e não

a um teor insuficiente desse elemento no solo. São essas causas que impedem o abastecimento desses vegetais em ferro.

XII.1.3. Alumínio

O alumínio é indispensável para o desenvolvimento das plantas porém em quantidades ínfimas. Esse fato foi experimentalmente demonstrado através de soluções nutritivas, com baixo teor nesse elemento, já que nos solos os teores de alumínio são sempre acima (e muito superiores) das pequenas quantidades que foram empregadas nos experimentos. O que acontece, com bastante frequência nos solos tropicais, é o fato do alumínio se tornar tóxico sob certas condições. É verdade que na grande maioria dos solos tropicais, a quantidade de alumínio é tal que pode gerar toxidez. Esse fato será discutido no final do capítulo.

XII.2. SILÍCIO

XII.2.1. Origem e Formas

O silício existe nos solos principalmente sob a forma de sílica cristalina (notadamente quartzo) e de silicatos secundários (notadamente argilas). Pode existir também nos solos menos intemperizados ou no horizonte C de todos os solos, na rede cristalina de feldspatos, piroxênios, anfibólios, micas e de todos os outros silicatos primários das rochas.

A decomposição dos silicatos e, também, a fraca dissolução do quartzo liberam um fluxo contínuo de sílica (SiO_2) coloidal pseudo-solúvel. Nos solos evoluídos, que são os latossolos e os solos podzólicos, onde não existem mais minerais da rocha-mãe com exceção, às vezes, de um pouco de muscovita, a sílica provém essencialmente da:

- dissolução do quartzo (coeficiente de solubilização de 7 a 10 ppm);

- decomposição das argilas. É necessário aqui distinguir a caulinita "*sensu stricto*" (coeficiente de solubilização de SiO_2 de 1 a 5 ppm) das outras argilas da família da caulinita: caulinita desordenada, haloisita e metahaloisita (coeficiente de solubilização de SiO_2 vai de 15 a 20 ppm, consequentemente sendo maior do que o do quartzo). No caso das outras argilas (ilitas, vermiculitas e smectitas) a decomposição parece mais fácil do que para as caulinitas.

A sílica coloidal que é liberada nos processos acima citados não permanece muito tempo imóvel; ela é rapidamente deslocada no perfil pelas águas de drenagem.

XII.2.2. Papel na Pedogênese

• Ao se alterarem das suas fases primárias no horizonte C os silicatos de alumínio da rocha mãe liberam, ao mesmo tempo, alumínio e silício; uma parte desses elementos se recombina para dar origem às argilas.

Ao se deslocar de cima para baixo no perfil de solo, a sílica liberada nos horizontes A e B pode encontrar alumínio (sob a forma de gibsita) um pouco mais abaixo; o alumínio sendo praticamente imóvel^{12/} propiciaria, segundo certos autores, a neoformação de argila. Esse fenômeno seria a causa do enriquecimento em argila do horizonte B dos solos podzólicos em relação ao horizonte A. Apesar desse fato não estar ligado ao assunto da fertilidade, deve-se insistir sobre a presença constante do silício nos solos, ora sob forma cristalina (silicatos e quartzo), ora sob forma de sílica amorfa e de sílica coloidal, pseudo-solúvel e móvel.

^{12/} O alumínio se torna móvel só depois de formar complexos com ácidos fúlvicos em meio fortemente ácido (caso dos podzólos).

XII.2.3. Papel na Fisiologia das Plantas

É certo que o silício, aparentemente sob forma de sílica, desempenha um papel plástico para as plantas. A importância desse papel não é bem conhecida em todos os casos. O caso melhormente conhecido é o das gramíneas onde a sílica impregna certos tecidos vegetais a tal ponto que as vezes seus cristais, ou compostos, machucam os dedos das pessoas quando elas apertam demais esses vegetais. Pesquisadores japoneses demonstraram que em certos arrozais inundados do Japão um aporte de silicatos solúveis aumentou muito a firmeza dos colmos do arroz e também a resistência do arroz a várias doenças; como consequência houve um aumento substancial da produtividade. O mesmo fato foi observado nas Ilhas Maurício; porém, no planalto central de Madagascar, onde há bastante arrozais inundados, ele não foi constatado, provavelmente porque os solos de arrozais de Madagascar têm muita areia, o que não é o caso dos solos do Japão e de Maurício onde, em consequência, se produzia a deficiência em sílica.

O papel desempenhado pela sílica não é somente de ajudar na formação dos tecidos vegetais. É certo que a presença de sílica solúvel, na forma de silicatos de cálcio ou sódio solúveis, no solo e na raiz, ajuda muito o abastecimento da planta em fósforo. Discussão sobre esse aspecto é apresentada no Capítulo XV, Item XV.5.4. - Sinergia Si-P.

XII.3. FERRO

XII.3.1. Origem e Formas

O ferro dos solos provém, principalmente, dos minerais ferruginosos da rocha mãe, notadamente das olivinas, piroxênios, anfibólios, biotita, hematita e magnetita. Uma ausência, ou baixo teor desses minerais, não quer dizer que o solo esteja desprovido de ferro, porque este elemento existe como impureza em muitas rochas ou mesmo em minerais. Este é o

caso de muitos calcários e, também, do ortocálcio cuja cor rosada é atribuída como proveniente em alguns casos, de impurezas de ferro. Em conclusão, são muito raros os solos desprovidos de ferro e, conseqüentemente, as plantas com deficiência nesse elemento. De modo geral o ferro existe nos solos, sobretudo nos solos tropicais, em quantidades importantes, acima dos teores necessários para suprir as fracas necessidades das plantas. Uma característica de muitos solos, e particularmente dos latossolos e solos podzólicos, é a de apresentar acumulações enormes de ferro sob forma de cascalhos, pisólitos, carapaças e couraças.

O ferro se encontra nos solos nas seguintes formas:

- hidróxidos: $\text{Fe}(\text{OH})_2$ - só em meio redutor (a Fe^{+2});
 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ - em meio oxidante (a Fe^{+3});
eles existem sobretudo em formas amorfas. A forma cristalizada (a Fe^{+3}) denomina-se goetita;
- óxidos: FeOOH - lepidocrocita cristalizada;
 Fe_3O_4 - magnetita (é muito instável em meio oxidante);
 Fe_2O_3 - hematita (denomina-se oligisto, quando finalmente cristalizada);
 FeO - óxido ferroso (só em meio redutor);
- misturas: limonita: vários óxidos-hidróxidos e argila
estilpnosiderita: goetita+hidróxido de alumínio
(e caulinita).

XII.3.2. Excesso e Carência em Ferro

A presença do ferro cristalizado nos solos não prejudica as plantas mesmo em proporções elevadas, com exceção quando das formações de couraças cuja dureza dificulta a penetração das raízes.

Os hidróxidos quando são móveis, no estado coloidal de suas formas amorfas, podem fechar os sítios de troca e tam

bém dificultar, a partir da solução do solo, o abastecimento das pequenas raízes absorventes. Dessa forma é da mesma maneira que uma nuvem enfraquece a luz solar, a existência de "nuvens" de hidróxidos de ferro enfraquece a ação de soluções do solo. Na verdade isso acontece sobretudo com o $\text{Fe}(\text{OH})_2$ nos solos hidromorfos, praticamente nunca nos solos bem drenados.

As carências em ferro são raras nos solos neutros e ácidos. Um caso de carência em ferro foi analisado para coqueiros crescendo em solos desenvolvidos a partir de coral constituído de calcário muito puro. Esse é um dos raros registros de "deficit" absoluto de ferro em solo. Entretanto são muito frequentes os casos de carências em solos carregados em calcário, sobretudo pó calcáreo^{13/} muito fino, que é chamado de "calcário ativo". Aqui não se trata de um "deficit" de ferro dos solos, pois, no geral, o solo contém muito mais ferro do que o suficiente para abastecer as plantas. O que ocorre é uma insolubilização do ferro sob forma de carbonato de ferro ($\text{Fe}_2(\text{CO}_3)_3$) que permanece imóvel na raiz.

XII.4. ALUMÍNIO

XII.4.1. Origem e Formas

O alumínio dos solos provem da decomposição dos silicatos de alumínio de minerais da rocha-mãe, tais como: feldspatos, micas, anfibólios, piroxênios, etc. Por outro lado, dentro do solo, as argilas, que também são silicatos de alumínio, não ficam sempre intactas, mas elas acabam se decompondo para liberar pouco a pouco alumínio e sílica. Essa liberação embora seja bastante lenta e difícil para a caulinita "sensu stricto", torna-se mais fácil de ser processada para outros tipos de argila, sobretudo para as ilitas e as vermiculitas. Uma parte do

^{13/} Calcáreo = constituído de calcário

alumínio liberado das argilas e dos minerais primários pode se combinar com a sílica para formar argilas. A outra parte torna-se estável no solo dando origem às acumulações de alumínio até formar jazidas de bauxita. O alumínio não se move ao menos que esteja sob a forma de complexos quelatos. Complexos desse tipo são formados com ácidos orgânicos como os fúlvicos a pH muito baixo (caso dos podsolos).

Os químicos costumam distinguir os seguintes tipos de alumínio:

- *alumínio total*: conjunto de todo o alumínio do solo incluindo o que se encontra nas argilas e nos retículos cristalinos dos minerais (residuais) da rocha-mãe;
- *alumínio livre*: trata-se aqui dos óxidos e hidróxidos de alumínio, sejam amorfos ou cristalizados, cujo tipos principais são:
 - . gibsita - $\text{Al}(\text{OH})_3$: quando cristalizada ela pode formar desdes pequenas agulhas brancas nos solos até agregados cristalinos de alguns centímetros formados como feixes desdes agulhas;
 - . boemita - $\text{Al}(\text{OOH})$: na forma cristalizada parece existir sobretudo nos solos derivados de rochas ultrabásicas e de calcários; neste último caso, particularmente de recifes de corais;
 - . formas amorfas hidratadas de $\text{Al}(\text{OH})_3$: kierchita - $\text{AlH}(\text{OH})_2$ e aluminogel - $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

Os três tipos são frequentes nas acumulações de alumínio do solo e, particularmente, nas couraças lateríticas;

- *alumínio extractível*: é o alumínio extraído pela ação de um reagente. Distingue-se geralmente:
 - . alumínio trocável: extraído por sais neutros (KCl , CaCl_2 , citrato de Na) esta forma, por ter uma importância muito

grande para a fertilidade, será assunto de discussão no quinto parágrafo deste capítulo.

- . alumínio extractível "*sensu stricto*": extraído com os mesmos sais que o alumínio trocável, porém a pH baixo predeterminado (pH entre 3,0 e 4,8). Muitas vezes usa-se o acetato de amônio a pH entre 4,0 e 5,0^{14/};
- . alumínio ativo: as vezes confundido com alumínio trocável; geralmente esta denominação fica reservada apenas para o alumínio extraído com o reagente de Morgan;
- . alumínio móvel: determinado após a ação, sobre o solo, do ácido sulfúrico diluído ou de reagentes alcalinos diluídos, tais como: soda, pirofosfato de sódio, fluoreto de sódio. As quantidades extraídas são em geral nitidamente maiores do que aquelas das outras formas extractíveis.

Na prática existe uma certa confusão entre o uso dessas quatro terminologias, assim certos autores chamam o alumínio trocável de "*móvel*" ou "*ativo*". De uma maneira geral todas essas formas desempenham um papel neutro para as plantas, sem apresentar inconvenientes ou benefícios. Exceção importantíssima é feita para o alumínio trocável. Este pode atuar tanto levando as plantas cultivadas à morte como causando a possibilidade de se fazer lavouras, excetuando-se aqui as pastagens extensivas. Esse assunto merece, pois, uma maior discussão, o que será feito no item a seguir. Por outro lado, deve-se lembrar que ao extrair alumínio "*extractível*", "*ativo*" ou "*móvel*" se extrai também parcial ou totalmente, o alumínio trocável.

^{14/}A diferença entre o Al^{+++} extraído por acetato de amônio (pH entre 4,0 e 5,0) e o Al^{+++} trocável é chamada no Brasil de "*Al⁺⁺⁺ não trocável*". (PAVAN, 1983).

XII.5. ALUMÍNIO TROCÁVEL (KAMPRATH, 1972; SEGALEN, 1973 e BOYER, 1976)

XII.5.1. Aparecimento do Alumínio Trocável nos Solos

Ao baixar o pH de um solo, o alumínio progressivamente adquire a forma catiônica (Al^{+++}) que vai se fixar sobre o complexo adsorvente do solo equivalentemente aos outros cátions que se deslocam. Daí o nome de alumínio trocável.

O alumínio trocável aparece com o pH um pouco inferior a 6,0, mas aqui se trata de quantidades ínfimas, às vezes dificilmente mesuráveis. O fenômeno aumenta muito a pH da ordem de 5,2 e, sobretudo, a pH abaixo de 5,0 (*Figura XII.1*). A curva do crescimento do Al trocável nos solos é exponencial do tipo:

$$y = e^{k \frac{1}{x}}$$

O pH não é o único fator envolvido no aparecimento e desenvolvimento do alumínio trocável. A matéria orgânica e sobretudo o tipo de argila desempenham um certo papel. Certas vermiculitas denominadas de aluminosas deixam aparecer muito alumínio trocável; o contrário se observa com os solos-a-caulinita "*sensu stricto*", estes têm fraco teor de alumínio trocável, mesmo a pH baixo, de tal maneira que é impossível vincular uma certa quantidade de alumínio trocável a um pH determinado (lembrar que outros fatores intervêm nos solos).

Na prática se considera que o alumínio trocável está praticamente ausente dos solos para condições de pH superiores a 5,5 e que ele aparece em muitos solos, em quantidades importantes e geralmente tóxicas para plantas sensíveis, para condições de pH inferiores a 5,2. Aqui mais uma vez parece não existir uma ligação quantitativa entre pH e alumínio trocável, pois foi constatado que a pH 4,4 é possível cultivar fumo em certos latossolos de Porto Rico, caracterizados por pouco alu

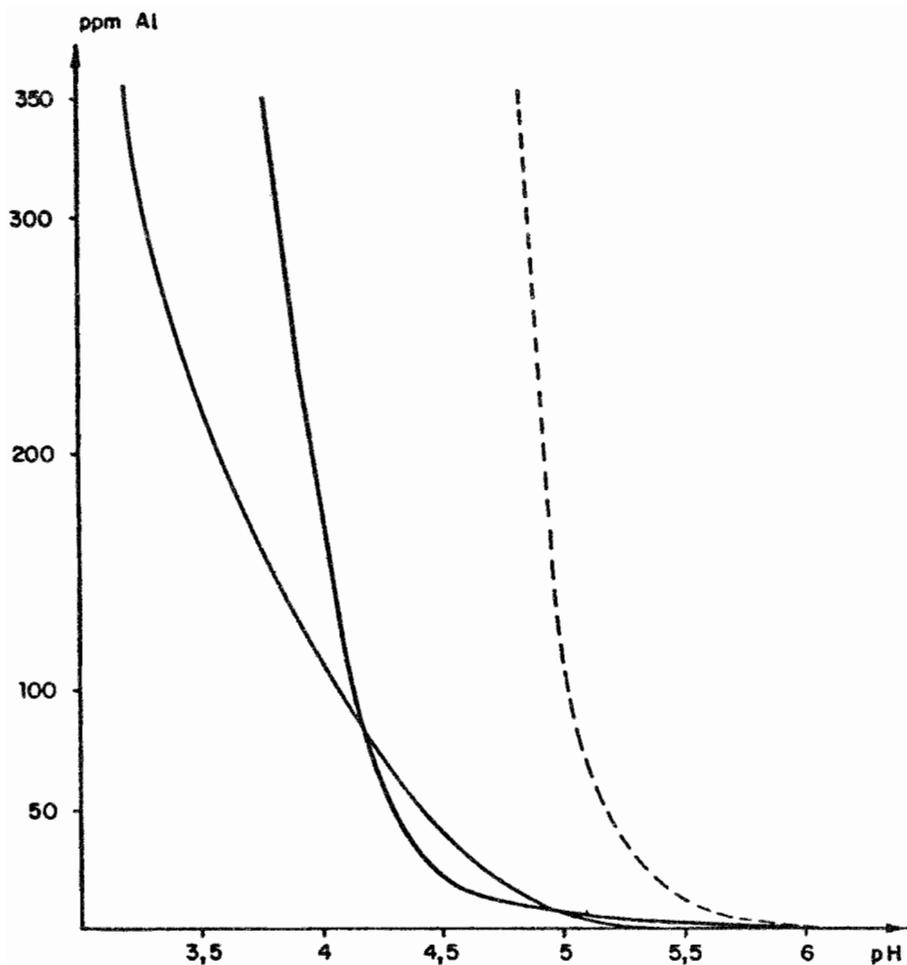


Fig. XII.1 - Alumínio trocável em função do pH em três solos ferralíticos. Exemplos citados por BOYER (1982).

Madagascar

Costa do Marfim

Uganda

4,5. Esse fato explica porque pH dessa ordem é tão frequentemente encontrado em solos bastante insaturados.

XII.5.3. Inconvenientes do Alumínio Trocável

O alumínio trocável não seria tóxico por si só, mas sua presença no solo e, por consequência, na zona das raízes, provoca distúrbios desastrosos na alimentação das plantas. A toxidez inerente ao alumínio é um assunto controverso. Os seus efeitos se fazem sentir sobre o anabolismo e metabolismo vegetal, notadamente em relação aos seguintes elementos:

- . cálcio: o alumínio trocável prejudica muito o consumo do cálcio. A sua presença impede o íon cálcio de ser absorvido pelas raízes;
- . cobre: similarmente ao registrado para cálcio, a alimentação em cobre fica praticamente impedida pelo alumínio trocável;
- . fósforo: o íon alumínio não impede a penetração do fósforo no interior da raiz, mas quando, da penetração do fósforo no interior da raiz ele reage com o fósforo, resultando numa espécie de fosfato de alumínio que resta imóvel, não se deslocando em direção às partes aéreas das plantas, que passam a sofrer de carência em fósforo, enquanto as raízes "engordam" com um excesso inútil de fósforo.

No solo um aporte de adubos fosfatados tem a propriedade de trafegar o alumínio trocável através de compostos P-Al (tipo CHANG e JACKSON, conforme Capítulo VIII) que ficam assimiláveis; daí uma possibilidade de se combater a toxidez de vida ao alumínio por meio de adubos fosfatados, muito embora, na prática, seja um método bastante caro.

manganês: a medida que o pH abaixa, o manganês do solo se torna mais e mais solúvel ao ponto de se tornar tóxico. A presença do alumínio trocável aumenta muito a assimilabilidade e o consumo do manganês pelas raízes, daí uma toxidez mais forte quando esses dois elementos se encontram juntos.

A sensibilidade das plantas ao alumínio trocável é discutida, dentre outros autores, por FOY (1974); FOY e BROWN (1964) e SEGALEN (1973).

O alumínio trocável não é tóxico por si só, mas se torna tóxico por causa de suas consequências em aumentando ou diminuindo o anabolismo vegetal em relação a certos elementos. Através dos casos examinados, conclui-se que em presença de alto teor de alumínio trocável no solo, a planta se torna carente em cálcio, fósforo e cobre e, em oposição, é envenenada pelo alto teor de manganês assimilado.

A sensibilidade das plantas ao alumínio trocável é muito variável, segundo as espécies vegetais; por exemplo temos: o fumo, o cacaueteiro e o algodoeiro, que dificilmente suportam mais de 10% de alumínio trocável no complexo adsorvente, enquanto que as plantas acidófilas, tais como a seringueira, a árvore-de-chã e o abacaxi preferem solos ricos em alumínio trocável. Por outro lado muitas plantas tropicais, tais como o arroz, a cana-de-açúcar, a mandioca e o dendezeiro, suportam com facilidade baixos teores de alumínio trocável; se este último aumentar no solo, essas culturas não morrem, mas têm as suas produções reduzidas.

XII.5.4. Teores de Alumínio Trocável no Solo e as Plantas Cultivadas

a) *Teor absoluto*: após a descoberta do papel nocivo do alumínio trocável, iniciaram-se as pesquisas de determinação quantitativa deste elemento no solo.

Em Uganda, CHENERY (1954), determinou para vários solos:

- pH 3,9 - Al⁺⁺⁺ 180 ppm (2 E.mg/100g);
- pH 4,5 - Al⁺⁺⁺ 460 ppm (5,1 E.mg/100g);
- pH 3,6 - Al⁺⁺⁺ 260 ppm (2,88 E.mg/100g).

Esses teores proíbem a cultura do feijão (planta sensível) e prejudicam o crescimento e o rendimento de cana-de-açúcar. A árvore-de-chá suporta sem problemas a presença do alumínio trocável.

No Brasil utilizam-se de uma escala que foi baseada no levantamento dos solos do estado do Paraná e citada por OLMOS et al. (1971); ela indica:

- Al⁺⁺⁺ < 0,75 E.mg/100g: teor baixo;
- Al⁺⁺⁺ entre 0,75 e 2,00 E.mg/100g: teor médio;
- Al⁺⁺⁺ > 2,00 E.mg/100g: teor alto.

Para avaliar a fertilidade dos solos, utiliza-se, no sul do país, de uma outra escala (CERENA, 1974). Vejamos:

- Al⁺⁺⁺ < 0,50 E.mg/100g: teor muito baixo;
- Al⁺⁺⁺ entre 0,60 e 1,50 E.mg/100g: teor baixo;
- Al⁺⁺⁺ entre 1,60 e 3,00 E.mg/100g: teor médio;
- Al⁺⁺⁺ > 3,00 E.mg/100g: teor alto.

O maior inconveniente do teor absoluto do alumínio trocável é o de não levar em conta outros dados do solo, tais como, por exemplo, a capacidade de troca para os outros cátions; sendo este, também, um fator de importância para a nocividade do alumínio (por exemplo: antagonismo Ca-Al, conforme Capítulo XV). O teor crítico absoluto de alumínio trocável não fica necessariamente em um mesmo nível para determinada espécie de planta; ele vai depender do tipo de solo e também do conteúdo de cátions adsorvidos pelo complexo.

b) Grau de saturação da capacidade de troca em cátions relativo ao Al⁺⁺⁺ trocável (OLMOS e CAMARGO, 1976): em sua determinação utiliza-se sobretudo da relação de Mohr, dada pela expressão:

$$M = \frac{Al^{+++}}{T} \cdot 100$$

e cujos valores são relacionados na Tabela XII.1.

TABELA XII.1 - Limites de toxidez para várias culturas do Sul do País.

Culturas do Sul do Brasil	Límite de Toxidez
Alfafa, cevada (para a cerveja), trigos europeus e da América do Norte	M = 15
Feijão	M = 20
Aveia, cevada, centeio, trigo brasileiros, milho	M = 35
Mandioca, árvore-de-chá, melinis	M = 50

Culturas de outras partes do Brasil, tais como o caueiro, o algodoeiro e o fumo, que são plantas muito sensíveis ao alumínio trocável, provavelmente tem $M < 15$. Por outro lado, a seringueira, a árvore-de-chá e o abacaxi suportam muito bem teores elevados de Al^{+++} trocável, provavelmente até $M = 50$ ou mais.

a) *Relação Al trocável - Soma das bases trocáveis*: a qual geralmente se utiliza da relação de KAMPRATH (citada por OLMOS e CARMARGO, 1976), expressa como:

$$M = \frac{Al}{Al + SBT} \cdot 100.$$

Levando em conta experiências realizadas nos Estados Unidos, na América Latina e na África, é possível citar os seguintes resultados:

- $m = 10$: limite de toxidez para o algodoeiro e soja não selecionada;
- $m = 20$: limite de toxidez para o feijão, a soja selecionada e o trigo;
- $m = 30$: limite de toxidez para o rizôbio de amendoim;
- $m = 45$: limite de toxidez para o milho e o arroz.

No Brasil, o setor de levantamento dos solos (OLMOS e CAMARGO, op. cit.) costuma classificar os solos segundo os

teores em alumínio trocável dos horizontes B₁ e B₂ da seguinte maneira:

- m = 50: limite superior para a maioria das plantas cultivadas, menos para as plantas acidófilas;
- m = 10: abaixo deste limite não há problemas mesmo para plantas muito sensíveis ao alumínio como por exemplo, o algodão, o fumo e o cacaueteiro.

Contudo certos pesquisadores brasileiros preferem os limites de m = 45 e m = 5, respectivamente, superior e inferior, e introduzem um nível intermediário de m = 30.

d) O pH do solo: o pH é uma noção sintética que integra muitas variáveis, em particular a quantidade de bases trocáveis e a saturação do complexo adsorvente. Por outro lado, sabe-se que o alumínio trocável começa a aparecer em quantidades mais significantes se o pH cair abaixo de 5,2, tornando-se geralmente importante abaixo de pH 5,0. Esses conhecimentos adquiridos tornaram possível a determinação grosseira do pH mais favorável para as culturas, conforme é exemplificada pela Tabela XII.2., onde são marcados os intervalos de pH mais favoráveis e, entre parênteses, o provável limite de tolerância de pH ou de rendimentos aceitáveis para cada cultura.

Aqui, mais uma vez, trata-se de estimativas que podem variar em função do tipo de solo e do clima. Por outro lado, a seleção genética pode tornar certas culturas menos sensíveis ao alumínio trocável, como foi realizado no Brasil para o trigo e para a soja. Infelizmente, no caso do trigo, os rendimentos ficaram muito fracos em relação aos rendimentos obtidos em outros países (Europa por exemplo).

XII.5.5. Neutralização do Alumínio Trocável

Na cultura itinerante, imposta a solos sob floresta, a neutralização do alumínio trocável, se este existir no solo

TABELA XII.2 - Valores determinados de pH como favoráveis a diversas culturas e seus limites de tolerância (valores entre parênteses)

Cultura	Intervalos de pH.
Abacaxi	(4,0) - 4,5 - 5,0 - (6,5)
Algodoeiro	(5,2) - 6,0 - 7,5 - (8,0)
Amendoim	(4,2) - 6,0 - 7,0 - (7,5)
Arroz	(3,8) - 5,5 - 6,5 - (8,4)
Bananaeira	(4,0) - 5,5 - 6,5 - (7,0)
Cacaueiro	(4,0) - 6,0 - 7,5 - (8,0)
Cafeeiro	(4,5) - 5,5 - 6,5 - (7,0)
Cana-de-açúcar	(4,0) - 6,0 - 8,0 - (8,9)
Coqueiro	(5,0) - 5,8 - 7,0 - (8,0)
Dendzeiro	(3,2) - 4,0 - 6,0 - (7,0)
Milho	(3,7) - 5,4 - 7,5 - (8,0)
Mandioca	(4,0) - 5,5 - 6,5 - (7,0)
Milhete	(4,0) - 5,0 - 7,5 - (8,0)
Soja	(4,8) - 5,2 - 7,0 - (7,5)
Seringueira	(3,2) - 4,3 - 5,0 - (6,0)

lo, se faz normalmente através das cinzas da vegetação natural queimada. Ao desmatar um solo, sobretudo, se se trata de solos pobres e ácidos, é sempre melhor queimar a vegetação no lugar, e não de retirá-la para lugares longínquos. É possível também neutralizar o alumínio trocável com aportes de fosfatos tricálcicos ou de apatitas. Infelizmente este é um método anti-econômico por ser caro demais. Este problema não existe para limitar o uso dos carbonatos que são relativamente baratos; por esse motivo o aporte de carbonatos (calcários, calcários magnesianos e dolomitos) é o meio mais usado para esta neutralização. O cálculo da tonelagem necessária de corretivo se faz determinando a quantidade de equivalente-grama do alumínio trocável por hectare (2400 toneladas de terra por hecta

ra para uma camada de espessura de 20 cm] e calculando a seguir a correspondência em equivalente-grama de Ca e Mg do corretivo.

No Brasil, leva-se também conta o teor de matéria orgânica, multiplicando-se tonelagem de corretivo por um coeficiente, se o solo for orgânico, dessa forma é sugerido:

- Matéria orgânica \leq 1,5%: coeficiente 1,0;
- Matéria orgânica entre 1,5 e 3,0%: coeficiente 1,5;
- Matéria orgânica \geq 3,0%: coeficiente 2,0.

Nos solos orgânicos torna-se pois necessário dobrar a quantidade de corretivo em relação ao teor medido de alumínio trocável.

No Brasil, a EMBRAPA preconiza a fórmula seguinte para calcular a dose de corretivos em função do teor de alumínio trocável do solo:

$$\text{ton/ha de calcário puro} = 2A1 \text{ E.mg/100g solo}$$

Essa fórmula leva a fazer aportes de calcário em quantidades superiores às necessárias (calculadas em miliequivalentes) para a neutralização do alumínio trocável. Este excesso chega a ser de até 66% em relação ao aporte necessário calculado com exatidão. Provavelmente isso leva em conta os seguintes fatores: a dissolução do carbonato de cálcio que nunca é instantânea; a má repartição no solo; talvez as impurezas do calcário, que geralmente não são especificadas pelos fornecedores, e o desejo de obter um pH mais alto do que aquele que simplesmente resultaria pela neutralização do alumínio trocável. De qualquer maneira, esse excesso constitui uma reserva no solo, utilizável a médio prazo. Contudo ele pode custar um pouco mais caro, primeiramente pelo excesso utilizado no aporte e depois por causa da lixiviação que se torna sempre mais ativa com relação às quantidades cada vez mais elevadas de

cálcio no solo. Isso depende, entretanto, da finalidade procurada pelo agrônomo.

A fórmula ton/ha calcário = $2A \frac{E}{100g}$ tem a vantagem de ser muito simples e de fornecer ao solo reservas de cálcio e magnésio sem se chegar a um ponto perigoso por excesso de calcário.

f) *Barreira química*: a experiência (SOARES et al., 1975; OLMOS e CAMARGO, 1976) mostra que os calcários, mesmo dolomíticos, ou as cinzas, quando espalhados na superfície do solo não neutralizam o alumínio das partes do solo abaixo da camada arada, que geralmente tem uma espessura de 10 a 20 cm. O calcário lixiviado, correspondente ao carbonato solubilizado pela água de drenagem, passa através do solo sem parar e, conseqüentemente, sem deslocar o alumínio trocável. Dessa forma, após uma calagem, a parte arada do solo se encontra sem, ou com pouco, alumínio trocável; ao contrário, o solo abaixo fica com todo o seu alumínio trocável intacto e ativo. As conseqüências são, pois, desastrosas; as raízes das plantas ficam inteiramente na parte superior do solo, que está em contacto direto com o corretivo, sem penetrar mais abaixo. A planta, então, passa a sofrer de efeitos de seca nos períodos sem chuva da estação chuvosa. Afinal, o cálcio consegue penetrar lenta e progressivamente como se fosse necessário um contacto direto entre uma partícula, já sem alumínio trocável e carregada em cálcio, e outra partícula, com alumínio trocável. Na experiência de calagem de GARGANTINI (1972), demorou 5 anos para que o alumínio fosse neutralizado até 40 cm de profundidade, ao máximo, num latossolo paulista.

Em 1977, pesquisadores da EMBRAPA perceberam que o cálcio de um superfosfato simples penetrava no solo com muito mais facilidade do que o cálcio dos carbonatos, quebrando a barreira química. O fato foi atribuído ao sulfato de cálcio do superfosfato e comprovado com aportas de gesso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). Esse fenômeno estranho parece acontecer devido as seguintes razões:

- um solo muito carregado em alumínio trocável é sempre um solo muito ácido, em geral com pH compreendido entre 3,8 a 4,8. Os colóides normalmente eletro-negativos aos pH habituais do solo têm as suas cargas variáveis que diminuem pouco a pouco, à medida que o pH vai abaixando. Afinal solos dessa natureza chegam ao ponto isoeletrico, denominado "zero point of charge" pelos autores anglofonos, que é o ponto, onde, o solo não tem mais cargas eletro-negativas, elas são neutras ou portam cargas eletropositivas;
- o carbonato de cálcio, ou mesmo de magnésio, sendo alcalino, atravessa o solo por meio das águas de drenagem. No meio isoeletrico, ou ligeiramente positivo, ele não encontra cargas negativas livres, daí atravessa o solo sem se fixar;
- o sulfato de cálcio, sendo ligeiramente ácido, atravessando o solo da mesma maneira, encontra colóides eletro-positivos que possibilitam a troca do cálcio no solo. A presença do cálcio desencadeia imediatamente a neutralização do alumínio trocável com aparecimento de H^+ , gerando cargas negativas suplementares que servirão para fixar mais cálcio.

Essa explicação é muito simples para se entender um fenômeno por demais complicado. Ela tem a vantagem de levar em conta os papéis desempenhados por colóides anfóteros cujas propriedades variam em função do pH.

Segundo experiências realizadas em solos do Paraná, o aumento da quantidade de Al solúvel na solução do solo, depois do seu deslocamento por íons de cálcio de sulfato, parece ter efeitos tóxicos bem menores do que os previstos, isso parece devido a uma complexação do alumínio por SO_4^{2-} dando um complexo, talvez do tipo $Al(SO_4)_n^{-2n+3}$, que minimizaria a ação do alumínio (PAVAN, 1983).

CAPITULO XIII

SÓDIO

XIII.1. ORIGEM - FORMAS

São várias as fontes de sódio nos solos. O sódio que se encontra nos solos não salgados pode provir dos aerossóis-marinhos e dos respingos marinhos. Cada chuva traz uma pequena quantidade de sódio. Nos solos salgados onde existem acumulações de sódio, este elemento provém, de modo geral, da rocha-mãe, da água dos rios e da água de irrigação. Essas formas genéticas são agrupadas em duas categorias, conforme veremos a seguir.

XIII.1.1. Origem do Sódio dos Solos

Basicamente o sódio dos solos provém de duas fontes:

- *O sódio da rocha-mãe:* o sódio pode ter duas origens:
 - . o sódio incluído em certos minerais das rochas plutônicas, vulcânicas e metamórficas, sejam plagioclásios, anfíbólios, etc.;
 - . o sódio das formações geológicas salgadas, por exemplo do Triássico (Europa) ou do Cretáceo (Nordeste do Brasil) ou também de aluviões recentes marinhos que ainda contém sódio;
- *O sódio das águas:* ao atravessar formações geológicas salgadas as águas dos rios e riachos se encontram saturadas em sódio que é transferido para outros lugares. A mesma coisa pode acontecer com as águas dos lençóis freáticos. No caso da água do mar para que ocorra uma dispersão do sódio é necessário que, em certos lugares, o mar invada regiões de água doce, ora de maneira normal durante as marés altas como por exemplo nas áreas de mangues, ora de modo excepcional, com tempestades, provocando rupturas de diques (Holanda).

XIII.1.2. A Forma do Sódio nos Solos

Nos solos o sódio ocorre principalmente sob as for
mas seguintes:

a) *Fixado no complexo adsorvente*: o complexo adsor
vente dos solos é sempre saturado com um pouco de sódio fixa
do, o teor é fraquíssimo nos solos desenvolvidos sob climas
úmidos; porém nas regiões de clima seco, o teor em sódio pode
se tornar mais importante e então modificar de maneira consi
derável as propriedades do solo o qual adquire estrutura gros
sa, consistência firme e dura como concreto, no período seco,
e lamacento e escorregadio, quando no período chuvoso. Consi
dera-se geralmente que um solo pode ser definido como "solo
salgado", com Na^+ no complexo adsorvente, como no caso dos
solonetz, se o Na^+ está fixado em pelo menos 15% nas posições
de troca. Sendo a expressão de definição desses "solos salga
dos", dada pela equação:

$$\frac{\text{Na}}{\text{CTC}} \times 100 \geq 15\%.$$

b) *Sob forma de sais solúveis*: neste caso o complexo
sortivo está completamente saturado pelo cálcio (e magnésio),
e o sódio se encontra sob forma de sais solúveis, sendo os
mais comuns o cloreto de sódio (África do Norte), o carbonato
de sódio (dominante em certas manchas de solos salgados do ser
tão nordestino e nas margens do lago Chad), os bicarbonatos de
sódio (Rússia Asiática), o sulfato de sódio (Chad) e os sulfe
tos de sódio (mangues, caso dos solos chamados "solontchaks").

c) *Sob as duas formas precedentes*: o sódio dos sais
solúveis começa a se fixar no complexo sortivo do solo: ca
so dos solos solonetz e "solontchaks". No Brasil, os solos ca
racterizados por teores elevados de sódio, se encontram sobre
tudo no Nordeste semi-árido, trata-se sobretudo de solonetz so
lonizados e, às vezes, de solonetz-"solontchaks", os verdadei

ros "solontohaks" parecem bastante raros. Ocorrem também em áreas com mangues.

XIII.1.3. Inconvenientes do Sódio para as Plantas

Já foi sublinhada a influência do sódio sobre a estrutura do solo, porém o sódio tem um inconveniente maior: se os sais forem abundantes na solução do solo, o sódio aumenta de maneira significativa a pressão osmótica desta, a tal ponto que poucas plantas a suportam. Por esta razão, é relativamente fácil de reconhecer a presença de solos saturados em sódio só ao observar a vegetação composta de poucas espécies vegetais bem características ou, no caso extremo, a ausência de vegetação. Por outro lado, os sais de sódio podem ter uma toxidez específica; no exemplo do cloreto de sódio tem-se que o cloro por si já é tóxico no caso de ser abundante e no caso dos sulfatos e sulfetos (solos de mangue) tem-se o efeito da acidez gerada pela transformação em ácido sulfúrico (H_2SO_4) como ocorre no caso dos solos com "Cat Clay".

XIII.2. DINÂMICA

XIII.2.1. Mobilidade do Sódio nos Solos

O sódio é um elemento particularmente móvel. Todos os seus compostos (cloretos, sulfatos, sulfetos e carbonatos) são altamente solúveis. Também o ion sódio, que é um cátion monovalente, é mais fracamente retido no complexo adsorvente do que o cálcio, ao qual ele cede facilmente o lugar desde que este último seja abundante (o Ca^{++} desloca o Na^+).

A partir do momento em que a pluviosidade é abundante e a drenagem suficiente, o sódio é "carreado", em sua maior parte pelas águas de percolação, escoando-se para os rios e o mar. É óbvio que o sódio é exportado da maioria dos solos tropicais não somente sob climas chuvosos mas também sob condições de climas secos, mesmo bastante secos, a partir do momen

to onde ocorra uma drenagem regular, sendo esta ocorrência facilitada pela concentração das chuvas em períodos curtos.

XIII.2.2. Concentração do Sódio nos Solos

Nas regiões de climas áridos e sub-áridos, onde a evapotranspiração real é nitidamente mais forte do que o aporte de água pelas chuvas, o sódio remonta à superfície por ascensão capilar e pode se acumular na parte superior dos solos até formar eflorescências salinas. Há também acumulações de sódio sob estes climas (e em certos casos em climas mais úmidos) nas depressões fechadas. Essas depressões recolhem as águas do escoamento superficial ou da drenagem oblíqua que contêm sempre fracos teores de sal; a seguir a evaporação concentra o sal no fundo das depressões. É o caso de muitas áreas do sertão (vertissolos sódicos) e também, numa escala maior, dos "Chotts" da África do Norte. Naturalmente, a partir do momento onde aquelas depressões transbordam até um rio, ou durante as enchentes por transbordo do rio, o sódio é evacuado, esse fenômeno é típico da bacia do lago Chad que é dessalgada na sua parte sul.

A água de irrigações, mesmo aquela considerada quase pura, pode ser a causa de acumulações de sódio nos solos. O exemplo seguinte comprova este fato: seja uma água contendo muito pouco sódio (0,2 mg de NaCl por litro) alimentando um sistema de irrigação a dose de 5.000 mm por ano, o que corresponde a 50.000 metros cúbicos, neste caso a água de irrigação traz a cada ano 10 toneladas de NaCl por hectare. Diante desse aporte é necessário se introduzir mais água para levar este sal para, artificialmente, facilitar uma percolação através do solo.

XIII.3. TEORES DE SÓDIO

As carências e deficiências em sódio nos solos são extremamente raras. São os seus excessos que criam problemas,

e problemas muito sérios. Esses excessos serão tratados neste parágrafo.

XIII.3.1. Solos Alcalino-Sódicos (Solonetz)

Nesses solos o sódio encontra-se fixado no complexo adsorvente. Considera-se que um solo é alcalino^{15/} (ou sódico) quando:

$$\frac{\text{Na}}{\text{CTC}} \times 100 \geq 15\%$$

quando esse percentual é obtido para condições de pH geralmente superiores a 8,5. Suas limitações às culturas encontram-se resumidas na *Tabela XIII.1.*

Na verdade os inconvenientes do sódio no complexo adsorvente começam a aparecer antes de chegar a este limite; porém aqui os solos não podem ser definidos como solos alcalinos. Vejamos alguns níveis:

- Na satura entre 3 a 6% de CTC: percebe-se alterações na estrutura do solo que se torna um pouco grossa;
- Na satura entre 6 e 15% de CTC: a estrutura torna-se bastante grossa e dura (as vezes colunar) em B, no estado seco, destruindo-se com a chuva (a cultura é dificultada);
- Na satura mais de 15% de CTC: solo alcalino ou sódico, estrutura muito grossa, em blocos quando seca, destruindo-se quando úmida.

De modo geral é muito difícil cultivar um solo onde o sódio se encontra em teor semelhante, e sobretudo quando ele ultrapassa o teor do cálcio no complexo adsorvente.

^{15/} Alguns autores usam para os solos salgados o termo alcali no como indicativo, simplesmente, de solo alcalino-sódico ou sódico, sem considerar o teor de potássio e o pH.

TABELA XIII.1 - Limitações culturais nos solos alcalino-sódicos segundo a escala de Riverside (U.S. Soil Survey Staff, 1951) adaptada às condições brasileiras.

$\frac{Na}{ClC} \times 100$	Culturas ainda possíveis no intervalo indicado e também para valores menores do intervalo	Limitação Cultural
2-10	Plantas muito sensíveis (citrus, abacateiro, videira, ramie, etc)	fraca
10-20	Plantas sensíveis (feijão, milho, etc)	fraca a média
20-40	Plantas medianamente sensíveis (trevo, aveia, arroz, algumas ervas forrageiras, etc.)	média
40-60	Plantas tolerantes (trigo, algodão, alfafa, cevada, tomate, beterraba)	forte
>60	Somente algumas gramíneas forrageiras	muito forte

XIII.3.2. Solos Salinos (Solontschak)

O sódio se encontra sob forma de sais solúveis, na maioria dos casos como cloreto de sódio, mas também como carbonatos e, mais raramente, sulfatos. A determinação do grau de salinidade se faz, neste caso, através da condutibilidade elétrica, geralmente na pasta saturada. Desta forma, mistura-se água e solo até "o ponto de liquidez"; extrai-se o líquido e mede-se a condutibilidade elétrica numa ponte de Wheathstone cujos eletrodos estão distanciados de 1 cm.

As normas registradas na *Tabela XIII.2* parecem sobre tudo válidas para solos de boa permeabilidade. Portanto, é necessário ser bastante cauteloso com outros solos mesmo solos pouco permeáveis.

TABELA XIII.2 - Limitações agrícolas nos solos salinos segundo a escala de Riverside adaptada às condições brasileiras (segundo U.S.Soil Survey Staff, 1951)

Solos	Condutividade elétrica m.mhos/cm	Limitações Agrícolas	Culturas possíveis
não salinos	0-4	nula	todas
pouco salinos	4-8	fraca	sofrem menos: plantas sensíveis (citros, trevo, abacateiro, rãme, pereira e feijão) sofrem bastante: (videira, oliveira e figueira)
medianamente salinos	8-16	média	as culturas seguintes são possíveis: (milho, trigo, arroz, alfafa, tomate e batatinha)
fortemente salinos	>16	forte	só é possível cultivar: cevada, algodão, aspargos e tamareira (palmeira)

XIII.4. RECUPERAÇÃO DOS SOLOS COM SÓDIO

XIII.4.1. Solos com Sais Solúveis ("Solontchaks", solos salinos)

Eliminar os sais solúveis de um solo torna-se uma operação relativamente fácil quando se tem duas condições:

- presença de água de boa qualidade (água doce) em quantidade suficiente;
- permeabilidade do solo suficiente para que esta água possa penetrar e percolar rapidamente dentro do solo.

Em uma experiência feita num solo do sul da Tunísia (Oasis de Tozeur), os "solontchaks" de permeabilidade médio

cre (4,1cm/hora sobre 160cm a partir da superfície) mostra ram que 80% dos sais solúveis são eliminados depois que 250mm de água é drenada de maneira efetiva em 1 ano (o aporte de água foi de 94 mm pela chuva e 1.138 mm de água de irrigação de qualidade média = 2,1 g/l de sais solúveis de sódio, principalmente como cloreto). Num solo muito arenoso da Tunísia (Gabes) constatou-se que uma chuva de 10 mm fazia passar a condutividade elétrica de 15 m.mhos até 7 m.mhos (depois um período de secagem, o solo recuperava a condutividade elétrica prévia). Nos solos argilosos, o problema, em geral, é complicado pelo fato de que aí o sódio já começa a penetrar no complexo adsorvente.

XIII.4.2. Solos Alcalinos (Solonetz, solos salgados tipo alcalino-sódicos).

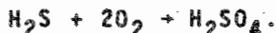
Aquí temos solos com sódio no complexo adsorvente. Os maiores defeitos destes solos são o pH muito alto, a má estrutura e a impermeabilidade; eles provêm da presença do sódio no complexo sortivo do solo. É necessário pois deslocar este sódio por meio de cálcio. O processo mais usado consiste em espalhar gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$); após o qual o anion SO_4^{--} se combina com o sódio e o sal resultante, Na_2SO_4 , muito solúvel, é eliminado por drenagem, enquanto o cálcio (do gesso) vai se fixar no complexo sortivo. O uso do gesso, popularizado pela recuperação dos solos holandeses inundados pelo mar, também é praticado em condições tropicais, por exemplo na Tânzania. É possível utilizar cloreto de cálcio no lugar de gesso. O fosfo-gipso que é um resíduo industrial, o enxofre-elemento (flor de enxofre) e o ácido sulfúrico (esse último sendo recomendado para os solos com carbonato de sódio) também podem ser utilizados. Para acertar essa operação, é necessário posuir água (de chuva ou de irrigação) em quantidade suficiente; foi estimado no sul da Rússia Asiática que 300 mm na forma de chuva, em grande parte na forma de neve, são indispensá

veis num ano. Provavelmente esta precipitação tem que ser maior em condições tropicais.

Nos solos pouco alcalinos, o maior defeito é a má estrutura; tentou-se corrigi-la por aportes de matéria orgânica. Experiências dessa natureza indicaram que a farinha de vinhaça deu os melhores resultados em Porto Rico (ESCOLAR, 1967) e na África do Sul (VAN ROYEN e WEBER, 1977).

XIII.4.3. Solos de Mangues

São solos com sulfetos (Na_2S , H_2S , FeS , etc) e de pH se escalonando em condições naturais (entre 3,8 e 5,5. Ao recuperar esses solos, o perigo maior vem da penetração do oxigênio do ar e da oxidação dos sulfetos. Vejamos:



Há aparição de uma acidez forte com pH caindo até 3,0 e 2,0. Naturalmente nenhuma planta cultivada pode suportar valores de pH tão baixos (os solos chamados "cat clay" apresentam muitas vezes ocorrências desse tipo).

A solução é a de fazer aporte contínuo de água doce para evacuar, pelos drenos, Na_2S , H_2S e, também, à medida que ele se forma, o ácido sulfúrico; evitando assim o desenvolvimento de uma acidez muito forte. Essa operação não é tão fácil. Geralmente o arrozal inundado é o processo escolhido.

XIII.4.4. Necessidade de uma Rede de Drenagem

Para eliminar o sódio na fase de recuperação dos solos e também para evitar sua acumulação nos solos cultivados sob irrigação, é absolutamente necessário de se prever no início uma rede completa de drenagem. Por ser o sódio um elemento móvel, torna-se necessário facilitar sua evacuação da água do lençol nele saturado. Se a água permanecer no lugar vai con

centrar os sais de sódio nos períodos secos e, de novo, o sódio vai retornar por ascensão capilar e se concentrar em sua superfície. Por esta razão, na falta de rede de drenagem, assiste-se ao fracasso de tentativa de recuperação de solos com sódio e sobretudo à esterilização dos solos dos perímetros irrigados. Os exemplos dessa última ocorrência não faltam. Um, muito bem característico, provém do delta central do Níger na República do Mali, onde a água do Rio Níger utilizada para a irrigação tem só traços de sódio (na análise) a tal ponto que, em torno de 5 anos (de 1945 a 1950) foi julgado inútil de se prever uma rede de drenagem para evacuar o sódio. Vinte e cinco anos depois manchas de sal começaram a aparecer.

A UNESCO tem estimado que o número de hectares esterilizados pelo sódio a cada ano iguala-se, mais ou menos, ao número de hectares novamente valorizados com a irrigação, isto por falta de uma drenagem adequada.

Às vezes, com solos muito arenosos (areia grossa); e consequentemente solos permeáveis e praticamente sem complexo sortivo, é possível se fazer irrigação só com a drenagem natural sob a condição de que o solo tenha pelo menos 2 metros de espessura. Mesmo assim, é prudente, estabelecendo a rede de irrigação, se for necessário e deixando áreas livres para isso, de se prever no futuro, uma rede de drenagem, porque não se pode saber o que vai ocorrer no subsolo.

XIII.5. O PERIGO DE SALINIZAR OS SOLOS NUMA IRRIGAÇÃO

Parece necessário de insistir mais uma vez sobre o perigo de esterilização dos solos irrigados por causa de concentração de sódio. É necessário de levar em conta dois fatos:

a) *A qualidade das águas de irrigação:* os padrões americanos do laboratório de Riverside (RICHARDS, 1954) fazem intervir dois parâmetros para julgar a qualidade da água. Estes parâmetros são:

- Salt Activity Ratio (SAR) ou Relação da Atividade dos Sais: este corresponde a um coeficiente da adsorção do sódio em relação ao cálcio e ao magnésio e que é dado pela expressão:

$$S.A.R. = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca^2 + Mg^2}{2}}}$$

- A Condutividade Elétrica da Água: é expressa em micromhos, com valores de referência 250, 750, 2.250 micromhos e 5.000 micromhos. As águas de condutividade superiores a 2.250 micromhos (2,25 miliomhos) não deveriam ser utilizadas. Contudo elas servem as vezes para irrigação mas sob condição de que o solo apresente um complexo adsorvente bem saturado em cálcio, ou para solos praticamente desprovidos de complexo adsorvente. É verdade que na Tunísia este tipo de água é bastante usado nos solos arenosos, onde muitas vezes, a areia é uma mistura de quartzo e de grãos de calcário.

Os franceses na África do Norte usam muito a relação molecular Na/Ca; se o número de moléculas de sódio na água supera o número de moléculas de cálcio, tem-se riscos importantes de alcalinização dos solos.

Naturalmente trata-se aqui de regras muito gerais que cada um tem que adaptar em cada caso particular.

b) O Manejo da irrigação: já se insistiu sobre o perigo de introduzir sódio nos solos com água de irrigação, mesmo de boa qualidade pois, toda água contém pelo menos um pouco de Na e também de Ca, Mg, K, etc. Por consequência há riscos de se provocar concentrações de sais em superfície, porque a irrigação intervém, de modo geral, nas áreas de clima quente e pouco chuvosas. Por essa razão um manejo racional de irrigação tem que obedecer a duas regras imperativas:

- fornecer ao solo nitidamente mais água do que aquela que o solo evapora e que as plantas consomem, de tal maneira que o

excesso de água lave o solo, levando o sódio ao lençol freático e aos drenos. Foi indicado antes que 250 mm de água drenada bastaram para eliminar o excesso de sais num solo da Tunísia;

- evacuar as águas de drenagem para evitar que os sais que elas contêm se concentram de novo na superfície do solo.

CAPITULO XIV

ELEMENTOS TRAÇOS: BORO-COBRE-MANGANÊS- MOLIBDÊNIO-ZINCO-CLORO

XIV.1. GENERALIDADES, CARÊNCIAS E TOXICIDADE

XIV.1.1. Definição

Os elementos traços normalmente encontrados nos solos ocorrem com teores menores que 0,1%. Dentre os muitos elementos que, em um solo normal, possuem teores dessa ordem tem-se:

- Boro: 30 a 54 ppm nos solos de São Paulo;
- Cobre: 4-6 até 260 ppm em geral (2-10 até 20-30 ppm nos solos de São Paulo);
- Zinco: 9 até 22 ppm (Austrália);
- Molibdênio: 0,2 até 6 ppm (Zaire);
- Manganês: 40 até 800 ppm (Zaire).

Os exemplos acima foram escolhidos porque eles caracterizam a faixa de teores de elementos traços mais frequentemente encontrados nos solos. Obviamente que, aqui, não se deve incluir os solos excepcionais, isto é nem pobres demais nem ricos demais nestes elementos, e que são desenvolvidos sob condições geoquímicas excepcionais.

. *Elementos assimiláveis*: existe muitas vezes uma certa confusão para a fração chamada assimilável com aquelas denominadas de trocável, de redutível, de ativa e de extratível. Cada uma dessas terminologias é aplicada segundo a técnica extrativa utilizada por um dado método de análise. Apesar dessa dificuldade, é possível dar as ordens de grandeza seguintes para a parte assimilável nos solos:

- Boro, cobre, zinco assimiláveis: da ordem de ppm ou de alguns décimos de ppm;
- Manganês assimilável: da ordem de 10 a 200 ppm;
- Molibdênio: assimilável: da ordem do centésimo a alguns décimos de ppm;
- Cloro: traços.

XIV.1.2. Importância dos Elementos-Traços para a Fisiologia das Plantas

A importância dos elementos traços para o desenvolvimento das plantas começou a ser reconhecida a partir do início do século XX; o molibdênio foi o último destes cinco elementos a ser pesquisado, sendo esse interesse despertado alguns anos antes da segunda guerra mundial. A ausência completa de um dos elementos-traços ou de vários deles num solo gera carencias muito graves podendo ir, inclusive, até a morte do vegetal. Por outro lado, o excesso de qualquer um desses elementos nos solos pode determinar efeitos de toxicidade.

Muitas vezes o intervalo entre os teores que separa a carencia da toxicidade é bem pequeno; por exemplo, para as clorelas (algas) crescendo em solução nutritiva a 0,001 mg de Zn para 100 ml do líquido, há um estímulo do crescimento, enquanto há alguma deficiência abaixo deste número e a 0,005 mg de Zn por 100 ml existe um atraso no crescimento (daí a toxicidade).

Felizmente nos solos, existem vários mecanismos que insolubilizam elementos-traços ou, ao "contrário", tornam eles solúveis (o solo tem poder tampão até certo ponto).

XIV.1.3. Principais Carências

. *Boro*: o boro é bastante sensível a lixiviação, daí as carências mais frequentes e mais graves ocorrerem nos solos arenosos onde a drenagem se encontra muito facilitada pela boa porosidade. Mas elas podem acontecer em todos os tipos de solo e em muitas plantas. Exemplos:

- Dendzeiro: carência frequentemente encontrada no Congo, Zaire, Malásia, Bornéu, Camarões, Costa do Marfim (OLLAGNIER e VALVERDE, 1968);
- Algodão: Costa do Marfim, Brasil (zonas de campo cerrado);
- Cafeeiro arábico: Zaire, Uganda, Brasil;
- Árvore de chá: Uganda;
- Cacaueiro: Nigéria;
- Coqueiro: Brasil (Paraíba);
- Milho: Brasil (campo cerrado);
- Eucalipto: África Oriental e Ocidental.

. *Cobre-Zinco*: geralmente carências em cobre e zinco acontecem depois de uma subida brutal do pH do solo com calagem (caso da bananeira na Costa do Marfim). Contudo carências em zinco parecem existir no estado natural no campo cerrado brasileiro. Carências em cobre foram encontradas no Brasil em culturas de algodão, milho, cacaueiro e laranjeiras, dentre outras.

. *Manganês*: as carências existem sobretudo nos solos temperados ("deficit" em Mn) e nos solos mediterrâneos e áridos (insolubilização do Mn por causa do pH alto). Em meio tropical de pH geralmente ácido, as carências são raras; ao existirem, elas resultam, na maioria dos casos, de uma subida do pH (cinzas acumuladas, águas alcalinas de irrigação e também de um teor muito alto em matéria orgânica) (CULOT e VAN WAMBEKE, 1958). Um dos poucos casos até agora conhecidos de

"deficit" absoluto do solo em manganês foi assinalado em dendezal da Costa do Marfim (OLLAGNIER, OCHS et MARTIN, 1970).

. *Molibdênio*: a maioria das carências em molibdênio provem da insolubilização por causa de um pH baixo demais e raramente de um "deficit" absoluto.

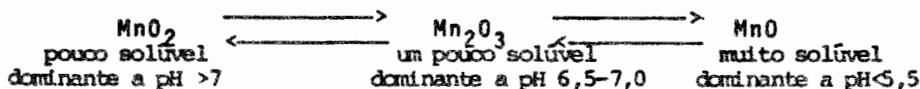
. *Cloro*: existe em quantidades ínfimas no solo, mas de modo geral elas são suficientes. De outro lado os aerossóis e a chuva contêm sempre um pouco de cloro, de tal maneira que as carências são raras, excetuando-se o caso do coqueiro, planta muito ávida em cloro, registros de carência nesse elemento foram detectadas em dendezeiros do Zaire e da Colômbia.

XIV.1.4. Toxicidades

. *Boro*: o boro sendo bastante sensível a lixiviação, acumulações tóxicas de boro só podem existir nos solos sob clima áridos, como em regiões do Irã e Afeganistão. Alguns casos foram assinalados no norte da Nigéria e nos Camarões (clima tropical semi-árido) após o uso de fosfato com pequenas quantidades de boro.

. *Cobre-zinco*: nenhuma toxicidade em zinco foi anotada em condições naturais nos solos tropicais. Toxicidades em cobre parecem existir só acima das jazidas de cobre (Zaire), mas elas podem aparecer depois de muitos anos do tratamento cúprico contra fungos. Já elas ocorrem, às vezes, nos solos de videira da França. Nos cafezais do Brasil, teme-se que a mesma coisa possa vir a acontecer (ANDRADE, 1973). Com pH altos (da ordem de 6 a 7,5), as toxicidades em cobre desaparecem.

. *Manganês*: as toxicidades por ação deste elemento são bastante frequentes nos solos tropicais. De modo geral elas provem da solubilização do manganês sob influência do pH.



Essas toxidades são muito frequentes:

- a $\text{pH} \leq 5,0$: para o algodão: Brasil, Congo, Costa do Marfim, etc;
- a $\text{pH} \leq 4,5$: para o amendoim: Senegal, Congo, etc;
- a $\text{pH} < 5,5$: para o feijão e a soja: Madagascar, Campo Cerrado do Brasil, etc;
- a $\text{pH} < 5,2$: para o milho: Madagascar (não se conhece outro exemplo).

. *Molibdênio*: praticamente não há um caso de toxidade assinalado na literatura referente a solos tropicais.

. *Cloro*: os raros casos de toxidade em meio tropical provêm do uso de cloreto de potássio em plantas sensíveis tais como abacateiro e ramie, e também do resíduo proveniente das fumaças industriais.

XIV.2. DINÂMICA DOS ELEMENTOS-TRAÇOS

XIV.2.1. Importância do pH

A assimilabilidade dos elementos-traços varia muito em função do pH conforme a *Figura XIV.1*.

Apesar de serem um pouco diferentes, os dois tipos de curva dão uma boa idéia dos fatos seguintes:

- a assimilabilidade da maioria dos elementos-traços, aqui para o B, Cu, Mn e Zn, diminui quando o pH sobe;
- a assimilabilidade do Mo e do Cl, ao contrário, aumenta com a subida do pH.

Sabe-se que com pH ácidos ($\text{pH} < 6,5$), o boro e o zinco se apresentam sob forma de ácidos fracos; mas com pH em torno de 7,0, dariam com o cálcio do solo as formas boratos e zincatos de cálcio que são pouco solúveis, porém essa solubilidade aumentaria com a variação do pH, passando este de 7,5 até 8.

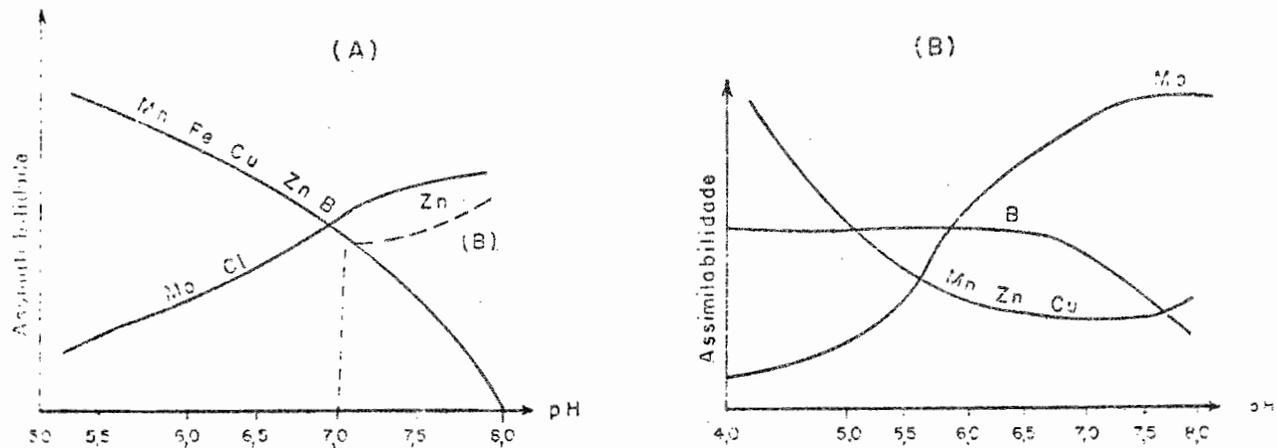


Fig. XIV.1 - Assimilabilidade dos elementos traços em função do pH do solo.

A - Segundo SULLIVAN (1972); B - Segundo COELHO e VERLENGIA (s.d.)

O papel desempenhado pelo pH explica por que as ca rências em boro, zinco, cobre e manganês aparecem sobretudo nos solos alcalinos ou, pelo menos, em torno da neutralidade; o que para o molibdênio é o inverso, a tal ponto que, a pH 4,5, um teor de 3,5 ppm de molibdênio assimilável é apenas su ficiente, mas, a pH 7,0, este mesmo teor pode se tornar tóxi co para os animais que comem a erva que cresce neste solo (JUS TE, 1970). Da mesma maneira, uma subida do pH, com calagem por exemplo, põe fim às toxicidades do manganês e do cobre, mas po de provocar carências em zinco e cobre nos solos pobres nes tes dois elementos.

A propósito da ligação entre pH e cobre, foram deter minados para o milho, na França, os dados seguintes (DROUINEAU e MAZOYER, 1962):

- pH 6 e Cu trocável = 50ppm: toxicidade ligeira;
- pH 6 e Cu trocável = 100ppm: toxicidade média;
- pH 6 e Cu trocável = 200ppm: toxicidade forte;
- pH 6 e Cu trocável = 50ppm: toxicidade média;
- pH 6 e Cu Trocável = 100ppm: toxicidade muito forte.

Nos solos tropicais haveriam certamente números um pouco diferentes mas o fenômeno seria o mesmo.

Para o manganês a *Tabela XIV.1* indica a variação do manganês trocável em função do pH.

TABELA XIV.1 - pH do solo e manganês trocável (extraído por uma mistura de ácido acético e acetato de amônio tam ponada ao pH do solo). Solo podzólico argiloso do Congo (África), segundo FRANQUIN, 1958:

pH do Solo	Mn Trocável (ppm)
5,2	6,3
5,0	13,0
4,9	17,0
4,8	18,6
4,7	32,0
4,3	106,0

XIV.2.2. A Matéria Orgânica

A matéria orgânica do solo tem a propriedade de formar com os elementos-traços complexos muito estáveis. Os elementos-traços, assim presos, só se encontram disponíveis para as plantas ao decorrer da mineralização da matéria orgânica; por outro lado, eles constituem uma reserva de importância maior para o abastecimento a médio prazo.

O fenômeno parece mais fraco no caso do molibdênio e do boro; embora existam carências em boro, elas ocorrem nas árvores (Eucaliptus) principalmente na estação seca, quando o processo da mineralização do humus está parado pela falta de umidade (África Oriental e Brasil).

Para o cobre o zinco, um excesso de matéria orgânica provoca carências; essas são frequentes em solos de turfas. A retenção desses elementos pela matéria orgânica é muito forte, dessa forma é possível acabar com toxidades de cobre com a aplicação de 30 a 40 ton/ha de estrume de corte (mistura fermentada de palha de cereais e de excremento de animais, sobretudo bovinos).

No caso do manganês a diminuição do teor de humus ao decorrer de culturas sucessivas, associada à queda do pH que acontece ao mesmo tempo, pode provocar toxidades espetaculares, arruinando muitas das culturas.

XIV.2.3. Os Colóides do Solo

Todos os colóides minerais, notadamente os óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio e as argilas, podem fixar os elementos-traços. Embora o papel desempenhado seja bastante fraco, no que diz respeito às quantidades fixadas (sobretudo ao compor com as da matéria orgânica), ele é importantíssimo no ponto de vista qualitativo, porque essas fracas quantidades são totalmente e imediatamente disponíveis para as culturas.

De modo geral, o molibdênio, o cobre o zinco se fixam nas argilas e o boro, principalmente, nos colóides ferruginosos e aluminosos. O mesmo pode acontecer com o manganês nas argilas, mas, as quantidades assim fixadas são tão fracas, em relação àquelas complexadas pela matéria orgânica, que o fenômeno parece secundário.

XIV.3. TEORES DE ELEMENTOS-TRAÇOS NO SOLO

XIV.3.1. Características Principais

Existem duas características importantes:

- o teor crítico de carência, abaixo do qual as carências ocorrem;
- o teor crítico de toxidez, acima do qual há acidentes de toxidez.

Em meio artificial, esses dois teores são muitas vezes próximos. Felizmente o solo tem um poder tampão importante embora, em muito, aqui o problema seja dificultado pelas análises de elementos-traços sempre difíceis, por causa dos fracos teores deles nos solos, e pela dinâmica particular desses elementos que pode mudar bastante os teores críticos em função do pH, da matéria orgânica, etc.

XIV.3.2. Teores Críticos de Carência

. *Boro*: o boro é um dos elementos-traços cujo teor crítico de carência é bem conhecido. Ele se situa entre 0,10 e 0,20 ppm de boro extraído à água quente. Isso é válido para os solos de pH ácido ($\text{pH} < 7$); com solos neutros e alcalinos é provável que ele seja mais alto (BOYER, 1982).

. *Manganês*: as ocorrências de carência em manganês são bastante raras nos solos tropicais. Para encontrar um teor crítico de carência, parece que é necessário de combinar pH e teor de manganês do solo. Como exemplos temos:

- Estados Unidos: pH = 7; 25 ppm de Mn redutível: dá-se a ca
rência de Mn sobre aveia;
pH < 5; 25 ppm de Mn redutível: há toxicidade
para aveia;
- Zaire: a carência aparece no Coffea arabica a pH > 6,4 nos
andossolos do Kivu, seja qual for o teor do manganês
do solo (CULOT e VAN WAMBEKE, 1958);
- África Oriental: algumas ocorrências sobre a árvore do chá
(CHENERY e SCHOEMAEKERS, 1959).

. Molibdênio: geralmente as carências aparecem a pH baixo são por causa da dinâmica do molibdênio. As carências de vido a um "deficit" absoluto de Mo são raras; por exemplo, em certos latossolos e solos turfosos de São Paulo há carência em molibdênio com pH muito ácido (MALAVOLTA, 1967). A solução para esse problema é obtida seja por meio de uma calagem, pa ra fazer subir o pH, ou por um aporte de alguns quilogramas de molibdato de amônio por hectare. De qualquer maneira, a análi se de molibdênio do solo é bastante dificultada pelos teores fraquíssimos; parece provável que o limite de carência do mo libdênio assimilável esteja em torno de 0,04 a 0,09 ppm, daí a até a ordem do centésimos de ppm.

. Cobre: de modo geral, as carências em cobre aparecem principalmente nos solos arenosos pobres, nos solos muito ricos em matéria orgânica (por causa da complexação) e nos so los cujo pH subiu rapidamente após uma calagem (papel do pH).

Segundo MALAVOLTA (1976), são suficientes para o de senvolvimento das culturas em São Paulo teores da ordem de 20 a 30 ppm de cobre total nos solos muito orgânicos e 4 a 6 ppm de cobre total nos solos normais.

No oeste da França, o teor crítico foi determinado em torno de 7 a 8 ppm de cobre total.

. *Zinco*: carência em zinco aparecem com certa frequência no Brasil sobretudo nos campos cerrados (GALRÃO, SUHET e SOUZA, 1978); também em São Paulo esse problema tem sido registrado sobre cafeeiro, laranjeira e milho.

Os americanos colocam o teor crítico de carência de zinco "extratível" a 0,5 ppm para pH < 6,5 ou a 1,4 ppm de modo geral (TRIERWEILER e LINDSAY, 1969); na França situa-se entre 1 e 3 ppm de zinco extraído a HCl diluído e na África poderia estar em torno de 0,5 ppm para o cacauzeiro (GESTIN e ROUX, 1974) e 1 ppm para o milho (OSINAME et al., 1973). Trata-se do Zn extraído com HCl 0,1 N nestes dois últimos casos.

XIV.3.3. Teores Críticos de Toxidez

. *Boro, Molibdênio e Zinco*: casos de toxidez para estes três elementos são raríssimos na zona tropical.

. *Cobre*: a toxidez aparece nos solos naturalmente ricos em cobre, ou enriquecidos em cobre por tratamentos fitosanitários durante muitos anos; desaparece com pH baixo. Segundo ANDRADE (1973), 200 ppm de Cu assimilável são tóxicos para o cafeeiro nos solos de pH = 5,5, porém sem inconvenientes nos solos a pH = 6,3 (trata-se aqui de latossolos e regossolos de São Paulo).

. *Manganês*: o manganês é o elemento que gera maiores problemas de toxicidade nos solos tropicais. Vejamos alguns exemplos:

- Mn extraído com acetato de amônio tamponado a pH do solo:
 - . Algodão: 10 a 13 ppm - no Congo;
 - . Amendoim: 100 ppm - no Congo;
- Mn solúvel na água carbonatada:
 - . Algodão: 10 ppm - na Costa do Marfim;

- Mn trocável:

- . Sisal: 100 ppm - na Tanzânia;
- . Algodão sadio: 20 ppm - Brasil (São Paulo);
- . Algodão doente: 40 ppm - COSTA et al., 1977.

A quantidade total de manganês no solo por si só não tem importância. O que importa para o desenvolvimento das toxidades é a associação de um pH baixo e de um teor alto de manganês nos solos. Praticamente nenhuma toxidez aparece com pH da ordem de 5,5 e sobretudo superior a este. Por esta razão os técnicos aconselham juntar corretivos ao solo para alcançar este pH. Exemplo:

- em campo cerrado, preconiza-se:

- . pH 5,5 para o feijão;
- . pH 6,0 para a soja e o Stylosanthes.

Para valores de pH dessas ordens, não há riscos de toxicidade mangânica seja qual for o teor de manganês total no solo.

XIV.4. UM CASO PARTICULAR: O CLORO

O cloro está muito mal retido no solo pela matéria orgânica e os colóides minerais e, por isso mesmo, é facilmente levado fora do perfil pelas águas de drenagem. Ele é o elemento-traço mais sensível à lixiviação. Apesar disso, o cloro desempenha um papel certo na fisiologia das plantas e estas precisam de quantidades de cloro que, embora ínfimas, devem ser constantes. As plantas podem aproveitar o cloro da atmosfera mas, no caso geral, o solo é a fonte normal desse elemento para o abastecimento delas. É preciso que o solo seja percorrido por uma corrente constante de cloro através da água da chuva que traz ao solo o cloro dos aerossóis de origem marinha. Por esta razão, carências em cloro aparecem só no centro dos continentes (Zaire) e em certos micro-climas (Colômbia). O coqueiro, que gosta muito de cloro, cresce melhor perto do mar; em outros lugares ele precisa de cloretos, como por exemplo o cloreto de potássio, sob forma de adubos.

CAPITULO XV

EQUILÍBRIOS ENTRE ELEMENTOS QUÍMICOS DO SOLO ANTAGONISMOS-SINERGIAS-INTERAÇÕES

XV.1. DEFINIÇÃO

Ao estudar a composição mineral do solo e o abastecimento das plantas a partir dos elementos químicos que ele contém, costuma-se, muitas vezes, avaliar as quantidades de cada elemento em si e não teores de cada um ligados entre eles. Os primeiros trabalhos precisos sobre esse assunto das "interrelações" entre elementos parecem ter sido feitos pelo alemão LOEW (1892) no fim do último século. Desde então, muitos progressos ocorreram, particularmente no domínio intertropical, onde, em geral, os fracos teores de elementos úteis as plantas definem a grande importância do balanço equilibrado entre esses elementos.

Geralmente se caracteriza as ações recíprocas dos elementos químicos presentes dentro do solo, em relação ao abastecimento das culturas, pelas palavras "antagonismo", "sinergia" e, às vezes, "interação".

Há antagonismo se a presença de um elemento está freando a penetração de um outro no interior das raízes.

Há sinergia se um elemento ajuda um outro a penetrar na planta.

No caso do excesso de um elemento qualquer, geralmente ocorre distúrbios fisiológicos no organismo vegetal. Neste caso o antagonismo com outro elemento é de modo geral muito útil, o primeiro elemento freia a entrada do segundo na raiz e, reciprocamente, o segundo freia o aproveitamento do primeiro. o conjunto deste mecanismo atua como um "antagonismo de regulação" moderando o abastecimento dos dois. Na ausên

cia de um elemento, o outro se tornaria absorvido em excesso pelas raízes, ocorrendo efeitos de toxicidade.

Infelizmente, na natureza, a separação entre os dois fenômenos - antagonismos e sinergia - não é tão nítida como indicado acima. Uma sinergia pode se transformar em antagonismo e geralmente quando isso ocorre, a sinergia existe com teores muito fracos de dois elementos; quando os teores se tornam mais elevados, ela se transforma em antagonismo de regulação. Reciprocamente, um antagonismo pode se transformar em sinergia (MARTIN-PREVEL e DUGAIN, 1962).

Em todos os tipos de solos ocorrem equilíbrios envolvendo antagonismos e sinergias. Contudo esses fenômenos parecem mais importantes nos solos tropicais pelas seguintes razões:

- muitos solos tropicais, principalmente latossolos e solos podzólicos espessos, não possuem mais minerais da rocha-mãe daí ter a planta a impossibilidade de compensar o "deficit" do solo em um dado elemento em apenas dissolvendo um pouco os minerais primários, mesmo se já algo alterados, que contêm este elemento em reserva;
- o complexo sortivo é geralmente de valor fraco e está mal saturado pelas bases;
- o pH, se for baixo demais, prejudica a assimilabilidade do fósforo e a rapidez da mineralização do nitrogênio, do enxofre e de todos os elementos químicos que a matéria orgânica contém.

Essas razões explicam porque ocorre um esgotamento fácil de um certo elemento ou vários elementos por culturas sucessivas e que pode gerar desequilíbrios com outros elementos. Equilíbrios não perfeitos podem existir nos solos cobertos de vegetação natural. De modo geral, eles aparecem sobretudo após alguns anos de culturas. Devemos considerar que nos solos de zona úmida, a queima da floresta traz ao solo muitos

elementos químicos através das cinzas. Isso pode modificar completamente os equilíbrios pré-existentes. Geralmente a modificação é favorável.

XV.2. EQUILÍBRIOS ENTRE ANIONS MAIORES

XV.2.1. Equilíbrio Carbono-Nitrogênio

A relação C/N caracteriza o equilíbrio mais conhecido nos solos. Basta lembrar alguns valores-chaves para o fornecimento do nitrogênio às culturas através da mineralização da matéria orgânica do solo. Vejamos:

C/N < 9 - relação fraca; a mineralização da matéria orgânica se desenvolve muito rapidamente, daí as possibilidades de perdas de nitrogênio e esgotamento rápido do estoque de húmus;

C/N entre 9 a 12 - valores regulares; a mineralização da matéria orgânica se processa numa rapidez "normal", daí o fornecimento normal de nitrogênio às plantas;

C/N entre 13 a 25 - a medida que o valor da relação C/N cresce, a mineralização da matéria orgânica se faz cada vez mais lentamente;

C/N > 25 - a mineralização fica parada por falta de um teor suficiente de nitrogênio.

Convém lembrar que muitos latossolos e solos podzólicos têm relações C/N compreendidos entre 12 e 15 sob vegetação natural; depois do desmatamento e da cultura estes valores caem facilmente até 10-12.

XV.2.2. Equilíbrio Nitrogênio-Fósforo (DABIN, 1956)

A relação entre nitrogênio total e fósforo total é considerada ideal quando:

$$4 > \frac{N \text{ total } \%}{P_{2}O_{5} \text{ total } \%} > 2$$

Entre estes dois limites (4 e 2%), a relação indica que as alimentações fosfórica e nitrogenada estão balanceadas. Naturalmente essa consideração não leva em conta os níveis absolutos destes dois elementos que podem ser insuficientes ou regulares. Podemos então considerar que para:

$N/P_{2}O_{5} > 4$: o solo se encontra com "deficit" em fósforo em relação ao nitrogênio; neste caso é inútil fornecer adubação nitrogenada sem previamente fazer aportes de fósforo;

$N/P_{2}O_{5} < 2$: o solo está relativamente bem guarnecido em fósforo em relação a um nitrogênio deficiente, daí a utilidade neste caso de um aporte de nitrogênio;

$4 > N/P_{2}O_{5} > 2$: o equilíbrio é bom, cada aporte de adubos nitrogenados tem que estar acompanhado de adubos fosfatados, para não gerar desequilíbrio.

O mesmo tipo de relação existe com o fósforo assimilável (aquele extraído pelo método Bondy), vejamos:

$10 < \frac{N \text{ total } \%}{P_{2}O_{5} \text{ Ass. } \%} < 20$ - relação boa; todo aporte de N tem que ser equilibrado por aporte de P;

$\frac{N \text{ total } \%}{P_{2}O_{5} \text{ Ass. } \%} < 10$ - o solo precisa mais de N do que de P;

$\frac{N \text{ total } \%}{P_{2}O_{5} \text{ Ass. } \%} > 20$ - o solo precisa mais de P do que N.

Deve-se observar que para as plantas que gostam muito do fósforo (cacaueiro por exemplo), o melhor é que essas relações sejam próximas dos valores limitantes inferiores, pelo que se pode sugerir:

$$\frac{N \text{ total } \%}{P_{2}O_{5} \text{ total } \%} - \text{um pouco superior a } 2;$$

$$\frac{N \text{ total } \%}{P_{2}O_{5} \text{ Ass. } \%} - \text{um pouco superior a } 10.$$

XV.2.3. Equilíbrio Nitrogênio-Enxofre

Nos solos existe sempre uma forma de equilíbrio entre os teores de nitrogênio total e os teores de enxofre total. Os valores médios seriam, segundo vários autores:

$$\frac{N \text{ total } \%}{S \text{ total } \%} - \text{em torno de } 10 \text{ (DABIN, 1970b) na África Ocidental;}$$

$$\frac{N \text{ total } \%}{S \text{ total } \%} - \text{vizinho de } 9 \text{ (OKE, 1970), na Nigéria;}$$

$$\frac{N \text{ total } \%}{S \text{ total } \%} - \text{em média } 8,93 \text{ (FONTES, et al., 1982), no Brasil.}$$

Os valores acima são considerados para solos normais que não apresentam problemas com teores absolutos de enxofre e de nitrogênio. O valor desta relação pode ir até 5 sem criar "deficit" de nitrogênio em relação ao enxofre (OKE, 1970). Outro fato a considerar é que não se conhece bem o limite superior de N/S. Talvez ele pudesse ficar em torno de 15 porque este número representa mais ou menos a relação crescente entre N e S nas proteínas vegetais (STEWART, 1969). É verdade que DABIN (1970b) chamou a atenção para uma carência em enxofre com uma relação N/S = 20. Entretanto, seja o que for considerado, um equilíbrio N/S em torno de 9-10 parece ótimo nos solos, o equilíbrio C/N mostra valores bons entre 9 e 13 (média 10), nos solos, o equilíbrio global C/N/S ficará num solo normal a 100/10/1 (valor médio) com certas variações regulares (90/10/0,9 até 130/10/1,2).

XV.3. EQUILÍBRIOS ENTRE CÂTIONS MAIORES

XV.3.1. Antagonismos Cálcio-Magnésio

Quando absorvido em excesso pelas plantas, o magnésio se torna tóxico. Por ser bastante móvel, ele se desloca com relativa facilidade no interior do organismo vegetal até cada célula. Ao contrário, o cálcio, que é pouco móvel, acumula-se muitas vezes em certas partes da planta (acumulações sob forma de cristais de oxalato de cálcio por exemplo), sem que o excesso se torne tóxico. Este é um exemplo de consumo de luxo, i.e., sem nocividade, ao invés do que acontece para o magnésio. Esses comportamentos são os que normalmente ocorrem para a maioria das plantas, porém existem exceções.

Um dos fatores que impede um consumo excessivo de magnésio é a presença de cálcio trocável no solo; reciprocamente a presença de magnésio impede o consumo excessivo de cálcio. É possível dizer que o antagonismo cálcio-magnésio gera uma regulação do abastecimento em cálcio pelo magnésio e do magnésio pelo cálcio (antagonismo de regulação). Naturalmente este antagonismo atua entre dois limites: inferior e superior. O limite inferior da relação Ca trocável/Mg trocável no solo, parece vizinho de 1; abaixo de 1 o magnésio pode se tornar tóxico ao entrar em quantidades demasiadas nas plantas. O limite superior é menos nítido; segundo trabalhos realizados sobre a bananeira, alguns sinais de deficiência em magnésio aparecem nas folhas com Ca/Mg superior a 5 e se tornam frequentes com Ca/Mg maior que 10 (GODEFROY et al., 1978). É certo que o cacauzeiro suporta muito bem relações Ca/Mg da ordem de 7. De modo geral o limite superior da relação Ca/Mg para as plantas perenes tropicais parece da ordem de 10 ou um pouco superior a este número. As plantas anuais são mais tolerantes sobretudo as leguminosas (amendoim, soja, etc) para as quais a relação Ca/Mg pode subir até 40 ou 50; os cereais (trigo, milho, etc.) parecem ter uma tolerância semelhante.

Entre o limite superior e o limite inferior (faixa aceitável) existe uma faixa ótima; esta seria:

Ca/Mg = 1,5; para a bananeira (Costa do Marfim, Antilhas);
Ca/Mg entre 2 e 4; para o cafeeiro arábico (África Oriental)
Ca/Mg = 3; para várias culturas do Campo Cerrado;
Ca/Mg entre 1, 5 e 4; para o cacauzeiro na América Central (HARDY, 1960).

De modo geral, os valores compreendidos entre 1,2 até 5 para a relação Ca/Mg são ótimos para a maioria das plantas cultivadas.

XV.3.2. Antagonismo Potássio-Magnésio

Nota-se que muitas vezes o aporte de um adubo potássico sobre um solo pobre em magnésio provoca uma absorção exagerada de potássio que se torna rapidamente tóxico. Ao mesmo tempo o consumo de magnésio se encontra muito reduzido. O fenômeno inverso pode acontecer com adubação magnesiana sobre um solo pobre em potássio, quando ocorre aumento muito forte do consumo de magnésio, e diminuição nítida do consumo de potássio. Neste caso, por si só, o consumo já é fraco, devido aos baixos teores em potássio do solo. Porém, comparando as toxidades, sendo o magnésio menos móvel do que o potássio, as toxidades geradas por ele no organismo vegetal aparecerão mais devagar e com menos facilidade do que para aquelas geradas pelo potássio.

De tal maneira, se fosse relativamente fácil de acertar valores mínimos para a relação Mg/K, os limites superiores desta ficam pouco definidos ou incertos para muitas plantas.

Da Tabela IV.1, reportariando alguns valores da relação Mg/K, é possível tirar as conclusões seguintes, as quais são consideradas puramente a título de hipótese:

TABELA XV.1 - Alguns valores do equilíbrio magnésio-potássio. Relação Mg/K, segundo vários autores citados por BOYER, 1982.

Cultura	País	Límite Inferior	Límite Superior	Observações
Bananeira	Guiné	3,0	n.d	Solos ricos em Mg
	Costa do Marfim	3,0	2,5	
	Antilhas	2,0	3,7 (?)	
Cafeeiro Robusta	República Centroafricana	2,1 com K < 11% SBE	3,8 com K 2,5 SBE	
Cafeeiro Arábica	Zaire	3,0 com K > 11% SBE	2,5 com K > 2,5 SBE	
		> 2,2	n.d	
	Costa Rica	n.d	16,5 - 18	
Citrus	Califórnia	2	> 12	Solos ricos em Mg
Coqueiro	Costa do Marfim	n.d	> 20	
Dendzeiro	Nigéria	3,5-4,0	n.d	Solos pobres em Mg
	Congo	> 2	n.d	
Algodão	Costa do Marfim	3,0	25	
	Camarões (parte Norte)	3,0	25	

Obs.: n.d = não determinado

> e < = os limites estão acima e abaixo do número indicado

- a) o limite inferior pode variar de 2 até 3,5, em certos casos pode ir até 4. Esta variabilidade parece sobretudo relacionada com o teor de magnésio trocável no solo: o limite 2 seria para solos relativamente ricos em magnésio (Mg trocável nitidamente superior a 1 E.mg/100g), 3 nos solos medianamente guarnecidos em Mg (0,40 a 1,0 E.mg/100g de Mg trocável) e da ordem de 3,5-4,0 nos solos pobres em magnésio (menos de 0,40 E.mg/100g de Mg trocável);
- b) o limite superior se encontra geralmente em torno de 16, 20, 25 segundo os solos, 20 sendo um valor médio. Contudo nos solos bastante pobres em potássio, ela pode se aproximar do limite inferior até valores próximos de 4;
- c) valores ótimos da relação Mg/K se encontram geralmente, para a maioria das plantas cultivadas, numa faixa em torno de 3-4 e um pouco acima destes números. Elas seriam em particular: 3 para o cafeeiro arábica; 4 e um pouco superior a 4 para o dendezeiro. A bananeira apresenta uma exceção: parece adaptar-se melhor para Mg/K = 2,5 como nos solos ricos das Antilhas embora possa suportar perfeitamente valores mais elevados.

XV.3.3. Antagonismos Cálcio-Potássio e Relação (Ca+Mg)/K

Com certeza existe um antagonismo Ca-K no solo. Contudo este equilíbrio não aparece com tanta nitidez como os equilíbrios Ca-Mg e Mg-K; de tal maneira ele é sutil que se encontra geralmente escondido por estes dois últimos. De outro lado o cálcio trocável no solo é, normalmente, o cátion mais abundante. Este fato faz com que os pesquisadores preferiram estudar a relação (Ca + Mg)/K. Na *Tabela XV.2* se encontram registrados alguns valores mínimos e máximos para esta relação. Apesar do pequeno número de exemplos citados, e da variabilidade dos dados, as seguintes observações podem ser feitas:

- a média do limite mínimo se encontra em torno de 12-14;
- o limite máximo seria na faixa 30 a 50, sobretudo entre 40 e 50;
- os valores acima variam com a granulometria do solo numa proporção importante.

TABELA XV.2 - Alguns valores da Relação (Ca+Mg)/K, segundo vários autores citados por BOYER, 1978.

Planta	País	$\frac{Ca + Mg}{K}$	
		Mínimo	Máximo
Cafeeiro robusta	República Centroaté fricana	12	30
. Argila + Silte = 10%		18	até
. Argila + Silte = 18%		24	40
. Argila + Silte = 24%			
Cafeeiro arábica	Costa Rica	9	44 até 53
	Kenia	10	n.d.
Cacaueiro	Brasil		
. Argila + Silte = 34%		13 a 15	>30
Bananeira	Costa do Marfim	n.d.	40 a 50

XV.3.4. Balanço Catiônico nos Solos

Diante da complexidade dos antagonismos sinérgias e interações, vários autores tentaram separar as proporções aceitáveis entre cations maiores do solo. A Tabela XV.3 mostra alguns exemplos para culturas e solos da África, como a título de comparação, aquele que é considerado bom para os solos temperados cultivados do centro e do norte da França.

TABELA XV.3 - Proporções de cátions maiores consideradas aceitáveis em alguns solos, segundo vários autores citados por BOYER, 1982.

Cultura (e solos)	País	Cátion		
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺
		(em % da soma Ca + Mg + K)		
Cafeeiro arábica (La tossolos e solos lúviais)	Zaire	75	18	7
Várias culturas (so los podzólicos e hī dromorfos)	Costa do Marfim	65	32	3
Cacauzeiro (Solos pod zólicos)	Costa do Marfim	64	31	5
Culturas (anuais (So los podzólicos)	Congo e Gabão	63	29	8
Várias culturas (So los temperados)	França	75-80	10-15	3-6

Parece que, num balanço aceitável, o cálcio está so
mando até dois terços ou três quartos da soma das bases trocá
veis e que o magnésio representa a metade da quantidade do
cálcio; o potássio representa entre 3 e 8% do total da soma
Ca + Mg + K, sendo estas percentagens calculadas a partir dos
elementos trocáveis expressos em miliequivalentes por 100 gra
mas do solo.

Calculando os equilíbrios por meio desses valores:

Ca/Mg é incluindo entre 2 e 4 (6 - 7 nos solos da França);

Mg/K é incluindo entre 2,6 e 10 (2 - 4 nos solos da França);

$\frac{Ca+Mg}{K}$ é incluindo entre 12 e 30 (15-32 nos solos da França);

XV.4. EQUILÍBRIOS ENTRE CÁTIONS E ANIONS MAIORES

XV.4.1. Sinergia Indireta Ca-P

Um aporte de cálcio num solo ácido favorece muito a assimilabilidade do fósforo já existente no solo (MALAVOLTA, 1967). Isso pode ser relacionado aos seguintes fenômenos:

- diminuição do teor de Al-trocável no solo por causa da neutralização deste pelo cálcio. O fósforo e o alumínio trocável são antagonistas;
- transformação do fósforo pouco assimilável (P-Fe, P-Cu) em fósforo muito assimilável (P-Ca) sob a ação conjunta do pH mais alto e da presença de cálcio;
- aumento da atividade das bactérias do solo, que ocorre sempre quando um pH muito baixo sobe devido a calagem; as bactérias liberam então o fósforo (não assimilável) ligado a matéria orgânica.

Por esta razão se pensa que a sinergia Ca-P, quando existir, se produz sobretudo através da ação do pH.

XV.4.2. Sinergia Mg-P

Existe uma sinergia direta entre o magnésio e o fósforo. Esta foi evidenciada misturando o superfosfato triplo com a serpentina (silicato de magnésio). Apesar do pH ficar estável, a absorção do fósforo da mistura pelas plantas foi melhorada em relação à do superfosfato triplo sozinho. Os termostatos, mistura calcinada de apatita e de olivina (silicato de magnésio e ferro) aproveitam esta sinergia, embora a presença de cálcio (na apatita) impede de evidenciá-la com certeza.

XV.5. EQUILÍBRIOS ENTRE CÂTIONS OU ÂNIONS MAIORES E ELEMENTOS TRAÇOS

XV.5.1. Papel do pH sobre a Assimilabilidade dos Elementos Traços

Principalmente através dos estudos de SULLIVAN (1972) e COELHO e VERLENGIA (s.d.), sabe-se hoje que uma subida do pH faz diminuir a assimilabilidade do boro, manganês, ferro, cobre, zinco e alumínio. Ao invés, ela aumenta a assimilabilidade do molibdênio.

Depois de um aporte de cátions, sobretudo de Ca^{++} e Mg^{++} , seria necessário separar a ação da subida do pH sobre a assimilabilidade dos elementos traços e a ação que provem dos cátions por si sô (sinergia ou antagonismo). Entretanto isso não é possível em muitos casos.

XV.5.2. Antagonismo Ca-Al

A calagem parece neutralizar o alumínio trocável através da subida do pH. Contudo, ao mesmo tempo, o cálcio desloca o alumínio trocável do complexo sortivo. Tudo isso é devido à ação do pH e ao mecanismo de troca de bases.

Por outro lado, calagens que não fazem subir o pH por serem muito fracas ou feitas com gesso (o $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ é ligeiramente ácido) provocam uma diminuição notável dos efeitos nocivos do alumínio trocável. Por esta razão, conclui-se muitas vezes que existe um antagonismo verdadeiro entre cálcio e alumínio.

XV.5.3. Antagonismo P-Al

Das pesquisas efetuadas sobre o antagonismo P-Al, merecem destaque aquelas efetuadas por BROWN e FOY (1964) e KAMPRATH (1972).

O alumínio trocável perturba muito o aproveitamento do fósforo pelas plantas. Primeiro o alumínio ajuda muito o fósforo a penetrar nas raízes, o que tem caráter de sinergia. Depois o alumínio insolubiliza o fósforo no interior da raiz a tal ponto que ele não pode migrar para as partes aéreas do vegetal e se acumula na raiz.

Do ponto de vista do agricultor, uma planta envenenada pelo alumínio trocável está assim doente, basicamente, por causa de uma carência em fósforo. Reciprocamente, é possível diminuir muito a nocividade do alumínio trocável por aportes de fosfatos (BOYER, 1976). Nos campos cultivados, este efeito favorável dos adubos fosfatados não é, na prática, unicamente devido ao fósforo. Os adubos fosfóricos mais baratos são fosfatos tricálcicos e escórias de defosforação que contém Ca e Mg (antagonistas de Al) e o ânion SiO_4^{4-} que mostra uma sinergia com o fósforo. Apesar disso, as interações entre fósforo e alumínio parecem bem comprovadas.

XV.5.4. Sinergia P-Si

Foi observado em culturas de cevada e cereais na Europa e de arroz no Japão, que um aporte de silicatos solúveis no solo fazia aumentar o metabolismo do fósforo pela planta. Foi constatado também nos latossolos nas ilhas Havaí, que um aporte de silicatos de cálcio (solúveis) aumentava a quantidade de fósforo solubilizado na solução do solo (ROY et al., 1971); o que quer dizer que o silicato diminui um pouco o poder de fixação do fósforo pelos solos ricos em ferro.

Apesar da opinião de alguns pesquisadores trabalhando na África Ocidental, não é certo que a sílica do solo, seja finamente dividida ou mesmo pseudo-coloidal, tenha o mesmo papel que os silicatos solúveis para afetar a sinergia P-Si.

XV.5.5. Antagonismos Ca-Mg e Mg-Mn

Para se evitar ou se eliminar as toxidades mangânicas, a calagem com calcário, ou melhor, com calcário magnesiânico ou dolomítico é de fundamental importância, pois essas toxidades não aparecem a pH superior a 5,5, exceto em solos encharcados de água de maneira permanente ou semi-permanente.

Em caso de toxidade mangânica, a subida do pH favorece a transformação do manganês divalente (MnO) altamente assimilável verso o manganês tetravalente (MnO_2) pouco assimilável. Contudo, foi comprovado que, com aportes de Ca e Mg sob forma de gesso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) e Kieserita ($MgSO_4 \cdot H_2O$) que não provocam a subida do pH, existem antagonismos entre Ca e Mn e também entre Mg e Mn, antagonismos que diminuem, de maneira notável, as toxidades mangânicas do antagonismo Mg-Mn através da Kieserita para combater o excesso de manganês no solo sem aporte de cálcio, isso porque a seringueira não gosta do cálcio, segundo COULTER (1972).

No limite de pH 5,5 uma calagem pesada num solo pouco fornecido em manganês pode gerar carências em manganês.

XV.5.6. Sinergia Ca-Mo

Esta foi comprovada com culturas de soja e amendoim, tanto nos Estados Unidos quanto no Senegal e Uganda. Carências em molibdênio podem ser corrigidas seja com aporte de molibdênio, seja com aporte de cálcio (FORSTER, 1970). Esta reversibilidade é sinal de uma sinergia nítida entre cálcio e molibdênio.

XV.5.7. Sinergia K-Fe

Evidenciou-se que um consumo normal de ferro pela planta é uma condição essencial para o abastecimento do vegetal em potássio. Reciprocamente, deficiências em potássio podem gerar carências em ferro com o aparecimento da doença cha

mada clorose. Por exemplo, o cafeeiro Robusta tem algumas dificuldades em aproveitar o potássio do solo em condições de hidromorfia; isso gera uma carência em ferro tão grave que o cafeeiro morre.

De modo geral uma boa alimentação em ferro é necessária para uma boa alimentação em potássio e reciprocamente (FORESTIER e BELEY, 1969).

XV.5.8. Sinergia P-Mn

Às vezes, nos solos ácidos (pH em torno ou abaixo de 5,0), um aporte de superfosfatos concentrados (superfosfato "tríplo") parece provocar diminuição das colheitas, doenças e, até mesmo, a morte da planta, apesar do fato de ser o solo carente em fósforo. Exemplos dessa constatação são fornecidos por BOYER (1980) para o algodoeiro na Tanzânia e Uganda, o tomateiro no Brasil e a batatinha no Canadá e no Brasil.

Depois dos trabalhos do inglês LE MARE (1977), sabe-se que os fenômenos acima provêm da sinergia existente entre fósforo e manganês. A presença de manganês, pelo menos em pouca quantidade, é necessária para o aproveitamento do fósforo pela planta e vice-versa. Por outro lado, um aporte pesado de superfosfato triplo vai favorecer a entrada do manganês nas raízes e, nos solos onde o manganês assimilável se encontra abundante (geralmente trata-se de solos ácidos com pH em torno ou abaixo de 5,0), este penetra no interior da planta em quantidade tão grande que se torna tóxico.

Para prever essa toxicidade e impedi-la de aparecer após a adubação fosfatada, o melhor meio consiste em utilizar o antagonismo Ca-Mn. Por esta razão, LE MARE (1977a,b,c) aconselha, nos solos ácidos, a usar adubos fosfatados tendo mais átomos de Ca do que átomos de P, ou, pelo menos, o mesmo número de átomos de P e Ca.

Nos solos ácidos é recomendado usar:

- fosfato tricálcico: $2P$ e $3Ca$; $Ca/P = 1,5$;
- superfosfato simples: $Ca/P > 1$;
- fosfato bicálcico: Ca/P da ordem de 1;
- escórias de defosforação: Ca/P entre 3 e 4.

São desaconselhados; sem calagem prévia, usar:

- superfosfato triplo: $Ca/P = 0,5$;
- fosfato de amônio: $Ca/P = 0$;
- fosfato de alumínio: Ca/P da ordem de 0,4.

XV.5.9. Antagonismo K-B

Embora caracterizado por HEATHCOTE e SMITHSON (1974) e por RAJARATNAN (1973), o antagonismo Potássio-Boro é conhecido desde há muito tempo nos solos temperados principalmente no norte dos Estados Unidos e no Canadá onde, muitas vezes, os solos possuem pouco boro. Nesses solos uma adubação potássica pode gerar uma carência em boro. Isso foi comprovado também nos solos tropicais, por exemplo nos Camarões e na Malásia, onde a adubação potássica pesada sobre dendezeiro (*Elacis guineensis*) pode, em certos casos, não somente prejudicar a alimentação em boro, mas também insolubilizar o boro no interior das raízes. Esse fenômeno se produz em solos que, antes da adubação, não apresentava sinais de deficiência em boro.

Se ocorrerem desordens na fisiologia da planta de pois de uma adubação potássica pesada, ou mesmo depois da queimada da floresta, deve-se imediatamente pensar no possível antagonismo potássio-boro, sobretudo se o solo for arenoso, pelo fato de que, geralmente, os solos arenosos são os solos mais desprovidos em boro. O remédio é o aporte de boro.

XV.5.10. Antagonismo P-Zn

Um aporte de fosfatos sob a forma de fosfato tricálcico abaixou nitidamente o teor de zinco nas folhas dos cafeeiros em São Paulo. Pensou-se em primeiro lugar no antago

nismo Zn-Ca já conhecido; contudo o cafeeiro mostrou os mesmos sintomas depois de uma adubação com fosfato de amônio (MALAVOLTA, 1976).

O antagonismo P-Zn parece, comprobatoriamente, existir realmente nos solos.

XV.5.11. Antagonismo K-Zn e Sinergia Mg-Zn

Um aporte de KCl num plantio de citrus na ilha de Trindade provocou uma diminuição da alimentação em zinco.

Ao contrário um aporte de magnésio ($MgSO_4$) provocou um súbito aumento nesta alimentação.

XV.6. EQUILÍBRIOS ENTRE ELEMENTOS-TRAÇOS

XV.6.1. Sinergia Al-Mn e Antagonismo Al-Cu

Alumínio trocável e manganês desenvolvem entre si uma sinergia temível (CHENERY, 1955; SEGALEN, 1973). O desenvolvimento progressivo do alumínio trocável nos solos cujo pH está abaixando gera uma alimentação excessiva em manganês. Reciprocamente nos solos ricos em manganês, a toxicidade do alumínio trocável se encontra aumentada. Esta sinergia arruinou as culturas industriais de amendoim no sul do Congo.

Por outro lado existe o antagonismo entre cobre e alumínio trocável (BROWN e FOY, 1964). Este antagonismo se manifesta a tal ponto que, num solo rico em alumínio trocável, a planta se torna carente em cobre.

XV.6.2. Antagonismo ou Sinergia Fe-Mn

Nos solos tropicais ácidos, um excesso de manganês assimilável pode gerar clorose das folhas por causa de um "deficit" em ferro provocado pelo antagonismo Fe-Mn. Isso foi constatado em várias partes do mundo tropical e também sobre cafeeiro no Brasil (MALAVOLTA, 1967). De outro lado, com te

res muito baixos de ferro e manganês nos solos, solos de coral por exemplo, é necessário fornecer ao mesmo tempo ferro e manganês, como acontece com os coqueirais da Oceania porque existe uma sinergia entre esses dois elementos. Consequentemente, a ausência a níveis baixíssimos de um desses dois elementos nos solos impede o aproveitamento do outro pelas plantas. Acontece aqui o que ocorre muitas vezes nos equilíbrios: uma sinergia a baixíssimos teores de dois elementos transformada em antagonismo com teores normais ou excessivos destes mesmos elementos.

XV.6.3. Antagonismo Mo-Mn

Teores baixos demais em molibdênio no solo favorecem a toxicidade mangânica. Isso foi verificado em leguminosas tropicais em solução hidropônicas e também nos solos da Austrália (WALKER, ADAMS e ORCHISTON, 1955).

Com fracos teores de manganês nunca o molibdênio se torna tóxico. Isso provavelmente é devido a desproporção quantitativa do manganês e do molibdênio nos solos: algumas dezenas até centenas de ppm de manganês assimilável e décimos de ppm de molibdênio assimilável.

XV.6.4. Antagonismo Zn-Cu-Fe

O cobre se for em excesso é o elemento mais susceptível de prejudicar o aproveitamento em zinco das plantas em solução nutritiva. Também, cobre em excesso nos solos pode freiar a absorção do ferro até desencadear clorose, porém de modo bastante irregular (DROUINEAU e MAZOYER, 1962). Para certos autores trata-se de um corte da alimentação em potássio (antagonismo K-Cu), daí uma repercussão sobre o abastecimento em ferro (sinergia K-Fe já indicada). Isso seria um antagonismo indireto.

Um excesso em zinco pode gerar uma clorose, parecido com a clorose gerada por excesso de cobre e manganês, porque ele participa também do metabolismo do ferro na planta. Porém aqui, a clorose devido ao excesso de zinco, é reconhecida pela cor esbranquiçada dos gomos (doença chamada em inglês, "*white bud disease*").

Um excesso de cobre na solução hidropônica onde crescem jovens cafeeiros arábicos provoca:

- um aumento do aproveitamento em cobre;
- uma diminuição do aproveitamento em zinco e ferro.

Parece existir, dessa forma, um antagonismo triplo: Cu-Zn; Zn-Fe; Cu-Fe.

XV.6.5. Antagonismo Zn-As

Foi demonstrado sobre citrus e cacauzeiro (GESTIN e ROUX, 1974) que o tratamento das ervas daninhas por um produto contendo arsênico na sua molécula provocava a morte das árvores por causa de uma carência aguda em zinco.

Isso é atribuído a um antagonismo muito forte entre arsênico e zinco.

CAPITULO XVI

CALAGEM

XVI.1. GENERALIDADES

XVI.1.1. Finalidade

A calagem consiste em aportes de corretivos cálcicos ou calco-magnesianos aos solos ácidos com a finalidade de fazer aumentar o pH e, também, de adicionar, a esses solos cálcio e magnésio. Essa é uma operação conhecida há muito tempo, provavelmente desde a antiguidade clássica (consta do "Tratado de Agricultura" de Catão, o Velho) e certamente no início da Renascença (BERNARD PALISSY, OLIVIER DE SERRES, s.ref.). No século dezoito, a calagem já estava bem codificada e empregada na agricultura da Europa Ocidental, a tal ponto que na França no início século dezenove, os contratos entre proprietários e arrendatários de terra mencionavam a obrigação da calagem dos solos ácidos. É necessário dizer que, naquela época, não se sabia exatamente o que era a acidez de um solo. A calagem não passava de prática empírica.

No caso dos solos tropicais, em geral menos ricos em cátions e mais ácidos do que os solos temperados, a calagem se mostra não somente útil mas indispensável, em muitos casos, para a produtividade e a intensificação da agricultura.

XVI.1.2. Vantagens da Calagem

Essas vantagens são sobretudo sentidas por:

- a) eliminar o alumínio trocável, assunto já mencionado no Capítulo XII - Alumínio Trocável;

- b) diminuir a assimilabilidade do manganês e, por conseguinte, sua toxicidade, favorecendo a transformação do manganês divalente (muito assimilável) em manganês tetravalente (pouco assimilável);
- c) aumentar a assimilabilidade do molibdênio, sabe-se que os fenômenos acima estão mais ou menos ligados ao aumento do pH gerado pelo aporte de corretivos cálcicos ou calco-magnesianos; por outro lado existem antagonismos Ca-Al e Ca-Mn e sinergia Ca-Mo que completam a ação do pH;
- d) desenvolver a atividade bacteriana quando muito fraca, o que normalmente ocorre a pH inferior a 5,0 e que cresce à medida que aumenta o pH; o papel das bactérias é muito importante na transformação das reservas não-assimiláveis do solo em elementos assimiláveis;
- e) aumentar a rapidez da mineralização do húmus, daí um melhor fornecimento de nitrogênio às plantas. De fato, a amonificação e a nitrificação se desenvolvem muito lentamente a pH inferior a 5,0; a amonificação é ótima a pH 6,0 e a nitrificação entre pH 6,0 e 7,5. Isto resulta no abastecimento melhor das plantas em nitrogênio a partir das reservas orgânicas do solo depois da calagem;
- f) aumentar a assimilabilidade do fósforo do solo; com o aumento do pH, as formas altamente assimiláveis, sobretudo P-Al e P-Ca, se desenvolvem, vejamos:
- . P-Al pouco assimilável a pH inferior a 5,0 se torna assimilável a pH superior a 5,0 e aumenta em proporção relativa,
 - . P-Ca ausente a pH 5,0, aparece para pH \geq 6,0,
- observar que nos solos com pH superior a 7, há diminuição da assimilabilidade do fósforo;
- g) fixar e reter melhor o potássio dos adubos sobre o complexo adsorvente do solo. Isso é devido a presença do cálcio (Capítulo X).

XVI.1.3. Inconvenientes Possíveis da Calagem

O método da calagem pode trazer os seguintes inconvenientes:

- a) custo elevado: as doses de calcário a serem aplicadas são da ordem de algumas toneladas, isto é, 5 a 10 toneladas. O preço do corretivo não é muito elevado (considera-se no Brasil que é da ordem de grandeza de uma adubação N.P.K.), mas o que é oneroso é a aplicação no campo e, sobretudo, o transporte a partir das jazidas;
- b) a calagem pode tornar pouco assimilável certos elementos traços como o cobre, o zinco e o manganês;
- c) a calagem aumenta a mineralização da matéria orgânica do solo, daí um melhor aproveitamento das culturas em nitrogênio, mas, conseqüentemente, favorece o empobrecimento do solo em humus. Por outro lado, o surto da mineralização do humus pode gerar perdas de nitrogênio. No caso geral dos solos francos, barrentos ou argilosos, este inconveniente não é muito grave porque o estoque de matéria orgânica é abundante no caso geral. Contudo nos solos muito arenosos (podsolos, por exemplo), tem-se que ser prudente ao fazer calagem para evitar esterilização por causa de perdas exageradas de humus;
- d) o efeito da calagem tem fraca duração por causa das perdas em cálcio por lixiviação. A *Tabela XVI.1* mostra que, num plantio de abacaxi da Costa do Marfim, as perdas de CaO vão de 14 a 26% do aporte durante uma estação chuvosa com 1.800mm de precipitação pluviométrica.

Considera-se que na zona tropical, o efeito de uma calagem de 1 a 3 toneladas por hectare de CaO não perdura mais de 3 a 4 anos. No fim deste período é necessário recomeçar a operação. Contudo FREITAS e VAN RAIJ (1975) acharam que, no campo cerrado paulista, uma calagem com 10 ton/ha de calcário-magnésiano mostrou, 6 anos depois, o seguinte efeito resi

dual importante: a parcela com calagem tinha uma soma Ca+Mg mais elevada de 1 E.mg/100g do que o total Al+Ca+Mg da parcela testemunha (sem calagem).

Seja qual for a duração útil da calagem, as perdas de cátions (Ca e Mg) crescem muito à medida que o clima se torna mais e mais úmido.

TABELA XVI.1 - Evolução do cálcio da calagem num plantio de abacaxi da Costa do Marfim, região com 1800mm de chuva (junho de 1968 a fevereiro de 1969), segundo GODEFROY, POIGNANT e MARCHAL (1971)

Aporte de CaO (kg/ha)	pH		Teor do solo em Ca E.mg/100g		Perdas de Ca em 9 meses e 1800mm de chuva	
	Jun/68	Fev/69	Jun/68	Fev/69	kg/ha	% do aporte
0	4,3	4,2	0,5	0,2	160	0
1650	5,5	5,1	3,5	2,3	630	14%
3300	6,4	5,7	7,3	4,4	1520	26%
6600	7,0	6,4	11,2	8,1	1630	14%

As perdas de cátions (Ca e Mg) após a calagem são geralmente proporcionais ao aporte (Tabela XVI.2). Por esta razão, prefere-se muitas vezes fazer calagens leves (300 kg/ha até 1 ton/ha de corretivo) cada ano ou cada dois anos. Neste aspecto a calagem se torna uma adubação anual de Ca e Mg da mesma maneira que na adubação NPK.

XVI.2. NECESSIDADE DA CALAGEM

Para se avaliar a necessidade da calagem é preciso levar em conta o tipo de cultura e o pH do solo.

XVI.2.1. Tipo de Cultura

As plantas acidófilas, tais como: seringueira, abacaxi, árvore-do-chá, guaraná e cravo-da-índia, gostam geralmente de pH da ordem de 5 e inferiores a este. Elas tem pouca sensibilidade ao alumínio trocável e ao manganês assimilável. Neste caso, a calagem é geralmente inútil e às vezes, perigosa. Contudo nos solos arenosos, pobres em bases e cultivados de maneira permanente (caso do abacaxi por exemplo) uma calagem fraca com dolomito pode se tornar útil para fornecer ao solo Ca e Mg e não para fazer subir o pH de maneira nítida. No caso da seringueira, basta fazer aporte de Kieserita ($MgSO_4 \cdot H_2O$), sendo o cálcio adicionado ao mesmo tempo que o fósforo por fosfatos tricálcicos (COULTER, 1972).

A maioria das plantas cultivadas preferem pH superiores a 5,0-5,2 por causa de uma sensibilidade mais ou menos desenvolvida em relação ao alumínio trocável; para elas, os pH mais favoráveis (melhor produtividade) se escalonam de 5,5 até 7,0 (bananeira, arroz, algodão, feijão, milho, caféiro, cacauzeiro, dendezeiro, etc). Em geral, basta um aumento do pH até 5,5, mais seguramente 6,0. O caso da mandioca é um pouco especial; neste o desenvolvimento da planta parece um pouco sensível aos pH baixos, porém foi demonstrado na África que a produtividade é bem melhor a pH 5,5-6,0 do que a pH inferior a 5,0 (isso em solos que não receberam cálcio). Entretanto, estudos feitos no Brasil mostraram que, em nenhum caso, a mandioca respondeu à calagem, pelo menos na Bahia (GOMES, 1982).

XVI.2.2. pH do Solo e Calagem

No emprego da calagem, algumas considerações devem ser feitas quanto ao pH. Vejamos:

- a) pH em torno de 8,0 e superior a 8,0: a calagem é inútil para praticamente todas as culturas, menos em solos hidro

morfos de pH = 6,0 onde condições redutoras podem às vezes, gerar manganês assimilável a teores tóxicos. Essa consideração é raramente observada;

- b) pH de 5,5 até 6,0: a calagem "sensu stricto" não é necessária mas um aporte leve de corretivos pode ser útil para compensar as perdas inevitáveis. Isto evita acidificação do solo no decorrer de culturas sucessivas. Como lembrar que no Brasil a tendência é de tomar pH = 5,7 em vez de pH = 5,5;
- c) pH de 4,9 até 5,5: a calagem é fortemente aconselhada, sobretudo para plantas muito sensíveis ao alumínio trocável (cacaueiro, cafeeiro, fumo, feijão, algodoeiro, etc). Por outro lado, a produtividade das plantas medianamente sensíveis ao alumínio trocável é melhor a pH 5,5 e acima de 5,5 do que a pH abaixo desse valor até pH 4,9. A calagem pode ser aqui rentável para trigo, milho, arroz, soja, bananeira, dendezeiro, etc.;
- d) pH inferior a 4,9: na maioria dos solos há perigo de ver aparecer alumínio trocável e manganês assimilável a teores tóxicos

A calagem se torna geralmente obrigatória para a maioria das culturas (menos plantas acidófilas). Apesar do pH baixo sob vegetação florestal, a calagem não é necessária após desmatamento e queima da floresta por causa da presença de cinzas. Entretanto ela se torna obrigatória depois de vários anos de cultivo por se verificar a redução do pH do solo. Esta variação para menos do valor do pH é função dos processos seguintes:

- . exportação de elementos pelas colheitas;
- . lixiviação acelerada devido a ocorrência de solo nu em certos períodos e uso dos fertilizantes nitrogenados.

XVI.3. USO DA CALAGEM

O tipo de calagem a ser utilizada depende da finalidade.

XVI.3.1. Fornecimento de Elementos (Mg, Ca) ao Solo

No caso de "deficit" em Ca e Mg, a calagem devolve esses elementos ao solo. Isto é válido principalmente para o magnésio^{16/} de tal maneira que é lógico fazer aporte de sulfato de magnésio sozinho, mas as quantidades são geralmente pequenas (em torno de uma centena de quilogramas de MgO por hectare) e a operação não difere de uma adubação potássica ou nitrogenada. Entretanto, ao fazer aportes de magnésio, é necessário não desequilibrar a relação Ca/Mg, daí a preferência dada à dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) ou ao aporte combinado de Kieserita ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) e de fosfato de cálcio.

XVI.3.2. Neutralização do Alumínio Trocável

Geralmente a primeira finalidade da calagem é a neutralização do alumínio trocável. Com o desaparecimento do alumínio trocável, constatata-se, ao mesmo tempo, uma forte diminuição do manganês assimilável a um nível tal que a toxidade de deste último, se existir antes da calagem, desaparecerá de pois).

A escola americana (COLEMAN et al., 1958; KAMPRATH, 1970) calcula o aporte de CaO (e MgO) em miliequivalentes por hectare para equilibrar o número de miliequivalentes de alumínio trocável determinados na análise química do solo. Considera-se que 80 a 95% do alumínio trocável se encontra neutralizado, o que é normalmente suficiente.

^{16/} Existe um teor crítico para o Mg nos solos, mas nenhum para o cálcio.

A matéria orgânica incorpora sempre uma certa quantidade de alumínio trocável que é liberado após a calagem; por isso é aconselhável, em se tratando de solos orgânicos, aumentar a dose de calcário. Os americanos usam um coeficiente multiplicador de 1,5 nos solos com 2% até 7% de matéria orgânica.

Segundo COELHO e VERLENGIA (s.d.), no Brasil preconiza-se os coeficientes seguintes:

- solos com menos de 1% de matéria orgânica: coeficiente 1;
- solos com matéria orgânica entre 1,5 e 3%: coeficiente 1,5;
- solos com mais de 3% de matéria orgânica: coeficiente 2.

A EMBRAPA usa uma fórmula simples:

$$t/\text{ha calcário puro} = \text{Al E.mg}/100\text{g} \cdot 2$$

Como já foi mencionado, esta fórmula conduz a fazer aportes 60% superiores às quantidades estritamente necessárias para a neutralização do alumínio em solos pouco orgânicos. Este suplemento parece justificado no caso de material calcáreo pouco solúvel e também nos solos orgânicos.

A CEPLAC (Bahia) preconiza neutralizar ao mesmo tempo o Al^{+++} e o H^+ do solo, o que leva, em princípio, o complexo sortivo do solo superficial até a saturação em bases (Ca + Mg), daí pH perto de 7. É bom lembrar que o cacauzeiro gosta muito de solos bem saturados e neutros, o que justifica este processo.

. *Determinação empírica da calagem:* para muitas culturas, não é necessário neutralizar todo o alumínio trocável. Basta eliminar o teor que supera as quantidades suportadas normalmente pela planta. A Tabela XVI.3 mostra os resultados após a calagem de um solo em Serra Leone com o emprego de 560 kg/ha de calcário a 49% de CaO .

TABELA XVI.3 - Calagem de um oxissol em Serra Leone, segundo TOMLINSON (s. ref.)

	Antes da Calagem (Maio 1969)	16 meses após a ca lagem (Outubro 1970)
Al E.mg/100	1,8	0,4
Al/T%	30%	9%
Ca + Mg	0,5	1,7
pH	4,5	5,1
Safra de amendoim	ruim	regular

XVI.3.3. Obtenção de um pH Predeterminado

Uma outra finalidade do emprego da calagem é a de se procurar atingir um determinado pH.

. *Método de Campinas* (VAN RAIJ et al., 1968). Nos solos-a-caulinita, particularmente latossolos e solos podzólicos, o pH e o grau de saturação em bases do solo se encontram aproximadamente ligados pela seguinte relação simplificada (VAN RAIJ, com. verb.):

$$\text{pH} = 4,5 + 0,025 V$$

Daf é possível calcular as quantidades de Ca (e de Mg) que faltam ao solo para atingir um pH dado. Este cálculo naturalmente não passa de uma aproximação. O método necessita análise completa do solo.

. *Método de Hissinck*: Este método, preconizado pela FAO, consiste de juntar às amostras de solo (50 a 100g) doses crescentes de cal $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ com concentrações conhecidas. (Fig. XVI.1).

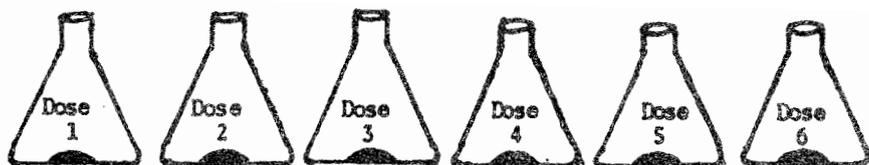


Fig. XVI.1 - Esquema ilustrativo de experiência da modificação do pH de uma amostra de solo (x g/vaso) por adição de solução de cal de concentração conhecida (e crescente).

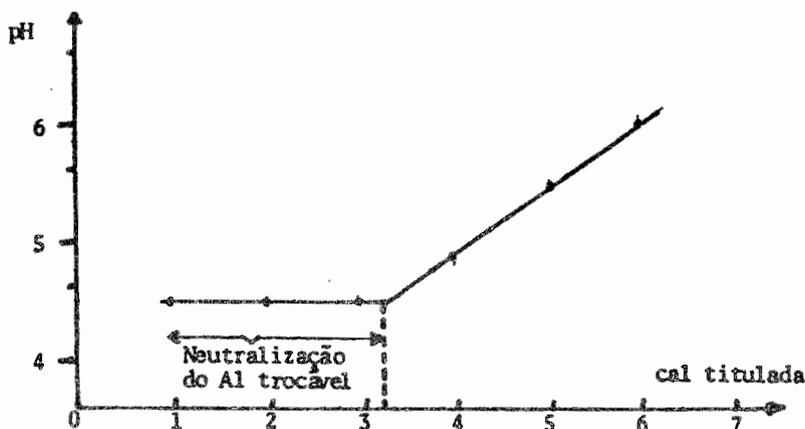


Fig. XVI.2 - Evolução do pH com doses crescentes de cal titulada. Observar que para obter um pH de 5,7 é necessário se adicionar ao solo uma quantidade de calcário ou cal aproximadamente correspondente a Dose 5.

Faz-se em seguida uma curva indicando a subida do pH em função do aporte de Ca (Figura XVI.2) (com papel semilogarítmico o resultado é uma reta).

A quantidade de cal necessária para obter o pH desejado aparece imediatamente no gráfico por projeção sobre a linha das abcissas. No caso, para um pH desejado de 5,8 será necessário uma quantidade de cal próxima daquela adicionada na situação.

. *Método Empírico*: Ao conhecer bem os solos de uma região, é possível fazer tabelas indicando imediatamente as quantidades de calcário necessárias em função do pH do solo. Os americanos (SHOEMAKER et al., 1961) usam "pH tampão" para indicar que o solo está misturado com uma solução (tampão) para neutralizar o tampão ácido do alumínio trocável. No Brasil (São Paulo), COELHO e VERLENGIA (s.d.) estabeleceram em função do pH do solo e do teor de matéria orgânica a tabela seguinte (Tabela XVI.4).

TABELA XVI.4 - Quantidades de calcário dolomítico puro necessárias por hectare em função do pH e do teor de matéria orgânica, segundo COELHO e VERLENGIA, s.d.

pH	C org. %			
	1,00	' 1,00-2,00	' 2,00-3,00 '	3,00
4,5	2500	3000	3500	4000
4,5 - 4,7	2000	2500	3000	3500
4,75 - 4,95	1500	2000	2500	3000
5,00 - 5,20	1000	1500	2000	2500
5,25 - 5,45	500	1000	1500	2000
5,50 - 5,70	-	500	1000	1500

XVI.4. OS TIPOS DE CORRETIVOS (BOYER, 1978)

XVI.4.1. Corretivos Magnesianos

Tratam-se principalmente de:

- Sulfato de magnésio: $MgSO_4$ a 33% MgO;
- Kieserita: $MgSO_4 \cdot H_2O$ a 25% de MgO;
- Patent-Kali: $K_2SO_4 \cdot MgSO_4$ a % MgO;

- K-Mag. a K_2O 18% e MgO 18% (Brasil);
- Serpentina moída: $Mg_6Si_4O_{10} \cdot (OH)_8$ a 43% MgO ;
- Olivina moída: $(Fe, Mg)_2 SiO_4$.

Os dois últimos não são solúveis e são usados sobre tudo misturados e calcinados com fosfatos (termo-fosfatos).

Embora o sulfato de magnésio seja ligeiramente ácido, os corretivos magnesianos não provocam subida de pH. Por esta razão eles são usados sobretudo para corrigir um "deficit" absoluto do solo em magnésio.

XVI.4.2. Gesso $CaSO_4 \cdot 2H_2O$

O gesso tem o inconveniente de fazer baixar ligeiramente o pH com aporte pesado ao solo. Por esta razão seu uso era sobretudo restrito ao solo alcalino para deslocar o sódio.

No Brasil, recentemente se tem utilizado o gesso na tural para quebrar a barreira química formada pelo alúmínio trocável. Com essa finalidade se tem empregado também o sulfato de cálcio contido nos superfosfatos simples.

XVI.4.3. Compostos Fosfatados com Cálcio

Esses tipo de corretivos são principalmente representados por:

- fosfatos naturais, tricálcicos, apatitas, fosforitos com 40 a 50% de CaO , e geralmente muito pouco de MgO (0 até 2%);
- escórias de desfosforação:
 - . 45 a 55% de CaO ;
 - . 2 a 5% de MgO ;
- fosfato magnésiano calcinado com 15% de MgO e 10% CaO .

Geralmente sô as escórias têm um certo poder alcalinizante; os outros são sais neutros que não modificam o pH. Entretanto, foi tentado se formar um tampão cálcico nos solos

do Senegal cultivados com amendoim e milhete com aporte de fosfatos tricálcicos, para impedir a diminuição do pH. A operação foi bem sucedida mas, infelizmente, as quantidades de fosfato de cálcio são importantes demais (mais de 1 ton/ha) para se ter um uso de interesse econômico.

XVI.4.4. Carbonatos: Calcários e Dolomitos

- Calcita (CaCO_3): a 56% CaO se for puro;
- Dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$): a 30% CaO e 21,7% MgO se for puro;
- Todos os tipos intermediários entre os dois acima:
 - . Calcário cálcico de 1 a 5% MgO;
 - . Calcário magnesiano de 0 a 12% MgO;
 - . Calcário dolomítico de 12 a 19% MgO.

Naturalmente se usa também calcários com certa proporção de impurezas (quartzo, argila, ferro), por exemplo as margas. Porém neste caso o fabricante tem que escrever no rótulo dos sacos os teores em CaO e MgO.

XVI.4.5. Cal Calcárea e Cal Dolomítica

Os carbonatos são utilizados sob forma natural (veja acima) ou sob forma de cal. Obtem-se a cal por calcinação dos carbonatos, o que provoca a saída do gás carbônico CO_2 . A cal se encontra sob duas formas:

- Cal viva - CaO ou CaO·MgO:
 - . 80 a 95% CaO para cal cálcica (pura);
 - . 50% CaO, 35% MgO para cal magnesiana (pura);
- Cal apagada (com água):
 - . 50% até 75% CaO para cal cálcica apagada;
 - . 30 a 40% CaO, 20-25% MgO para cal magnesiana apagada.

A cal viva é de manutenção difícil por causa da sua alcalinidade e higroscopicidade; por outro lado, sua criação sobre o solo é muito brutal. particularmente sobre a matéria orgânica

ca que sofre uma mineralização rápida; por essas razões usa-se preferencialmente a cal apagada.

Nos solos tropicais onde o meio ambiente (calor, umidade, chuvas fortes, etc) é agressivo, prefere-se muitas vezes o uso dos carbonatos; estes, apesar de serem finamente moídos, têm uma atuação progressiva, pois eles não se dissolvem em totalidade imediatamente após o aporte. Verifica-se pois uma certa lentidão, para ter efeito completo, mas, que, em compensação, conservam mais a matéria orgânica do solo. Esta lentidão na sua solubilização tem, conseqüentemente, a vantagem de favorecer uma lixiviação mais lenta do que a da cal.

CAPITULO XVII

EXEMPLOS DE CÁLCULOS

XVII.1. GENERALIDADES

No presente capítulo são apresentados alguns exemplos de cálculos úteis para avaliar a fertilidade de um solo e corrigir os seus defeitos.

Os teores críticos, limites de carência e deficiência, níveis de equilíbrios citados neste volume podem ajudar muito para avaliar a fertilidade de um solo e sobretudo para corrigir seus defeitos. Entre os dados mais usados, citamos aqui:

P: limite de carência com método Carolina do Norte: 10 ppm;
limite de carência com método Bondy: 20-30 ppm;

S: limite de deficiência: em torno de 100 ppm (S total);

K: para solos barrentos (15% até 45% argila)

limite de carência: 0,10 E.mg/100g;

limite deficiência média: 0,20 E.mg/100g;

Mg: limite de carência: 0,10 - 0,17 E.mg/100g;

limite de deficiência (Brasil): 0,40 E.mg/100g;

Ca/Mg: intervalo aceitável entre 1 e 40;

intervalo ótimo entre 1,5 e 10;

Mg/K: intervalo aceitável entre 2,5 e 25;

ótimo para todos os casos da ordem de 3 a 5 e mesmo maior;

$\frac{Ca+Mg}{K}$: intervalo bom entre 15 (limite médio) e 30 (a 40).

Naturalmente estes dados prestam só se a amostra de terra for representativa do campo cultivado ou não cultivado.

XVII.2. NEUTRALIZAÇÃO DO ALUMÍNIO TROCÁVEL

Tomamos aqui o exemplo de um solo podzólico ácido, húmifero; a análise da sua parte superficial mostra que se trata de um solo desaturado em bases com quantidade apreciável de alumínio trocável.

pH = 4,5; SBT = 1,14 E.mg/100g; CTC = 18 E.mg/100g;

Al. troc. = 3,52 E.mg/100g

V = 6% M.O. = 7%.

O problema é o seguinte: para plantar cafeeiro é necessário neutralizar este alumínio trocável.

. 1.^a hipótese: o solo está coberto com ervas e alguns arbustos que fornecem quantidade negligenciáveis de cinzas.

A densidade do solo sendo 1,2, o peso da terra (cama da 0-15cm) de um hectare será:

- peso da terra: $0,15 \times 100 \times 100 \times 1,2;$
 $0,18 \times 10^4$ toneladas por hectare;
 18×10^8 gramas por hectare.

Esta camada da terra contém:

- Al. troc./ha: $18 \times 3,52 \times 10^6$
 $63,36 \times 10^6$ E.mgAl

Qual é a quantidade de carbonato de cálcio necessária para esta neutralização?

Se 56 g de CaO contem, por definição, 2.000 E.mg de Ca, será necessária a quantidade seguinte:

$$\text{Quantidade de CaO/ha} = \frac{56 \times 63,36 \times 10^6}{2000} = 1779,68 \text{ kg}$$

O calcário empregado tendo em média 50% de CaO, a ca
lagem terá que usar 3,5 toneladas de calcário por hectare pa
ra neutralizar este alumínio trocável.

. 2.^a hipótese: o solo está coberto, antes do desmata
mento e, conseqüentemente, do plantio com uma floresta semica
ducifolia espessa e alta.

Segundo pesquisas aqui realizadas, as cinzas provin
das da queima de uma floresta deste tipo contém aproxima
mente por hectare:

- 400 kg/ha de K elemento: seja 10.000 Eg.K;
- 600 kg/ha de Ca elemento: seja 30.000 Eg.Ca;
- 200 kg/ha de Mg elemento: seja 17.000 Eg.Mg;
- total 57.000 Eg ou 57×10^6 E.mg para o conjunto Ca+Mg+K.

Neste caso o solo será lavrado de enxada até uma pro
fundidade de 10 cm. Bem misturadas a terra, as cinzas neutra
lizam o alumínio trocável nesse nível. Dessa forma:

O peso da terra 0 - 10 cm, densidade 1,2

Peso (0 - 10 cm) = $0,10 \times 100 \times 100 \times 1,2$

Peso da terra (0 - 10 cm) = 1200 toneladas/ha

O alumínio trocável contido na camada 0 - 10 cm so
ma até o valor seguinte:

$$\begin{aligned} \text{Al. troc./ha} &= 12 \times 10^6 \times 3,52 \text{ E.mg} = \\ &= 42,24 \times 10^6 \text{ E.mg} \end{aligned}$$

Neste caso o alumínio trocável se encontra neutrali
zado, teoricamente, em todo o horizonte superficial com as
cinzas espalhadas pelo fogo de maneira homogênea no chão.

. 1.^a *observação*: segundo os padrões usados no Brasil (COELHO e VERLENGIA, s.d), considera-se que nos solos tendo mais de 3% de matéria orgânica, será necessário multiplicar por 2 a quantidade de corretivos.

Na primeira hipótese, dever-se-á usar 7 toneladas de calcário por hectare (em vez de 3,5 ton/ha) e, na segunda hipótese, de completar a ação das cinzas com 1 toneladas de carbonato de cálcio (ou um calcário com mais de 50% de CaO).

. 2.^a *observação*: a neutralização do alumínio trocável em superfície é indispensável, porém isso não basta. É também necessário de neutralizar o alumínio trocável em profundidade; caso contrário a raiz não pode penetrar no solo. No caso do cafeeiro e de muitas plantas perenes, isto acontece através da neutralização da terra da cova.

Supondo que o teor de alumínio trocável seja o mesmo daquele em superfície, e que cada cova tenha as dimensões seguintes: abertura 40 x 40, profundidade 40 cm, com a terra de superfície já neutralizada sendo removida (espessura 10 cm):

$$\text{Peso da terra por cova: } 40 \times 40 \times 30 \times 1,2 = 57,6 \times 10^3 \text{ g}$$

$$\text{Al. troc. por cova: } 57,6 \times 3,52 \text{ E.mg} = 2027,52 \text{ E.mg}$$

$$\text{CaO necessário por cova: } 56,7 \text{ g}$$

Estes 56,7 g de CaO correspondem mais ou menos de 110 a 120 g de calcário (a 50% de CaO), que devem ser misturados à terra da cova, para cada cova.

Acontece que, nesta situação, as raízes da planta não podem ir muito além da cova, por causa do alumínio trocável não neutralizado fora da cova.

XVII.3. CORREÇÃO E ADUBAÇÃO DE UM JOVEM PLANTIO DE DENDEZEIROS

Após um plantio efetuado em um solo, os jovens denzeiros de até 2 anos crescem muito mal e as suas folhas estão amareladas. A partir dos resultados analíticos do solo (TABELA XVII.1) vamos tentar corrigir os defeitos deste solo.

TABELA XVII.1 - Resultados analíticos em um perfil de solo até os primeiros 50 cm de profundidade

Profundidade	Argila %	Silte Fino %	Silte Grosso %	Areia Fina %	Areia Grossa %		
0-20cm	51,5	3,3	1,6	17,1	20,7		
20-50cm	63,0	1,9	1,6	15,5	14,1		
Profundidade	pH _{H₂O}	pH _{KCl}	C%	N%	C/N		
0-20cm	4,2	4,0	21,3	1,68	12,9		
20-50cm	3,9	4,1	10,1	0,82	12,3		
Profundidade	miliequivalente por 100g de solo						
	Ca	Mg	K	Na	Al	SBT	T
0-20cm	0,32	0,16	0,18	tr	1,43	0,66	8,10
20-50cm	0,09	0,05	0,10	tr	1,15	0,24	5,49

O exame do perfil no campo mostra que o solo, apesar de ser muito argiloso, tem boa estrutura e boa porosidade e que nada no solo parece prejudicar o enraizamento das plantas. Analisando os fatores químicos, é possível notar na camada superficial 0-20cm:

- teor de Mg trocável: da ordem do nível de carência, nitidamente abaixo do nível de deficiência escolhido no Brasil (0,40 E.mg/100g);

- . teor de K trocável: da ordem do nível de deficiência (para o dendezeiro), porém suficiente a curto prazo;
- . relação Mg/K: 0,89; muito insuficiente, um valor bom fica em torno de 3 ou 4 e acima destes;
- . relação $\frac{Ca+Mg}{K}$: 2,07; muito baixa, num solo argiloso desta, o valor desta relação deveria estar incluído entre 18 e 40;
- . teores de Ca e de SBT: baixos;
- . teor de Al trocável: muito elevado em relação a soma das bases trocáveis;
- . relação de Kamprath: $\frac{Al}{Al + SBT} \times 100 = 69$; alta demais;
- . pH_{H_2O} e pH_{KCl} : muitos baixos de acordo com a fraca saturação do complexo absorvente em bases e o teor elevado de alumínio trocável.

Parece que o maior defeito deste solo fica no teor alto do alumínio trocável. A primeira coisa é de eliminar este alumínio trocável. Depois trataremos de corrigir as relações Mg/K e (Ca+Mg)/K e também o teor de magnésio trocável que é insuficiente no solo.

XVII.3.1. Eliminação do Alumínio Trocável

No problema dado, considera-se a camada superficial 0-20cm do solo de densidade 1,2.

$$\text{Peso do solo por hectare} = 0,20 \times 100 \times 100 \times 1,2 = 2.400 \text{ toneladas.}$$

A quantidade de alumínio trocável por hectare será:

$$\begin{aligned} \text{Al. troc./ha} &= 24 \times 1,43 \times 10^6 = \\ &34,32 \times 10^6 \text{ E.mg} \end{aligned}$$

Cada molécula de CaO (56 g) tendo 2.000 E.mg, as necessidades em CaO são:

$$\text{quantidade de CaO/ha} = \frac{56}{2000} \times 34,32 \times 10^6 \text{ g}$$

$$\text{quantidade de CaO/ha} = 960,96 \text{ kg.}$$

Supondo que todo o cálcio esteja uniformemente espalhado e misturado ao solo, o teor de cálcio trocável vai subir até:

$$\text{Ca troc.} = 0,32 + 1,43 = 1,75 \text{ E.mg/100g}$$

XVII.3.2. Relação Mg/K

Segundo TINKER e SMILDE (1963), um valor bom da relação Ca/Mg para o dendezeiro se encontra a partir de 3,5. Vamos escolher neste caso o valor 4. No caso do problema (Tabela VII.1) o valor para o Magnésio deverá ser:

$$\frac{\text{Mg}}{\text{K}} = 4$$

$$\text{Mg} = 4 \times 0,18 = 0,72 \text{ E.mg/100g}$$

Este teor calculado de magnésio fica nitidamente acima do nível de deficiência (0,40 E.mg/100g) usado no Brasil.

Para atingir este teor de 0,72 E.mg/100g necessita-se de um aporte de 0,56 E.mg/100g de Mg, seja para uma camada 0-20cm, pois $0,72 - 0,16 = 0,56 \text{ E.mg/100g Mg}$.

O aporte seguinte em miliequivalentes:

$$\text{Aporte Mg/ha} = 24 \times 10^6 \times 0,56 \text{ E.mg}$$

$$\text{Aporte Mg/ha} = 13,44 \times 10^6 \text{ E.mg}$$

Para 40g de MgO correspondendo a $2 \times 10^3 \text{ E.mg}$, o aporte de Mg será o seguinte (expresso em Mg):

$$\text{Aporte MgO/ha} = \frac{13,44 \times 40 \times 10^6}{2000} \text{ g}$$

$$\text{Aporte MgO/ha} = 268,8 \text{ kg}$$

XVII.3.3. Relação $\frac{Ca + Mg}{K}$

Depois da neutralização do alumínio trocável e do aporte de magnésio, calcula-se:

$$\frac{Ca + Mg}{K} = \frac{1,75 + 0,72}{0,18} = 13,7$$

Este valor situa-se num nível um pouco baixo, pois para um solo bem argiloso como o considerado, ele deveria ficar em torno de 18-20 e pode alcançar sem inconveniente (em todos os casos) o nível de 40.

Escolha-se aqui 20 que é perto do mínimo:

$$\frac{Ca + Mg}{K} = 20$$

$$Ca = 20 K-Mg$$

$$Ca = 20 \times 0,18 = 0,72$$

$$Ca = 2,88 \text{ E.mg/100g}$$

O que corresponde a um aporte suplementar de 1,13 E.mg/100g de Ca (2,88 - 1,75). Calculando esse aporte em termos de CaO para um hectare (camada 0-20cm):

$$\text{Aporte CaO/ha} = \frac{56}{2000} \times 1,13 \times 24 \times 10^6 \text{ g}$$

$$\text{Aporte CaO/ha} = 759,36 \text{ kg}$$

XVII.3.4. Recapitulação

Segundo esses cálculos, este solo precisa de:

961 Kg/ha CaO para neutralizar o Al trocável;

269 Kg/ha MgO para corrigir a relação Mg/K;

759 Kg/ha CaO para corrigir a relação (Ca + Mg)/K.

No total: 1.720 Kg/ha de CaO

268 Kg/ha de MgO

É possível usar:

- seja: 1.340 Kg/ha de Kieserita (20% MgO) e 3,4 ton/ha de calcário a 50% CaO;
- seja: 1,34 ton/ha de dolomita com 30% de CaO e 20% de MgO e 2,6 ton/ha de calcário a 50% CaO para complementar.

XVII.3.5. Verificação

Supondo que todos estes corretivos estejam uniformemente espalhados no solo (0-20cm) e os elementos trazidos já transformados em bases trocáveis, o solo terá as características seguintes:

Ca troc.	= 2,88 E.mg/100g
Mg troc.	= 0,72 E.mg/100g
K troc.	= 0,18 E.mg/100g
Ca/Mg	= 4
Mg/K	= 4
(Ca+Mg)/K	= 20
pH	= 4,5 + 0,025 V
pH	= 5,5 (aproximadamente)

Esta verificação mostra que o aporte de corretivos respeita o equilíbrio Ca/Mg (que já estava bom), eleva teores de bases trocáveis a níveis razoáveis e consegue fazer subir o pH sem excesso (o dendezeiro não gosta dos solos neutros). Esses níveis razoáveis é também um pouco fracos deixam uma margem para fazer um aporte "seguro", talvez 20 a 30% a mais, para compensar as irregularidades na distribuição, a lentidão na solubilização do produto e a lixiviação.

XVII.3.6. Notícia Importante

Todos esses cálculos prestam para o horizonte superficial. Se for necessário neutralizar o alumínio em profundo

didade porque ele forma uma barreira química, usa-se os métodos seguintes:

- no plantio, misturar a terra da cova com calcário para neutralizar o alumínio, cavar um buraco, ou vários buracos, com trado no fundo da cova e enchê-los com calcário na esperança que ele vai se difundir nas regiões vizinhas do solo;
- no caso que nada foi feito no plantio, cavar buracos de trado (2 ou 3) até 1,00m de profundidade ao redor do jovem pé (cafeiro, dendezeiro, etc) e enchê-los de calcário;
- segundo a experiência da EMBRAPA no campo cerrado, o sulfato de cálcio (gesso) tem a propriedade de quebrar a barreira química. Contudo a experiência parece recente demais para fixar normas a serem usadas no campo.

XVII.4. CONCLUSÃO

Neste último capítulo, vê-se que é possível, tomando-se em conta os dados expostos no volume, de avaliar a fertilidade potencial de um solo e de se calcular as doses de adubos e corretivos para se corrigir as suas características.

Os exemplos de cálculos mostram que eles chegam a quantidades razoáveis da ordem de grandeza daquelas usadas nos campos cultivados.

Naturalmente o nosso trabalho não passa de qualquer coisa esquemática susceptível de aperfeiçoamento e modificação para cada caso particular. De outro lado, é necessário de se ter em mente que tudo isso é aproximativo por várias razões:

- nunca é possível se saber se a amostra analisada é exatamente representativa do campo onde ela foi tirada;
- um campo cultivado não é um vaso; daí problemas de regularidade de homogeneidade ao espalhar adubos e corretivos e misturá-los com a terra até a profundidade desejada.

De toda maneira é melhor calcular a adubação como
adaptada a cada situação particular do que se ter que apli
car receitas estabelecidas em outros lugares, muitas vezes
na Europa e na América do Norte.

Salvador, Bahia, dezembro de 1984.

Jean Louis Boyer

BIBLIOGRAFIA CITADA E RECOMENDADA PELO AUTOR

- ABRUNA-RODRIGUEZ (F.), VICENTE-CHANDLER (J.), 1967. - Sugar cane yields as related to acidity of Humid Tropic Ultisol. *Agron. JOURNAL*, 59, 4: 330-331.
- ABRUNA-RODRIGUEZ (F.), VICENTE-CHANDLER (J.), PEARSON (R.W.), SILVA (S.), 1970. - Crop response to soil acidity factors in ultisols and oxisols. I. Tobacco. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 34, 4:629-635.
- AHMAD (N.), DAVIS (C.E.), 1970. - Forms of K fertilizers and soil moisture content on potassium status of a Trinidad soil. *Soil Sci.*, 109, 2:121-126.
- ALMEIDA (J.X. de), BRASIL (M.O.C. do), 1977. - Fixação de fósforo em três solos sob cerrado de Goiás. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 1, 1:12-15.
- AMER (F.), BOULDIN (D.R.), BLACK (C.A.), DUKE (F.R.), 1955. - Characterization of Soil phosphorus by anion-exchange resin absorption and P³² equilibration. *Plant Soil*, VI:391-408.
- ANDRADE (V.M.M.), 1973. - Influência do cobre no crescimento, morfologia e anatomia da folha e na composição mineral do cafeeiro (*Coffea arabica* L.), variedades Mundo Novo e Catuai. *Tese de Doutorado* (citado por MALAVOLTA; 1976, p. 44).
- ATTOE (O.J.), 1946 - Potassium fixation and release in soils occurring under moist and drying conditions. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.*, 11:145-149.
- ATTOE (O.J.), 1948. - Fixation and recovery by oats of potassium applied to soils. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.*, 13:112-115.
- ATTOE (O.J.), OLSON (R.A.), 1966. - Factors affecting rate of oxidation in soils of elemental sulfur and that added in rock phosphate-sulfur fusions. *Soil. Sci.*, 101, 4:317-325.
- AYLMORE (L.A.G.), KARIM (M.), QUIRK (J.P.), 1967. - Adsorption and desorption of sulfate ions by soils constituents. *Soil. Sci.*, 106, 1:10-15.
- AYRES (A.S.), HAGIBARA (H.H.), 1953 - Effect of the anion on the sorption of potassium by some humic and hydrol-humic latosol. *Soil. Sci.*, 106, 1:10-15.
- BAHIA (A.F.C.), BRAGA (J.M.), RESENDE (M.), RIBEIRO (A.C.), 1983. - Relação entre adsorção do fósforo e componentes mineralógicos da fração argila de latossolos do Planalto Central. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 7, 3:221-226.

- BARBIER (G.), 1962. - La dynamique du potassium dans le sol. Potassium Symposium, Intern. Potash. Inst., Bern.:231-258.
- BARHLOMEW (W.V.), 1972. - Soil nitrogen and organic matter, In *Soils of the Humid tropics*, p. 63-81. Pub. Nat. Acad. of Sci., Washington DC, 217 p.
- BARHLOMEW (W.V.), DON KIRKHAM, 1960. - Mathematical descriptions and interpretations of culture induced soil nitrogen changes. 7th. Int. Cong. Soil. Sci., 2:471-477 (Madison).
- BARHLOMEW (M.W.), MEYER (I.), LAUDELOUT (H.), 1953. - Mineral nutrient immobilization under forest and grass fallow in the Yangambi (Belgium Congo) region. Publ. INEAC (Bruxelles), *Série Sci.*, 57:27 p.
- BECKETT (P.H.T.), 1964. - Potassium calcium exchange equilibria in soils: specific absorption sites for potassium. *Soil. Sci.*, 97, 6:376-386.
- BECKETT (P.H.T.), 1964. - Studies on soil potassium. I: confirmation of the rates law. II: the immediate Q/l relation of labile potassium on the soil. *J. Soil. Sci.*, 15, 1:1-23.
- BECKETT (P.H.T.), 1970. - Fixed potassium and the residual effects of potassium fertilizers. *Potash review* (Bern), Subject 16, 52.
- BECKETT (P.H.T.), WHITE (R.E.), 1964. - Studies on the phosphate potentials of soil. III: The pool of labile inorganic phosphate. *Plant Soil* 21, 3:253-287.
- BEIRNAERT (A.), 1941. - La technique culturale sous l'Equateur. Influence de la culture sur les réserves en humus et en azote des terres équatoriales. INEAC. *Serv. Techn. N° 36* (Bruxelles), 86 p.
- BERNHARD (F.), 1969. - Rapport d'activité ORSTOM, Adicpodoumé (Abidjan). Mimeo, 22p.
- BERNHARD-REVERSAT (F.), 1973. - Le cycle du potassium en forêt tropical humide. C.R. du X^e colloque de l'Institut International de la Potasse. Abidjan. Le potassium dans les cultures et les sols tropicaux:321-327.
- BERNHARD-REVERSAT (F.), 1976. - Essai de comparaison des cycles d'élément minéraux dans les plantations de Framiré (*Terminalia ivotensis*), et en forêt naturelle de Côte d'Ivoire. - *Bois et Forêts des Tropiques*, 167:25-38.
- BHAT (K.K.S.), TRUONG (B.), BOUYER (S.), 1970. - Détermination de la valeur L d'un sol ferrallitique; action de la chaux. - In *Peaceful uses of atomic energy in Africa*, IAEA, Vienne.
- BLACK (C.A.), 1968. - Potassium. Chapitre 9, in *Soil Plant Relationship*, Wiley and sons édit. (New York).

BLACK (C.A.), EVANS (D.D.), WHITE (J.L.), ENSMINGER (L.E.), CLARK (F.E.), 1955. - Methods of soil analysis. I: physical and mineralogical properties: p. 499-519. *Amet. Soc. of Agronomy* (Madison) Edit.

BLONDEL (D.), 1965. - Comunicação pessoal.

BLONDEL (D.), 1967a. - Premiers résultats sur la dynamique de l'Azote minéral de deux sols du Sénégal. *Colloque sur la Fertilité des Sols Tropicaux*, Tananarive 10-20 Nov.:430-499.

BLONDEL (D.), 1967b. - Importance réelle des pertes par volatilisation de l'ammoniaque en sol sableux (Dior), *Colloque sur la Fertilité des Sols Tropicaux*. Tananarive 19-25 Nov.:500-508.

BLONDEL (D.), 1971a. - Evolution de l'azote minéral en sol ferrugineux tropical sous culture de mil (*Pennisetum typhoides*). *Séminaire CSTR/ OUS* sur les facteurs du milieu qui influencent le rendement des cultures céréalières en Afrique Tropicale, Dakar, 26-29 juillet.

BLONDEL (D.), 1971b. - "Contribution à la connaissance de la dynamique de l'azote minéral en sol sableux (Dior) au Sénégal". "Contribution à la connaissance de la dynamique de l'azote en sol ferrugineux tropical à Sefa (Sénégal)". "Contribution à la connaissance de la dynamique de l'azote minéral en sol ferrugineux tropical à Nioro du Rip (Sénégal)". *Agron. Trop.* XXVI, 12:1303-1333, 1334-1353, 1354-1361.

BOLLES-JONES (E.W.), 1954. - The interrelationships of magnesium, potassium and Phosphorus and their effect on the growth and compositions of *Hevea brasiliensis*. *59 Cong. Intern. Ciên. Solo* (Léopoldville), III:176-181.

BOLLES-JONES (E.W.), 1955. - The effect of varied nutrient levels on the concentration and distribution of manganese within potato plants. *Plant and Soil.*, 11,66:45-60.

BOLLES-JONES (E.W.), 1957a. - Copper: its effects on the growth and composition of the rubber plant "*Hevea Brasiliensis*". *Plant and soil*, 9, 2: 160-178.

BOLLES-JONES (E.W.), 1957b. - A Magnesium-manganese inter-relationship in the mineral nutrition of *Hevea brasiliensis*. *J. Rubb. Res. Inst. Malaya*, 15:22-28.

BOLTON (J.), 1968. - Leaching of Fertilisers applied to a latosol in lysimeters. *J. Rubb. Res. Inst. Malaya*, 20, 5:274-284.

BOLTON (J.), SHORROCKS (V.M.), 1961. - The effects of magnesium, limestone and other fertilizers on a mature planting of *Hevea brasiliensis*. *J. Rubb. Res. Inst. Malaya*, 17:31-39.

BOULET (R.), BRUGIERE (J.M.), HUMMEL (F.X.), 1979. - Relations entre caractères hydro-dynamiques et organisation des systèmes de sols en Guyane française septentrionale. Rôle de la tectonique dans l'évolution de la couverture pédologique. Conséquences agronomiques. *Science du sol*, 1:3-18.

- BOUYER (S.), 1959. - Etude de l'évolution du sol dans un secteur de modernisation agricole du Sénégal. *Troisième Conférence Interafricaine Sole*, Dalaba Vol. II:841-850.
- BOUYER (S.), 1971. - Etudes sur la fertilisation phosphatée des sols en Afrique Tropicale et à Madagascar. *Phosphore et Agriculture* (Paris), Juin, Bull. Doc. n° 57:I-II.
- BOUYER (S.), DABIN (B.), 1963. - Etudes pédologiques du delta central du Niger. *Agro Trop.*, XVIII, 12:1300-1306.
- BOUYER (S.), DAMOUR (M.), 1964. - Les formes du phosphore dans quelques types de sols tropicaux, *89 Congr. Inter. Sci. du Sol* (Bucarest), IV, 60:551-561.
- BOUYER (J.), 1970. - Essai de synthèse des connaissances acquises sur les facteurs de fertilité des sols en Afrique tropicale francophone. *Committee on tropical soils*. London 8-12 June. 175 p., mimeo.
- BOUYER (J.), 1971. - Conception et réalisation des cartes d'utilisation des sols par les pédologues d'expression française. *FAO-ORSTOM*, oct., 67p. mimeo.
- BOUYER (J.), 1972. - Soil Potassium, in *Soils of the humid tropics*: 102-135. *National Academy of Science edit.* (Washington).
- BOUYER (J.), 1973. - Comportement du potassium dans les sols tropicaux cultivés. *10^e coll. Inst. Inter. Potasse, Abidjan*, 3-7 déc.: 83-102.
- BOUYER (J.), 1976. - L'aluminium échangeable: incidences agronomiques, évaluation et correction de sa toxicité. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, IX, 4: 259-269.
- BOUYER (J.), 1978. - Le calcium et le magnésium dans les sols des régions tropicales humides et sub-humides. *ORSTOM, Init. Doc. Tech.*, 1 vol., 173 p.
- BOUYER (J.), 1980. - Toxicité apparente de certains engrais phosphatés et intoxication manganique induite. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, XVIII, 3-4.
- BOUYER (J.), 1982. - Les sols ferrallitiques. Tome X. Facteurs de fertilité et utilisation du sols. *ORSTOM. Init. Doc. Tech.*, n° 52, 384p.
- BOUYER (J.), COMBEAU (A.), 1960. - Etude de la stabilité structurale de quelques sols ferrallitiques de la République Centrafricaine. *Sols Africains*, V. I:6-42.
- BRAY (R.H.), KURTZ (L.T.), 1945. - Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.*, 59:39-45.
- BROWN (J.C.), FOY (C.D.), 1964. - Effect of Cu on the distribution of P, Ca and Fe in Barley plants. *Soil Science*, 98, 6:362-370.

- BUSCH (J.), 1958. - Etude sur la nutrition minérale du caféier Robusta dans le centre et l'ouest Oubangui. *Agron. Tropico.*, XIII, 6:732-760.
- CABALA-ROSAND (F.P.), FASSEBENDER (H.W.), 1970. - Formas del fosforo en suelos de la region cacaotera de Bahia, Brésil. *Turrialba*, 20,4:439-444.
- CABALA-ROSAND (F.P.), PIRES DO PRADO (R.), MIRANDA (E.R.), SANTANA (Mia B.), FONSECA (R.), 1967. - Deficientes minerais e efeitos da adubaçao na região cacaueira de Bahia. *Segunda Conferência Internacional de Pesquisas em cacau*. Nov., Bahia (Brésil):436-441.
- CABALA-ROSAND (F.P.), WILD (A.), 1982. - Direct use of low grade phosphate rock from Brazil as a fertilizer. *Plant Soil*, 65:351-362.
- CADIMA-ZEVALLOS (A.), 1966. - Influência da Erythrina glauca sobre alguns fatores edaficos associados com a produção do solo. *Primeiro Congresso Panamericano de Conservação do Solo*. 12-29 Abril. São Paulo, (Brésil):187-194.
- CALVEZ (C.), OLIVIN (J.), RENARD (J.L.), 1976. - Etude d'une déficience en soufre sur jeunes palmiers à huile en Côte d'Ivoire. *Oléagineux*, 31, 6:251-255.
- CAMARGO (N.M.), RODRIGUES (T.E.), 1979. - Guia de excursão. *XVII Congr. Bras. Ciência do Solo* (Manaus). EMBRAPA-Jardim Botânico, Rio de Janeiro.
- CAMARGO (O.A. de), VAN RALJ (B.), 1976. - Relações entre alumínio trocável, bases trocáveis e pH em solos. *Anais XV Congr. Bras. Ciência do Solo*: 95-101.
- CERENA (Comissão de Estudo dos Recursos Naturais), 1974. - Projeto de desenvolvimento agrícola de Foz do Areia. CERENA, Estado do Paraná, 81 p. multig.
- CHABANNES (J.), BARBIER (G.), 1950. - Observations sur le microdosage de l'aluminium. Application à l'étude de l'alumine dite libre des sols. *Ann. Agron.*, 20, 1:1-9.
- CHAMINADE (R.), 1936. - La rétrogradation du potassium dans les sols. *Ann. Agron.*, 6:818-830.
- CHANG (S.C.), CHU (W.K.), 1961. - The fate of soluble phosphate applied to soils. *Journal of Soil Science*, (Oxford), 12, 2:286-293.
- CHANG (S.C.), CHU (W.K.), ERI (K.T.), 1966. - Determination of reductant soluble phosphate in soils. *Soil. Sci.*, 102, 1:44-45.
- CHANG (S.C.), JACKSON (M.L.), 1957. - Fractionation of soil phosphorus. *Soil. Sci.*, 84, 2:133-134.

- CHENERY (E.M.), 1954. - Minor elements in Uganda Soils. *Proc. Second Interfricain Soils Conference (Leopoldville)*, 2:1157-1163.
- CHENERY (E.M.), 1955. - Preliminary study of aluminium and the tea bush. *Plant and soil*, 6, 2:174-200.
- CHENERY (E.M.), 1958. - Boron deficiency in tea. *Nature (London)*, 181, 4506, 426.
- CHENERY (E.M.), SCHOENMAEKERS (J.), 1959. - Magnesium deficiency in cast african tea. *East Afric. Agric. J.*, 21,1:25-27.
- COELHO (F.S.), VERLENGIA (F.), s.d. - Fertilidade do solo. *Edit. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, Campinas, S.P. (Brasil)*, 384p.
- COLEMAN (N.T.), KAMPATH (E.J.), NEED (S.B.), 1958. - Liming. *Adv. Agron.* 10:424-522.
- COMBEAU (A.), QUANTIN (P.), 1963a. - Observations sur la capacité au champ de quelques sols ferrallitiques. Rapport avec les courbes pF humidité. *Sciences du Sol.*, 1:5-11.
- COMBEAU (A.), QUANTIN (P.), 1963b. - Observations sur les variations dans le temps de la stabilité structurale des sols en région tropicale. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, 3:17-26.
- COMBEAU (A.), QUANTIN (P.), 1964a. - Observation sur l'évolution à long terme de la stabilité structurale de certains sols tropicaux sous culture et sous jachère. *89 Cong. Intern. Ciên. Solo. Bucaresta.*
- COMBEAU (A.), QUANTIN (P.), 1964b. - Observations sur les relations entre stabilité structurale et matière organique dans quelques sols d'Afrique Centrale. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.* 1:3-12.
- COSTA (A.S.), GALLO (J.R.), VAN RAIJ (B.), VALADARES (J.M.A.S.), 1977. - Pseudo-virose do algodoeiro induzido por toxicidade de Manganês do solo. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 1, 2-3:68-71.
- COULTER (J.K.), 1972. - Soils of Malaysia. A review of investigations on their fertility and management. *Soils and Fertilizers*, 35, 5:475-498.
- CULOT (J.P.), VAN WAMBEKE (A.), 1958. - Contribution à l'étude des déficiences minérales du caféier d'Arabie au Kivu. *INEAC, Série Scientifique*, n° 73, 105p.
- DABIN (B.), 1956. - Considération sur l'interprétation agronomique des analyses de sols en pays tropicaux. *89 Cong. Intern. Ciên. Solo., Paris*, IV:403-409.
- DABIN (B.), 1960. - Utilisation d'un indice de structure pour la détermination de la qualité physique des sols tropicaux. *79 Cong. Intern. Ciên. Solo., Madison*, I:311-320.

- DABIN (B.), 1961. - Les facteurs de la fertilité des sols des régions tropicales en culture irriguée. *Bull. Ass. Fr. Etu. Sol.*, n° spécial: 108-130.
- DABIN (B.), 1962. - Relations entre les propriétés physiques et la fertilité dans les sols tropicaux. *Ann. Agron.* 13, 2:111-140.
- DABIN (B.), 1963. - Appréciation des besoins en phosphore dans les sols tropicaux. Les formes du phosphore dans les sols de Côte d'Ivoire. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, 3:27-42
- DABIN (B.), 1964a. - Etudes des formes du phosphore dans quelques sols des Antilles. Action sur l'alimentation phosphatée de la canne à sucre, *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, 1:5-11.
- DABIN (B.), 1964b. - Analyse physique et fertilité dans les sols des régions humides de Côte d'Ivoire. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, 1:29-40.
- DABIN (B.), 1967. - Sur une méthode d'analyse du phosphore dans les sols tropicaux. *Colloque sur la Fertilité des Sols Tropicaux*, Tananarive, 19-25 Nov., 1:99-115.
- DABIN (B.), 1970a. - Méthode d'étude de la fixation du phosphore sur les sols tropicaux. *Cot. Fib. Trop.*, 25:213-234 et 289-310.
- DABIN (B.), 1970b. - Premiers résultats d'une enquête sur les teneurs en soufre des sols d'Afrique tropicale. Numéro spécial des *Annales Agronomiques*. *Colloque sur le Soufre en Agriculture*. Versailles (France). Nov.: 113-135.
- DABIN (B.), 1971. - Evolution des engrais phosphatés dans un sol ferrallitique dans un essai de longue durée. *Phosphore et Agriculture*, 58:1-14.
- DABIN (B.), 1979. - Phosphorus deficiencies in tropical soils and its pre-judical effects on agricultural output. Conference about. *Priorities for Alleviating Soil-related Constraints to Food Production in the Tropics*. IRRI. Los Banos, Laguna, Philippines, June 4-8.
- DABIN (B.), LENEUF (N.), 1956. - Etude des sols de l'ouest de la Côte d'Ivoire. 19 Vallée du Sassandra. *Rapport mult.* ORSTOM, cité par LENEUF, 1959.
- DABIN (B.), LENEUF (N.), 1960. - Les sols de bananeraie en Côte d'Ivoire. *Fruits*, 15, 3:117-127.
- DALLAL (R.), 1973. - Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium hydroxyde-sodium carbonate solution. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 39:142-143.

- DALLAL (R.C.), HALLSWORTH (E.G.), 1976. - Evaluation of parameters of soil phosphorus availability factors in predicting yield response and phosphorus uptake. *Soil. Sci. Soc. Amer. J.*, 40:541-546.
- DOBEREINER (J.), 1977. - Fixação de Nitrogênio em gramíneas. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 1, 1:1-54.
- DOBEREINER (J.), BALDANI (J.I.), 1981. - Bases científicas para uma agricultura biológica. *Ciência e Cultura*. 34, 7:869-881.
- DOMMERMUES (Y.), MANGENOT (F.), 1970. - Ecologie microbienne du sol. *Mas son édtt.* (Paris), 786p.
- DROUINEAU (G.), MAZOYER (R.), 1962. - Contribution a l'etude la toxicité du cuivre dans les sols. *Ann. Agron.*, 13, 1:31-53.
- ESCOLAR (R.P.), 1967. - Uses of malassas and distillery slops with sulphur for the reclamation of a saline-sodic and a sodic-saline soil from Puerto Rico. *J. Agric. Univ. Puerto Rico*, 51:55-65.
- EVANS (H.), 1955. - Studies in the mineral of sugar cane in British Guiana. *Trop. Agric.*, (Trin), 32, 2:124-133.
- EVANS (C.E.), KAMPRATH (E.J.), 1970. - Lime response as related to percent Al saturation, solution Al and organic matter content. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 34, 6:893-396.
- FALESI (I.C.), 1972. - Solos da rodovia transamazônica. IPEAN. *Boletim Técnico* nº 55, Belém, Pará (Brasil), 195p.
- FRUCK (R.), MOUREAUX (C.), THOMANN (Ch.), 1969. - Bilan de l'evolution des solo du Soja. Casamance, Sénégal) après 15 années de culture continue. *Agro. Trop.*, 24, 3:263-301.
- FERNANDEZ (M.S.), DIDONNET (H.R.), ROSSELLO (R.O.P.), 1981. - Respostas de quatro culturas de arroz à aplicação de nitrogênio amoniacal com inibidor de nitrificação. *Agropecuária*.
- FERREIRA (L.de S.), 1978. - Influência do manejo de um ecossistema nas propriedades edáficas dos oxissolos de "Tabuleiro". *CEPEC*. Itabuna, 25p mimeo.
- FONIES (M.P.F.), NOVAIS (R.F.), ALVAREZ (V.H.), BORGES (A.C.), 1982. - Disponibilidade do enxofre em tres extratores químicos em latossolos de Minas Gerais. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 6, 2:125-130.
- FORESTIER (J.), 1960. - Fertilité des sols de caféiers en République Centrafricaine. III Etude des sols des caféiers de la Lobaye. *Agron. Trop.*, XV, 1:9-37.

- FORESTIER (J.), 1964. - Relations entre l'alimentation du Coffea Robusta et les caractéristiques analytiques des sols. *Café, Cacao, Thé*, VIII, 2:89-112.
- FORESTIER (J.), 1968. - Le potassium et le caféier Robusta. *Fertilité*, 30:3-63.
- FORESTIER (J.), BELEY (J.), 1969. - Variabilité de la nutrition minérale et de la production des clones de caféiers Robusta. *Café, Cacao, Thé*, XIII, 4:290-295.
- FORSTER (H.L.), 1970. - Liming continuously cultivated soils in Uganda. *East Afric. Agric. For. J.*, 36, 1:58-69.
- FORSTER (H.L.), 1972. - The identification of potentially K deficient soils in Uganda. *East Afric. Agric. For. J.*, 37, 3:224-233.
- FOY (C.D.), 1974. - Effects of aluminium on plant growth. In: E.W. Carson. The plant root and its environment: 601-642. Edit. Univ. Press. Univ. Sta. Charlottesville VA.
- FOY (C.D.), BROWN (J.C.), 1964. - Toxic factors in acid soils. I Differential aluminium tolerance of plant species. *Soil. Sci. Amer. Proc.*, 28, 1:27-32.
- FRANQUIN (P.), 1958. - L'estimation du manganèse du sol en rapport avec le phénomène de toxicité. *Cot. Fib. Trop.* XIII, 3:1-16.
- FREITAS (L.M.M. de), VAN RAIJ (B.), 1975. - Residual effect of liming a latosol in São Paulo. Brasil. in: Soil Management in Tropical America. C.R. du séminaire CIAT, 10-14 fév. 1974, Cali, Colombie. Edité par North Carolina State University, Raleigh, N.C., USA, 1975.
- GALRAO (E.Z.), SUHET (A.R.), SOUSA (D.M.G. de), 1978. - Efeito de micro nutrientes no rendimento e composição química do arroz (*Oryza sativa* L.) em solo de Cerrado. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 2, 2:129-132.
- GARGANTINI (H.), 1972. - Efeito da calagem no pH nos teores de cálcio mais magnésio e alumínio em perfis de solos de Cerrado. *Tese Escola Superior da Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, S.P., (Brasil)*.
- GESTIN (A.J.), ROUX (F.), 1974. - L'utilisation des herbicides pour l'entretien des jeunes cacaoyers. *Café, Cacao, Thé (Paris)*, 28, 2:107-120.
- GEUSS (J.G. de), 1973. - Fertiliser guide for the tropics and the sub tropics - Centre Etude Azote. Zurich, 774 p.
- CODEFROY (J.), 1974. - Evolution de la matière organique du sol sous l'influence du bananier et de l'ananas. Relations avec la structure et la capacité d'échange cationique. *Thèse Doc. Ing. Université de Nancy* 166 p.

- GODEFROY (J.). 1975. - Evolution desteneurs des sols en éléments fertilisants sous culture d'ananas. Caractéristiques chimiques des sols de Côte d'Ivoire. *Fruits* (Paris), 30, 12:749-756.
- GODEFROY (J.), LACOEUILHE (J.J.), MARCHAL (J.), 1976. - Effet du chaulage sur la culture de l'ananas (Var. Cayenne lisse) dans un sol ferrallitique fortement désaturé. *Fruits*, 31, 10:603-615.
- GODEFROY (J.), LASSOUDIÈRE (A.), LOSOIS (P.), PENEL (J.P.). 1978. - Action du chaulage sur les caractéristiques physico-chimiques et la productivité d'un sol tourbeux en culture bananière. *Fruits*, 33, 2:77-90.
- GODEFROY (J.), LECOCCO, LOSOIS (P.), 1972. - Evolution des caractéristiques chimiques et structurales d'un sol volcanique sous culture bananière. *Fruits*, 25, 5:257-271.
- GODEFROY (J.), MULLER (M.), ROOSE (E.), 1970. - Estimation des pertes par lixiviation des éléments fertilisants dans un sol de bananeraie de Basse Côte d'Ivoire, *Fruits* (Paris), 25, 6:403-420.
- GODEFROY (J.), ROSSE (E.J.), MULLER (M.), 1975. - Estimation des pertes par les eaux de ruissellement et de drainage des éléments fertilisants dans un sol de bananeraie du sud de Côte d'Ivoire. *Fruits* (Paris), 30, 4:223-235.
- GOMES (J. de C.), 1982. - Adubação da Mandioca. *Curso de Atualização em Fertilidade do Solo*. EPABA. Salvador, 18-21, nov. mimeo.
- GONZALES (E.E.), WOLF (J.M.), NADERMAN (G.), SOARES (W.V.), GALRAO (E.Z) 1976. - Relações entre toxidez de alumínio, desenvolvimento de raízes, absorção de água e produção de milho num oxisol (latossolo vermelho escuro) do Distrito Federal. *Ciência e Cultura* (São Paulo), 28, 2:181-182.
- GREENLAND (D.J.), 1958. Nitrate fluctuations in tropical soils. *J. Agric. Science*, 50:82-92.
- GREENLAND (D.J.), 1959. - Nitrogen gains and losses in tropical soils. *Third Inter-African Soils Conference*. Dalaba, 1:531-535.
- HARDY (F.), 1960. - Manual de cacau. *Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas*. Turrialba (Costa Rica). 439 p.
- HAYLOCK (O.F.), 1956. - A method for estimating the availability of non-exchangeable potassium. *69 Cong. Intern. Ciên. Solo*, Paris, XIII:430-408.
- HEATHCOTE (R.G.), SMITHSON (J.B.), 1974. - Boron deficiency in cotton in northern Nigeria. I. Factors influencing occurrence and methods of correction. *Expl. Agric.*, 10, 3:199-208.

- HENIN (S.), MONNIER (G.L.), 1958. - Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. *Ann. Agron.*, 1:71-90.
- HENIN (S.), GRAS (R.), MONNIER (G.), 1969. - Le profil cultural. Masson Edit. (Paris), 332p.
- HENIN (S.), GRAS (R.), MONNIER (G.), 1976. - Os solos agrícolas. Ed. Forrense Universitária, São Paulo, 327p.
- HENIN (S.), MONNIER (G.), COMBEAU (A.), 1958. - Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. *Ann. Agron.* 1:73-92.
- HERRERA-VASCOINEZ (C.), 1972. - L'analyse des sols comme base des recommandations pour la fertilisation des bananeraies. 2^e réunion tech. FAO sur production bananière, oct. 1972, Guayaquil, Equateur. In: *Fruits*. (Paris), 29, 2:121-125 (editado em 1975).
- HESSE (P.R.), 1957. - Sulfur and nitrogen changes in forest soil of east Africa. *Plant and soil*, 9, 1:86-96.
- HINGSTON (F.J.), ATKINSON (R.J.), POSNER (A.M.), QUIRK (J.P.), 1967. - The specific adsorption of anions. *Nature*, 215:1459-1461.
- HINGSTON (F.J.), ATKINSON (R.J.), POSNER (A.M.), QUIRK (J.P.), 1968. - Specific adsorption of anions on goethite. 9^o Cong. Intern. Cien. Sol. (Adelaide). III:659-677.
- HORN (M.E.), 1971. - Phosphorus and potassium fertility of some riceland soils in Indonesia. *Soil Science and Plant Analysis*, 2, 1:23-29.
- HUMBEL (F.X.), 1974. - La compacité des sols ferrallitiques du Cameroun. Une zonalité dans ce milieu en relation avec la dessiccation saisonnière. *Cah. ORSTOM. Sér. Pédol.*, 12, 1:73-101.
- HUMBEL (F.X.), 1978. - Caractéristiques par des mesures physiques, hydriques et d'enracinement, de sols de Guyane Française à dynamique de l'eau superficielle. *Science du Sol. Bulletin de l'AFES*. 2:83-84.
- JAIYEBO (E.O.), MOORE (A.W.), 1963. - Soil Nitrogen accretion under different covers in a tropical rain-forest environment. *Nature (Lond.)*, 197:317-318.
- JAIYEBO (E.O.), MOORE (A.W.), 1964. - Soil fertility and nutrient storage in different soil-vegetation systems in a tropical rain-forest environment. *Trop. Agric.*, (Trin.), 41, 2:129-139.
- JUSTE (C.). 1970. - Actions toxiques des oligo-elements. *Ann. Agro.*, 26, 5:549-571.
- KAMPRAHN (F.J.), 1967. - Soil acidity and response to liming. *Rech. Bull. 4 Intern. Soil Testing Series N.C. State Univ. Agri. Exp. Sta.* Raleigh, North Carolina.

- KAMPRAITH (E.J.), 1970. - Exchangeable aluminium as a criterion for liming leached mineral soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 34:252-257.
- KAMPRAITH (E.J.), 1972. - Soil acidity and liming. In: *Soils of the Humid Tropics*. Edit. Nat. Acad. of Science Washington: 136-149.
- KINJO (T.), KIEHL (E.J.), PRAIT (P.F.), 1978. - Movimentos de nitratos em colunas de terra de um latossolo. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 2, 2:106-109.
- KINJO (T.), PRAIT (P.J.), 1971. - Nitrate adsorption; I In some acid soils of Mexico and South America. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 35:722-725.
- KINJO (T.), SILVEIRA (R.I.), KADEKARU (P.K.), 1978. - Retenção de amônio em relação a quantidade de fosfato adsorvido em solos latossólicos. *Revista de Agricultura*. L III, 12:23-27.
- KLINGE (H.); 1972. - Biomassa y materia organica del suelo en el ecosistema de la pluviselva centro-amazônica. *Actas do 4º Cong. Latinoamericano de Ciência do Solo* (Caracas), Nov. 72.
- LARSEN (S.), 1952. - The use of P 31 in studies on the uptake of phosphorus by plants. *Plant and Soil*, 4:1-10.
- LARSEN (S.), 1967. - Soil Phosphorus. *Adv. in Agronomy*. 19:151-210.
- LATHAM (M.), 1971. - Rôle du facteur sol dans le développement du cotonnier en Côte d'Ivoire. *Cah. ORSTOM. Sér. Pédol.*, 9, 1:29-42.
- LAUDELOUT (H.), 1954. - Etude sur l'apport d'éléments minéraux résultant de l'incinération d'une jachère forestière. *Conf. Intern. Sol.* 2, Léo poldville:383-388.
- LAUDELOUT (H.), VAN BLADEL (R.), 1967. - La jachère naturelle en région tropicale humide. *Coll. Fert. Sols Tropicaux*, Tananarive, 19-25 Nov., Vol. 2:1490-1497.
- LE BUANEC (B.), 1972. - Dix ans de culture motorisée sur un basin versant du centre Côte d'Ivoire. *Agron. Trop.*, XXVII, 11:1191-1211.
- LE MARE (P.H.), 1977a. - Experiments on effects of phosphorus on the manganese nutrition of plants. I. Effects of monocalcium phosphate on manganese in ryegrass grown in two Buganda Soils. *Plant and Soil*, 47, 3:593-605.
- LE MARE (P.H.), 1977b. - Experiments on effects of phosphorus on the manganese nutrition of plants. II. Interactions of phosphorus, calcium and manganese in cotton grown with nutrient solution. *Plant and Soil*, 47, 3:607-620.

- LE MARE (P.H.), 1977c. - Experiments on effects of phosphorus on the manganese nutrition of plants. III. The effect of calcium-phosphorus ratio on manganese in cotton grown in Buganda soil. *Plant and Soil*, 47, 3:621-630.
- LENEUF (N.), 1959. - L'altération des granites calco-alcalins et des granodiorites en Côte d'Ivoire forestière et les sols qui en sont dérivés. *Thèse Faculté Sciences*, Paris, 210 p. Editeur Lang-Grandenange S.A. Paris.
- LOEW (O.), 1892. - Über die physiologischen Funktion der Kalzium und Magnesium Salze und pflanzer Organisms. *Flora*, 75:368-394.
- MACHADO (J.A.), BRUM (A.C.R.), 1978. - Efeito de sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 2, 2:81-84.
- MALAVOLTA (E.), 1967. - Manual de Química Agrícola. *Adubos e Adubação*. 2a edição. Ceres Edit. (São Paulo). 606 p.
- MALAVOLTA (E.), 1976. - Manual de Química Agrícola. *Nutrição das Plantas e Fertilidade do Solo*. Ceres Edit. (São Paulo), 628 p.
- MALAVOLTA (E.), CROCCOMO (O.J.), ANDRADE (R.G.), 1964. - Effect of liming on the availability of P in Cerrado soils of Brazil. *Proc. 3rd Int. Conf. Peaceful Uses of Atom. Energy*. 15:507-510.
- MALAVOLTA (E.), SARRUGE (J.R.), BITTENCOURT (V.C.), 1977. - Toxicidez de alumínio e manganês. *IV Simpósio sobre o Cerrado*: 275-301. Edit. Itatiaia (Belo-Horizonte).
- MANCIOT (R.), OLLAGNIER (M.), OCHS (R.), 1979a. - Nutrition minérale et fertilisation du cocotier dans le monde. *Oléagineux*, 34, 11:499-515.
- MANCIOT (R.), OLLAGNIER (M.), OCHS (R.), 1979b. - Nutrition minérale et fertilisation du cocotier dans le monde. II Etude des différents éléments. *Oléagineux* 34, 12:563-580.
- MARTIN (G.), 1963. - Dégénération de la structure des sols sous mécanisée dans la vallée du Niari. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, 2:8-14.
- MARTIN (G.), 1967. - 15 ans de travaux et de recherches dans les pays du Niari 1949-1964. 3^e partie, Chap. II. Les études agropédologiques du centre ORSTOM de Brazzaville. L'évolution des sols sous culture: 131-138. Ministère de la Coopération Edit.
- MARTIN-PREVEL (P.), DUGAIN (F.), 1962. - Potassium, calcium et magnésium dans la nutrition de l'ananas en Guinée. VI Le sol et l'alimentation de la plante. *Fruits*, 17, 5:211-227.
- MASCARENHAS (H.A.A.), MIYASAKA (S.), IGUE (T.), LOVADINI (L.A.), FREIRE (E.), 1967. - Adubação mineral do feijoeiro. XI Efeitos de N, P, K e da calagem em campos cerrados do planalto Paulista. *Bragantia* (Brasília), 26:303-316.

- MATHIEU (Ph.), MONNET (C.), 1970. - Apports chimiques par les eaux de pluie en savane et sous forêt en climat intertropical (Côte d'Ivoire). ORSTON Abidjan, 153 p (mimeo).
- McCLUNG (A.C.), MARTINS (L.M.), FREITAS (L.M. de), 1959. - Sulfur deficiencies in soils from Brazilian campos. *Ecology*, 40, 2:315-317.
- McCLUNG (A.C.), FREITAS (L.M. de), LOTT (W.L.), 1959. - Analyses of several Brazilian soils in relation to plant responses to sulphur. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 23, 3:221-224.
- McLEAN (E.O.), HEDDLESON (M.R.), BARTLETT (R.J.), HOLOWAYCHUK (N.), 1958. Aluminium in soils. I Extraction methods and magnitude in clays and Ohio soils. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.*, 23, 3:221-224.
- McLEAN (E.O.), HOURIGAN (W.R.), SHOEMAKER (H.E.), BRUMBLA (D.R.), 1962. - Aluminium in soils. V Form of aluminium as a cause of soil acidity and a complication in its measurement. *Soil Sci.*, 97, 2:119-126.
- MEDINA (H.P.), GROHMANN (F.), 1966. - Disponibilidade de água em alguns solos do Cerrado. *Bragantia*, 25, 6:65-76.
- MEHLICH (A.), 1960. - Charge characteristics of soils. 79 Cong. Intern. Cien. Solo (Madison), II.299-302.
- MEHLICH (A.), 1964. - Influence of sorbed hydroxyl and sulfate on neutralisation of soil acidity. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 23:101-105. Ci tê par Ségalen 1973.
- MEHLICH (A.), 1968. - Coffee nutrition and the possible use of compound fertilizers in Kenya. *Kenya Coffe*, pp. 59-66.
- MEYER (J.A.), DUPRIEZ (G.L.), 1959. - Quantités d'azote et d'autres éléments nutritifs apportées au sol par les eaux de pluies au Congo Belge et leur intérêt agronomique. 39 Conf. Interafricaine des Sols. Da laba, I:495-499.
- MIELNICZUK (J.), 1977. - Formas do potássio em solos do Brazil. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 1, 2-3:56-61.
- MIELNICZUK (J.), SELBACH (P.A.), 1978. - Capacidade de suprimento de potássio de seis solos do Rio Grande do Sul. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 2, 2: 115-120.
- MIKKELSEN (D.S.), FREITAS (L.M.M.), McCLUNG (A.C.), 1961. - Efeitos da calagem e adubação de algodão, milho e soja em três solos de Campo Cerrado, São Paulo, Brasil. *IRI Research Institute*, New York, 29 p.
- MIRANDA (E.R. de), IGUE (K.), 1972. - Quantidade-Intensidade de potássio em solos da região cacauzeira da Bahia. *Theobroma* (Itabuna, Brasil), 2, 3:47-55.

- MOHINDER SINGH (M.), 1970. - Results and discussion. Exchange reactions of potassium, magnesium and aluminium in some Malayan soils. *Ph. D. Tese, Fac. of Sci., Univ. of Malaya*. p. 45-151.
- MONNIER (G.), 1965. - Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols. *Ann. Agro.*, 16, 4:327-400 et 16, 5:475-534.
- MORAIS (I.M.), SANTANA (J.L. de), CHEPOT-SILVA (R.E.), 1977. - A fertilização do cacauzeiro no Brasil. Doze anos de pesquisas. *Boletim Técnico nº 55*, 45 p. CEPLAC Edit., Itabuna, Brasil.
- MOREL (R.), QUANTIN (P.), 1964. - Les jachères et la régénération du sol en climat soudano-guinéen d'Afrique Centrale. *Agron. Trop.*, XIX, 2: 105-136.
- MOREL (R.), QUANTIN (P.), 1972. - Observations sur l'évolution à long terme de la fertilité des sols cultivés à Grimari (République Centrafricaine). *Agron. Trop.*, XXVII, 6-7:667-739.
- MUZILLI (O.), KALCKMANN (R.E.), MUNHOZ (F.G.), 1969. - Estudo da correção da acidez dos solos do estado do Paraná. I Determinação das curvas de neutralização em Latossolo Roxo do Oeste. *Rev. Esc. Agron. Veterin.* (Cutiriba), 5:25-33.
- MUZILLI (O.), SANTOS (D.), PALHANO (J.B.), MANETTI (J.), LANIMANN (A.F.), GARCIA (A.), CATANEO (A.), 1978. - Tolerância de cultivares da soja e de trigo a acidez do solo. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 2, 1:34-40.
- NABOS (J.), 1966. - Etat actuel des recherches d'amélioration variétale et de technique culturale sur le mil est le sorgho au Niger. *Sols Africains*, 11, 1-2:347-363.
- NASCIMENTO (J.A.L.), MORELLI (M.), 1980. - Enxofre em solos do Rio Grande do Sul. I: Formas nos solos. II: Disponibilidade. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 4, 2:131-138.
- NEPTUNE (A.M.L.), MURAKA (T.), 1978. - Uso de isótopos em química e fertilidade do solo. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 2, 3:151-163.
- NEPTUNE (A.M.L.), TANATABAI (M.A.), HANWAY (J.J.), 1975. - Sulfur fractions and carbon-nitrogen-phosphorus-sulfur relationships in some Brazilian and Iowa soils. *Soils Sci. Soc. Amer. Proc.* 39, 1:51-55.
- NERY (M.), ABRANTES (G.T.V.), DOS SANTOS (D.), DOBEREINER (J.), 1977. - Fixação do nitrogênio em trigo. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 1, 1:15-21.
- NYE (P.H.), 1961. - Organic matter and nutrient cycles under moist tropical forest. *Plant and Soil*, 13, 4:333-346.
- NYE (P.H.), 1963. - Soil analysis and the assesment of fertility in tropical soils. *J. Sci. Ed. Agric.*, 14:277-280.

- NYE (P.H.), GREENLAND (D.J.), 1960. - The soil under shifting cultivation. *Commonwealth Bur. Soils* (Harpenden), comm. N° 51, 156 p.
- NYE (P.H.), GREENLAND (D.J.), 1964. - Changes in the soil after clearing tropical forest. *Plant and Soil*, 21, 1:101-112.
- OCHS (R.), 1968. - Principaux problèmes de la nutrition du palmier à huile. Colloque d'Abidjan, II:420-436.
- OCHS (R.), OLIVIN (J.), 1965. - Réserve en eau d'une palmeraie adulte. *O-léagineux*, 20, 4:231-235.
- OKE (O.L.), 1970. - Studies on the sulphur status of Nigerian soils and uptakes by grasses. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 18, 2:163-169.
- OLIVEIRA (M. de), CURI (N.), FREIRE (J.C.), 1983. - Influência do cultivo na agregação de um solo podzólico vermelho amarelo da região de Lavras (M.G.). *Rev. Bras. Ci. Solo*, 7, 3:317-322.
- OLIVEIRA-MORAIS (F.I.), CABALA-ROSAND (F.P.), 1971. - Efeito dos equilíbrios entre cálcio, magnésio e potássio no desenvolvimento do cacaueteiro. *Theobroma* (Itabuna), Bahia, 3:21-2.
- OLLAGNIER (M.), LAUZERAL (A.), OLIVIN (J.), OCHS (R.), 1978. - Evolution des sols sous palmeraie après défrichement de la forêt. *Oléagineux*, 33 11:537-544.
- OLLAGNIER (M.), OCHS (R.), 1971. - La nutrition en chlore du palmier à huile et du cocotier. *Oléagineux*, 26, 6:367-372.
- OLLAGNIER (M.), OCHS (R.), 1972. - Les déficiences en soufre du palmier à huile et du cocotier. *Oléagineux*, 27, 4:193-198.
- OLLAGNIER (M.), OCHS (R.), 1973. Interaction entre l'azote et le potassium dans la nutrition des oléagineux tropicaux. *Anais do X Colóquio do Inst. Intern. Potássio, Abidjan*. Le potassium dans les cultures et les sols tropicaux: 215-231.
- OLLAGNIER (M.), OCHS (R.), MARTIN (G.), 1970. - La fumure du palmier à huile dans le monde. *Fertilité*, 36, 2:3-64.
- OLLAGNIER (M.), VALVERDE (G.), 1968. - Contribution à l'étude de la carence en bore du palmier à huile. *Oléagineux*, 23, 6:359-366.
- OLLAT (C.), COMBEAU (A.), 1960. - Méthode de détermination de la capacité d'échange et du pH d'un sol. Relation entre le complexe absorbant et le pH. *Sols Africains*, 5, 3:343-380.
- OLMOS (J.), et al., 1971. - Levantamento de reconhecimento dos solos do Nordeste do Estado do Paraná. Boletim técnico n° 16, Ministério da Agricultura (Curitiba), 144 p.

- OLMOS (I.L.J.), CAMARCO (M.N.), 1976. - A ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil; sua caracterização e distribuição. *Ciência e Cultura* (São Paulo), 28, 2:171-180.
- OLSEN (S.R.), COLE (C.V.), WATANABE (F.S.), DEAN (L.A.), 1954. - Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *US. Dep. Agric., Circ. n° 939*.
- OSINAME (O.A.); KANG (B.T.), SCHULTE (E.E.), COREY (R.B.), 1973. - Zinc response of maize (*Zea Mays*) grown on sandy inceptisols in Western Nigeria. *Agronomy J.* (Madison), 65, 6:875-877.
- PAVAN (M.A.), 1983. - Alumínio em solos ácidos do Paraná: relação entre o alumínio não trocável, trocável e solúvel com o pH, CTC, percentagem de saturação em Al e matéria orgânica. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 7, 1: 39-46.
- PEREIRA (J.R.), FARIA (C.M.B.), 1978. - Disponibilidade de fósforo, aplicado a um vertissolo do Médio São Francisco, avaliado por métodos químicos. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 2, 2:125-128.
- PIEDGEON (J.D.), 1972. - The measurement and prediction of available water capacity of ferrallitic soils in Uganda. *J. Soil Sci.*, 23, 4:431-441.
- PIERI (C.), 1974. - Premiers résultats expérimentaux sur la sensibilité de l'arachide à la toxicité aluminique. *Agron. Trop.*, 29, 6-7:685-696.
- PIERI (C.), 1976. - L'acidification d'un sol Dior cultivé du Sénégal et ses conséquences agronomiques. *Agron. Trop.*, 31, 3:245-253.
- PIERI (C.), 1976. - L'acidification des terres exondées au Sénégal. *Agron. Trop.*, 31, 4:339-368.
- POMMIER (M.), TAFFIN (G. de), 1982. - Étude de la fertilisation et de la régénération des sols dans le cas d'une replantation de cocotiers. *Oléagineux*, 37, 10:455-459.
- RADWANSKI (S.A.), 1957. - Cocoa soils of western Ashanti, Ghana. Cocoa, chocolate and confectionary alliance. *Proceedings of the Cocoa Conference*. London.
- RAJAN (S.S.S.), 1973. - Phosphorus adsorption characteristics of Hawaiian soils and their relationships to equilibrium phosphorus concentration required for maximum growth of millet. *Plant and Soil* (The Hague), 39:519-532.
- RAJAN (S.S.S.), PERROTT (K.W.), SAUNDERS (W.M.H.), 1974. - Identification of phosphate reactive sites of hydrous alumina from proton consumption during phosphate adsorption at constante pH values. *J. Soil. Sci.*, 25, 4:438-447.

- RAJARATNAM (J.A.), 1973a. - Application, absorption and translocation of Boron in oil palm. I Methods of application and types of boton fertilizer. II Age of palm, frequency of application and influence of N and K. *Expl. Agric. (Cambridge)*, 9, 2:129-145.
- RAJARATNAM (J.A.), 1973b. - Movement and accumulation of boton in some Malaysian soils. *Expl. Agric. (Cambridge)*, 9, 3:233-240.
- RAJARATNAM (J.A.), LAW-ING-HOCK, 1975. - Effect of boron nutrition on intensity of red spider mite attack on oil palm seedlings. *Expl. Agric* 11, 1:59-63.
- RICHARDS (L.A.), 1954. - Diagnosis and improvement of saline and alcalis soils. USDA. *Hand book n° 60*.
- RITCHEY (K.D.), SILVA (J.E.), SOUZA (D.M.G.), 1983. - Relação entre teor do cálcio no solo e desenvolvimento de raízes avaliada por um método biológico. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 7, 3:269-275.
- ROCHE (P.), GRIERE (L.), BADRE (D.), CALBA (C.H.), FALLAVIER (P.), 1978. - La carence en phosphate des sols tropicaux et ses méthodes d'appréciation. 11^e Cong. Intern. Cien. Solo (ISSS), (Edmonton), Juin.
- ROCHE (P.), GRIERE (L.), BADRE (D.), CALBA (C.H.) FALLAVIER (P.), 1980. - Le phosphore dans les sols intertropicaux: appréciation des niveaux de carence et des besoins en phosphore. *Institut Mondial du Phosphate (Paris)*, Publication Scientifique n° 2, Doc. 80, 48 p.
- RODRIGUEZ-SILVA (F.B.), JACOMINE (P.K.), ALMEIDA (J.C.), 1973. - Aptidão agrícola dos solos do estado do Rio Grande do Norte. *Boletim Técnico n° 22*. DNPA. Ministério da Agricultura, Rio de Janeiro.
- ROOSE (E.J.), 1970. - Importance relative de l'érosion, du drainage oblique et vertical dans la pédogénèse actuelle d'un sol ferrallitique de moyenne Côte d'Ivoire. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, 8, 4: 469-482.
- ROY (A.C.), ALI (M.Y.), FOX (R.L.), SILVA (J.A.), 1971. - Influence of calcium silicate on phosphate solubility in Hawaiian latosols. *Proc. Int. Symp. Soil Fert. Evaln.*, New Delhi, 1:757-765.
- RYDEN (J.C.), McLAUGHLIN (J.R.), SYERS (J.K.), 1977a. - Mechanisms of phosphate sorption by soils and hydrous ferric oxide gel. *J. Soil Sci.* 28, 2:72-92.
- RYDEN (J.C.), McLAUGHLIN (J.R.), SYERS (J.K.), 1977b. - Time-dependent sorption of phosphate by soils and hydrous ferric oxydes. *J. Soil Sci.* 28, 4:585-595.
- RYDEN (J.C.), SYERS (J.K.), 1977. - Desorption and isotopic exchange relationships of phosphate sorbed by soils and hydrous ferric oxide gel. *J. Soil Sci.* 28, 4:396-609.

- SANCHEZ (P.A.), BANDY (D.E.), VILLACHIA (J.H.), NICOLAIDES (J.J.), 1982. - Amazon Basin Soils: Management for continuous crop production. *Science*, 216:821-827.
- SANTANA (M.B.M.), CABALA-ROSAND (P.), 1982. - Dynamics of nitrogen in a shaded cocoa plantation. *Plant Soil*, 67:271-28.
- SAUNDER (D.H.), 1956. - Determination of available phosphorus in tropical soils by extraction with sodium hydroxide. *Soil Sci.*, 82, 6:457-463.
- SEGALEN (P.), 1973. - L'aluminium dans les sols. ORSTOM. Sér. Initiat.Doc. Technique (Paris), n° 22:281 p.
- SEGALEN (P.), LEAL SILVA (J.N.), 1969. - Le fer, le manganèse, l'aluminium et la silice facilement extractibles dans les sols tropicaux à sesquioxides. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.* VII.3:287-310.
- SHOEMAKER (H.E.), McLEAN (E.O.), PRATT (P.F.), 1961. - Buffer methods for determining lime requirement of soil with appreciable amounts of extractable aluminium. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.*, 25, 4:274-277.
- SHORROCKS (V.M.), 1964. - Boron toxicity in *Hevea brasiliensis*. *Nature* (London), 204:599-600.
- SHORROCKS (V.M.), 1964. - Mineral deficiencies in *Hevea* and associated over plants. Edit: Rubb. Res. Inst., Kuala Lumpur (Malaysia).
- SIBAND (P.), 1972. - Etude de l'évolution des sols sous culture traditionnelle en Haute Casamance. Principaux résultats. *Agron. Trop.*, XXVII, 5:574-591.
- SIEFFERMANN (G.), 1973. - Les sols de quelques régions volcaniques du Cameroun. Variations pédologiques et minéralogiques du milieu équatorial au milieu tropical. Mémoire ORSTOM, n° 66, 183p.
- SILVA (A.D. da), 1976. - Melhoramento genético para resistência à toxicidade de alumínio e manganês no Brasil: antecedentes, necessidades e possibilidades. Tópicos para discussão e pesquisas. *Ciência e Cultura* (São Paulo) 28, 2:147-149.
- SISOV (L.L.), TRESCOV (A.G.), 1971. - El magnesio en los solos tropicales de Cuba. Beitrage zur tropischen und subtropischen Landwirtschaft and Tropenveterinar-medezin (Leipzig), 3:203-209.
- SMITH (A.N.), 1960. - Boron deficiency in *Grevillea robusta*. *Nature* (London), 186(4729):987.
- SMITH (A.N.), 1963. - The chemical and physical characteristics of tea soils. *East Afric. Agric. For. J.*, 28, 3:123-125.
- SMITH (A.N.), 1965. - Aluminium and iron phosphates in soils. *Austr. J. Agric. Sci.*, 31:110-126

- SMITH (A.J.), 1966. - The selection of soils for cacao, *Soil Bulletin n° 5*, FAO, Roma.
- SOARES (W.S.), LOBATO (E.), GONZALES (E.), NADERMAN (G.C.), 1975. - Liming soils of the Brazilian Cerrado. In: *Soil Management in Tropical America*. C.R. du Séminaire CIAT, 10-14 Fév. 1974, Cali, Colombia. Edi tado par North Carolina State University, Raleigh, NC, USA.
- STEWART (M.J.), 1969. - Potassium and sugar cane. *South Afric. Sugar J.* Febr. In: *Rev. Potasse*, Août. Section 27, 47.
- STEWART (B.A.), 1969. - N/S ratios as a guideline to sulphur needs. *The Sulphur Inst.J.*, 5, 3:12-15.
- STOBBS (T.R.), 1969. - The effect of grazing resting land upon subse_{quent} arable crop yields. *East Afric. Agric. For J.*, 35, 1:28-32.
- SULLIVAN (L.J.), 1972. - Les problèmes de l'augmentation de la concen_{tration} des engrais. Oligo-éléments. *Phosphore et agriculture*. 26, 60: 1-15.
- SYS (C.), 1978. - Evaluation of land limitations in the humid tropics. *Pédologie*, XXVII, 3:307-335.
- TAKAHASHI (E.), 1968. - Silica as a nutrient to the rice plant. *Japan Agric. Res. Quart.* 3, 3:1.
- TALINEAU (J.C.), 1969. - Remarques sur quelques méthodes de détermination de la vitesse de filtration de l'eau dans un sol. *Agron. Trop.*, 24, 12:1169-1176.
- TALINEAU (J.C.), LESPINAT (P.A.), 1971. - Evolution des profils hydriques relevés par la méthode neutronique sous quelques plantes fourragères en saison sèche. *Cah. ORSTOM, Sér. Biol.*, 14:3-19.
- THOMANN (C.), 1964. - Les différents fractions humiques de quelques sols tropicaux de l'ouest africain. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, II, 3:43-79.
- TINKER (P.B.), 1964. - Studies on soil potassium. III. Cation activity ratios in acid Nigerian soils. IV. Equilibrium cation activity ratios and responses to potassium fertilizer in Nigerian oil palms. *J. Soil Sci.*, 15, 1:24-41.
- TINKER (P.B.), GUNN (J.S.), 1962. - Fertilizer requirements of the oil palm in Commonwealth West Africa. *Cong. Int. Horticulture*, 16, Bru_n nelles.
- TINKER (P.B.H.), SMILDE (K.W.), 1963. - Cation relationships and magne_{sium} deficiency in the oil palm. *J.W. Afric. Inst. Oil Palm Res.*, 4, 13:82-100.

- TINKER (F.B.), ZIHO (H.C.), 1959. - Soil analysis and fertilizer responses. *J.W. Afr. Inst. Oil Palm Res.*, 3, 9:52-75.
- TOMLINSON (T.E.), 1957a. - Relationship between Mangrove vegetation, soil texture, and reaction of surface soil after empoldering saline swamps in Sierra Leone. *Trop. Agric., Trin.*, 34, 1:41-50.
- TOMLINSON (T.E.), 1957b. - Changes in Sulphide containing mangrove soils on drying and their effect upon the suitability of the soil for the growth of rice. *The Empire exper. Agric.*, Oxford, XXV, 98:108.
- TOMLINSON (T.E.), 1957c. - Seasonal variations of the surface pH value of some rice soils of Sierra Leone. *Trop. Agric., Trin.*, 34, 4:287-294.
- TOURIE (R.), VIDAL (P.), JACQUINOT (L.), FAUCHE (J.), NICOU (R.). 1964 - Bilan d'une rotation quadriennale sur sols de régénération au Sénégal. *Agron. Trop.*, XIX, 12:1033-1072.
- TRIERWEILLER (J.F.), LINDSAY (W.L.), 1969. - EDTA-Ammonium carbonate soil test for zinc. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 33, 1:49-54.
- U.S. Soil Survey Staff, 1951. - Soil Survey Manual. *Hand book 18*, Dpt. Agriculture, Washington, D.C.
- VALADARES (J.M.A.), 1972. - O Zinco em solos do estado de São Paulo. Tese de Doutorado. Piracicaba, 72p. In: Resumos de Teses, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (S.P. Brasil).
- VALLANCE (L.G.), 1951. - Recent advances in sugar-cane culture in Queensland. *Emp. J. Exper. Agric.*, January.:13-25.
- VAN RAIJ (B.), 1974. - Calibração do potássio trocável em solos para feijão, algodão e cana de açúcar. *Ciência e Cultura (São Paulo)*, 26, 6: 575-579.
- VAN RAIJ (B.), 1978. - Seleção de métodos de laboratório para avaliar a disponibilidade de fósforo em solos. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 2, 1:1-9.
- VAN RAIJ (B.), CANTARELLA (H.), CAMARGO (A.P. de), SOAREZ (E.), 1982. - Perdas de cálcio e magnésio durante cinco anos de ensaio de calagem. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 6, 1:33-37.
- VAN RAIJ (B.), DOVICHCHI-SACCHETTO (M.T.), IGUE (T.), 1968. - Correlações entre o pH e o grau de saturação em bases nos solos com horizonte B textural e horizonte B Latossólico. *Bragantia (Campinas)*, 27, 17:193-200.
- VAN RAIJ (B.), PEFEIRA DE CAMARGO (A.), MASCARENHAS (H.A.A.), HIROCE (R.) FEITOSA (C.T.), NERY (C.), LALIN (C.R.P.), 1977. - Efeitos de níveis de calagem na produção de soja em solo de Cerrado. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 1, 1:28-31.

- VAN ROOYEN (P.C.), WEBER (H.W.), 1977. - Long term effects of five ameliorants on a saline-sodic soil of South Africa. *Geoderma*, 19, 3:213-223.
- VAN WAMBEKE (A.), 1970a. - Congo Kinshasa: Status of soil studies *Committee on Tropical Soils*. London 8-12 June, 13p. Multig.
- VAN WAMBEKE (A.), 1970b. - Soils studies in Tropical Latin America. Part II Soil Fertility. *Committee on Tropical Soils*. London 8-12 June. 50p. Multig.
- VAN WAMBEKE (A.), 1971. - Recherches sur la mise en valeur agricole des sols acides des savanes arborées du Brésil. *Pédologie (Gand)*, 21, 2: 211-255.
- VAN WAMBEKE (A.), 1974. - Management properties of ferralsols. *FAO Soil Bulletin*, n° 23, 129p.
- VICENTE-CHANDLER (J.), CAROCOSTAS (R.), PEARSON (R.W.), ABRUNA (F.), BIGARELLA (J.), SILVA (S.), 1964. - The intensive management of tropical forages in Puerto Rico. Univ. P. Rico Agric. Exp. Station, Rio Pedras, *Bull.* 187.
- VOLKOFF (B.), 1975. - Caracterização dos horizontes de alguns solos ferralíticos do estado da Bahia do seu índice de instabilidade estrutural. *Anais XV Cong. Bras. Ci. Solo*: 373-380.
- WALKER (T.W.), ADAMS (A.F.R.), ORCHISTON (H.D.), 1955. - Effect and interactions of molybdenum, calcium and phosphorus on yield and composition of *Tr. repens*, grown on acid molybdenum responsive soils. *Plant and Soil*, 6, 2:201-220.
- WATANABE (F.S.), OLSEN (S.R.), 1965. - Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO_2 extracts from soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 29, 6:677-678.
- WESSEL (M.), 1967. - Cacao soil of Nigeria. *Segunda Conferencia Internacional de Pesquisas em Cacao*. Nov. Bahia, Brasil:417-429.
- WESSEL (M.), 1971. - Fertilizer requirements of cacao (*Theobroma cacao* L.) in South Western Nigeria. *Publ. Royal Trop. Inst. Amsterdam*, n° 61; 104p.
- WHITE (R.E.), BECKETT (P.H.T.), 1964. - Studies on the phosphate potentials of soil I the measurement of phosphate potential. *Plant Soil*, 20, 1:1-16.
- WHITEHEAD (D.C.), 1964. - Soil and plant-nutrition aspects of the sulphur cycle. *Soils and Fertilizers*, 27, 1:1-8.
- WICKLANDER (L.), 1954. - Forms of potassium in the soil. *Potassium Symposium, Intern. Potash Inst.*, Bern.:109-121.

WUJKE (A.C.P.), 1972. - *m* Maniz (A.C.), Elementos de Pedologia. Chap.
14 "Nitrogenio". Editora Poligono, São Paulo, 459p.



EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DA BAHIA S.A.
Vinculada à Secretaria da Agricultura

A EPABA INDICA A DOSE CERTA PARA MINERALIZAR O SEU GADO

**CONSULTE A EPABA SOBRE O PROGRAMA DE MINERALIZAÇÃO DO SEU REBANHO
(BOVINO, CAPRINO E OVINO).**

**EPABA ANALISA, ORIENTA E VOCÊ SUPLEMENTA.
MINERALIZAÇÃO ADEQUADA PRODUÇÃO AUMENTADA.**

GOVERNO
JOÃO DURVAL



Sob Auspícios da

Secretaria da Agricultura do Estado da Bahia